



Høgskulen
på Vestlandet

BACHELOROPPGAVE

Skredfarevurdering og faresoner for steinsprang knyttet til
skredvollen på Vassbugen, Årdalstangen

Landslide Hazard Analysis and Reach Probability for Rockfall
Related to the Avalanche Embankment on Vassbugen,
Årdalstangen

Av:

Thomas Danielsen, Bjørn Ole Bratholm Skorgevik og Lars Vangsnes
Torgersen

Geologi og geofare
Institutt for miljø- og naturvitenskap
Veileder: Helge Henriksen

27.05.2018

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 10.

Forord

Denne bacheloroppgaven er utarbeidet som en avsluttende oppgave på studiet Geologi og geofare ved Høgskulen på Vestlandet. Oppgaven markerer slutten på tre givende og lærerike år.

Først og fremst vil vi rette en stor takk til vår veileder, Helge Henriksen, som har gitt oss grundige tilbakemeldinger og bidratt med gode faglige samtaler. Vi setter stor pris på spørsmål du har besvart og din tålmodighet rettet mot oss.

Vi vil også takke Jan Roy Dalheim som har vært vår kontaktperson i Årdal kommune. Takk for nyttig informasjon over en kopp kaffe.

Til slutt takker vi AIN for sin åpen dør politikk.

Sammendrag

Denne oppgaven tar for seg skredfarevurdering for boligfeltet Vassbugen på Årdalstangen. Det er gjort vurderinger av tre potensielle skredtyper. Av disse ble det konkludert med at steinsprang er den mest aktive og truende skredtypen mot boligfeltet.

Fokuset er derfor rettet mot den eksisterende skredvollen sin effekt mot steinsprang. Vurderingene baseres på feltundersøkelser samt enkle utregninger og modellering i RocFall og Rockyfor3D.

Bakgrunnen for oppgaven er om skredvollen sikrer boligfeltet nok til at Årdal kommune, i henhold til Plan- og bygningsloven, kan gi tillatelse til å bygge opp nye hus. For eksempel etter en eventuell boligbrann.

Forslag til faresoner for steinsprang er lagt frem med konklusjon om at skredvollen bidrar tilstrekkelig til at boligfeltet er beskyttet mot skredhendelser med årlig sannsynlighet større enn 1/1000. Det foreslås å undersøke nærmere hvor vidt et fanggjerde kan redusere omfanget av flogstein.

Abstract

This assignment involves a landslide hazard analysis of the residential area Vassbugen on Årdalstangen. Assessments have been made of three potential landslides. Of these, it is concluded that rockfall is the most active and threatening landslide against the residential area.

The focus of the assignment is directed towards the existing avalanche embankment's effect against rockfall. Assessments from fieldwork as well as simple calculations and modeling in both RocFall and Rockyfor3D have been implemented in order to reach a conclusion.

The background for the assignment is related to the avalanche embankment and if its effect is sufficiently enough to protect the residential area, giving permission to rebuild houses after potential housing fires.

Suggestion to refinements of danger zones for rockfall has been presented with the conclusion that the avalanche embankment contributes sufficiently enough to protect the residential area with annual probability larger than 1/1000. It is suggested to investigate if a rockfall fence can protect against airborne rock fragments.

Tabell-liste:

Tabell 1: Sikkerhetsklasser for skred	9
Tabell 2: Månednormal for nedbør normalperioden 1961-1990.....	18
Tabell 3: Jordtyper for Rockyfor3D.....	33
Tabell 4: Blokkformer knyttet til Rockyfor3D.....	34
Tabell 5: Gjennomsnittlig trediameter.....	44
Tabell 6: Blokkstørrelser tilhørende utløsningsområde sør.....	53
Tabell 7: Blokkstørrelser tilhørende utløsningsområdene nord og senter	53
Tabell 8: Rg-verdier fra område A	54
Tabell 9: Maksimalt utløp med α - β metoden.	58

Vedlegg:

Tabell 10: Inndata simulering 1/100.....	82
Tabell 11: Inndata simulering 1/1000.....	83
Tabell 12: Inndata simulering 1/5000.....	84

Figur-liste:

Figur 1: Prosesser ved steinsprang	10
Figur 2: Jordskred.....	11
Figur 3: Flomskred	11
Figur 4: Utløsning for løssnøskred og flakskred.	12
Figur 5: Områdeoversikt.	13
Figur 6: Kwartærgeologisk kart, NGU.....	15
Figur 7: Terrenghelningskart.	16
Figur 8: Vegetasjon.	17
Figur 9: Topografisk kart med bekkeløp og kvartærgeologiske avsetninger.	17
Figur 10: Temperatur og nedbør perioden 1961-1990	19
Figur 11: Rosediagram for vind perioden 1987-1996	19
Figur 12: Normal års maksimum av snødybde perioden 1971-2000	20
Figur 13: Flomskred 1934	21
Figur 14: Tidligere Skredhendelser	22
Figur 15: Prinsippskisse for skredvoll.....	24
Figur 16: Skredsikringstiltak på Vassbugen fra 1952 til 2011.	25
Figur 17: Feltbilde 1, skille mellom avsetning E og F.	26
Figur 18: Fjellskygge-kart	29
Figur 19: Lagdelt fremstilling av hvordan data vil bli presentert i ArcMap.	30
Figur 20: Eksempel på fjellskyggekart i ArcScene.	31
Figur 21: Måling av rg-verdier	33
Figur 22: Grafisk fordeling av blokker, i RocFall	35
Figur 23: α - β metoden	37
Figur 24: Feltbilde 2. Sprekkesett	40
Figur 25: Feltbilde 3. Utløsningsområde med tilhørende skredbaner	41
Figur 26: Feltbilde 4. Jordskredavsetning i område E2.....	42
Figur 27: Kwartærgeologisk kart.	43
Figur 28: Aktsomhetskart for Snøskred, NVE	45
Figur 29: Formasjoner relatert til snøakkumulasjon.	46
Figur 30: Flyfoto vegetasjon	46

Figur 31: Aktsomhetskart for Jord- og Flomskred, NVE.....	47
Figur 32: Aktsomhetskart for steinsprang, NVE.....	48
Figur 33: Feltbilde 5. Ferske blokker i avsetning.....	49
Figur 34: Terrenghelningskart med definert utløsningsområdet.....	51
Figur 35: Feltbilde 6. Oversiktsbilde over fjellsiden.....	51
Figur 36: Utløsningsområder.....	53
Figur 37: Profil 1 til 6.....	57
Figur 38: Resultat α - β metoden profil 2.....	58
Figur 39: Faresonekart steinsprang.....	61

Vedlegg:

Figur 40: Vegetasjon delt inn i polygon.....	74
Figur 41: Maksimale utløp α - β	75
Figur 42: Resultat α - β metode, NVE.....	76
Figur 43: Feltbilde 7. Utløsningsområde i overkant av område F.....	77
Figur 44: Feltbilde 8. Utløsningsområde med tilhørende skredbane og avsetning.....	78
Figur 45: Rekkeviddesannsynlighet for simulering med største årlig sannsynlighet 1/100.....	79
Figur 46: Rekkeviddesannsynlighet for simulering med største årlig sannsynlighet 1/1000.....	79
Figur 47: Rekkeviddesannsynlighet for simulering med største årlig sannsynlighet 1/5000.....	80
Figur 48: Spretthøyde for simulering med største årlig sannsynlighet 1/100.....	80
Figur 49: Spretthøyde for simulering med største årlig sannsynlighet 1/1000.....	81
Figur 50: Spretthøyde for simulering med største årlig sannsynlighet 1/5000.....	81
Figur 51: Maksimale utløp i RocFall profil 1.....	85
Figur 52: Blokkfordeling langs profil 1.....	86
Figur 53: Maksimale utløp i RocFall profil 2.....	87
Figur 54: Blokkfordeling langs profil 2.....	88
Figur 55: Maksimale utløp i RocFall profil 3.....	89
Figur 56: Blokkfordeling langs profil 3.....	90
Figur 57: Maksimale utløp i RocFall profil 4.....	91
Figur 58: Fordeling av blokker profil 4.....	92
Figur 59: Maksimale utløp i RocFall profil 5.....	93
Figur 60: Fordeling av blokker langs profil 5.....	94
Figur 61: Maksimale utløp i RocFall profil 6.....	95
Figur 62: Fordeling av blokker langs profil 6.....	96
Figur 63: Simulering uten skredvoll i profil 5.....	97
Figur 64: Fordeling av blokker i profil 5, uten skredvoll.....	98
Figur 65: Simulering uten skredvoll i profil 6.....	99
Figur 66: Fordeling av blokker i profil 6, uten skredvoll.....	100

1	Innledning	7
1.1	Bakgrunn og problemstilling	7
1.2	Terminologi: Skredtyper i bratt terreng	9
2	Områdebeskrivelse	13
2.1	Kvartærgeologi.....	14
2.2	Berggrunnsgeologi.....	15
2.3	Topografi, drenering og vegetasjon	15
2.4	Klima	18
2.5	Tidligere skredhendelser	20
2.6	Eksisterende skredsikringstiltak.....	23
3	Metode	26
3.1	Feltarbeid	26
3.2	Intervju	27
3.3	ArcGIS	27
3.3.1	ArcMap	28
3.3.2	ArcScene	30
3.4	Steinsprangsimuleringer.....	31
3.4.1	Rockyfor3D.....	31
3.4.2	RocFall.....	35
3.5	α - β metoden.....	37
3.6	Faresone for steinsprang basert på TEK17.....	38
4	Resultat	39
4.1	Feltarbeid	39
4.2	Potensielle skredtyper.....	44
4.2.1	Snøskred.....	44
4.2.2	Jord- og flomskred	47
4.2.3	Steinsprang.....	48
4.2.4	Videre skredvurdering.....	49
4.3	Steinsprang – utløsningsområder	50
4.4	Steinsprangsimuleringer.....	52
4.4.1	Definering av blokkstørrelse knyttet til sikkerhetsklasser	52
4.4.2	Rockyfor3D.....	54
4.4.3	RocFall.....	55
4.5	α - β metoden.....	58
4.6	Faresoner	59
5	Diskusjon	62
5.1	Rockyfor3D	65
5.2	RocFall.....	67

6	Konklusjon	70
7	Referanser	71
8	Vedlegg	74
8.1	Rockyfor3D	79
8.2	RocFall	85
8.2.1	Simulering uten skredvoll	97

1 Innledning

Naturfarer er et tema som blir mer og mer relevant i takt med både klimaendringer og økt utbyggingspress. I Norge er ekstremvær i form av kraftigere og mer intense nedbørsmengder aktuelt, og gjør at både flom og skred kan skje med større hyppighet. Det kreves derfor bedre sikringstiltak for å begrense skadeomfanget slike hendelser kan føre med seg. Strengt krav og lover for bebyggelse iverksettes for å optimalisere boforhold og sikkerhet for samfunn og innbyggere. For nye eneboliger er kravet å tillate én skredhendelse per 1000 år (1/1000 år), noe som tilsier at hus som ligger innenfor områder hvor hyppigheten er høyere ikke vil regnes som trygt. Strengere krav gjelder der hvor flere mennesker oppbevarer seg over lengre perioder, som sykehus, eldreheim og store arbeidsplasser (Direktoratet for byggkvalitet, 2018).

Den forventede økningen av skredhendelser, krever at det gjøres sikkerhetstiltak for å beskytte boliger som allerede står i skredfarlige områder. Flere steder er det allerede sikringer mot skred, steinsprang o.l., med f.eks. fanggrop, skredvoller, fangnett eller bolting. Mange av disse ble bygget for flere tiår siden. Ved behov utføres kvalitetssjekking av disse, for å kunne fastslå om de holder den forventede standarden etter dagens krav. Med endring i klimaet vil det også kunne skje endringer i type skred som utgjør en fare. For å kunne opprettholde sikkerheten i boligfelt, er det derfor nødvendig å se hvilken tilstand f.eks. skredvoller er i, vurdere potensielle naturfarer og i hvor stor grad sikringstiltakene beskytter mot disse.

Nasjonalt dekkende aktsomhetskart viser potensiell skredfare og regnes som tilstrekkelig til å avgjøre skredfare på kommuneplannivå (NVE (c), 2017). Aktsomhetskart for steinsprang viser at tilnærmet hele boligfeltet Vassbugen, Årdalstangen (Figur 5), er innenfor utløpsområde (NVE (b), 2017). På reguleringsplannivå kreves derimot reell skredfarekartlegging dersom et planområde ligger innenfor utløpsområde for aktsomhetskartet. Vassbugen er et av områdene på Årdalstangen som per dags dato dekkes av utløpsområde fra aktsomhetskart, men mangler vurdering av den reelle skredfaren.

1.1 Bakgrunn og problemstilling

På Vassbugen på Årdalstangen ble det i 1970 bygget en skredvoll (Børstad J. , 1972) for å beskytte et større boligfelt på østsiden av Hæreidselva mot steinsprang (Figur 5). Skredvollen strekker seg i dag, etter flere utvidelser, ca. 370 m og har en høyde på 4-5 m (Russenes, 2009). Skredvollen ble for første gang utbedret allerede i 1977, mens den andre og hittil siste utbedringen var i 2011. I tillegg til dette, er det hvert år gjort mindre inspeksjoner av og rundt

skredvollen, hvor det sees på drenering og avsetting av blokker. Det blir også utført hovedinspeksjon hvert fjerde år av skredvollen (Årdal Kommune (b), 2012).

Til tross for de forbedringer som er utført og årlige inspeksjoner, er det likevel et tilfelle hvor stein/splinter har gått over skredvollen og truffet hus på andre siden. Dette har ført til at det i senere år har blitt diskutert om skredvollen på Vassbugen er tilstrekkelig dimensjonert, og om den gir sikring som tilfredsstillende kravene i Plan- og bygningsloven (PBL) og tekniske forskrifter (TEK17) i dag.

Da utbyggingen av boligfeltet Vassbugen startet, var lovene for sikkerhet mot naturfarer færre, og annerledes enn i dag. Det er derfor grunn til en liten oppsummering av endring av krav til skredsikring i henhold til dagens Plan- og bygningslov. Det har eksistert planlovgivning helt fra 1224. Etter at Norge ble løsrevet fra unionen med Sverige i 1814 ble det laget regler i Christiania (Oslo), Bergen og Trondheim, men her lå fokus på brannsikkerhet og bygningskonstruksjon slik at bygninger ikke skulle rase sammen. Det var ikke før i 1845 at disse lovene ble nasjonale og gjeldene for alle byer i Norge. Frem til 1924 har denne loven stadig blitt forandret. Det var først i 1965 at det ble laget lovverk for spredtbygde strøk og bygder.

Utbyggingen av boligfeltet Vassbugen startet allerede på 50-tallet. Det betyr at boliger som er bygget før nye lover trådte i kraft, ikke kan bygges opp igjen ved en eventuell boligbrann, før det er kartlagt om de ligger utenfor faresone for skred. Det gjelder ikke bare byggesaker, men også personsikkerheten. Det har blitt gjort sikkerhetstiltak, men det er ikke gjort en vurdering i nyere tid om hvor vidt disse tiltakene er gode nok.

Det er først i Plan- og bygningsloven av 1965 det blir tatt hensyn til naturfarer og skred. §25 Nr.5 «*Fareområder: områder for høyspenningsanlegg, skytebaner, ildsfarlige opplag og andre innretninger som kan være farlige for allmennheten, og områder som på grunn av ras- og flomfare eller annen særlig fare ikke tillates bebygde.*», og §68 «*Grunn kan bare bebygges dersom det er tilstrekkelig sikkerhet mot synking, vannsig, flom, ras e.l. Bygningsrådet kan nedlegge forbud mot bebyggelse av grunn eller område som etter første ledd anses uskikket til å bebygges, selv om ikke søknad om byggetillatelse foreligger. Grunnen må dreneres og grunn- og overvann ledes bort etter bygningsrådets nærmere bestemmelse*». Disse bestemmelsene var veldig generelle.

Etter skredene i 1967 og 1971 anbefalte tekniske konsulent Joar Børstad i 1972 at et bolighus ikke skulle brukes som boenhet, men heller rives. Dette ble ikke gjort da de etablerte skredsikringstiltakene i 1970 og 1977 ble ansett som sikker nok.

I 1985 ble det satt grenseverdier for skredsikker byggegrunn. Da var det én skredhendelse per 333 år som var maksimal frekvens på skredhendelser som kunne nå et område som skulle reguleres til bolighus. Allerede i 1987 ble disse kravene skjerpet inn til én skredhendelse per 1000 år (dagens sikkerhetsklasse 2), som er lik bestemmelsene i dagens gjeldende Plan- og bygningslov. Tabell 1 viser sikkerhetsklassene fra nyeste tekniske forskrift fra 2017.

Tabell 1: De forskjellige sikkerhetsklassene ved bygging i skredfarlig område (Hentet fra TEK17 §7-3, Sikkerhet mot skred).

Sikkerhetsklasse for skred	Konsekvens	Største nominelle årlige sannsynlighet
S1	liten	1/100
S2	middels	1/1000
S3	stor	1/5000

Boligene på Vassbugen er bygget på 50-, 60- og tidlig 70-tallet (Jan Roy Dalheim, pers. med.). Boliger som er bygget før det ble stilt krav til skredsikkerhet, skal følge det første kravet fra 1885. For boligfeltet Vassbugen gjelder derfor nominell årlig sannsynlighet på 1/333 for skredhendelser.

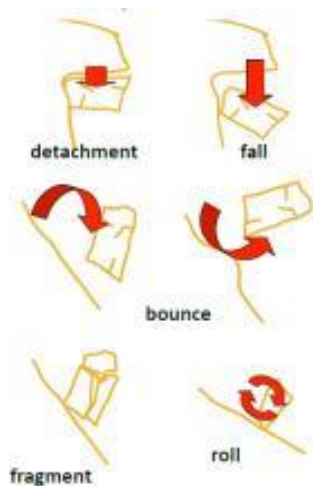
I henhold til Plan- og bygningsloven 2008 og teknisk forskrift skal nye boliger beskyttes mot skredhendelser med største årlige sannsynlighet 1/1000. Det vil si at den nominelle årlige sannsynligheten på 1/333 (minstekrav) gjelder boligene som allerede er på Vassbugen. Det betyr at det ikke er lovlig å benytte boliger, dersom de ligger innenfor denne faresonen. Problemstillingen til kommunen er derfor at boligfeltet må minimum holde dette kravet. Det er også en problemstilling om kommunen skal sikre at boligfeltet ikke ligger i områder med større årlig sannsynlighet enn 1/1000. Det blir dermed mulig å bygge opp hus ved en eventuell brann, og det er mulighet for å fornye boligene i boligfeltet.

1.2 Terminologi: Skredtyper i bratt terreng

Nedenfor blir de tre aktuelle skredtypene for Vassbugen beskrevet. De omfatter både skred fra fast fjell, løsmasser og snø i fjellsiden.

Den norske klassifiseringen relatert til størrelse på skredhendelsene fra fast fjell er forskjellig fra den internasjonale. Internasjonalt skilles det kun mellom steinsprang (Rockfall) og fjellskred (Rock Avalanche). I Norge blir det ofte delt inn i tre kategorier: Steinsprang, steinskred og fjellskred. NGI har i sine rapporter brukt inndeling der steinsprang gjelder blokkstørrelser opp til 100 m^3 , steinskred $100 \text{ m}^3 - 10\,000 \text{ m}^3$ og fjellskred over $10\,000 \text{ m}^3$ (Hestnes & Lied, 1980).

Steinsprang er en skredhendelse som skjer i bratte skråninger og fjellvegger, hvor stein løsner og faller ned. De utløses ofte ved bratte og overhengende partier i skråningen, helst over 45° (NVE, 2011) og partier med svakheter som for eksempel kryssende sprekkesystemer med et sprekkeplan som heller ut i fjellsiden. Begrepet steinsprang dekker mindre størrelser av stein som faller fra fjellsiden. Ved steinsprang er hastigheten lav og blokkene beholder mer eller mindre samme størrelse hele veien ned til terrenget flater ut. Blokkene vil sprette, falle, sprekke opp og rulle ned til terrenget flater ut (Figur 1).



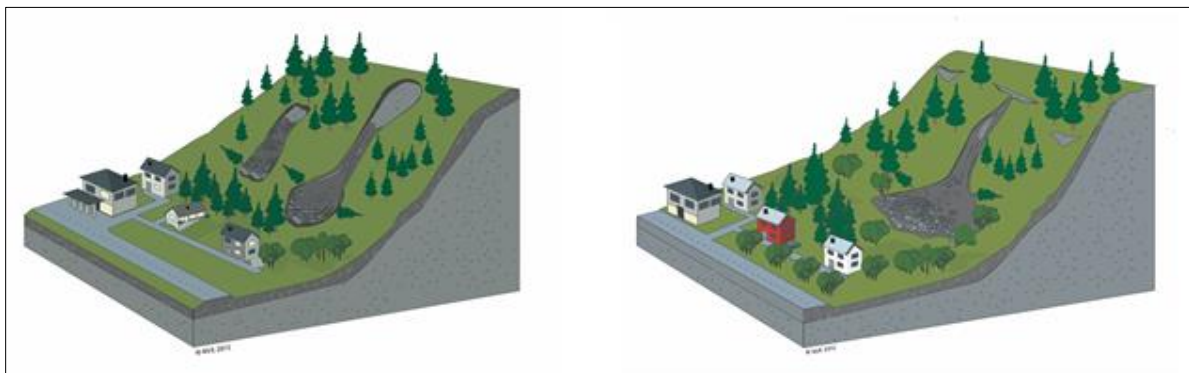
Figur 1: Prosesser ved steinsprang

Det er flere utløsende faktorer for steinsprang. Er det mye vegetasjon i fjellsiden er det sannsynlig at rotsprenging kan være en utløsende faktor. Stor nedbør og/eller snøsmelting gir høyt sprekkevanntrykk og reduserer friksjonen mellom blokkene i fjellsiden og øker faren for utglidning og utvelting. Både på våren og høsten er det perioder hvor det er minusgrader om natten og plussgrader om dagen. Slike fryse- og tineprosesser vil også være en utløsende faktor.

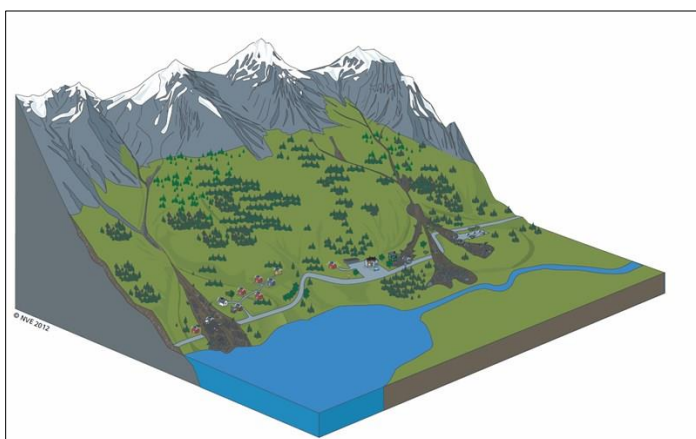
Er de utløste massene i en enkelthendelse mellom $100 \text{ m}^3 - 10\,000 \text{ m}^3$ kategoriseres det som et steinskred (Hestnes & Lied, 1980). Steinskred har en høyere hastighet ned fjellsiden, og blokkene knuses opp på vei nedover. Store blokker ender opp nederst i avsetningen kalt talus. De største blokkene kan ha rekkevidde videre utover avsetningene og potensielt utgjøre stor

fare for menneskeliv og infrastruktur. Er massene større enn 10 000 m³ går de under definisjonen fjellskred, og de skiller fra steinskred på måten massene beveger seg. Denne typen skred har en mye lenger rekkevidde, og kan gå tvers over en dal og opp i motsatt dalside.

Jord- og flomskred er begrep knyttet til utglidning av vannmettede løsmasser i fjellsiden med helning over 25°. Materialet i skredene er det samme for begge typer, selv om sammensetningen av løsmasser kan variere, er det som skiller dem fra hverandre hvor de utløses og hvor skredbanen går. Flomskred utløses og har skredbane i bekkeløp, gjel og raviner (Figur 3). Jordskred utløses ikke i bekkeløp, men andre steder i fjellsiden og inneholder noe mindre vann (Figur 2). Begge typene skred er knyttet til mye nedbør og snøsmeltning. Disse typene skred kan også utløses av seg selv, men også av andre skredhendelser og menneskelige inngrep. Utløpsdistansen til et jord- eller flomskred er avhengig av flere faktorer som hvor høyt oppe utløsningen skjer, hva slags løsmasser det består av og det mest avgjørende, vanninnholdet. De største steinene og blokkene vil bli avsatt først og kun den fineste delen av massene vil kunne være med til skredet stopper.



Figur 2: Jordskred med bred utløsnings til venstre. Jordskred med utløsning i ett punkt til høyre (Varsom, 2018).



Figur 3: Flomskred i bekkeløp (Varsom, 2018).

Snøskred er et fenomen som kan deles inn i to hovedkategorier, løssnøskred og flakskred. Flakskred er hard og ofte vindpåvirket snø som bryter opp i flak og kan ha flere meter tykk bruddkant (Figur 4). Dette skjer fordi det er svakere lag i snøen som gir etter og danner et glideplan for overliggende snø. Hastigheten på slike skred er svært høy, og varierer ut fra fuktigheten på snøen og hvor lenge den er i bevegelse. Tørre skred har høyest hastighet og kan nå 130 km/t på 6 sekunder (Varsom, 2018).

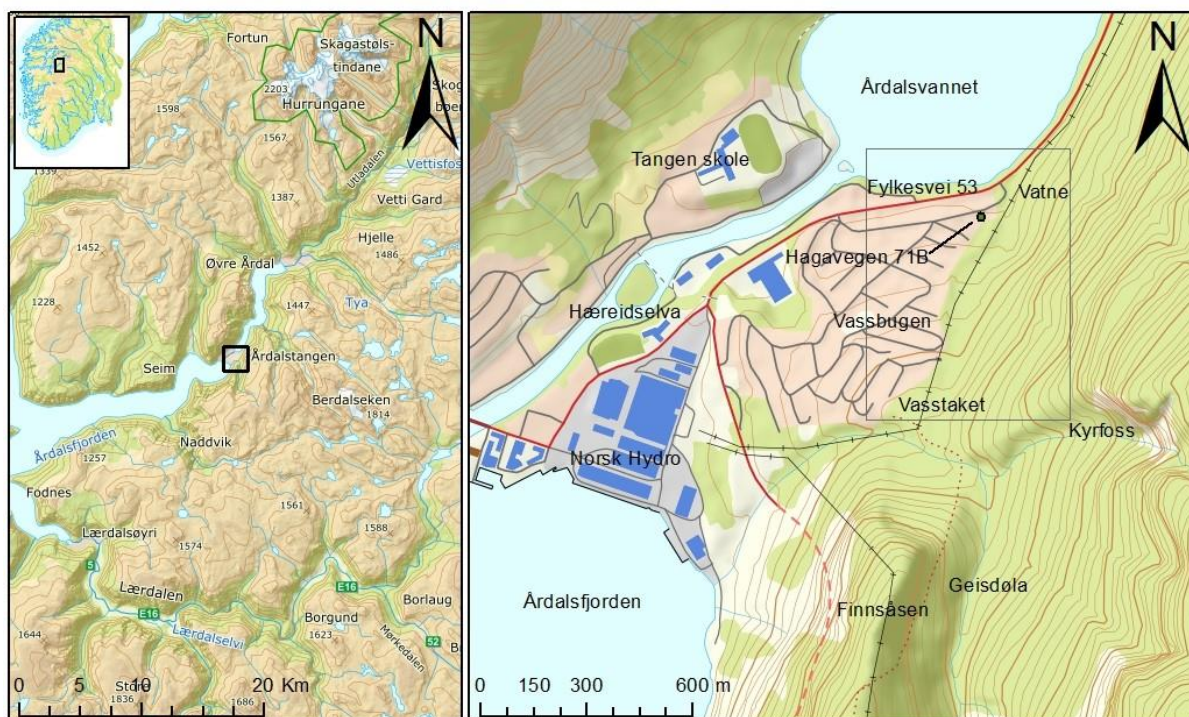
Løssnøskred blir igjen delt inn i to kategorier, tørre og våte skred. Felles for begge er at de har ett enkelt punkt de løses ut fra og drar med seg snøen nedenfor og blir bredere, og til slutt ender i en slags pæreformet avsetning (Figur 4). Utløsningen kan skje ved for eksempel eventuelle steinsprang eller skavler som brekker.



Figur 4: Utløsning for løssnøskred og flakskred.

Sørpeskred er en tredje kategori som blir mulig når snøen er helt mettet på vann, som regel ved snøsmelting eller i forbindelse med mye nedbør. Denne tilførselen av vann samt dårlig drenering grunnet tele og is gjør snømassene ekstremt ustabile. Denne typen skred beveger seg ofte i forsenkninger i terrenget og kan utløses med helninger så lav som 5° (NVE, 2013).

2 Områdebeskrivelse



Figur 5: Områdeoversikt. Kartbildet til høyre viser Årdalstangen. Vassbugen er lokalisert mellom Vatne og aluminiumsanlegget Hydro Aluminium AS.

Området vi har undersøkt, Vassbugen, ligger på Årdalstangen i Sogn og Fjordane (Figur 5). Skredvollen er bygget i bakkant av et stort boligfelt, hvor flere av husene ligger med få meters avstand til skredvollen. Både selve skredvollen og området innenfor er benyttet som turområde. Tidligere var dette området en del av et kulturlandskap, benyttet til hesjing av høy og fritidsaktiviteter (Jan Roy Dalheim, pers.med.).

Som en følge av jobbmuligheter på Norsk Hydro sitt aluminiumsverk i Årdal var det på 1960-1970-tallet sterkt utbyggingspress i kommunen. Vassbugen på Årdalstangen var ikke et unntak. På grunn av utbyggingspresset, skredhendelser og strengere krav til bebyggelse, ble en rekke skredsikringstiltak etablert.

Vassbugen er lokalisert på en flomskredvifte. Alderen på denne viften er ukjent. Skredviften har trolig blitt dannet i flere hendelser, og utbredelsen av viften vises i Figur 20. Et dalføre sør for modellområdet (Geisdøla, Årdalstangen) regnes som opprinnelsen til massene. Vinkelen på avsetningene er lav, noe som tyder på at det har vært mye vann tilstede under hendelsene. Viften har i senere tid blitt preget av alt fra steinsprang til jordskred. Sist registrerte flomskredhendelse

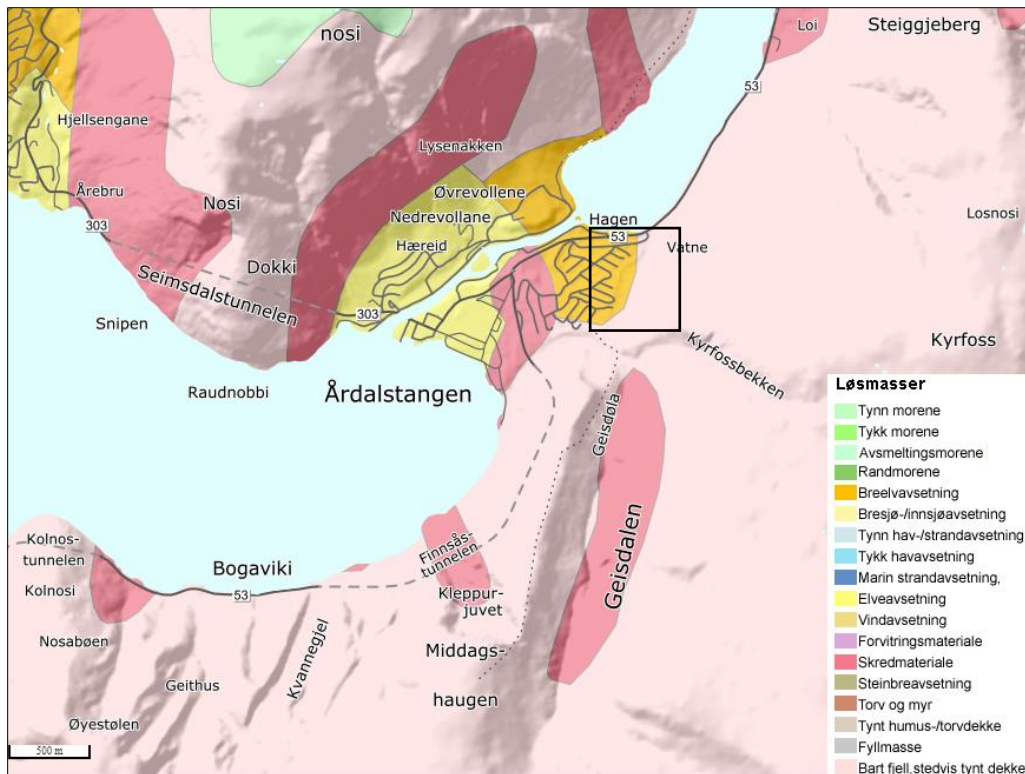
er tilbake til 5. mai 1934, da et snøskred demmet opp elven som senere brøt og tok med seg masser som en følge av høy vannføring (Roald, 2013).

Det er trolig gjentatte prosesser, lik skredhendelsen i 1934, som har formet viften til slik den er i dag (Statens Vegvesen, 2014) selv om skredhendelsen i 1934 er den nyeste av et større omfang. Avsetningene har sannsynligvis avsatt seg først lenger nord som har bidratt til å styre flomskredmassene lenger sør. Som en følge av dette har elveløpet som kommer ut fra Geisdøla vært i kontinuerlig endring.

2.1 Kvartærgeologi

Kvartærgeologisk kart over Årdalstangen (Figur 6), viser at det i området er flere forskjellige typer løsmasser. Dette er både elve- og breelvavsetning i tillegg til skredmateriale. Ved skredvollen på Vassbugen, er området dekket av breelvavsetning, avgrenset til bart fjell med stedvis tynt dekke mot utløsningsområdet i øst.

Fra befaringsfelt, er løsmassene i området bestemt til å være skredavsetninger fra jord- og flomskred, steinsprang og steinskred. Skredvollen og boligfeltet er bygget på en gammel skredvifte, bygget opp av jord- og flomskred fra Geisdøla. Ved Øvrevollene nord for Vassbugen og Hæreidselvi, synes en stor terrasse. Denne ble målt til ca. 35 mo.h. og består av breelvavsetning. Skredvollen på Vassbugen strekker seg fra ca. 9 mo.h. opptil 85 mo.h. Det er derfor naturlig å tenke seg at det også her vil være mulig å finne breelvavsetninger. Etter undersøkelser i felt ble det imidlertid ikke funnet breelvavsetninger i feltområde. Noe løsmasser med høy rundingsgrad ble observert, så trolig ligger det breelvavsetninger under skredavsetningene.



Figur 6: Kvartærgeologisk kart av Vassbugen, Årdalstangen (NGU (b), 2018).

2.2 Berggrunnsgeologi

Årdalstangen befinner seg i Jotundekket og berggrunnen er preget av mørk pyroksengranulitt og mafisk gneis (NGU (a), 2018).

Fra feltbefaring er tre sprekkeretninger observert. I tillegg kan foliasjonen gi bakgrunn for utglidninger og/eller avgrensede blokker fra hverandre. Ved store nedbørsmengder eller ved temperatursvingninger kan friksjonsvinkelen på sprekker minske og utglidninger kan finne sted.

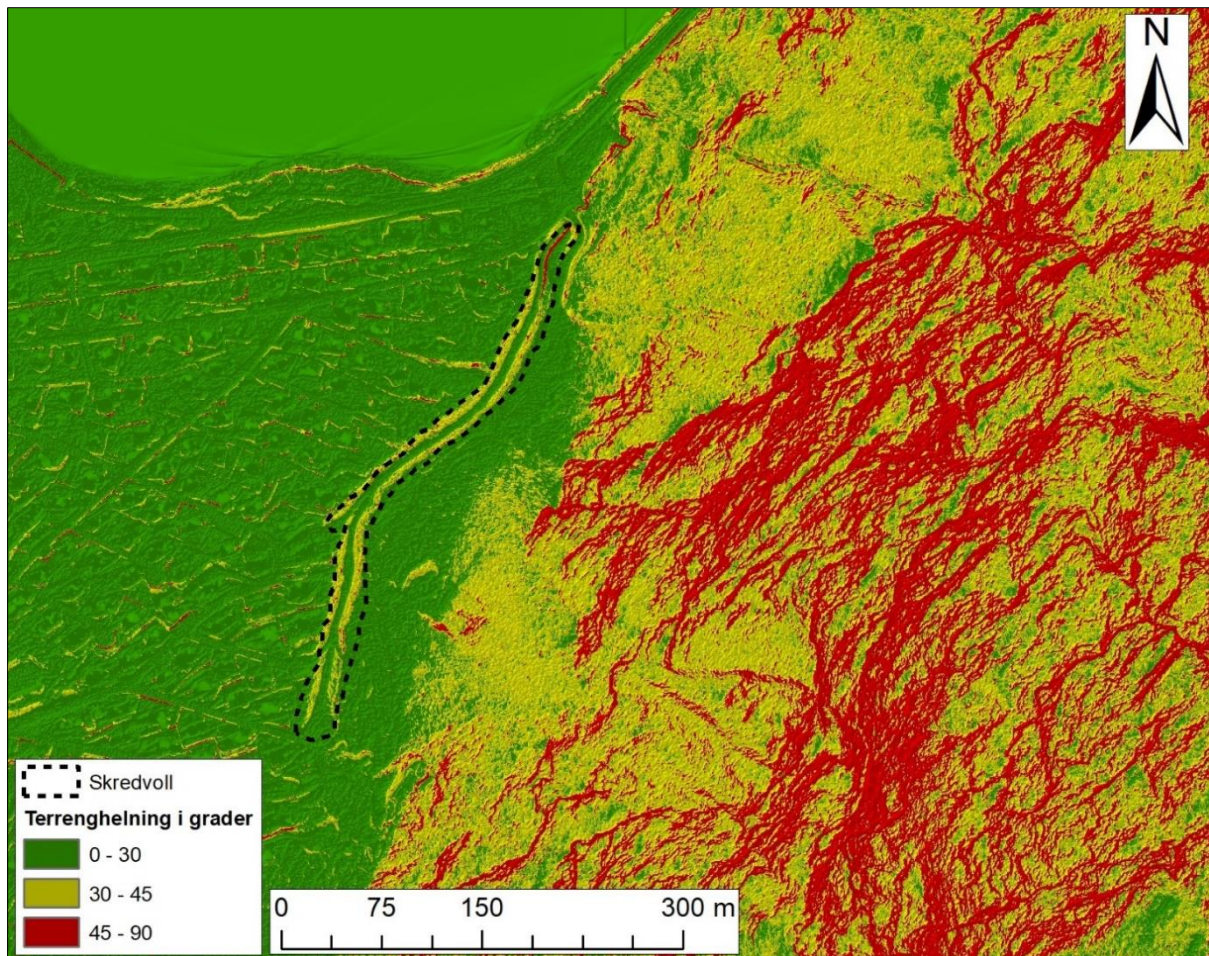
Det er ikke observert større strukturer som kan gi opphav til fjellskred.

2.3 Topografi, drenering og vegetasjon

Topografi

Terrenget er bratt med mye vegetasjon. Kun partiene som er bort imot loddrett er fri for vegetasjon. De partiene av fjellsiden med bart fjell har en helning mellom 45 og 90° (Figur 7).

Nederst er terrenget mer eller mindre flatt i retning boligfeltet, men heller slakt nedover mot nord grunnet den store skredviften boligfeltet er bygget på. Her er det også mindre vegetasjon og ingen synlige tegn på ansamling av vann.



Figur 7: Terrenghelningskart.

Vegetasjon

Vegetasjonen i området ovenfor skredvollen har endret seg de siste 50-60 årene. Det er forholdsvis mye vegetasjon tross den bratte helningen. Hesjing og oppretthold av kulturlandskap ble drevet i fjellsiden før utbygging av boligfeltet og mye av vegetasjonen er kommet etter dette. I områdene med lite skredavsetning er vegetasjonen preget av større grantrær. I områdene der terrenget er tilpasset i forbindelse med bygging av skredvoll og fanggrop, er vegetasjonen ubetydelig. Resten av fjellsiden er dekket med småskog bortsett fra de loddrette partiene. Figur 8 viser forskjellen i vegetasjon fra 1952 til 2018.

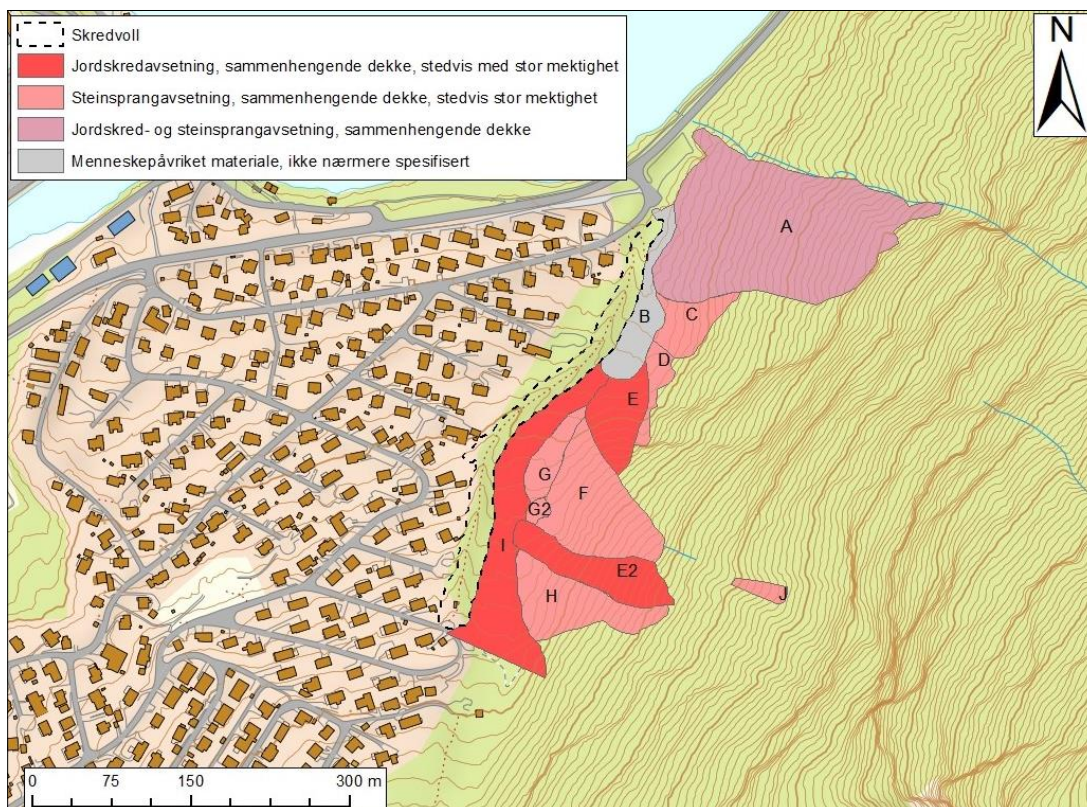


Figur 8: Vegetasjon i fjellsiden og flomskredviften på Vassbugen i 1952 til venstre (Årdal Sogelag, 2013). Vegetasjon i fjellsiden over Vassbugen april 2018 til høyre. Foto: Thomas Danielsen.

Drenering

Topografisk kart med bekkeløp og kvartærgeologiske avsetninger (Figur 9) viser vann i skredbanen ovenfor området F. Helt nord for skredvollen er det et bekkeløp som også har fungert som flomskredbane. Her dreneres også nok vann til at det er en liten bekk der.

Vegetasjonen i fjellsiden tar opp en del av nedbøren, mens topografien leder vannet som ikke blir absorbert av vegetasjon videre ned i dalen. Skredvollen er drenert i retning nord.



Figur 9: Topografisk kart som viser bekkeløp og kvartærgeologiske avsetninger.

2.4 Klima

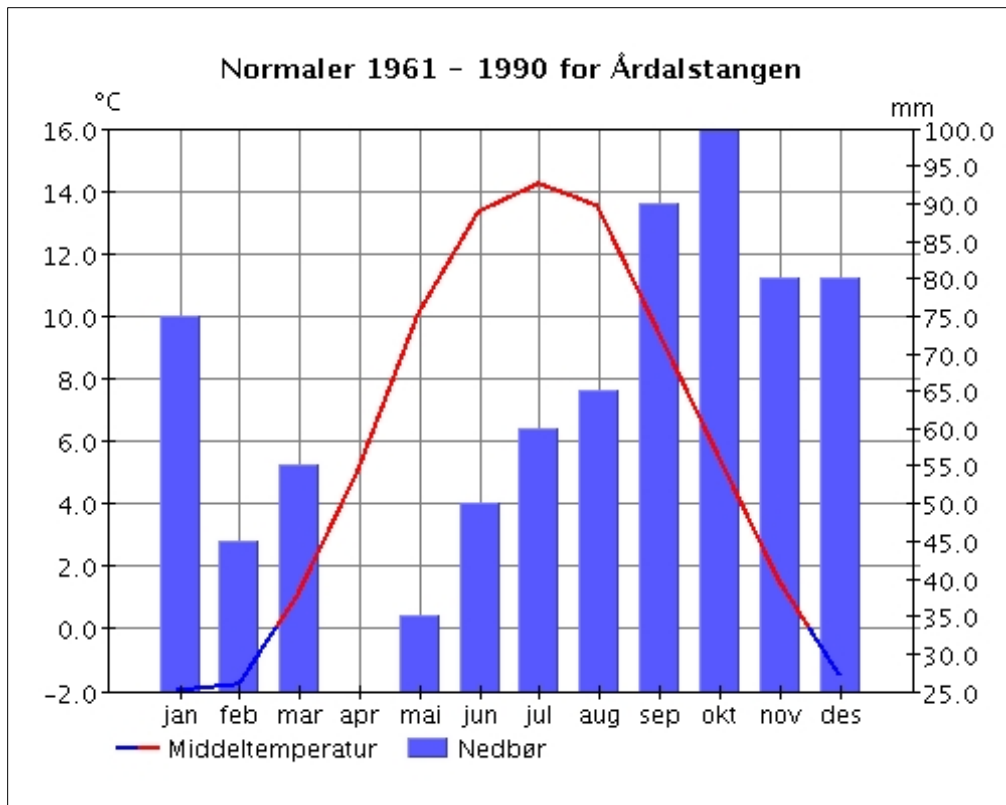
Med ca. 760 mm nedbør i året (Tabell 2), er Årdalstangen et område med relativt tørt klima. Generelt faller mesteparten av nedbøren høst og vinter (Figur 10). Normalen viser at høstmånedene oktober vanligvis får mest nedbør, med i gjennomsnitt 100 mm. Nedbørmengden ligger deretter på rundt 75-80 mm fra november til januar, før den avtar fra februar og utover våren. I vintermånedene er den målte middeltemperaturen under 0° celsius, slik at en del av denne nedbøren kan ventes å komme i form av snø. Selv om gjennomsnittet sier at temperaturen er under 0° celsius i vintermånedene, er det ikke gitt at den alltid er under frysepunktet når det faller nedbør. Det legger seg vanligvis ikke mye snø i området (Jan Roy Dalheim, pers.med.). Normal årsmaksimum for snødybde i perioden 1971-2000 (Figur 12), viser at det ikke akkumulerer store snømengder nede på selve Årdalstangen. Snødybden øker imidlertid med økende høyde i terrenget.

Som ellers på Vestlandet, kommer nedbør på Årdalstangen som regel med lavtrykk fra nordvest. Dette vil dermed være den dominerende nedbørsførende vindretningen (Figur 11). Denne vindretningen vil være mer representativ for fjelltoppene som omringer Årdalstangen. Siden mesteparten av snøakkumulasjonen her skjer i høyden, er det allikevel denne vindretningen som vil være mest interessant med tanke på snøskred.

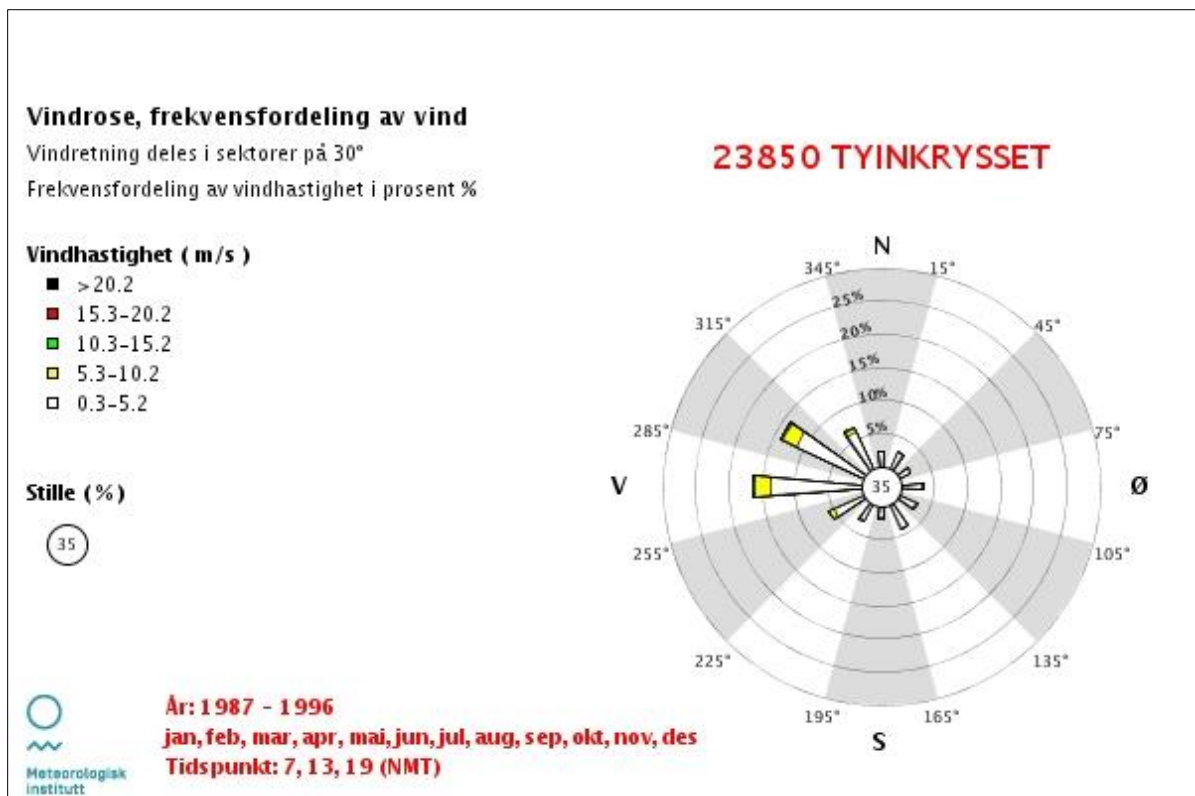
Ettersom det faller lite nedbør på Årdalstangen, er fryse- og tine prosesser sannsynligvis en viktig kilde til steinsprang her (kapittel 1.2). Fjellsiden ovenfor Vassbugen er nordvest vendt, og dermed blir den ikke påvirket av solen store deler av dagen. Utover våren og på høsten, når temperaturen varierer fra under 0° celsius på nattetid til plussgrader på dagtid, vil dette være et potensielt problem.

Tabell 2: Månedsnormal for nedbør gjennom normalperioden 1961-1990 (eklima.no, 2018). Dataen er vist grafisk i Figur 10.

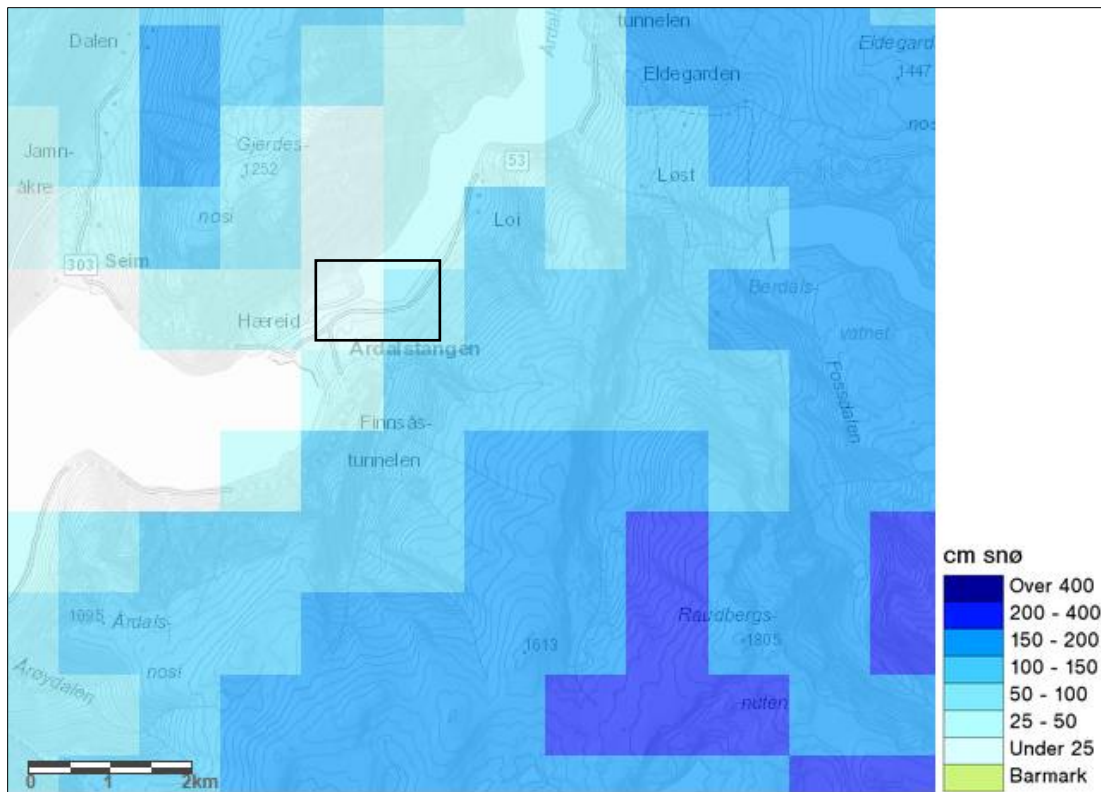
Månedsnormaler 1961 – 1990 for nedbør (mm)													
	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	år
Gjennomsnitt	75	45	55	25	35	50	60	65	90	100	80	80	760



Figur 10: Månedsnormal for temperatur og nedbør på Årdalstangen, i perioden 1961-1990 (eklima.no, 2018). April er måneden med i gjennomsnitt minst nedbør, med 25 mm. Oktober er måneden med mest nedbør, med 100 mm.



Figur 11: Nærmeste representative målestasjon befinner seg i Tyinkrysset i Oppland. Rosediagram med data fra 1987-1996, viser dominerende vindretning fra vest og nordvest (eklima.no, 2018).



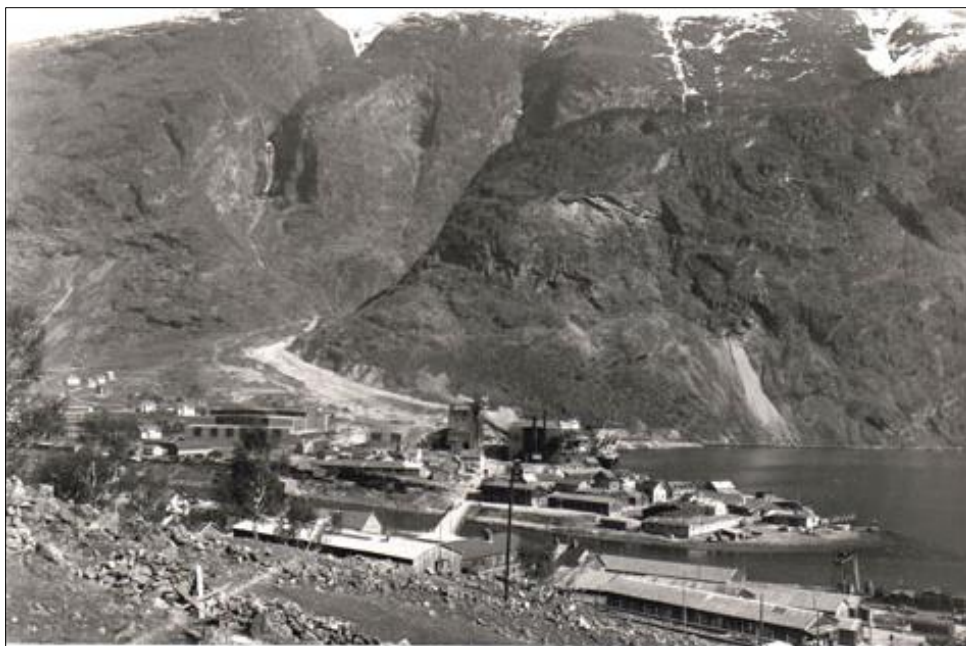
Figur 12: Normal års maksimum av snødybde, i perioden 1971-2000 (seNorge, 2018).

2.5 Tidligere skredhendelser

Tidligere rapporter viser til flere skredhendelser ved Vassbugen. Totalt er det fem registrerte skredhendelser, der tre av de er beskrevet i tidligere rapporter. Av disse er det omtalt to steinsprang/steinskred og ett jordskred (Figur 14). Steinsprangene har løsnet på våren, trolig grunnet frostsprengning, mens massestrømmene har gått om høsten som følge av store nedbørmengder eller våren i forbindelse med snøsmelting.

Flomskred 5. mai 1934

5. mai 1934 gikk et flomskred fra Geisdøla som en følge av oppdemte vannmasser (Starheim, 2013). Tidligere på våren hadde et større snøskred løsnet og demmet opp dalen. Bekkeløpet i bunnen av Geisdøla ble blokkert og vannmassene bygget seg opp. 5. mai brøt massene. Vannmassene tok med seg løsmasser som lå i bekkeløpet ned mot Vassbugen. I det skredet kom ut fra Geisdøla bevogde massene seg sørover og ut mot fjorden (Figur 14). Skredet tok ingen menneskeliv, men derimot et fåtalls husdyr. I tillegg ble en del dyrkbar jord totalskadet.



Figur 13: Flomskredavsetningen fra skredet i 1934 er lokalisert ut fra Geisdøla og har beveget seg ut mot fjorden. Utsprengt masse fra tunnelen gjennom Finnssåsen som Owefossen i dag kommer ut fra kan observeres som steinur til høyre i bildet. Bildet er tatt fra vest til øst (Nord mot venstre). Foto: Aage W. Owe 1951. (Årdal Sogelag, 2013).

Steinsprang 6. mai 1967

6. mai 1967 gikk et steinsprang fra fjellsiden mellom Geisdøla og Årdalsvatnet (Jørstad, 1967). Skredet løsnet fra ca. 350 mo.h. og sendte blokker i fritt fall ned mot Vassbugen. Nedover skredbanen ble blokkene fragmentert og dro med seg store mengder løsmasser og vegetasjon. Mesteparten av massene fra skredet ble avsatt på skredviften under fjellpartiet. Likevel nådde enkeltblokker på flere m³ lenger ned og avsatte seg bare titalls meter fra eksiterende bolighus. Årsaken til skredet er beskrevet som en kombinasjon av sprekkevanntrykk samt et omfattende system av trerøtter som har bidratt til rotsprenging (Jørstad, 1967).

Jordskred 22. oktober 1971

Tidlig på ettermiddagen 22. oktober 1971 gikk et jordskred 130 meter øst for skredet i 1967 (Børstad J. , 1972). Oktober 1971 var preget av sterk nedbør og dette regnes som årsaken til utglidningen av løsmassene. Skredet tok med vegetasjon og løsmasser i en bredde på 30-50 meter fra utløsningsområde til det ble avsatt ved fjellfoten. Skredet stoppet like ved Hagavegen 71 (Figur 5).

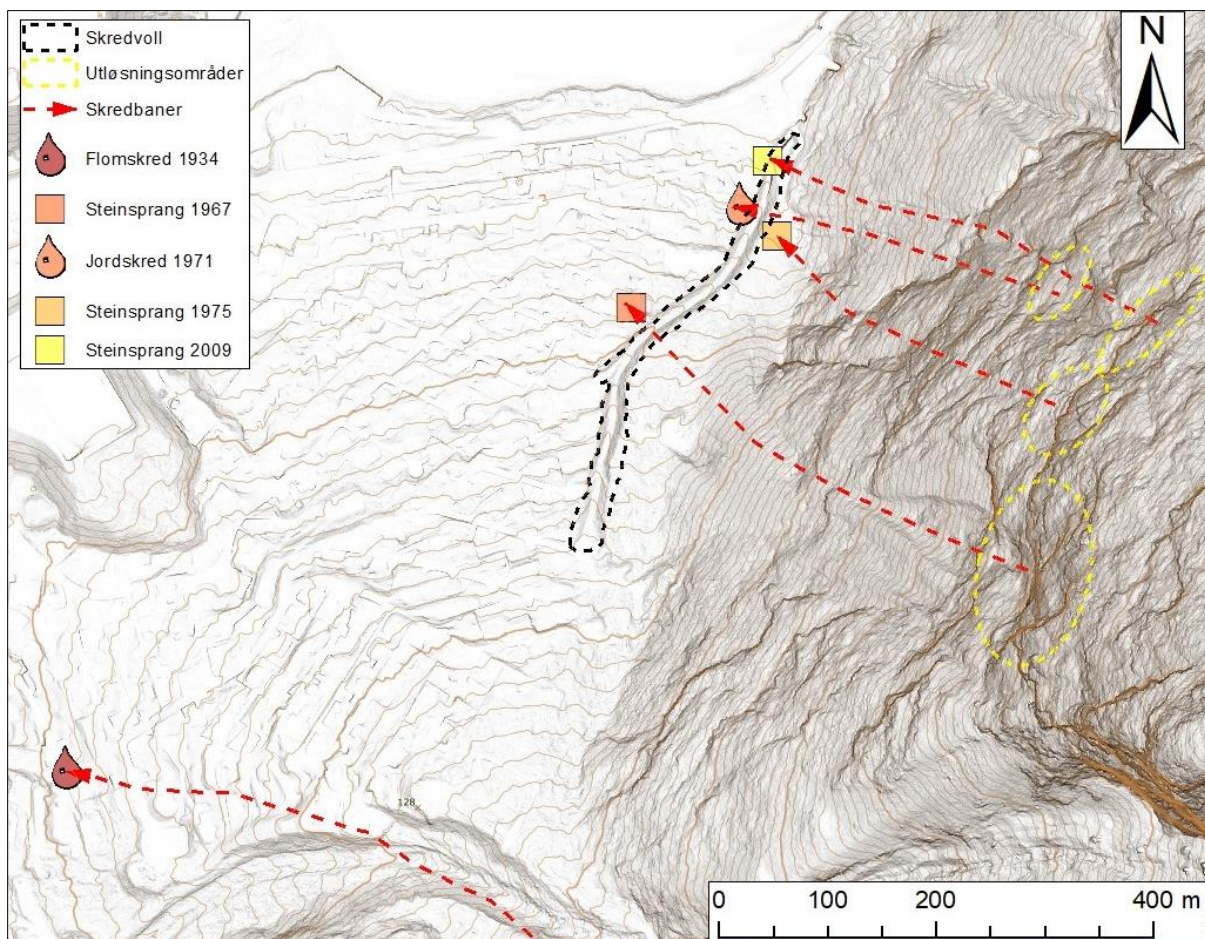
Steinsprang 15. juli 1975

15. juli 1975 gikk et steinsprang mot bebyggelse på Vassbugen. Omfanget av skredet er ukjent. Som en følge av steinspranget ble fylkesveien stengt og nærmeste beboere evakuert. Ingen liv

gikk tapt og det ble ikke registrert skade på eiendom. Hendelsen er omtalt av Furseth og hentet fra NVE-skredhendelser (NVE (c), 2017).

Steinsprang 25. april 2009

25. april 2009 løsnet et nytt steinsprang (Russenes, 2009). Skredet bredte seg ut fra utløsningsområdet og tok med seg alt av løsmasser og vegetasjon ned mot foten av fjellet. Majoriteten av skredmassene stoppet i uren ved foten av fjellet. En eller flere blokker skal ha beveget seg lenger da de har blitt luftbåret som en følge av kontakt med fjelloverflaten i skredbanen. Rester av disse blokkene skal ha vært i direkte kontakt med boligen på Hagavegen 71. Steinsplint som er blitt knust av en blokk i sammenstøt med fjellsiden, eller andre blokker var eneste steinmasse som nådde bebyggelsen. Spor fra blokkene har blitt observert i terrenget og skredbanen har blitt kartlagt av Russenes m.fl. En blokk på 3-4 m³ ble observert mellom den daværende skredvullen og Vatne.



Figur 14: Tidligere omfattende skredhendelser i nærheten av Vassbugen. Symbolene viser lengste registrerte utløp. Mindre skredhendelser er ikke inkludert. Usikkerheten rundt utløsningsområde til jordskredet i 1971 er stor på grunn av mangel på dokumentasjon. Det er mulig at skredet har opprinnelse fra bekkeløpet i overkant av avsetning A.

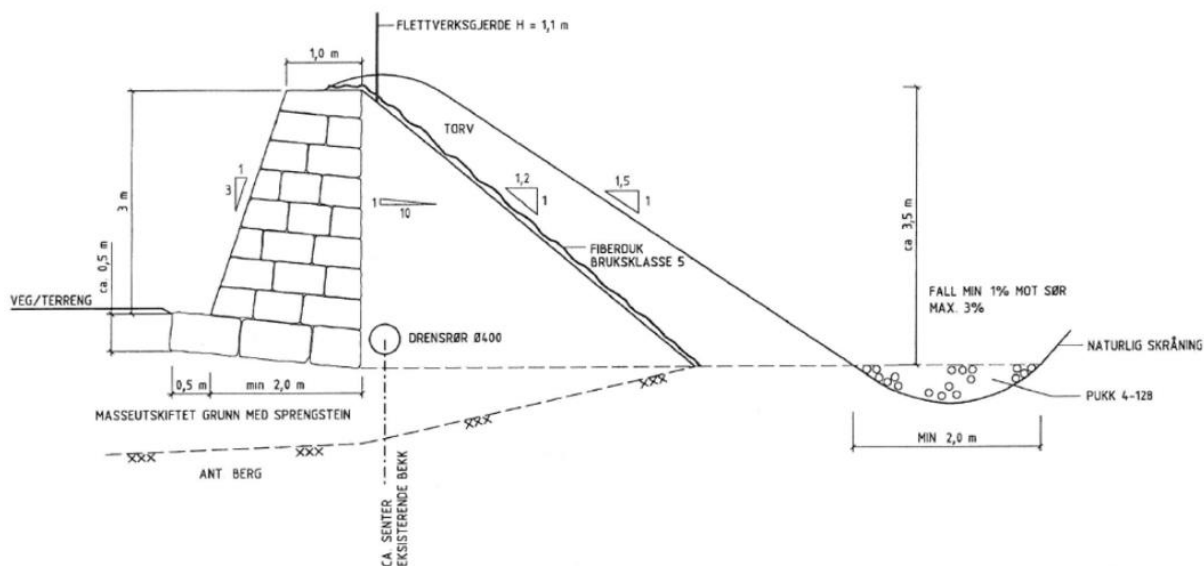
2.6 Eksisterende skredsikringstiltak

Skredvoller (Figur 15) blir ofte bygd for å sikre boligstrøk mot steinsprang, steinskred og snøskred. De er effektive og kan bidra til å redde liv og forhindre store økonomiske tap. Kontinuerlige skredhendelser over lengre tid kan redusere effektiviteten av skredvollen da de indre strukturene blir svekket. Sammen med dette vil støtsiden av skredvollen mot utløsningsområdet miste høyde ettersom det fylles opp med skredmaterial og det vil bli dannet en slak helning mot toppen. Dette vil redusere skredvollens evne til å ta imot og stoppe de store kreftene i et skred.

Etter steinspranget 6.mai 1967 var usikkerheten rundt skredsikring et viktig tema for Vassbugen. Med dette som bakgrunn ble det i 1969 gjennomført ny feltbefaring (Børstad J. , 1969) med hensikt å avklare problematikken knyttet til skredsikring av Vassbugen. Kommuneingeniør Hjelle samt teknisk konsulent Joar Børstad stod for feltkartlegging. De to kom fram til en samlet vurdering hvor sikring av bebyggelse på Vassbugen var nødvendig. Det ble bestemt at to fanggraver med 20 meter mellomrom skulle etableres mens tilhørende masser skulle plasseres som en skredvoll lenger mot bebyggelsen. Som en følge av anbefalinger presentert i rapporten ble to fanggraver og en skredvoll i bakkant etablert i 1970 (skredvoll vises på Figur 16, 1970). Fanggravene er ikke tydelige i terrenget i dag, men skredvollen har samme plassering.

Etableringen av skredsikringstiltaket i 1970 viste seg å ikke være tilstrekkelig nok med tanke på samfunnssikkerheten. Etter jordskredet i 1971 ble ny feltbefaring gjennomført (Børstad J. , 1972). Her kom anbefaling om forlengelse av fanggravene med flere hundre meter. I rapporten konkluderes det med å utvide skredvollen sørvest og nordøst med tilhørende lengder på 150 og 100 meter. Utvidelsen kom som en følge av steinspranget i 1975 og jordskredet i 1971 som hadde utløp lenger nord for den eksisterende skredvollen.

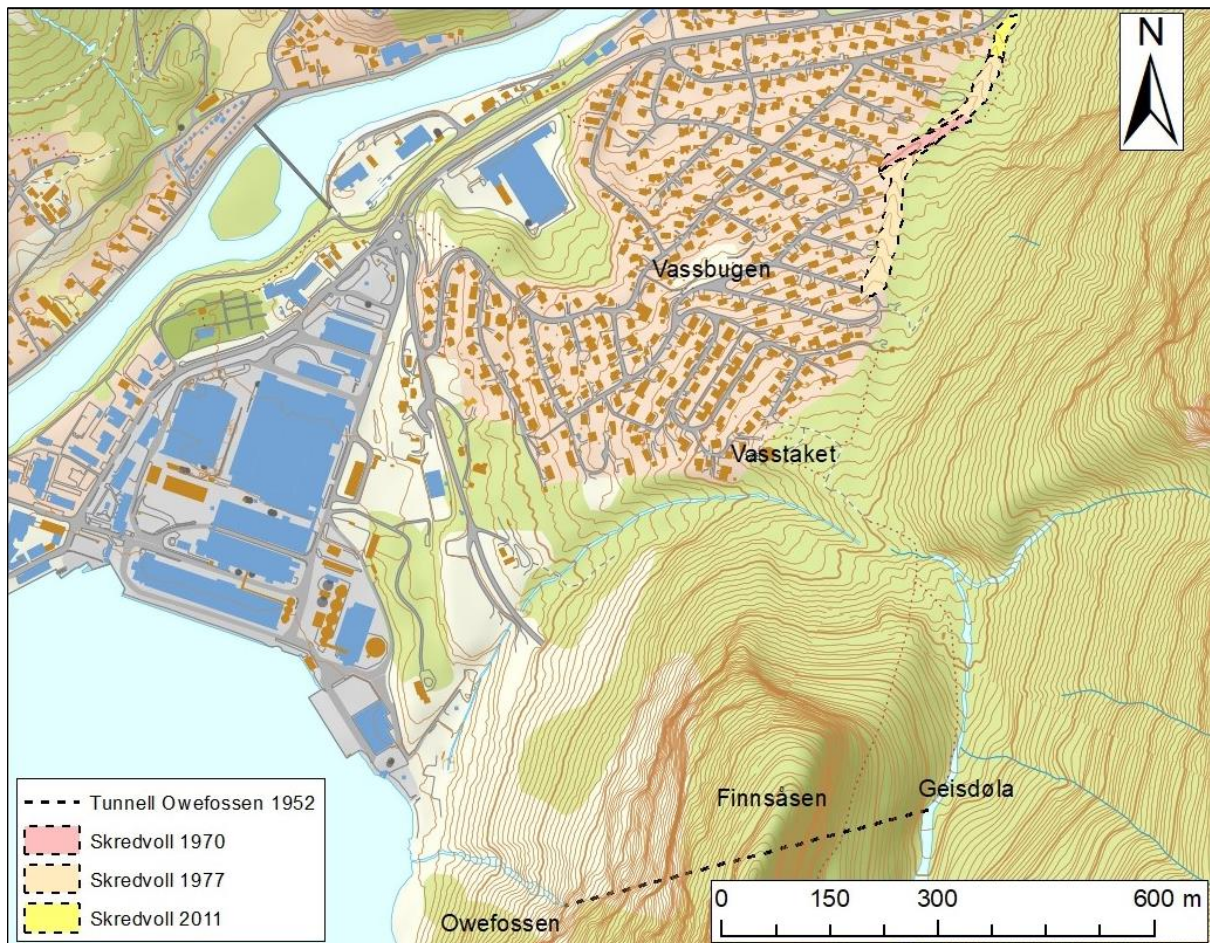
I 2011 ble den siste utvidelsen av skredvollen ferdigstilt. Den ble utført med en mer moderne standard og har en tilnærmet vertikal støtside mot fjellveggen. Hensikten vil være å hindre at blokker kan rulle over.



Figur 15: Prinsippskisse for skredvoll (Multiconsult, 2015)

I alt sikres nabolaget på Vassbugen med en skredvoll på ca. 440 meter med en høyde på 4-5 meter. I forkant av vollen er det planert ut område hvor anleggsmaskiner kan bidra til opprydding og sørge for lett tilkomst. Dette er viktig siden hovedinspeksjon skal gjennomføres hvert 4. år. Den nyeste delen er bygget av naturstein med forhold 3:1 i bakkant som skal virke som en motstandsdyktig skredbarriere med fylling (1:2) (Årdal Kommune (b), 2012). De eldre delene består av stedlige masser og sprengstein (Årdal Kommune (a), 2012). Massene fra trinn 1 og 2 av skredvollen er fraktet fra Steiggjetunnelen som ble bygget i 1977 (Jan Roy Dalheim, pers.med.)

I tillegg til skredvoller og fanggraver ble det som en følge av flomskredet i 1934 sprengt hull gjennom Finnsåsen for å lede vannet vekk fra Geisdøla (Starheim, 2013). Hensikten med å legge om bekkeløpet fra Geisdøla og ut gjennom Finnsåsen var å redusere vannmengden som vil samle seg opp dersom et skred nok en gang ville demme opp dalen, og dermed fungere som en sikring av boligfeltet mot flomskred fra Geisdøla. Tunnelen gjennom åsen ble åpnet i 1952 (Årdal Sogelag, 2013). Etter den ble bygget er det ikke registrert flomskredhendelser.



Figur 16: Skredsikringstiltak på Vassbugen fra 1952 til 2011. Første del av vollen ble etablert i 1970. Polygoner/tegninger er blitt konstruert på bakgrunn av feltkart fra 1972 (Børstad, 1972). Tunnelen ble ferdigstilt i 1952.

3 Metode

Under metode er alle verktøy og forberedelser nødvendige for oppgaven beskrevet. Dette er både befaring, kartlegging i felt, og dataverktøy som er brukt for å komme fram til resultatet for oppgaven. Metodene er beskrevet i samme kronologiske rekkefølge som de har blitt brukt.

3.1 Feltarbeid



Figur 17: Bilde tatt under feltarbeid i skille mellom avsetningsområde E og F, høyre til venstre. Nedenfor skredavsetningene, omtrent midt i bildet, synes skredvollen. Foto: Thomas Danielsen.

I løpet av feltdagene ble de potensielle utløsning- og utløpsområdene for steinsprang definert. Avsetninger og jordtyper ble kartlagt, for å si noe om terrengets naturlige dempingsfaktor. Vurdering av sannsynlig blokkstørrelse i utløsningsområdet, samt måling og merking med GPS punkt av de største blokkene i avsetningsområdene.

Utløsningsområder

Selve utløsningsområdene ligger utilgjengelig, med tanke på terreng og egen sikkerhet. Det ble derfor utført enkel befaring fra trygg avstand mellom utløsningsområdet og enden av turstien opp fra Vasstaket (Figur 16).

Skredbaner

Skredbaner er beskrevet som området mellom utløsningsområde og avsetningsområde. Skredbanene er blitt observert både nærme og fra avstand. Fra avstand er skredbanene kartlagt og fotografert. Nærobservasjoner av skredbaner i jordskredavsetninger er gjort der det er fremkommelig. Skredbaner i overkant av avsetningsområdene er ikke blitt nærmere undersøkt grunnet vanskelig tilkomst.

Avsetningsområder

Avsetninger ble kartlagt fra Fylkesvei 53 og langs med skredvullen og opp mot fjellsiden. Målinger av blokkstørrelser ble gjort med laser ved å holde lasermåleren på en side og en skrivebok på andre siden av blokken. Slik ble det målt lengde, bredde og høyde. Ved observasjoner og tolkning ble egenskaper til avsetningene bestemt. Avsetningsområdene ble kartlagt i papirform ved hjelp av LiDAR- og feltkart.

3.2 Intervju

Intervju blir gjort for å få et bedre bilde av hyppigheten til skredhendelser i området og datering av enkelthendelser. For å få best informasjon om skredhistorien er det viktig å snakke med beboerne i området. Personer som har bodd i området over lengre tid og/eller har familie som har holdt til der vil ofte ha viktig informasjon som ikke er like lett å finne selv i felt. Det som er viktig å få frem under intervju er tid for hendelse, hvor utløsningsområdet var, hvor skredet stoppet opp, type skred og størrelse.

Ved å hente inn slik informasjon blir det tydelig hva som virker som sikre kilder og ikke. Informasjon fra intervju er også til hjelp for å fastslå størrelse på 100-, 1000- og 5000 års skred.

3.3 ArcGIS

ArcGIS er et geografisk informasjonssystem (GEODATA, 2018) som i denne oppgaven er nødvendig for å gjennomføre forarbeid til steinsprangsimuleringer. Ved hjelp av ArcGIS kan geografisk data hentes ut med tilknyttet informasjon.

I løpet av prosjektet er to av programvarene brukt; ArcMap (ArcMap, v10.5.1.7333) og ArcScene (ArcScene, v10.5.1.7333). Under er de viktigste verktøyene brukt for å fremstille resultatet for de to programvarene beskrevet. Resultatet vil fremstilles som flere kart over hverandre (Figur 19).

3.3.1 ArcMap

Kartgrunnlag

Kartgrunnlag importeres som Topografisk Norgeskart fra Geonorge. Kartet importeres som WMS-kart (Web Map Service).

DTM (Digital terrengmodell) inneholder høydedata innhentet ved LiDAR-scanning fra fly eller helikopter. Høydedata og informasjon om avsetninger i terrenget er knyttet til denne filen. DTM-filen har en oppløsning på 1x1m. DTM-fil hentet fra hoydedata.no brukes sammen med Topografisk Norgeskart som kartgrunnlag.

Georeferering

Etter kartdata er innsamlet på papirform kan feltkartet georefereres over Topografisk Norgeskart ettersom feltkartet blir importert som JPEG fil uten tilhørende koordinatsystem eller orientering. Dette gjøres ved å bruke georefereringsverktøyet i ArcMap. Ved å bruke «Add Control Points» knappen kan kontrollpunkter velges for samme plass på både Topografisk Norgeskart og feltkartet. Feltkart blir dermed plassert digitalt med nøyaktig posisjon og størrelse. Dette er også gjort for feltkart fra 1972 som viser den daværende skredvollens utstrekning (Børstad J. , 1972).

Helningskart

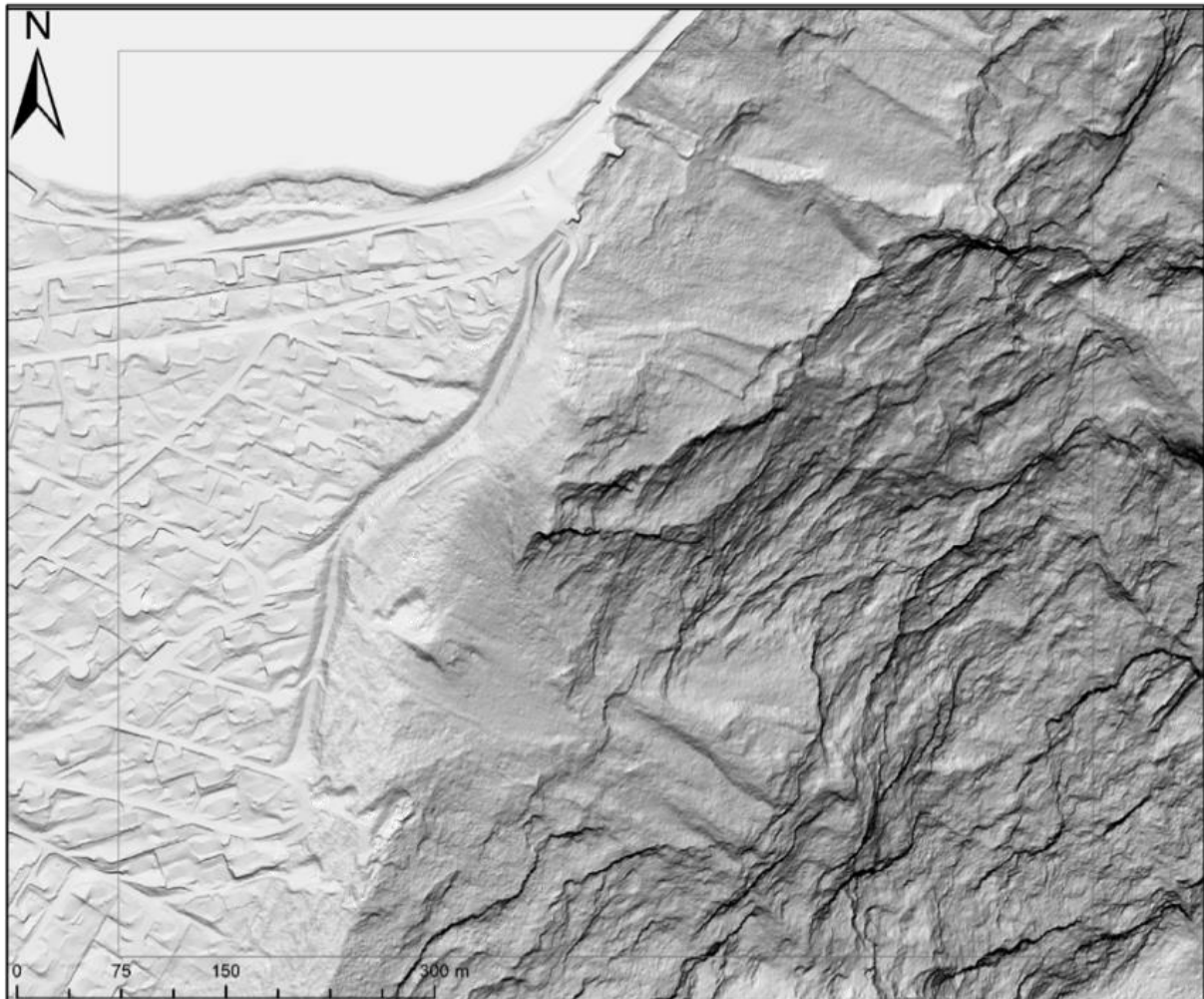
Helningskart blir fremstilt på grunnlag av DTM filen. Hensikten med helningskart er å kartlegge bratte skrenter eller områder som kan tolkes som utløsningsområde for skred. Dette gjøres ved å bruke «Slope»-verktøyer i ArcMap. Fra utdata kan en velge verdier mellom 0° og 90° med tilhørende farge. Ved å velge fire klasser med «breaks» på 0°, 30°, 45° og 90°. Utdata fra dette vil være intervaller på 0-30°, 30-45° og 45-90°. Hensikten med dette er å se områder med 45° helning eller brattere da dette er relevant for steinsprang. Intervallet mellom 45° og 90° markeres med rød farge.

Fjellskyggekart/Hillshade

Fjellskyggekart (Hillshade-kart) blir på samme måte som helningskartet gjort på grunnlag av DTM filen av Årdalstangen. Ved å velge «Hillshade (Spatial Analyst)»-verktøyet og bruke DTM filen som input kan «Azimuth» og «Altitude» velges. «Azimuth» bestemmer hvilken himmelretning den modellerte solen skal komme fra. Med andre ord hvor skyggen skal bli dannet. «Altitude» bestemmer vinkelen til solen fra horisontalt til vertikalt (0-90°). Verdier for

de to faktorene bestemmes av hvilket område som skal studeres. Hensikten med et fjellskyggekart er å tolke og observere avsetninger, strukturer og andre landformer som en vanligvis ikke kan se på ortofoto eller Topografisk Norgeskart.

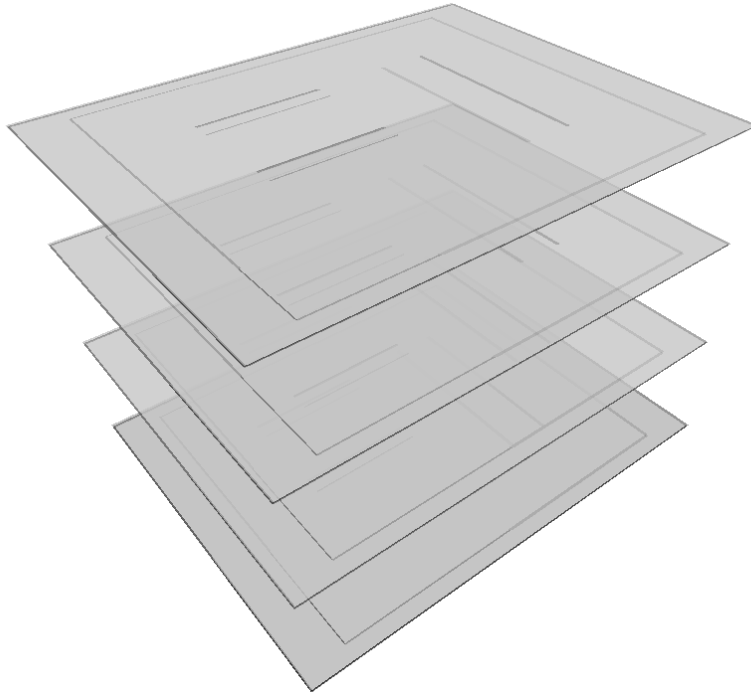
Kartet er laget av nedlastet terrengmodell (Høydedata, 2018). Ettersom fjellsiden heller mot nordvest, vil fjellskyggekart med sol fra sør vise skygge på aktuelle partier. Et eksempel er 185° (azimuth) og 70° (altitude) (Figur 18).



Figur 18: Fjellskygge-kart laget på grunnlag av terrengmodellen av Årdalstangen.

Tegninger/polygoner

Etter at feltkart er lagt til med tilhørende områdeinndeling kan polygoner tegnes over områdene for å få kartet digitalt. Farger, gjennomsiktighet og en rekke andre funksjoner velges for å optimalisere polygonene.



Figur 19: Lagdelt fremstilling av hvordan data vil bli presentert i ArcMap.

3.3.2 ArcScene

Import

Allerede prosesserte filer fra ArcMap importeres til ArcScene. Siden filene er fra ArcMap har de et tilknyttet koordinatsystem og filene vil legge seg over hverandre. Bilder kan også legges til, men må georefereres i ArcMap.

Fremstilling i 3D

For å fremstille data i tre dimensjoner i ArcScene kreves et terrengdatagrunnlag. Ved å importere en terrengmodell kan lag i samme posisjon legges over modellen og fremstilles i 3D. Hensikten med å fremstille data i 3D er å få et utsnitt av modellområde i en mindre skala enn virkeligheten, men likevel nøyaktig. For å fremstille andre lag «flytende» på terrengmodellen velges «layer properties» for det aktuelle laget. I «Layer Properties» vinduet velges «Base Heights». I «Elevation from surface» boksen velges «Floating On a Custom Surface» og terrengmodellen (DTM) velges som grunnlag. Når dette gjøres fremstilles alle lag i 3 dimensjoner med den enkle forutsetning at de har samme posisjon i det samme koordinatsystem.



Figur 20: Eksempel på fremstilling av fjellskyggekart i ArcScene. Hensikten med figuren er å vise flomskredviften som Vassbugen er lokalisert på. Grønn pil viser nord retning.

3.4 Steinsprangsimuleringer

Til simulering av steinsprang er det benyttet to ulike programmer, Rockyfor3D (Rockyfor3D, v5.2.6) og RocFall (RocFall, v6.011). De to ulike metodene er beskrevet i dette kapittelet.

3.4.1 Rockyfor3D

Rockyfor3D er et program som simulerer steinsprang av enkeltblokker og deres skredbaner i tre dimensjoner (Dorren, 2015). For å bestemme utløpsbanene til blokker, kombinerer modellen algoritmer gitt fra fysiske lover og en stokastisk tilnærming (sannsynlighet). Dette gjør Rockyfor3D til en «sannsynlighetsprosess-basert steinsprangbane modell» (Dorren, 2015), som kan brukes til steinsprangsimuleringer både regionalt, lokalt og enkle utløpsbaner. Ved modellering i programmet, er det hovedsakelig utregning av utløpsbanen til hver simulert blokk i 3D, translasjon og rotasjons hastighet langs banen og energitap ved kollisjon med underlaget eller vegetasjon (ecorisQ, 2018).

Verktøyboksen PimpMyRockyfor (PimpMyRockyfor, v1.1) brukes til å eksportere data i riktig format fra ArcMap til programvaren Rockyfor3D. Ved å velge «shapefilen» som inneholder

egenskapene for modellområdet og tilhørende DTM kart som input, blir en rekke tekstfiler (.asc) etablert. Dette kan alternativt gjøres enkeltvis for hver parameter ved å brukes verktøyet «Raster to ASCII conversion». Rasteroppløsning velges som input og må være likt for alle utdata filene.

For å oppnå gode resultat i Rockyfor3D, er det viktig med gode inndata som er representative for hvert enkelt område.

3.4.1.1 Inndata

For å kunne kjøre simuleringen i Rockyfor3D, kreves inndata med minimum 10 sett av rasterkart, med samme cellestørrelse og avgrensning. Raster data betyr at hele området dekkes av et rutenett (grid), med konstant cellestørrelse (f.eks 2x2, eller 4x4), der hver celle har en unik verdi.

Terrengmodell

Topografien i området blir beskrevet med en digital terrengmodell. Dataen fra terrengmodellen er basert på laserscanning (LiDAR) av området, med raster cellestørrelse på 1x1 m.

Blokkstørrelse (D1, D2, D3)

For utløsningsområdene defineres størrelsen på de potensielle utløsningsblokkene gjennom tre rasterkart. Størrelsen på blokkene er gitt med lengde (D1), bredde (D2) og høyde (D3), målt i meter. Dersom én av disse størrelsen har en verdi på null, vil ikke rastercellen bli vurdert som en kilde. Basert på en forhåndsbestemt prosent, varierer de ulike verdiene tilfeldig for å gi en volumvariasjon av blokkene.

Jordtype

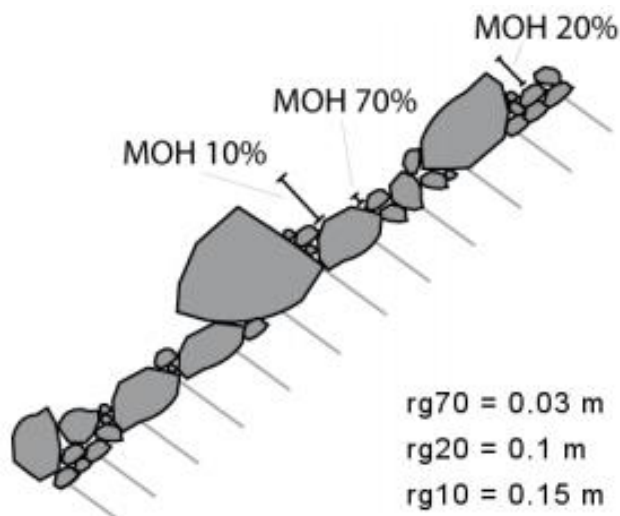
Hvilke typer underlag som er i utløpsområdene, beskrives i rasterkart med verdier mellom 0-7 (Tabell 3). Her betyr en lav verdi f.eks. en jordtype med mye fint materiale, som kan gi mye dempning av energien fra steinsprang. En høy verdi betyr derimot hardere material som gir mindre demping. De ulike jordtypene defineres gjennom feltarbeid, og avgrenses videre som polygon i ArcMap.

Tabell 3: Jordtyper brukt i Rockyfor3D (Dorren, 2015).

Jordtype	Beskrivelse
0	Elv, eller myr, eller material som en blokk kan penetrere fullstendig
1	Fint materiale: mektighet > ~100cm
2	Fint materiale: mektighet < ~100cm, eller blanding av sand/grus
3	Talus (diameter < ~ 10cm), eller medium kompakt jord med mindre stein fragmenter, eller traktor vei
4	Talus (diameter > ~ 10cm), eller kompakt jord med store stein fragmenter
5	Berggrunn med tynt forvitret materiale eller jorddekke.
6	Berggrunn
7	Asfalt vei

Overflateruhet (Rg70, Rg20, Rg10)

Overflateruheten i utløpsområdene er gitt ved tre rasterkart (rg70, rg20 og rg10), med verdier mellom 0 – 100 m. Overflateruheten beskriver blokker som ligger i terrenget og kan bidra til å redusere energien til steinsprang. Den er gitt ved de tre verdiene rg70, rg20 og rg10, som måles under feltarbeid ved å avgrense homogene soner i området, og tegne de som polygoner på kartet. Hvert av polygonene definerer da overflateruheten i området gitt av rg-verdiene. Verdiene måles i meter, og er høyden blokker langs terrenget måler vinkelrett fra overflaten, for de representative 70-, 20- og 10% av materialet innenfor sonen. Dette vises også i Figur 21.



Figur 21: Måling av hinder i terrenget (Dorren, 2015)

Overflateruheten er en parameter som bestemmer energitapet når steinsprang treffer overflaten, på vei ned fjellsiden, ved utregning av den tangentielle restitusjonskoeffisienten. Det er derfor viktig å være nøye med R_g -verdiene, da programmet er sensitiv for disse parameterne.

Blokkform

Et rasterkart skal definere formen til blokkene. Formen defineres ved en verdi mellom 0-4 (Tabell 4), hvor hver celle. Dersom det ikke er definert en blokkform, vil programmet simulere enten ellipsoide eller kuleformet blokk, avhengig av de gitte dimensjonene (D_1 , D_2 og D_3).

Tabell 4: Verdier for blokkform i Rockyfor3D (Dorren, 2015).

Blokkform	Beskrivelse
0	Ingen blokkform
1	Rektangulær blokk
2	Ellipsoide formet blokk
3	Kule formet blokk
4	Disk formet blokk (minste dimensjon er maks. 1/3 av de to andre dimensjoner)

Bergartstetthet

For utløsningsområdene skal det også være et rasterkart med tettheten (kg/m^3) til bergarten. Dette kartet definerer dermed tettheten til blokken som løsner fra fjellsiden. Fra hver celle som har en verdi (f.eks. 2700 kg/m^3), simulerer programmet utløsning av én eller flere blokker (avhengig av innstilling). Celler som har nullverdi, blir derimot ikke vurdert som kilde.

3.4.1.2 Utdata

Etter simulering i Rockyfor3D, lagres resultatet som rasterfiler. Framstilling av resultatet gjøres så ved å laste rasterfilene inn i ArcMap, hvor resultatet kan vises på flere måter. Generelt vises resultatene som farger, som representerer forskjellige verdier.

Antall passeringer per celle, er en måte å framstille den på. Denne måten viser hvor mange blokker som da har hatt et lenger utløp enn den bestemte cellen.

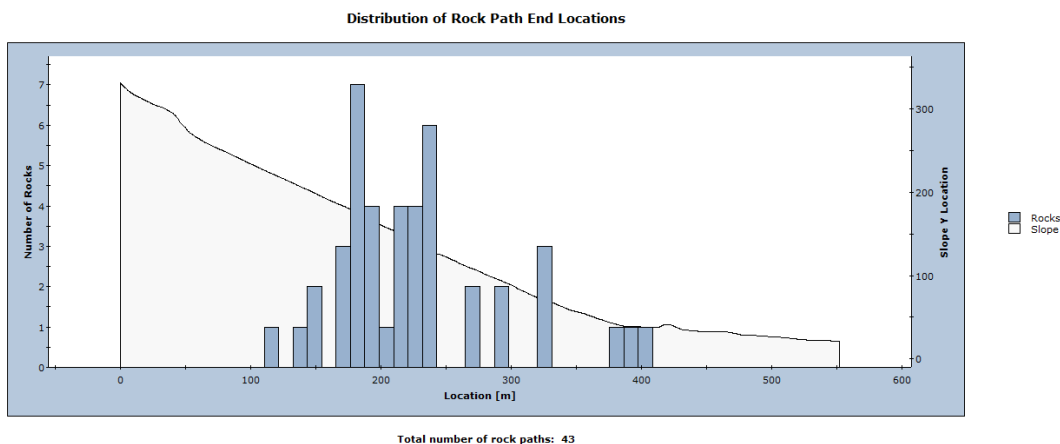
For å se hvor langt de simulerte blokkene har nådd, kan det framstilles ved antall blokker avsatt. Resultatet viser da hvor mange blokker som har blitt avsatt i hver celle.

Ut i fra simuleringen kan også resultatet vises i form av sannsynlighet for rekkevidde på blokkene.

3.4.2 RocFall

«RocFall er et statistisk analyseprogram» (Rocscience (c), 2018) for simulering av steinsprang langs et todimensjonalt profil. Langs profilet beregnes energi, hastighet og spretthøyde til blokkene. Antall blokker som simuleres bestemmes i innstillingen og etter endt simulering kan fordelingen av blokkenes utløp vises grafisk (Figur 22).

For å lage et profil som kan brukes til steinsprangsimulering i programvaren RocFall behøves et 2D profil med x (avstand fra utløsningsområde) og y (mo.h.) koordinater. Fra helningskart ser en på potensielle utløpsområder og bruker «Create Steepest path» fra et valgt punkt som start i «3D Analyst» verktøyboksen. Dette ble gjort seks steder langs fjellsiden ovenfor skredvollen. Verktøyet velger den bratteste veien ned fjellsiden fra valgt punkt. Profilet vil dermed ikke gå i en rett bane, men likevel være mest representativ siden profilet følger den brattest mulige banen. Ved å trykke på «Profile-Graph» plottes et 2D profil fra valgt bratteste bane. Koordinatene eksporteres som tekstdokument ved å høyreklikke på profilet og velge «Export». Koordinatene importeres til Excel og videre til RocFall.



Figur 22: Eksempel på en grafisk framstilling av blokkenes utløp. Grafen viser antall blokker som er simulert og hvor langt utløp de har hatt fra utløsningsområdet.

Ved oppstart av simulering i RocFall, må analysemetoden bestemmes. Det er to mulige metoder, Lump Mass eller Rigid Body (Rocscience (b), 2018). Ved å velge Lump Mass metoden, blir ikke blokkenes størrelse tatt med i beregningen. Blokkene blir dermed vurdert som små punkter med masse. I den andre analysemetoden (Rigid Body) kan også blokkformen defineres. I simuleringene som er utført i denne oppgaven, er metoden Rigid Body benyttet.

3.4.2.1 Inndata

Etter å ha valgt analysemetode for simuleringen, kan egenskaper for utløsningsområdet, blokkene og materialeegenskaper langs terrengprofilet/utløpsområdet defineres.

Utløsningsområdet

Utløsningsområdet for profilet kan defineres på to måter. Ved å velge «add seeder» fra verktøylinjen, kan ett punkt i profilet velges. Programmet vil da simulere steinsprang som løsner fra akkurat det punktet. Dersom terrengprofilen har flere mulige løsnepunkt, bør derfor utløsningsområdet defineres ved å velge «line seeder». Utløsningsområdet defineres da langs en linje i terrenget, med flere mulige løsnepunkter. I utløsningsområdet velges også antallet i tillegg til masse og tetthet til blokkene som skal kjøres i simuleringen. Dersom analysemetoden er rigid body, kan også blokkformen defineres. I tillegg kan *utgangshastighet* («initial conditions») til blokkene bestemmes. Denne utgangshastigheten defineres med horisontal, vertikal og rotasjons hastighet og start/initial rotasjon (ikke mulig å velge ved Lump mass). For utgangshastighetene kan også normal distribusjon og standard avvik velges.

Utløpsområdet

Når utløsningsområdet er bestemt, kan materialtyper i utløpsområdet som vil ha forskjellig effekt på blokkene defineres, samt legge til eventuelle andre parametere som kan ha en dempningseffekt på blokker.

Det avgrenses så i profilet f.eks. hvor stor andel som er berggrunn eller talus, og i våres tilfelle skredvoll. Her defineres også flere parametere som forteller om materialenes egenskaper, derav restitusjonskoeffisient, friksjon og overflate ruhet (kan velges ved Rigid Body metode).

Restitusjonskoeffisient (R) defineres som forholdet mellom blokkens utgående og innkommende hastighet (Rocscience (d), 2018), vist i formel 1.

$$R = \frac{V_{utgående}}{V_{innkommende}} \quad (1)$$

Den sier altså noe om hvor mye energi som går tapt, når blokken kolliderer med fjellsiden. Koeffisienten deles inn i normal (R_N) og tangential (R_T) restitusjon, der den normale restitusjonskoeffisienten er forholdet mellom utgående og innkommende hastighet normalt på overflaten (fjellsiden). Den tangentielle restitusjonskoeffisienten er forholdet mellom utgående og innkommende hastighet, langs med overflaten (tangential). Resultatet av analysen kan være

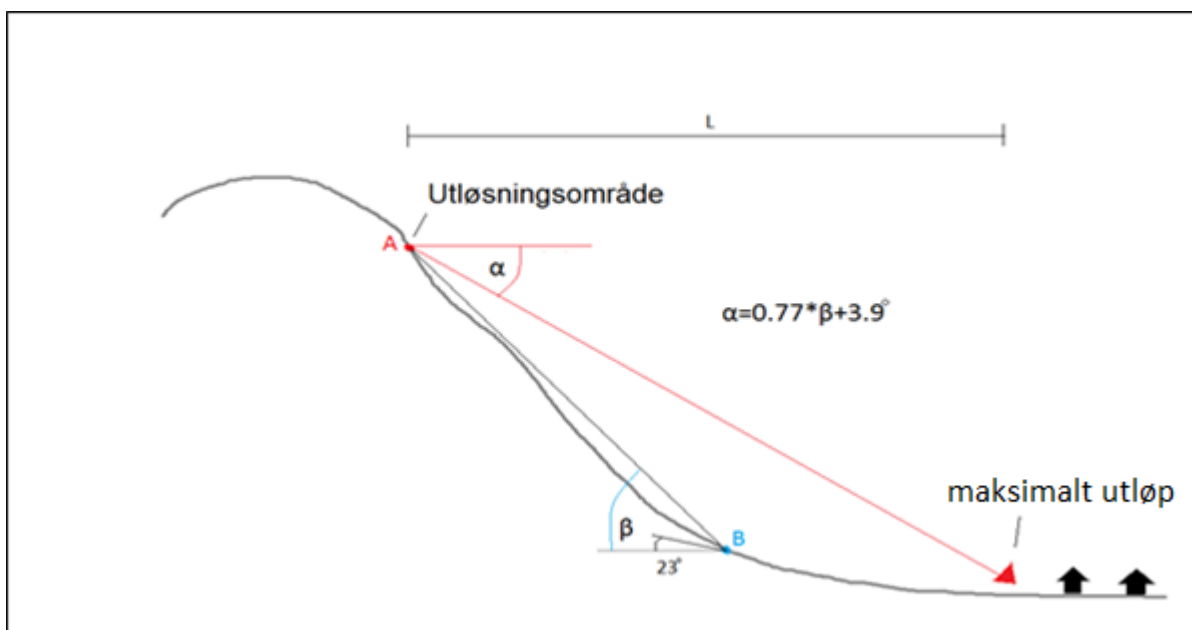
sensitiv til verdien som velges for restitusjonskoeffisienten, og det er derfor viktig med valg av denne.

Overflateruhet blir benyttet til å modellere variasjonene i geometrien langs profilet (Rocscience, 2003). I Rigid Body metoden defineres overflateruheten ved å angi spacing (avstand mellom amplitudene) og amplitude (avstand fra overflaten). I Lump mass metoden kan ikke gjennomsnittsverdien for overflateruhet endres.

For alle parameterverdiene velges normal fordeling med 3x standard avvik.

3.5 α - β metoden

α - β metoden (Domaas, 1994) er en analog skredkartleggingsmetode som blir brukt for å se på maksimalt utløp til steinsprang. Metoden brukes når et utløsningsområde (A) samt helning i terrenget er kjent. Punktet i skredbanen hvor terrenget flater ut til 23° , markeres som B. β er vinkelen mellom utløsningsområdet og 23° punktet (Figur 23).



Figur 23: α - β metoden kort oppsummert. Modellen brukes til å finne maksimalt utløp fra et gitt utløsningsområde.

β vinkelen brukes i formel 2 for å finne maksimal utløpslengde (L) fra utløsningsområdet. Denne gis fra α vinkelen.

$$\alpha = 0.77\beta + 3.9^\circ \quad (2)$$

NVE α - β metode

Beregning av utløpslengde med α - β , kan også gjøres direkte fra NVE sine websider (NVE, 2018). I verktøyet velges først skredbane og skredtype. Deretter markeres det med en linje (breakline) på tvers av skredbanen, der hvor fjellsiden flater ut (23° punktet). Det maksimale utløpet beregnes så automatisk, og markeres med tre punkt i den valgte skredbanen. Tre forskjellige utløp vises ettersom at α vinkelen i likningen NVE benytter er gitt med $\pm 2.16^\circ$ (σ).

3.6 Faresone for steinsprang basert på TEK17

En vanlig metode i faresonekartlegging er å relatere blokkvolum til returperioden basert på antagelsen om at små blokker har kortere returperiode enn store blokker. For eksempel har NGI under skredfarekartlegging i Arnadalen, Bergen, definert blokker på 1 m^3 , 10 m^3 og 15 m^3 med returperiode på henholdsvis 100 år (S1), 1000 år (S2) og 5000 år (S3) (NGI, 2012). Maksimalt utløp på 1000-års blokker vil da være en indikator på avgrensningen mellom sikkerhetsklasse 1 og sikkerhetsklasse 2.

Vi har kombinert flere metoder for å anslå størrelsen på steinspranghendelsene som bestemmer sikkerhetssonene for 100-, 1000-, og 5000-årsskred. Innsamlet mål på blokkstørrelser i avsetningsområdene samt målinger av de største blokkene som er observert er blitt brukt for å få en matematisk utregning av størrelsene. Denne metoden har blitt sammenlignet med observasjoner hentet inn fra samtaler med beboere i området.

Metoden vi har brukt for å bestemme størrelsen på disse skredene er basert på Eidsvåg, 2012. Her gjøres det en utregning av en gjennomsnittsblokk for avsetningsområdet til hvert enkelt utløsningsområde for å bestemme størrelsen på 100-årsskred (S1 i TEK 17). For 1000-årsskred (S2) blir det gjort en vurdering med faglig skjønn, hvor størrelsen blir et sted mellom gjennomsnittsblokken og de største blokkene i avsetningsområdet. De største blokkene bestemmer størrelsen for 5000-årsskred (S3).

Blokkstørrelsene varierer langs foten av fjellet fra sør til nord. Dette gjør at blokkstørrelsen fra utløsningsområdene også bør varieres. Det er derfor delt inn i tre utløsningsområder med ulike verdier for utløsningsblokker knyttet til S1, S2 og S3.

4 Resultat

Under dette kapittelet presenteres resultat og vurderinger. Dette inkluderer feltarbeid, vurdering av ulike skredtyper og steinsprangsimuleringer. Med dette som grunnlag fremlegges avgrensning av faresoner for steinsprang.

4.1 Feltarbeid

Utløsningsområdet

Det er i bakkant av skredvollen flere potensielle utløsningsområder for stein fra fast fjell (Figur 25). Befaring viser imidlertid at det er spesielt området tegnet inn lengst sør i Figur 25, som er mest aktivt. Dette synes ved flere ferske blokker uten forurensning eller mose, samt lite tilgrodd talus. I utløsningsområdet synes også flere lyse felt som tyder på nylige utløsninger.

Fra befaring ble det observert sprekkesett nærme utløsningsområde Sør. Sprekkene gir opphav til rektangulære blokker (Figur 24), noe som ble tatt med i vurderingen av blokkform i steinsprangsimuleringene.

Tidligere rapporter viser til utløsningsområder i kotehøyde 350-500 m som det mest aktive. Terrenghelningsskartet (Figur 7) viser at dette området har mellom 45°-90° helning. Derfor er dette et potensielt utløsningsområde for steinsprang. Dette bekreftes også igjen fra feltbefaring.

I overkant av utløsningsområdet strekker Kyrfoss fjellet seg videre opp mot 1280 mo.h. Under feltbefaring har disse områdene blitt vurdert som lite relevante (Kapittel 4.3). Utløsning av skred fra rennen i overkant av utløsningsområde i nord vil heller ikke være relevant. Dette skredløpet leder skredmassene vekk fra Vassbugen og ut mot Årdalsvatnet.

Det er ikke sikt til hele utløsningsområdet fra skredvollen. Oppfatningen av dette er at helningen her er mindre enn 60° da skrenten bryter siktlinjen til toppen av Kyrfoss fjellet. Arealene mellom utløsningsområdet og toppen av fjellet er også relativt utilgjengelig.



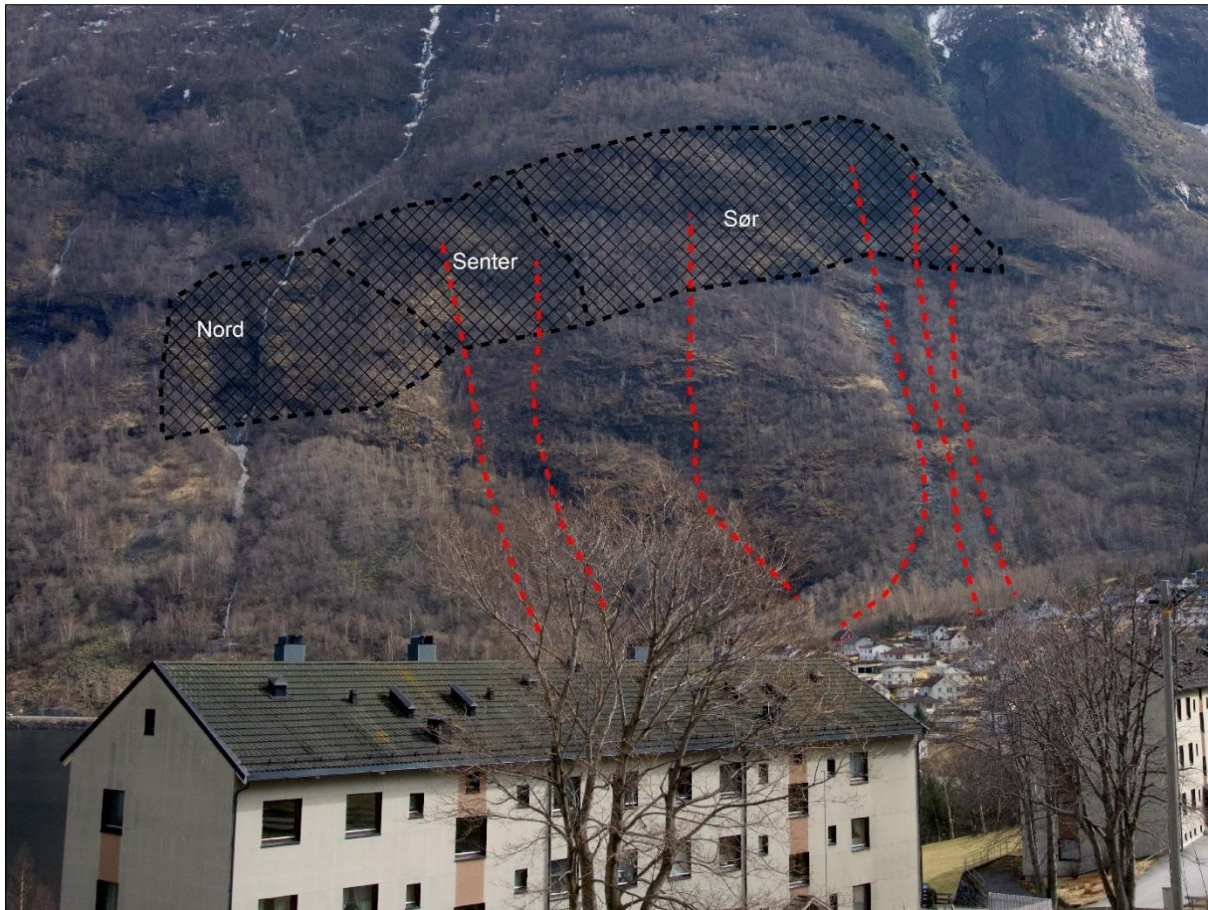
Figur 24: Sprekkesettene gir opphav til rektangulære blokker. Foto: Thomas Danielsen.

Skredbaner

Mesteparten av overflatearealet mellom utløsningsområdet og avsetningsområdet er dominert av tynt dekke med vegetasjon. En markant skredbane er kartlagt i overkant av område F (Figur 27). Skredbanen akkumulerer mindre skredmasser som senere kan løsne som jordskred og hvor mesteparten av tilhørende masse avsettes i område E. Dette kan skje som et resultat av store nedbørmengder eller kraftig snøsmelting. NVE-aktshetskart for jordskred viser også fare for skred fra samme renne i overkant av Blikkeskredene (Figur 31). Avsetning E er også tolket som jordskredavsetning. I tillegg viser «Steepest path»-verktøyer i ArcMap retning fra rennen og inn i avsetning E.

I overkant av område A er en skredbane lokalisert sammen med et bekkeløp. Dette tolkes som opprinnelsen til flomskred avsetningene som dekker deler av området A. Nøyaktig utløsningsområde for lokaliteten er vanskelig å fastslå da det trolig er løsmasser som ligger i bekkeløpet som kan løsne ved stor vannføring. Dette kan skje flere steder i bekkeløpet.

Mellom skredbanen i overkant av område A og F, er det flere mindre skredbaner. Skredbanene er relativt tilgrodd og regnes som mindre aktive. Simuleringer er likevel blitt gjennomført fra tilhørende utløsningsområder.



Figur 25: Utløsningsområde med tilhørende skredbaner i overkant av Vassbugen. Utløsningsområdene er delt inn i 3 områder; Nord, senter og sør. Skredbanene under senter regnes som mindre aktive. Fokus for simulering har vært område sør og senter da området i nord beveger seg utenfor Vassbugen og ut i Årdalsvatnet.. Skredbanene er de samme profilene brukt i modellering i RocFall. Fra høyre til venstre, profil 1-6. Foto: Thomas Danielsen.

Avsetningsområder

I felt ble det gjort en kvartærgeologisk kartlegging av avsetningene (Figur 27). De ble delt inn i fire hovedkategorier: Jordskredavsetning (Figur 26), steinsprangavsetning og kombinert jordskred- og steinsprangavsetning. I tillegg til disse tre er et område med menneskepåvirket materiale også registrert og kartlagt.

Område mellom skredvollen og fjellsiden er preget av mye løsmasser som stammer fra tidligere skredhendelser. Av dette ser det ut som skred fra fast fjell er det hyppigste og det som dominerer fjellsiden mest. Fra rennen i overkant av område F har det blitt avsatt mindre blokker som en følge av steinsprang. Jordskred fra denne avsetningen kan løsne ved store nedbørsmengder eller utløsning av andre skredhendelser. Skredmassene er lokalisert i område J i underkant av utløsningsområdet (Figur 27). Det er trolig at dette avsettes i område E, da dette har blitt bestemt til jordskredavsetning på bakgrunn av levere.

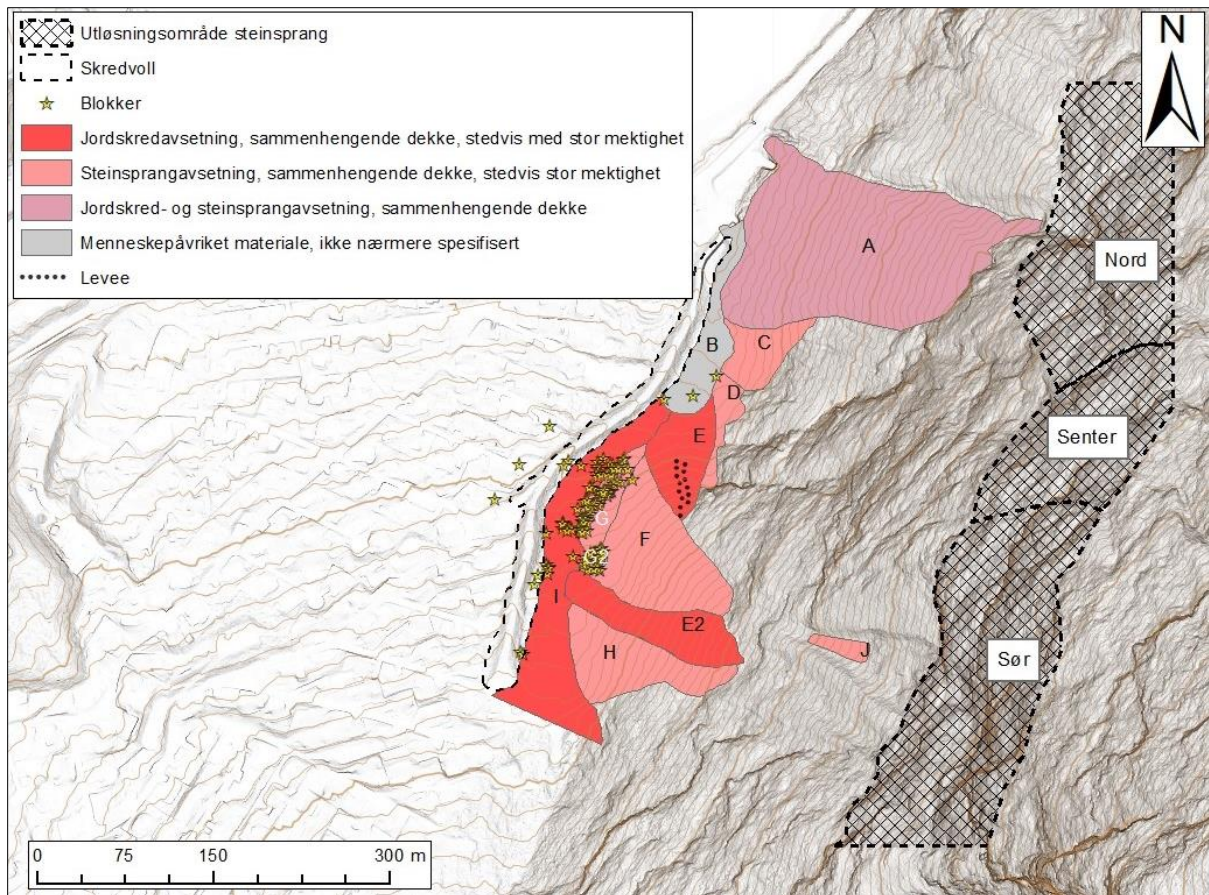
Sammen med den kvartærgeologiske kartleggingen har områdene blitt kartlagt med lokaliteter fra A-J. Område som skiller seg ut fra disse er blokkbeltet i område G. Beltet består av store blokker med høye Rg-verdier, og fremstår som en naturlig barriere i terrenget.

Blokker med volum fra 2 m³, i ytterkant av tilhørende avsetningsområde, er plottet inn ved hjelp av GPS. Fra feltobservasjoner er 3 blokker lokalisert på utsiden av skredvollen. Blokkene har kommet etter at boligfeltet ble bygget, men før skredvollen ble etablert. Den største blokken observert innenfor modellområde er delvis nedgravd, men er beskrevet som på størrelse med en minibuss (Jan Roy Dalheim, pers.med.).

Område E har en markant skredbane fra toppen av avsetningen og mot bunnen. Skredbanen kan observeres på fjellskyggekartet av avsetningen (Figur 18). Fra samme figur kan det se ut som en lobe i enden av skredbanen, men denne er ikke like tydelig i felt. Langs med skredbanen vises rygger fra jordskred.



Figur 26: Jordskredavsetning i område E2. Foto: Thomas Danielsen.



Figur 27: Kvartærgeologisk kart av skredavsetninger i området. Blokkene på vestsiden av skredvullen har kommet før skredvullen ble etablert. Området mellom avsetning- og utløsningsområde er vurdert som berggrunn med tynt dekke av vegetasjon. Fargekoder og kodebeskrivelse er hentet fra Norges geologiske undersøkelse sine hjemmesider (NGU, 2015).

Blokkform

Basert på avsetningene, bilder og observasjoner i utkanten av utløsningsområdet sør hvor det lot seg gjøre, ble blokkformen i steinsprangsimuleringene bestemt til å ha rektangulær blokkform.

Skog

Gjennom feltarbeid ble det utført målinger av diameteren på trærne mellom skredvullen og utløsningsområdet. Dette ble gjort for å vurdere om skogen vil ha en effekt på steinsprang, og dermed bør inkluderes i steinsprangsimuleringer. Skogen ble delt inn i områder med lik vekst, hvor det ble utført målinger på representative trær, for å finne gjennomsnittlig trediameter. Polygoner som viser inndeling av de ulike områdene er vist i Figur 40.

Tabell 5 viser gjennomsnittlig trediameter for de målte områdene.

Tabell 5: Gjennomsnittlig trediameter knyttet til område 1-13. Alle målinger er gitt i cm.

Trediameter													
Område	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Gj. snitt (cm)	2,5	2	9,5	14	3,5	5	12	15	30	22	15	18	10

4.2 Potensielle skredtyper

Som nevnt i kapittel 1.2, er det hovedsakelig tre potensielle skredtyper på Årdalstangen. På Årdalstangen vises både snøskred, jord- og flomskred og steinsprang med lange utløp på aktsomhetskart (NVE (c), 2017). Det betyr derimot ikke at alle skredtypene utgjør like høy risiko, mye grunnet klima.

Aktsomhetskartene fra NVE, viser områder som potensielt kan være utsatt for skred. Kartene er laget på grunnlag av en GIS-analyse (NVE (c), 2017). Ved bruk av en terrengmodell, er utløsningsområder definert ut ifra de forskjellige helningene for hver enkelt skredtype (kapittel 1.2). Når utløsningsområdene er definert, regnes utløpsområdet ut automatisk. For snøskred gjøres dette med en empirisk α -b metode (NVE (c), 2017). For steinsprang baseres utregningene på en empirisk modell utarbeidet av NGI (NVE (b), 2017).

4.2.1 Snøskred

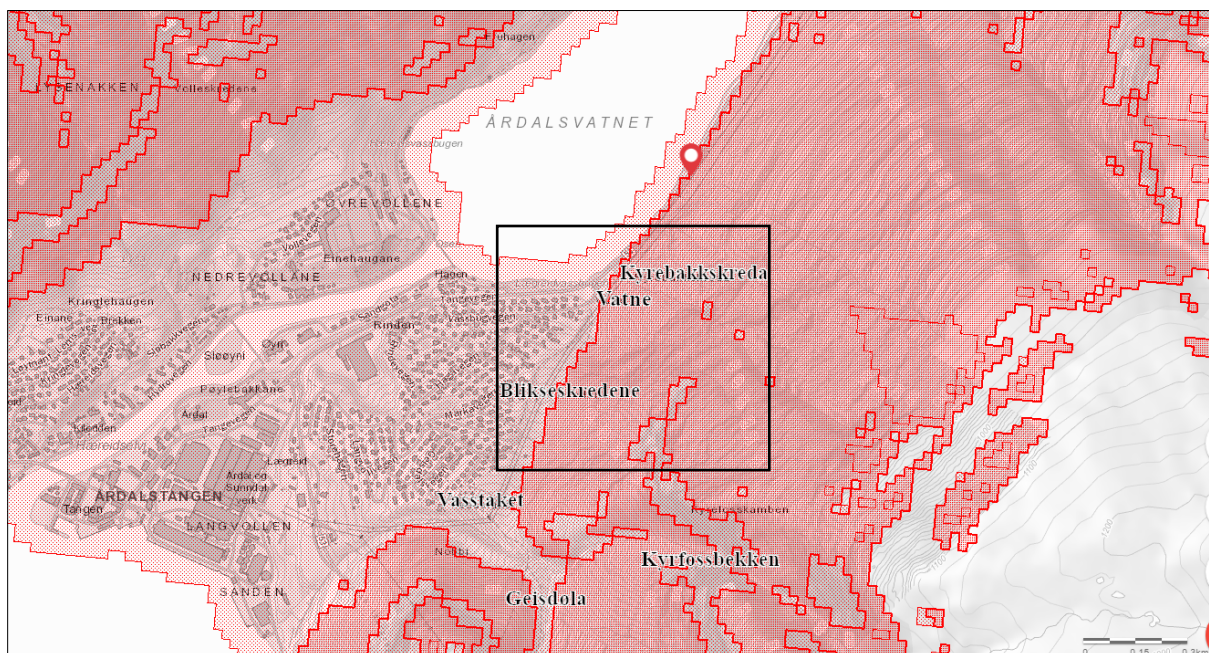
Aktsomhetskartet for snøskred (Figur 28), viser at det potensielle utløpsområdet dekker hele Årdalstangen (noe som også dekkes av snøskred fra andre siden av dalen). Utløsningsområder er alt terreng som er 30° eller brattere.

Klimaet på Årdalstangen er nokså tørt, med ca. 760 mm i året (Tabell 2). Dette betyr at akkumulasjon av snø gjennom vinteren ikke er særlig stor. Dette bekreftes også etter samtale med Årdal kommune (Jan Roy Dalheim, pers.med.), som sier at det sjeldent legger seg snø i området. Dette vises også ved normal års maksimum av snødybde, i Figur 12. Den viser at det normalt akkumulerer lite snø nede på Årdalstangen, men mengden snø øker med høyden i terrenget.

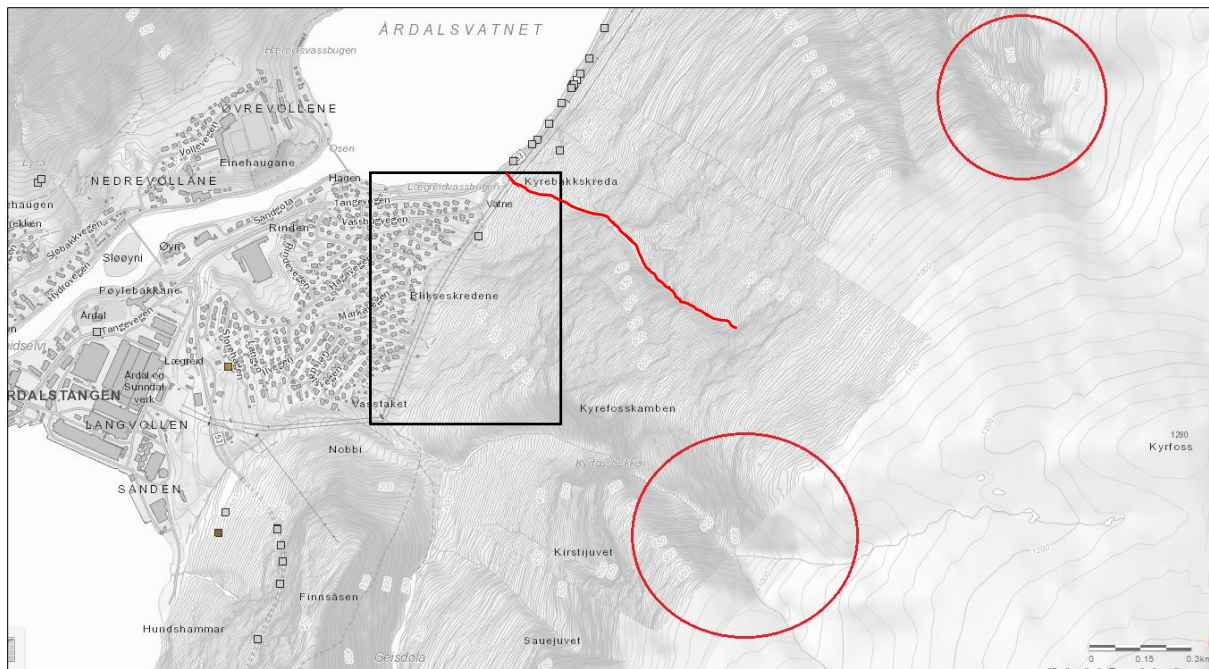
Nedbør på Vestlandet kommer som regel i forbindelse med lavtrykk drevet inn med hoved vindretning fra vest og nordvest (Figur 11). Det er da gjerne i de øst og sørøst vendte sidene at skavler dannes på toppen av konkave formasjoner. Fjellsiden bak Vassbugen er nordvest vendt, og problemet med skavler på denne siden vil være mindre. Derimot vil skavler kunne dannes på andre siden av dalen.

Vindretningen kan imidlertid variere, og det er ikke gitt at nedbør alltid kommer fra nordvest. Med nedbør fra andre himmelretninger, er det likevel få foretrukne formasjoner i fjellsiden, hvor snø typisk akkumulerer. Eksempel på disse formasjonene er vist i Figur 29.

Det er observert én renneformasjjon ovenfor Kyrebakkskreda (Figur 29), som har potensiale til å samle snø. Gjennom renneformasjjonen renner også en liten bekk som kan bidra til våte løssnøskred. Ved mye snøfall ned i rennen, ved f.eks. skavlbrudd, kan bekken potensielt demmes opp og senere briste i våte løssnøskred som også kan dra med seg annet materiale ned fjellsiden. Utløp for skred fra denne rennen, vil trolig følge bekkegelelet, og dermed ikke true noe annen bebyggelse enn bilveien. Dette er imidlertid vanskelig å vurdere, da området ligger nokså utilgjengelig og må vurderes fra bilder og kart.



Figur 28: Aktsomhetskart for Snøskred, viser potensielle utløsningsområder i sterk rød og utløpsområder i svak rød (NVE, 2017). Den røde markøren nord for innrammet område, viser hvor snøskredet fra 1994 hadde utløp.



Figur 29: Innringet i rød vises slike konkave formasjoner hvor skavler kan akkumulere, og linjen viser renneformasjon over Kyrebakskreda.

Fjellsiden er ellers tett vegetert med trær (hovedsakelig bjørk), som er med å stabilisere snødekket og beskytte mot vind (Figur 30).

Sett bort ifra at fjellsiden er bratt og stort sett over 30° , er ikke dette et typisk terreng for naturlig utløsning av snøskred. Dette er også fordi terrenget i bakkant tidvis er såpass bratt at snø ikke akkumulerer i stor grad.



Figur 30 Området er godt vegetert, noe som er med å bidra til å stabilisere snødekket (Norge i bilder, 2018)

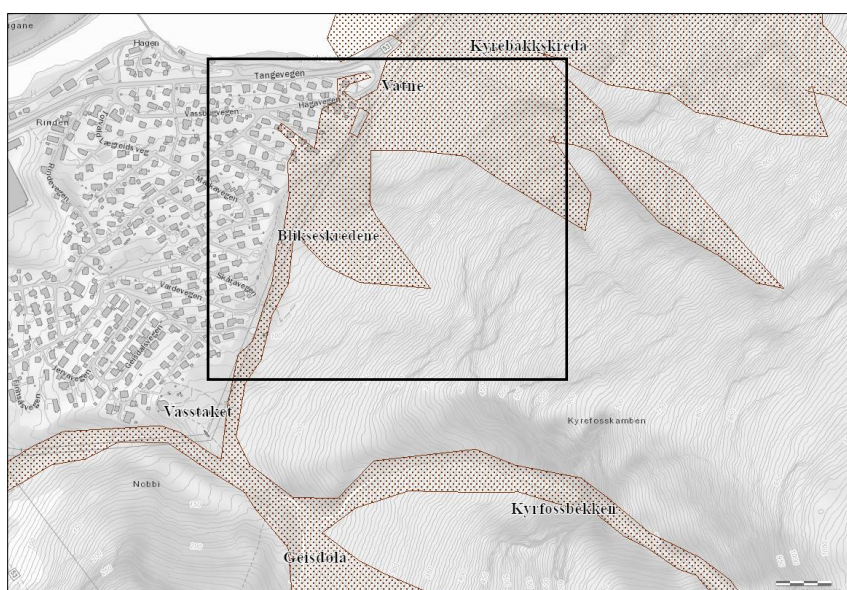
4.2.2 Jord- og flomskred

Aktsomhetskart fra NVE, viser flere potensielle utløsning- og utløpsområder for jord- og flomskred. I alle disse områdene er det gjennom feltarbeid kartlagt jordskredavsetninger. Spesielt i området Vatne og Kyrebakskreda, er dominert av jordskredavsetninger, som trolig kommer fra renneformasjonen lenger opp i fjellsiden. Denne rennen har bratte sidevegger, og sannsynligvis løsner steinsprang og avsettes nede i rennen. Ved høy vannføring i vassdraget gjennom rennen, kan disse blokkene bli ført nedover og dra med seg enda mer materiale underveis.

Ovenfor Blikkeskredene er en liknende situasjon, i det som fra feltarbeid er vurdert som det mest aktive området for steinsprang. Da de største blokkene har blitt avsatt i talusen, avsettes mange av de mindre og nyere blokkene i en liten renneformasjon, ikke langt nedenfor utløsningsområdet. Som i den andre renneformasjonen ovenfor Kyrebakskreda, renner det også her vann i form av en liten bekk gjennom avsetningene i rennen. På samme måte vil den kunne være en utløsende faktor for jord- og/eller flomskred på dager med mye nedbør og høy vannføring.

Aktsomhetskartet viser at større jord- og/eller flomskred fra Geisdøla og Kyrfossbekken kan ta nye løp på baksiden av Vasstaket og skredvollen (Figur 31), istedenfor ned mot fjorden.

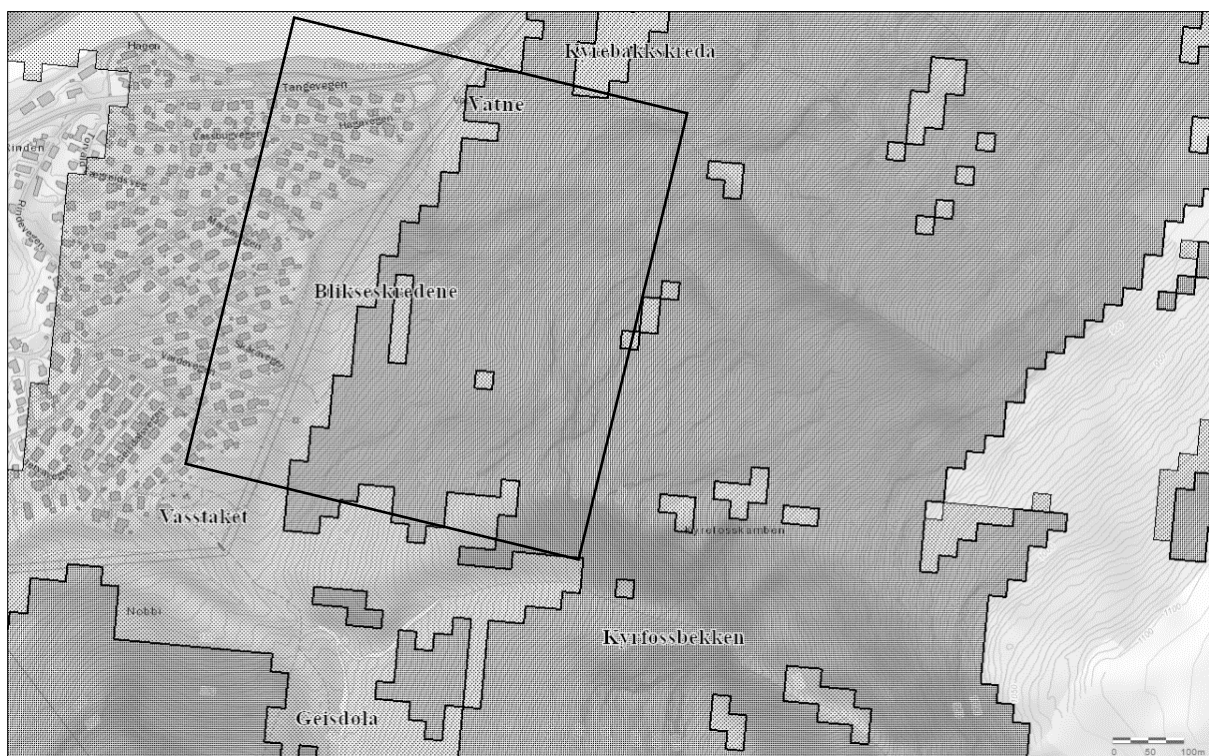
I området mellom Blikkeskredene og Vatne, viser aktsomhetskartet utløp et lite stykke over skredvollen. Skredvollen vil heller trolig lede jord- og flomskred videre ned, på østsiden av skredvollen.



Figur 31: Aktsomhetskart for Jord- og Flomskred (NVE, 2017).

4.2.3 Steinsprang

Av de ulike potensielle skredtypene i området, er steinsprang det som går med størst hyppighet. Spesielt fra utløsningsområdet ovenfor Bliksekskedene, som framstår som det mest aktive utløsningsområdet. Talusen nedenfor er åpen uten særlig vegetasjon, noe som tyder på at steinsprang går med jevn hyppighet. Nederst i talusen er en del blokker tilgrodd av mose, og det kan virke som det er mindre hyppighet på de største blokkene (Figur 33). Mellom talus og skredvollen, ligger de største blokkene i hele området. Flere av disse er målt i felt, der den største er målt til ca. 28 m³.



Figur 32: Aktsomhetskart for steinsprang, utløsningsområder i mørk svart, og utløpsområder, i lys svart (NVE, 2017).



Figur 33: Nedre del av talus er godt gjengrodd av mose. Enkelte ferske blokker uten tilvekst ligger også spredt, vist med røde piler. Skredvollen kan sees i bakgrunnen, hvor toppen er markert med svart pil. Bildet er tatt mot Årdalsvatnet. Foto: Thomas Danielsen.

Mellom Blikkeskredene og Vatne, er det også kartlagt steinsprang avsetninger gjennom feltarbeid. Det er imidlertid mer vekselvis avsetninger mellom jordskred og steinsprang her. I tillegg ble det ikke observert mange ferske blokker. Allikevel ligger det flere store blokker også her, som viser at større steinsprang kan gå fra tid til annen.

Aktsomhetskartet for steinsprang (Figur 32), viser at utløpsområdet for steinsprang dekker store deler av boligfeltet Vassbugen. Når utregningene for utløpsområdet er gjort er det ikke tatt hensyn til terrengformer og vegetasjon, slik at dette ikke viser den reelle, men bare den potensielle skredfaren.

4.2.4 Videre skredvurdering

Områdene vurdert som foretrukne skredbaner for snøskred, har alle utløp som ikke truer bebyggelsen på Vassbugen. Potensielt kan snøskred som nevnt løsne i alt terreng som er brattere enn 30°. Området bak Vassbugen vurderes som et lite sannsynlig utløsningsområde, særlig på grunn av klima. Det er heller ingen tidligere registrerte hendelser fra dette området.

Jordskredavsetninger er observert flere steder i fjellsiden bak Vassbugen. En tidligere hendelse har også hatt utløp som har nådd bebyggelse (Hagaveien 71, Kapittel 2.5). Dette var imidlertid før skredvollen ble bygget. Skredet hadde derfor trolig ikke hatt like lang rekkevidde i dag. I Området hvor skredet hadde utløp, har i dag skredvollen en bratt støtside i tillegg til at terrenget heller ned mot nord. Eventuelle jordskred vil derfor trolig bli ledet videre av skredvollen, og derfor ikke ha utløp over. Bekkeløpene som er observert i området har heller ikke særlig stor vannføring. Lite vann i jordskred, vil gi kortere utløpet.

Med dette utelukkes ikke muligheten for snøskred og jord- og flomskred. De blir derimot vurdert som skredtyper som ikke framstår like truende for Vassbugen, som det steinsprang gjør.

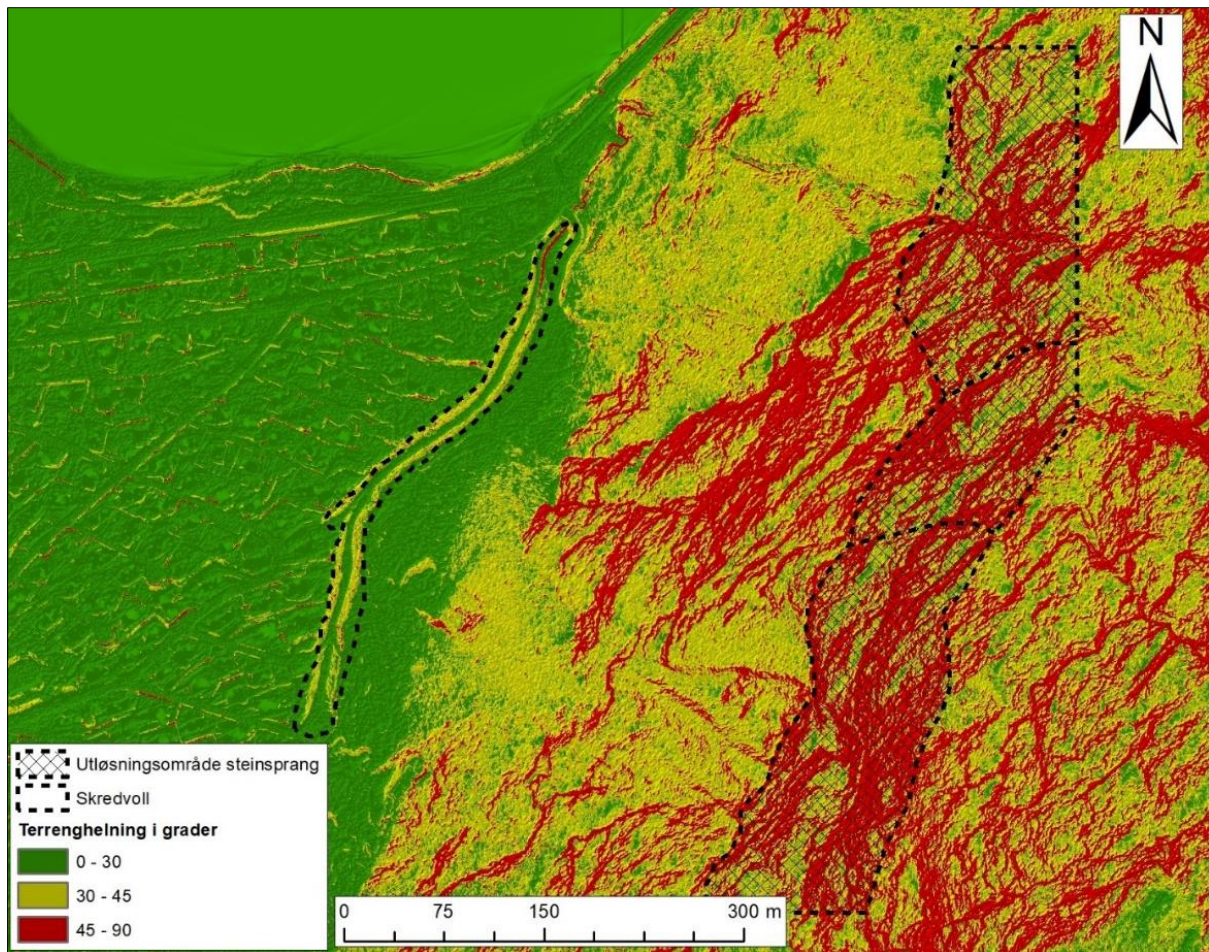
På bakgrunn av feltobservasjoner og vurderingene gjort i dette kapittelet, vil vi i fortsettelsen ta for oss steinsprang.

4.3 Steinsprang – utløsningsområder

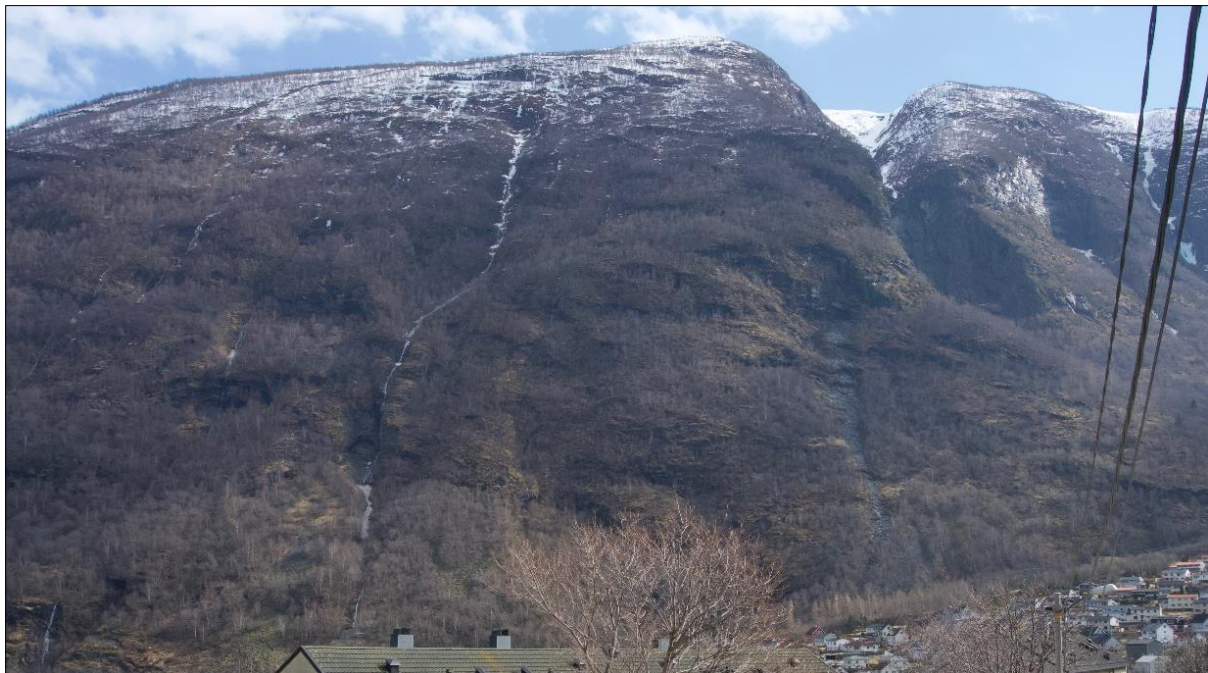
Potensielle utløsningsområder for steinsprang, er alt terreng som er 45° eller brattere (Kapittel 1.2). Å definere alt dette som utløsningsområder blir for unøyaktig. Utløsningsområdene for steinsprang er derfor blitt definert ved hjelp av egne feltobservasjoner, bilder av fjellsiden og terrenghelningskart.

På helningskart vises store deler av fjellsiden øst for skredvollen, med 45° helning eller brattere. Fra felt er utløsningsområde tolket til å ha en høyde på rundt 350-500 m.o.h. Terrenghelningskart konstruert i ArcMap viser stor samling i denne kotehøyden, spesielt fra utløsningsområdet i sør. Feltobservasjoner og prosesserte kart har blitt samtolket og brukt til å lokalisere kildepolygon for skredsimulering. Samme høydekote er fulgt nordover med en slak helning nedover, da de bratte fjellskrentene fremtrer i lavere høydekoter nordover. Figur 34 viser det tolkede utløsningsområde som brukes for simulering i både RocFall og Rockyfor3D.

Nedenfor de definerte utløsningsområdene (Figur 34) er et større parti med helning over 45°, som ikke er markert som utløsningsområde. Dette er ikke tatt med i vurderingen som utløsningsområde, da det er mindre fallhøyde fra dette området, til terrenget flater ut. Avsetningene i bunn av fjellsiden tolkes til å hovedsakelig komme fra dette området, og har tidligere ikke gitt lange utløp. Skredhendelsen med lengst utløp i dette området (Steinsprang 2009, Kapittel 2.5), hadde utløsningspunkt i grenseområdet mellom utløsningsområde sør og senter.



Figur 34: Terrenghelningskart med definert utløsningsområdet.



Figur 35: Utløsningsområde strekker seg fra overkant av rennen til høyre i bildet til og med bekkeløpet til venstre. Foto: Thomas Danielsen.

4.4 Steinsprangsimuleringer

Som hjelpemiddel til å vurdere maksimale utløp på steinsprang og definere faresoner for 100-, 1000- og 5000-års hendelser, er det utført simulering av steinsprang fra fjellsiden bak Vassbugen i programmene Rockyfor3D og RocFall.

Steinsprangsimuleringene er utført uten skog (kapittel 5.0, Skog). På bakgrunn av trediameter og blokkstørrelse, er skogen vurdert til å ha liten eller ingen effekt på steinsprang.

Faresonekartet knyttet til steinsprang vil i utgangspunktet basere seg på feltobservasjoner, men modelleringsprogrammene brukes som suppleringsverktøy for faresonekartet.

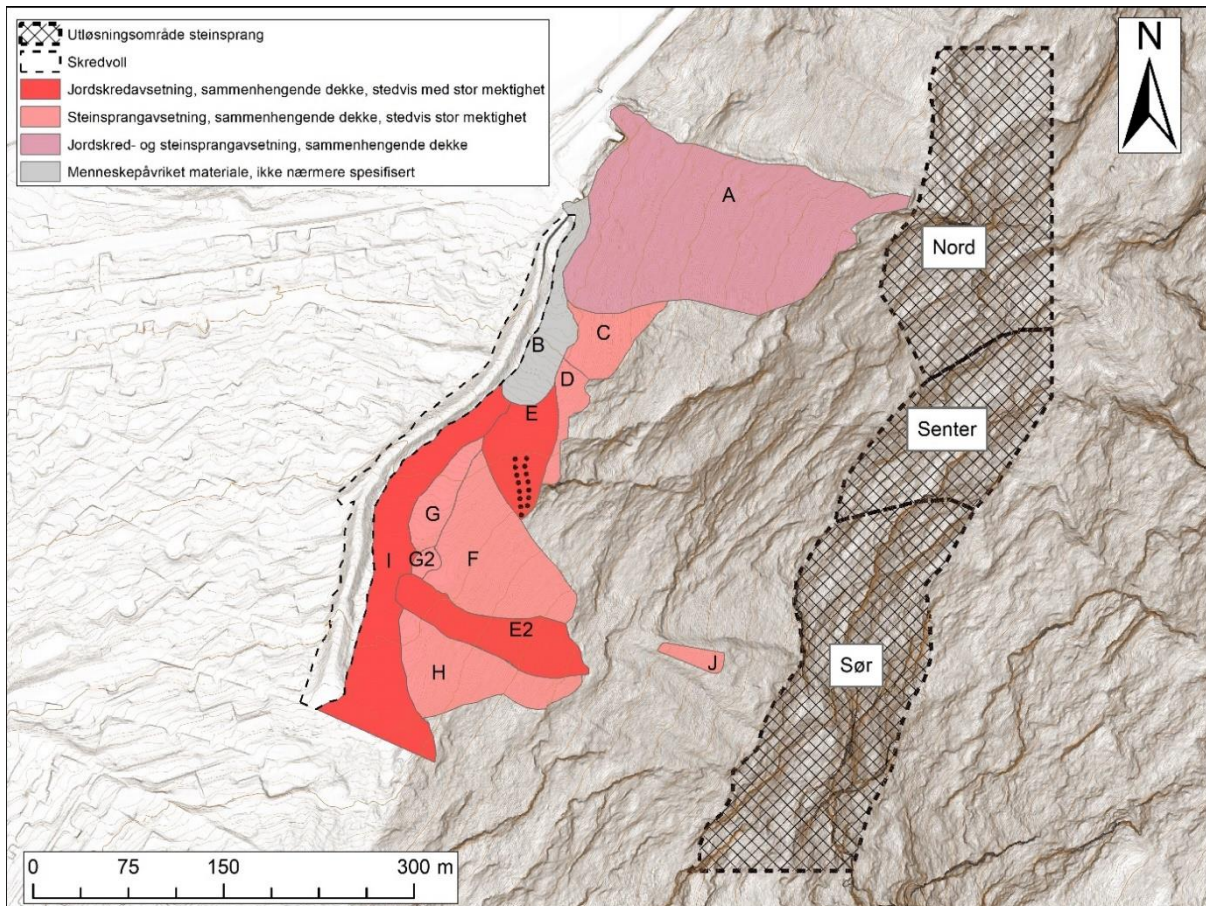
4.4.1 Definerings av blokkstørrelse knyttet til sikkerhetsklasser

I fjellsiden over Vassbugen har vi delt inn i tre utløsningsområder. På bakgrunn av varierende størrelse på blokker i avsetningsområdene, er det knyttet forskjellige blokkstørrelser til utløsningsområdene. To av utløsningsområdene, nord og senter, har fått samme verdier for blokkstørrelse.

100-, 1000-, og 5000 års hendelsene er vurdert til å ha forskjellige blokkstørrelser. Avsetningsområdene i sør (E, E2, F, G, G2, H, I og J) (Figur 36) hadde maksimal blokkstørrelse på 28 m³. Blokker på denne størrelsen ble satt som 5000-årshendelse siden det var det største i området. Gjennomsnitt av blokkvolum i talusen, 100-års hendelser, var på rundt 1 m³. En middelværdi mellom disse er satt som 1000-års hendelse, og er bestemt til 15 m³. Avsetningene i nord og senter (A, B, C og D) hadde derimot ikke like store blokker i ytterkant av avsetningene.

I avsetningsområdene under utløsningsområdene senter og nord er snittblokken også 1 m³. Siden området er bearbeidet i forbindelse med utbyggingen av skredvollen har trolig blokker også blitt fjernet for å gjøre tilkomst for opprydding enklere. Feltmålingene har derfor ikke bidratt til å bestemme størrelsen for 1000- og 5000- års skred. Istedenfor har intervju og tidligere rapporter vært viktig for å bestemme størrelsen på de største hendelsene.

Resultatet fra utløsningsområde sør, nord og senter er presentert i Tabell 6 og Tabell 7.



Figur 36: Utløsningsområde sør, senter og nord.

Tabell 6: Fremstilling av blokkstørrelser tilhørende sikkerhetsklasser fra utløsningsområde sør.

Sør		
	Størrelse (m ³)	Masse (Kg)
S1	1	2700
S2	15	40 500
S3	28	75 600

Tabell 7: Fremstilling av blokkstørrelser tilhørende sikkerhetsklasser fra utløsningsområde nord og senter.

Nord og Senter		
	Størrelse (m ³)	Masse (Kg)
S1	1	2700
S2	7	18 900
S3	15	40 500

4.4.2 Rockyfor3D

Det endelige resultatet fra Rockyfor3D er vist i Figur 45 - Figur 50. Resultatet er presentert som rekkeviddesannsynlighet og spretthøyde for de simulerte hendelsene. Simuleringen er gjort med rasterstørrelse på 4x4 m. Resultatet får dermed cellestørrelse på 4x4 m.

Inndata

Modellområdet er delt inn i kildepolygoner og avsetningspolygoner med tilknyttede egenskaper, blant annet rg-verdier (Tabell 8), innsamlet fra felt. I simuleringen er modellområdet delt inn i polygoner fra 0-17. Polygonene er delt inn i to hovedgrupper: kildepolygon (utløsningsområde) og utløpspolygon (skredbaner og avsetningsområder). Utløpspolygonene er igjen delt inn i grunnfjell med tynt dekke, skredavsetninger, skredvoll og bebyggelse. For at programmet skal lese kildepolygonene som utløsningsområde, har disse fått verdier for tetthet til berggrunnen. Startfallhøyde er satt til 3 m med 20 simuleringer per celle. I tillegg er det simulert med blokkvariasjon på 5 %. Blokkformen er satt til rektangulær.

Tabell 8: Eksempel på rg-verdier fra avsetning i område A. Alle områdene har tilhørende tabeller som beskriver rg-verdier.

Rg70	Lengde	Høyde	Bredde	Rg70
	0,15	0,08	0,21	0,03
	0,19	0,1	0,17	0,12
	0,15	0,17	0,15	0,14
	0,25	0,15	0,2	0,09
	0,17	0,22	0,19	0,16
Gjennomsnitt	0,182	0,144	0,184	0,108
Rg20	Lengde	Høyde	Bredde	Rg20
	0,348	0,39	0,38	0,21
	0,4	0,3	0,38	0,2
	0,23	0,35	0,37	0,22
	0,28	0,3	0,25	0,22
	0,37	0,21	0,32	0,19
Gjennomsnitt	0,3256	0,31	0,34	0,208
Rg10	Lengde	Høyde	Bredde	Rg10
	1,32	0,79	1,03	0,4
	0,71	0,8	0,93	0,56
	0,59	0,6	0,96	0,41
	0,77	0,66	1,02	0,46
	0,92	0,55	0,8	0,42
Gjennomsnitt	0,862	0,68	0,948	0,45

Utdata

Rockyfor3D overestimerer ofte utløpene med lavest sannsynlighet (Hefre, m.fl., 2015). Ved framstilling av resultatet ble derfor 6% av utløpene med lavest sannsynlighet filtrert vekk i ArcMap. Utløpene simulert i programmet stemte da godt overens med tidligere skredhendelser. Spesielt under utløsningsområde sør, hvor avsetningen ikke er påvirket av opprydning og utbygging.

4.4.2.1 Største årlige sannsynlighet 1/100

Simuleringen er gjort med blokkstørrelse på 1 m³. Maksimalt utløp i de sørlige avsetningene strekker seg ned mot blokkbeltet G og avsetning G2. Enkelte blokker har beveget seg inn på avsetningsområde I. Nordover er alle avsetningsområdene fullstendig dekket med unntak av nordlige deler av avsetning A, der det er enkelte uberørte felt. Fra avsetning B til og med sørlige deler av avsetning A er det simulert utløp helt ut til skredvollen. Lengst nord på skredvollen, ca. midt i avsetning B til enden av skredvollen, er det enkelte simuleringer med utløp over vollen.

4.4.2.2 Største årlige sannsynlighet 1/1000

Simuleringene er gjort med blokkstørrelser representative for utløsningsområde sør, senter og nord med størrelsene 15 m³, 7 m³ og 7 m³. Vest for avsetningsområde H og hele veien langs skredvollen nordover mot avsetning A, har utløp beveget seg inn mot støtsiden av skredvollen. Store deler av blokkene fra utløsningsområde sør som har beveget seg inn i blokkbeltet G har blitt avsatt her. Fra midtre deler av område B og nordover langs skredvollen ser vi en samling av simuleringer som har nådd over skredvollen.

4.4.2.3 Største årlige sannsynlighet 1/5000

Simulering for sikkerhetsklasse 3 er gjort med blokkstørrelse på 28 m³ fra utløsningsområde sør og 15 m³ fra senter og nord. Det hvite «uberørte» område i underkant av blokkbeltet G er mindre enn simuleringene for sikkerhetsklasse 2. Ellers er blokkene med utløp over skredvollen relativt lik for sikkerhetsklasse 2 og 3.

4.4.3 RocFall

Simulering av steinsprang i RocFall, ble gjort langs seks forskjellige profiler (Figur 37). Resultatet er vist i Figur 51- Figur 62. Profilene ble valgt ut i fra resultatet i Rockyfor3D og skredbaner observert i felt. Resultatet i Rockyfor3D viser områdene med størst sannsynlighet og flest passeringer av steinsprang, samt de lengste utløpene. Profilene som ble benyttet til

simulering, dekker derfor disse områdene fra Rockyfor3D. Utløsningsområdet (starten) på profilene er valgt ut fra terrenghelningskart.

Inndata

Inndata i RocFall er basert på observasjoner og resultat fra feltarbeid.

Materialtypene som er brukt i profilene er stort sett det samme, og går igjen i flere profiler. Disse er bart fjell, grunnfjell med tynt dekke av jord, skredavsetning, skredvull og bebyggelse.

Materialtypene definert som skredavsetning, har i noen av profilene forskjellige parameterverdier. Dette er grunnet forskjellige verdier for jordskred- og steinsprangavsetninger. På samme måte er restitusjonskoeffisientene på skredvullen lengst nord, noe høyere enn ellers. Dette ettersom at denne delen ble bygget etter moderne prinsipper (Figur 15), og støtsiden består ikke av jordmasser som de eldre delene. Parameterverdiene ble valgt ut fra lignende materialtyper i «Rocscience coefficient of restitution table» (Rocscience (a), 2018). De ulike parameterverdiene som er brukt, er vist sammen med resultatet for hver profil.

Utløsningsområdene er definert ved «line seeder» (kapittel 3.4.2), ettersom at det ofte er flere mulige utløsningspunkt i samme skrent. For å unngå at enkeltsimuleringer ble fjernet, grunnet ugyldige startpunkt, ble utløsningspunktet for noen av profilene definert 0.2 m ut fra profilet. Antall simuleringer ble satt til 50 stykk per blokkstørrelse, med utgangshastighet på 1.5 m/s. Blokkstørrelsene er likt som i Rockyfor3D, og gjort på grunnlag av størrelsen på blokker i avsetningsområdene. Blokkene er simulert med rektangulær blokkform.

Det ble ikke simulert med overflate ruhet langs profilet, da dataen brukt til å generere profilet er veldig nøyaktige.

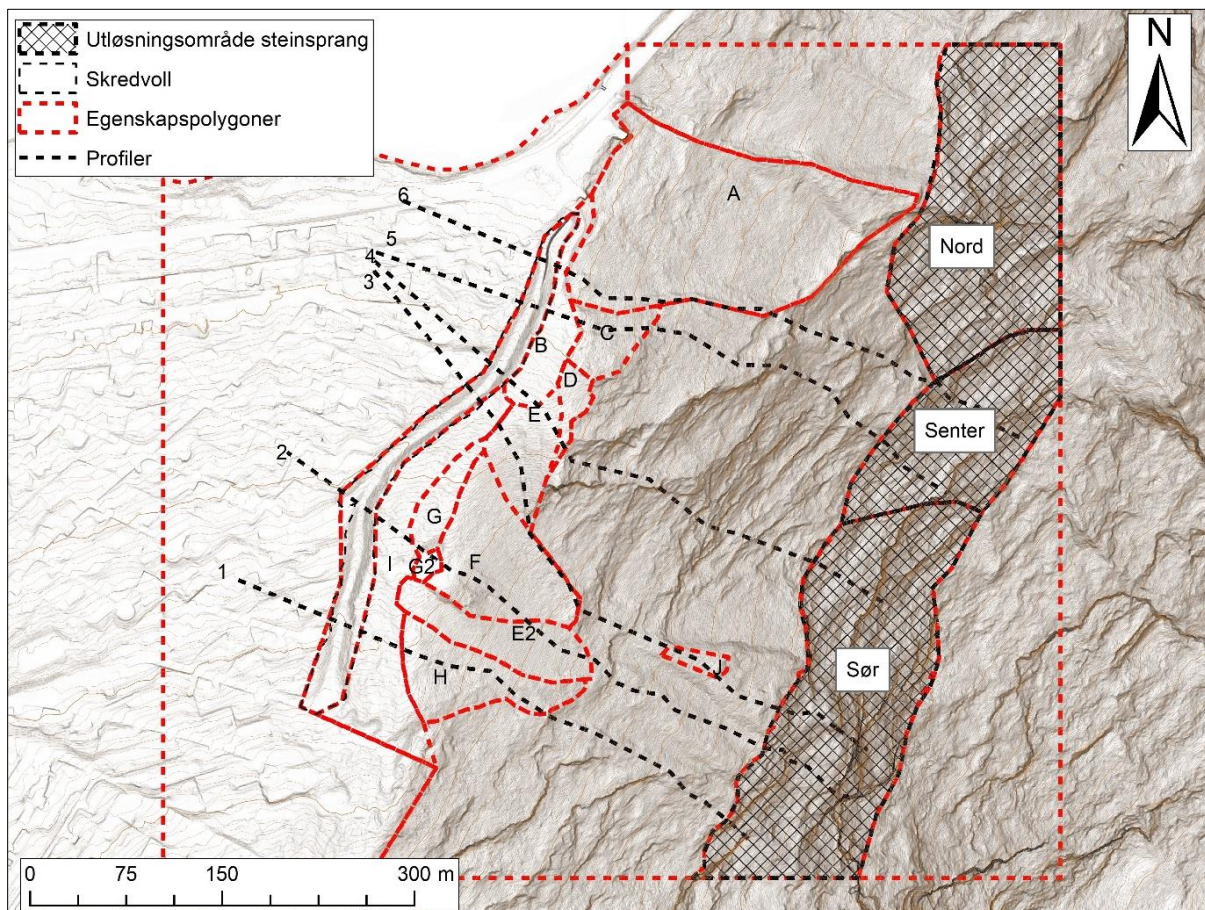
Profilene er simulert fra utløsningsområdene sør og senter. Utløsningsområde nord har utløp som går nord for skredvullen, og er derfor kun simulert i Rockyfor3D.

Utdata

I hvert av profilene er det simulert tre ulike blokkstørrelser (kg), som representerer 100 års- (S1), 1000 års- (S2) og 5000 års hendelser (S3). Her er størrelsen for de simulerte hendelsene like for profil 1-3 og i profil 4-6.

I alle profilene er utløsningsområdet til blokkene vist, sammen med det lengste utløpet for hver blokkstørrelse. Under hvert av profilene vises og en grafisk framstilling av avsetningen av blokker langs profilet.

Selv om det er stor forskjell i blokkstørrelsene, er utløpsdistansen ofte det samme. Det er heller ikke alltid de største blokkene som har lengst utløp, men i flere tilfeller de mindre. I spesielt profil 1 og 2 er det en lenger flate fra foten av fjellsiden før skredvollen, hvor blokkene med lengst utløp stopper. Effekten av skredvollen synes derfor best i profil 5 og 6, hvor de fleste blokkene med lengst utløp stoppes av skredvollen. Simuleringene viser utløp over skredvollen i profil 4-6.



Figur 37: Profil 1 til 6 basert på «steepesth-path» fra utløsningsområdene.

4.4.3.1 Simulering uten skredvoll

Under utløsningsområde Senter, er mye av de tidligere avsetningene ryddet vekk i forbindelse med påbygging av skredvollen. Det kan derfor være interessant å sammenligne simuleringene av de lengste utløpene, med og uten skredvollen i terrengprofilen.

Resultatet fra simulering med skredvollen viser først og fremst flest blokker som stopper rett under utløsningsområdet. Blokkene som har det lengste utløpet, virker derimot skredvollen å være effektiv mot.

I profil 5 viser simuleringen uten skredvoll lenger maksimalt utløp for to av blokkstørrelsene (Figur 63). Blokkstørrelse S1 og S3 simuleres med henholdsvis 15- og 35 m lenger utløp. Blokkstørrelsen S2 viser imidlertid kortere maksimalt utløp.

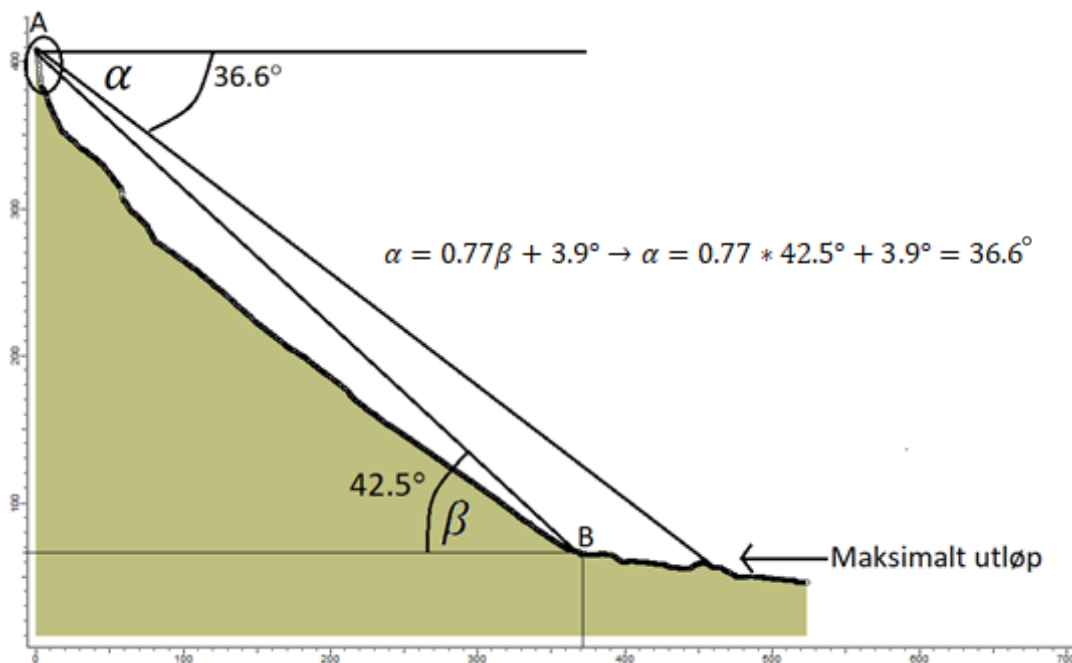
Profil 6 viser lite endringer i utløpet når det simuleres uten skredvoll (Figur 65). S1 har ca. 5 m lenger maksimalt utløp, mens de to største blokkstørrelsene S2 og S3 har uendret utløp.

4.5 α - β metoden

α - β profilene ble gjennomført i de samme seks profilene som i RocFall. Utløpet med α - β metoden var relativt like utløpene for RocFall. Eksempel på fremstilling og beregning av maksimalt utløp er vist i Figur 38. Resultatet av samtlige profil er presentert i Tabell 9.

Tabell 9: Maksimalt utløp langs RocFall profiler beregnet med α - β metoden.

Profil	Maksimalt utløp fra utløsningsområde (m)
1	380
2	455
3	495
4	355
5	415
6	455



Figur 38: Resultat av α - β metoden langs profil 2. Ellipse markerer utløsningsområde. Punktet B markerer hvor i terrenget flater ut til 23° .

NVE α - β metoden

Resultatet i profilene valgt gjennom NVE sitt verktøy, viser tre maksimale utløp. Dette er fordi α vinkelen her er gitt med $\pm 2.16^\circ$ (σ). I tillegg til utløpet med nest lengst rekkevidde, som er nokså likt fra våre resultat, vises maksimale utløp som har både mindre og større rekkevidde (Figur 42).

4.6 Faresoner

Ved avgrensing av faresoner ble det sammenlignet utløp simulert i Rockyfor3D og RocFall, i tillegg til tidligere skredhendelser, der vurderingene fra felt ble vektlagt mest.

Som tidligere nevnt i kapittelet, er det vanskelig å vurdere utløp på steinfragmenter (flogstein). Når faresonene er avgrenset, er derfor ikke disse tatt med i vurderingen. Dette er også fordi det kan forekomme uansett om det er en 100-, 1000- eller 5000-års hendelse. Det blir derfor vanskelig å vurdere hvor grensene skal settes ut ifra dette. Egne tiltak kan derfor være nødvendig for å minimere omfanget av slike hendelser.

Største årlige sannsynlighet 1/100

Det maksimale utløpet for 100-års hendelser ble sør i området satt ved foten av talus, og har dermed nokså god margin fram til skredvollen. Her stemmer resultatet fra Rockyfor3D og observasjoner i felt bra, og grensen ble derfor basert på dette.

Fra profil 3-6 er grensen satt langs skredvollen, noe som betyr at den er vurdert et stykke utenfor skredavsetningen i området. Avsetningene i dette området tolkes å være hovedsakelig fra utløsningsområdet som er lenger nedenfor enn det som er simulert fra i oppgaven. Det er derfor vurdert at steinsprang som løsner lenger bak kan nå skredvollen.

Største årlige sannsynlighet 1/1000

Den maksimale utløpsgrensen for 1000-års hendelser er satt til å avgrenses av skredvollen gjennom hele området. Det vurderes dermed at steinsprang blokkene på denne størrelsen ikke når bebyggelsen på Vassbugen.

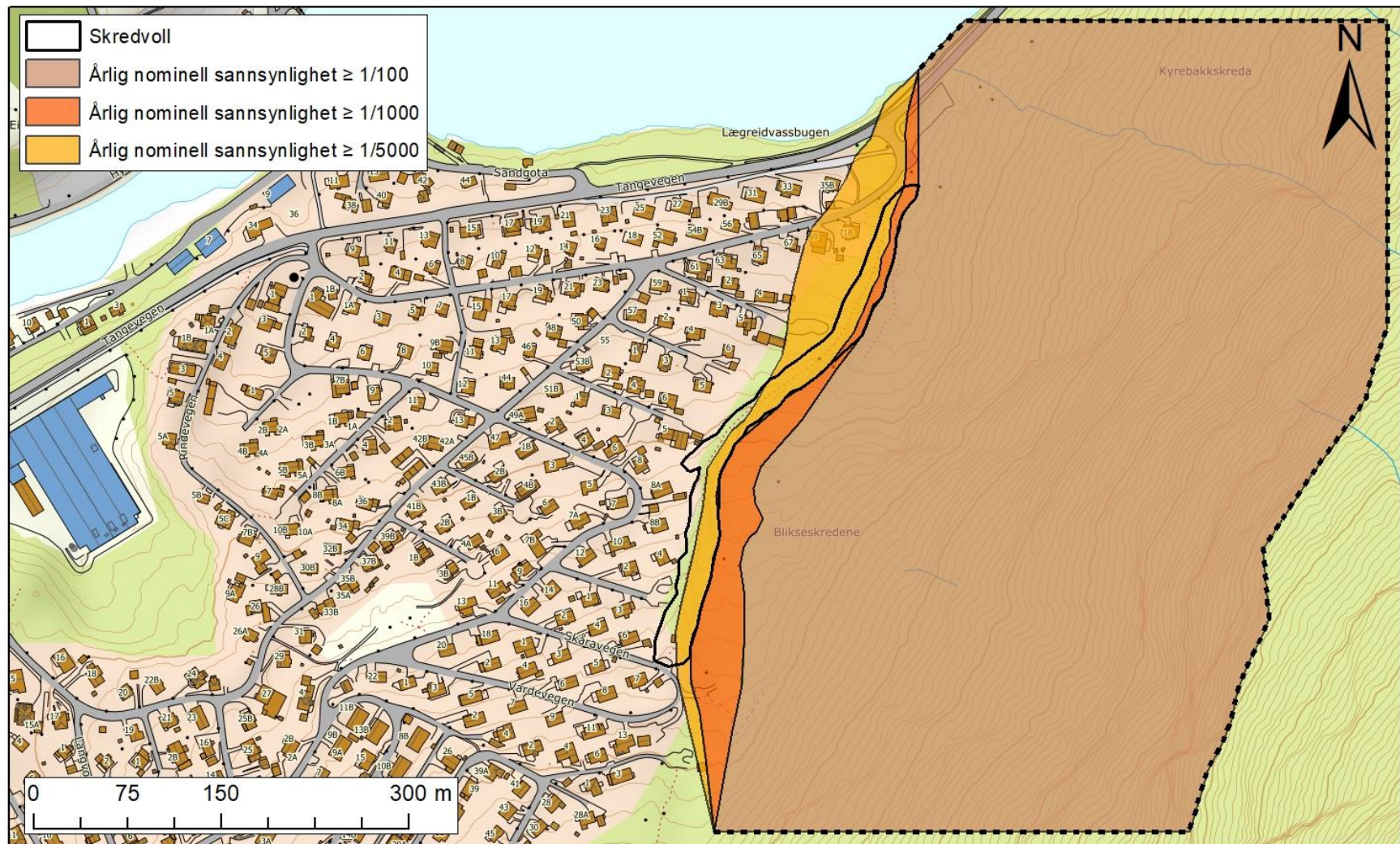
1000-års blokkene observert i avsetningsområde under utløsningsområde i sør, ligger hovedsakelig ved foten av fjellsiden. Det er allikevel en del blokker som har nådd et stykke forbi dette, og supplert med resultat i RocFall og Rockyfor3D, vurderes det at de maksimalt kan nå skredvollen.

I den nordlige delen vurderes maksimalt utløp også her til å stoppe ved skredvollen. RocFall simulerer i profil 5 utløp som når over skredvollen. Grensen baseres derfor i dette området mest på egne vurderinger, når den settes til at 1000-års hendelser ikke når over skredvollen. Dempingen vil være nokså lik som gjennom profil 6, hvor blokken stoppes av skredvollen. I tillegg er det gjennom profil 5 en lenger flate enn i profil 6, der blokker potensielt vil miste energi raskere.

Største årlige sannsynlighet 1/5000

Den maksimale utløpsgrensen for 5000-års hendelser er den eneste vi har vurdert til over skredvollen. Grensen er satt lik som 1000-års hendelser under utløsningsområdet sør. Det er i dette området registrert en 5000-års blokk som ligger mellom skredvollen og bolighus. Blokken var en del av steinspranget i 1967 (kapittel 2.5), som altså gikk før skredvollen ble bygget. Det vurderes derfor at skredvollen i dag ville stoppet blokken. Det er heller ingen simuleringer i RocFall som viser utløp over skredvollen i dette området. De simulerte utløpene til 5000-års blokkene i RocFall vurderes derimot til å være for kort. Grensen baseres derfor på egne vurderinger i felt, som stemmer bra med resultatet fra Rockyfor3D.

Omtrent fra profil 3 og nordover er grensen satt til å ha maksimalt utløp over skredvollen. Ved den nye delen av skredvollen er mye av massene med lengst utløp ryddet vekk. Det er derfor vanskelig å sette grensen basert bare på feltarbeid.



Figur 39: Samlet faresonekart for steinsprang på Vassbugen. Utbygging av eneboliger på Vassbugen er ikke i konflikt med faresonene for steinsprang. Stiplet linje markerer ytre avgrensning av modellområde.

5 Diskusjon

Utløsningsområder

De valgte utløsningsområdene for steinsprang er begrenset til deler av fjellsiden bak Vassbugen. Terrenghelningskartet fra fjellsiden, viser at utløsningsområdene ikke dekker alle helninger som er 45° eller brattere. Dette betyr at det potensielt sett kan være flere steder enn de valgte områdene, hvor blokker kan løsne fra. Disse områdene er både ovenfor og nedenfor de valgte utløsningsområdene.

Definering av utløsningsområder ble basert på terrenghelningskart, feltobservasjoner og bilder. Fra feltbefaring er det i utgangspunktet utløsningsområde sør, som vurderes som mest aktivt. Utløsningsområdet er begrenset til et belte i ca. samme høydekote fra sør til nord. Mindre og utenforliggende utløsningsområder enn de brukt i simuleringene kan være tilstede. Avgrensning av utløsningsområder er derfor gjort for de områdene som fremstår som mest aktiv og potensielt gir de lengste utløpene. Vi mener det totale utløsningsområdet dekker partiene som potensielt utgjør en fare for boligfeltet, og dekker de mest aktive og de partiene som kan gi størst steinsprang.

Blokkstørrelse

Blokkstørrelsene brukt i simuleringen, ble basert på målinger av blokkene som allerede er avsatt i området. Spesielt i området rundt den nordlige delen av skredvollen har det vært en del opprydning av steinsprang blokker. Grunnet opprydningen vil det ikke være mulig å måle volumet av de største blokkene. Størrelsene på de største blokkene i dette området, ble basert på gjengitt forklaring av skredhendelse i samtale med Årdal kommune.

Ideelt sett skulle blokkstørrelsen blitt bestemt med en kombinasjon av oppmålte blokker i avsetningsområdet og vurdering av sprekkesystemet i utløsningsområdet. Siden det antas at det vil være noe oppknusing av blokker underveis i skredbanen, ville sannsynligvis blokkene blitt målt til å være større før utløsning enn de blokkene som er målt i avsetningsområdet. Men ettersom at utløsningsområdene ligger svært vanskelig og utsatt til, ble dette vanskelig å gjennomføre. Samtidig er ikke oppknusing av blokker noe som programmene tar hensyn til under modelleringen. Derfor anses allikevel blokkene målt i avsetningsområdene som representative.

Som sagt blir blokkstørrelsen basert på tidligere hendelser. Det som trolig er den største blokken, ligger delvis begravd i jord innenfor boligfeltet. Boligfeltet er bygget på en jord- og flomskredvifte, med stor utbredelse og oppbygging over lang tid. Det er derfor mulig at flere og potensielt større blokker, ligger begravd i jord- og flomskredviften. Dette vil i så fall bety at f.eks 5000-års hendelser er større enn det som er anslått.

Blokkform

Beregning av blokkform var en vanskelig oppgave. Alle blokkene i avsetningsområdene hadde såpass ulike fasonger at det ble utfordrende og skulle gi de en felles blokkform for hver enkelt avsetningspolygon. Det er slik at dersom blokkene var formløse skulle de simuleres som kuleformet. Vi bestemte oss for at den gjennomgående blokkformen var rektangulær grunnet at denne formen ble gjenkjent i flest avsetninger. Dette passer også godt med sprekkesystemet i utløsningsområdet, kun basert på observasjoner gjort på god avstand. Det har derfor blitt simulert med rektangulær blokkform.

Skog

For at trær skal ha en særlig dempende effekt på steinsprang, er det en rekke faktorer som vil ha en betydning (Breien, 2013). I profil 4 hvor den minste blokkstørrelsen hadde utløp over skredvollen, ble det gjort en testsimulering med skog i RocFall. Når vegetasjon ble tatt med i simuleringen, endret det maksimale utløpet seg til å ikke lenger nå over skredvollen. Ved simulering av skog i RocFall, tar programmet hensyn til den effektive høyden på trærne og tetthet på skogen (åpen, medium eller tett skog). Denne simuleringen ble ikke tatt med i vurderingen, ettersom det ble vurdert til å ikke ha like stor effekt på blokkene i realiteten.

For at skog skal ha en dempende effekt på steinsprang i Norge, er det vurdert en øvre blokkstørrelse på 2 m^3 (Breien, 2013). Denne beregningen tatt i betraktning, vil skog kun ha en potensiell effekt på den minste blokkstørrelsen i simuleringene våre, altså på 1 m^3 .

I tillegg til at blokkstørrelsen er en viktig faktor, har også tykkelsen (diameter i brysthøyde, DBH) på trærne i skredbanen stor påvirkning på effekten av dempning. For blokker mellom $0.2 - 5 \text{ m}^3$ er antatt effektiv trediameter for å bremse blokker, over 35 cm (Breien, 2013). Måling av DBH i området, viste et maksimalt gjennomsnitt på 30 cm. Generelt er de fleste områdene målt til rundt 20 cm (Kapittel 4.1), noe som vil være effektivt ved blokkstørrelser opp til 0.05 m^3 .

Basert på dette ble skogen vurdert til ikke å ha effekt på blokkene, og det ble derfor simulert uten skog.

Flogstein

Ved sammenstøt mellom blokker eller underlag, kan oppknusing av blokker i form av mindre steinfragmenter forekomme (flogstein). Steinfragmenter som løsner underveis i steinsprang, er noe som er vanskelig å ta med i vurderingen for faresoner, både gjennom datasimuleringer og egne vurderinger. Dette er fordi det er umulig å si hvilken høyde blokken har når steinfragmenter eventuelt knuses fra blokken, størrelsen på fragmentene og hvilken bane de tar derifra.

Steinspranget fra 2009 (kapittel 2.5) er et eksempel på en slik hendelse, hvor mindre steinfragmenter nådde lenger enn de største blokkene i steinspranget. Blokkene stoppet der hvor den siste utbedringen av skredvollen er bygget. Det er vanskelig å si om utvidelsen av skredvollen har en effekt på flogstein, og det er derfor ikke tatt hensyn til flogstein i faresonevurderingen.

Spretthøyde

Enkeltblokker i en skredhendelse vil kunne utgjøre en fare for bebyggelse på Vassbugen hvis de spretter over skredvollen. Skredvollens laveste høyde er 4 m og blokker må derfor sprette med en høyde over dette for å nå andre siden av skredvollen. Figur 48 - Figur 50 viser simulerte spretthøyder i Rockyfor3D. Siden skredvollen har lavest høyde på 4 m, vises 0-4 m uten farge. Ved skredvollen viser ingen av figurene spretthøyder på over 4 meter langs den østlige delen. Den vestlige delen viser derimot det motsatte. Dette bekrefter, ifølge modellering i Rockyfor3D, at ingen blokker spretter over skredvollen, men at blokkene blir luftbåret etter de passerer toppen av skredvollen i form av rulling.

Figuren viser også en vesentlig endring i spretthøyde når skredmassene når avsetningsområdene. Dette kommer som en følge av at skredavsetningene fremstår som et «mykere» materiale enn grunnfjell med tynt dekke. Skredavsetningene vil dermed dempe fallende blokker mer.

RocFall har tre tilfeller hvor blokker når over skredvollen ved spretting, to i profil 4 og én i profil 5. Dette er trolig knyttet til blokkformen og hvordan blokker treffer underlaget. Spretthøyder av dimensjonene i profil 4 og profil 5 fremstår som urealistisk store, og tolkes som lite sannsynlig.

Figurene for spretthøyde inkluderer alle simuleringene fra Rockyfor3D. Som nevnt er 6% av de minst sannsynlige simulerte skredbanene i resultatet fra Rockyfor3D filtrert vekk. Dette inkluderer flere av blokkene som har nådd over skredvollen, og spretthøyden her vurderes derfor ikke som reelle.

α - β metoden

α - β metoden ble brukt som et supplement til vurderingen av den maksimale utløpslengden av steinsprang. Resultatet fra denne metoden viste maksimale utløp som var nokså lik blokkene med lengst utløp.

Metoden virker altså å passe bra med tidligere hendelser. Allikevel tar ikke metoden hensyn til en del parametere, som vil bety mye for utløpet til steinsprang. Blant annet er terreng, blokkstørrelse og blokkform noe som ikke tas med i beregningen for utløpet i denne metoden. Skredvollen er dermed en svært vesentlig del av skredbanen som (ofte) ikke vil ha en effekt på utløpet metoden viser. Metoden vil derfor trolig passe bedre for utregninger av maksimale utløp der det ikke allerede er etablerte barrierer i terrenget.

Metoden gitt fra NVE sine sider, har heller ikke mulighet til å importere de samme profilene benyttet i RocFall simuleringer. Skredbanen må tegnes inn selv, og vil derfor ikke bli like nøyaktig som profilene hentet fra ArcMap. Resultatet vil derfor variere etter hvor nøyaktig profilet blir tegnet inn.

RocFall og Rockyfor3D vil derfor være metoder som er foretrukne å benytte til avgrensning av faresonene, særlig siden skredvollen inkluderes i simuleringene.

5.1 Rockyfor3D

Fordeling av blokker

Resultatet fra Rockyfor3D viser at de simulerte blokkene, uavhengig av sikkerhetsklasse, har stor sjanse for å stoppe før eller i skredvollen. Definert 100-års hendelse har rekkevidde til område G og G2 i sør. Blokkbeltet G vil sannsynligvis da fungere som en naturlig barriere for mindre skredmasser. Blokkbeltet virker også å ha en viss påvirkning på de to øvrige sikkerhetsklassene, men i mindre grad enn for en 100-årshendelse. Dette knyttes trolig direkte opp mot blokkstørrelse og ulik energi ved kontakt mot blokkbeltet. Skredbanen i nord har kortere avstand med flatt terreng før skredvollen enn områdene i sør, da skredvollen er nærmere foten av fjellet. Resultatet fra Rockyfor3D stopper inntil skredvollen for den minste blokkstørrelsen og passerer skredvollen med de to største. I tillegg til kort avstand mellom

fjellsiden og skredvullen vil også demping i skredavsetningen være mindre enn for områdene i sør, siden overflatearealet som er dekket av skredmateriale er mindre.

Inndata

En gunstig fordel i innsamling av inndata til Rockyfor3D er at parameterene er observerbare. Parametere måles direkte i felt, og brukes som inndata. Dette fører til at parametere er nøyaktig for unike avsetningsområder. Rockyfor3D skiller seg derfor fra RocFall, hvor inndata er basert på resultat fra testforsøk i tilnærmet like avsetninger. Inndata i Rockyfor3D har derfor mindre usikkerhet.

Parametere i programmet

5 % volumvariasjon av blokkene er brukt som inngangsparameter da dette gir en viss variasjon i blokkstørrelse samtidig som størrelsen samsvarer med RocFall. Ulike volumvariasjoner viser lite forskjell i maksimalt utløp.

Sammen med volumvariasjonen er også en fallhøyde på 3 m inkludert. Opprinnelig verdier for vertikal og horisontal hastighet er fastsatt -0.5 m/s og 0.5 m/s i programmet. Ved å bruke en fallhøyde på 3 m vil den vertikale hastigheten øke.

Skredrekkevidde

Erfaringsvis gjennom oppgaven virker det som om Rockyfor3D overestimerer utløp. Unaturlige lange utløp simuleres og rekkevidden til en 100-års hendelse går vesentlig lenger enn forventet. Undersøkelser og informasjon basert på erfaring viser at det er skredutløpene med lavest sannsynlighet som får de lengste utløpene (Hefre, m.fl., 2015). Som en følge av dette filtreres de lengste utløpene vekk til simuleringene stemmer med avsetningene i talus.

Skredbaner

Definering av realistiske skredbaner er en av Rockyfor3D sine største fordeler (Hefre, m.fl., 2015). Terrengmodellen sørger for at forsenkninger og rygger i terrenget styrer skredmasser ned i skredløpet trolig på lik linje som i virkeligheten. Ved gjennomføring av metode har derfor Rockyfor3D blitt simulert først, mens profilene benyttet i RocFall baseres på resultatet herfra.

Utløsningsområde

Simuleringene har et delvis samlet utløsningsområde som framstår som et belte fra sør til nord, øverst i modellområdet. Helningsgraden er som lenger ned i fjellsiden høy, men samling av

bratt terreng (45°) er ikke like stor. Spor av utløsningsområder er observert fra felt. Området lenger ned i fjellsiden inkluderes ikke som utløsningsområde da utløp herfra vil gi betraktelig kortere utløp siden fallhøyden er betydelig lavere.

Større blokker er observert i avsetning D og C, med korte utløp. Det er sannsynlig at disse blokkene har opprinnelse fra det lavere utløsningsområde. Blokkene brukes likevel i beregninger av blokkstørrelser siden blokker av dette omfanget også kan forekomme høyere opp i fjellsiden.

Som en oppsummering er Rockyfor3D et godt hjelpemiddel som brukes aktivt i praksis av selskaper som NGI ved steinsprangkartlegging (Hefre, m.fl., 2015). NGI beskriver programmet som en støtte ved betraktning av rekkevidde, sannsynlighet og utløp for steinsprang. Det er viktig at ikke faresoner settes direkte fra Rockyfor3D da programmet skal brukes som et suppleringsverktøy. Utløpet kan være betraktelig lenger enn et faktisk steinsprang av samme størrelse. Likevel kan rekkeviddesannsynlighet brukes som en skjønnsmessig vurdering av maksimalt utløp av steinsprang hvis riktig mengde av sannsynlighetsverdier fjernes. Resultatet fra programmet er mer aktuelt når det kommer til blokkutbredelse og resten av hendelsesforløpet til skredmassene ned langs utløpsområde (skredbaner og avsetningsområder).

Rockyfor3D brukes derfor til å se på hvilke skredbaner som er relevante. Skredløpene fra resultatet som gir stor sannsynlighet for samling undersøkes videre. Rekkeviddesannsynlighet kan også brukes til å tilrettelegge en viss forståelse for utløp.

5.2 RocFall

Fordeling av blokker

Simuleringen viser i de fleste profilene at blokkene med lengst utløp, som regel stopper på flaten før- eller av selve skredvollen. Noen få av steinsprangblokkene har derimot utløp som når et stykke forbi skredvollen. Dette gjelder i den nordlige delen av skredvollen, og det er den minste blokkstørrelsen som har flest utløp over. I profil 5 har også blokkstørrelsen for 1000-års hendelser utløp over skredvollen.

Fordelingen av hvor steinsprang blokkene avsettes langs profilet, virker for noen blokkstørrelser tidvis urealistisk. I de fleste profilene stopper blokkene veldig raskt etter utløsningsområdet. Dette kan ha med blokkformen det simuleres med i programmet. Siden de simuleres som rektangel, er det mulig at blokkene kan skli i starten av profilet, istedenfor å

sprette. De vil da raskt miste energi som følge av friksjon langs underlaget. En annen mulig grunn er utgangshastigheten som er satt til blokkene.

I profil 1, lengst sør, stopper den største blokkstørrelsen før helningen på fjellsiden har avtatt noe særlig. I tillegg går de to mindre blokkstørrelsene helt ned til bunn av fjellsiden. Denne viser alt for kort utløp, da tidligere hendelser har nådd en del lenger.

Resultatet fra simuleringene viser at det ofte er de mindre blokkene som har det lengste utløpet. Generelt vil en kunne forvente at det er de største blokkene som har lengst utløp, men det kan skje at det er de minste blokkene som når lengst. Dette kan det være flere grunner til (Petje, m.fl. 2005):

- De store blokkene vil penetrere dypere i bakken.
- De vil også i større grad påvirkes av kollisjon med andre store blokker.
- Store blokker kan knuses opp i flere mindre blokker som vil frigi mye kinetisk energi.

Av disse er de to første punktene faktorer som kan forklare utløpet i RocFall.

Parameterverdier

Å velge riktige verdier på de forskjellige parameterne i RocFall kan være vanskelig. Spesielt verdier for de normale- og tangentielle restitusjonskoeffisientene. Programmet er i tillegg svært sensitiv for disse parameterne, og små endringer her kan gi betydelig forskjell i det simulerte utløpet for steinsprangblokkene. Verdiene velges basert på lignende materialtyper i «Rocscience Coefficient of Restitution Table» (Rocscience (a), 2018). Denne tabellen er basert på tester og målinger i mange forskjellige områder, og det er derfor sannsynlig at verdiene kan avvike noe fra de reelle verdiene i området vårt. Selv om det velges verdier fra samme materialtyper, kan det være forskjeller i disse blant annet på grunn av ulik tetthet på grunnfjell. Det kan derfor være noe usikkerhet rundt valg av verdier for materialtyper i profilene våre.

Skredbaner

Profilene for steinsprangsimulering i RocFall er basert på resultatet i Rockyfor3D. Av disse er det spesielt profil 2 og 3, som samsvarer godt med egne feltobservasjoner. Det er ellers i området få tydelige skredbaner. Rockyfor3D ble derfor viktig for å finne potensielle skredbaner nord for profil 2 og 3. Selv om skredbanene blir simulert som sannsynlige i Rockyfor3D, er det derimot ikke gitt at det vil være like stor sannsynlighet for steinsprang langs alle profilene. Profil 4,5 og 6, framstår derimot ikke like aktive som skredbaner som profil 2 og 3 gjør.

Siden profilene for RocFall ikke går i en rett bane ned fjellsiden er det naturlig å tenke seg at blokker kan sprette over hindringer som ellers vinkler dem i den bratteste skredbanen. Blokkene får da en annen skredbane enn profilene brukt for modellering i RocFall. Dette medbringer en viss usikkerhet knyttet til maks utløp. Er det nye løpet (pga. spretting) i en rettere linje enn det tidligere profilet, er også avstanden kortere til skredvollen. Med dette som bakgrunn kan blokker potensielt få lenger utløp. Siden det «nye» profilet også er kortere, vil det også ha brattere helning som igjen kan gi høyere hastighet. På samme måte kan steinsprangblokker i realiteten ta løp som blir lenger enn de simulerte profilene. Å vite hvor disse skredbanene vil forekomme framstår som tilnærmet umulig, og skredbaner beregnet fra Rockyfor3D vurderes likevel som reelle.

Simulering i programmet

For å unngå at simuleringer ble fjernet i programmet, ble terrengprofilene noe forenklet. Siden terrengprofilene som ble brukt i simuleringene er generert fra 1x1 m rasterkart, er dataen svært nøyaktig. Det betyr også at den har en komplisert geometri, som er krevende for programmet å kjøre simuleringer på. Terrengprofilen vurderes likevel som nøyaktig nok og representativ.

I tillegg til geometrien, virker blokkformen å være viktig for simuleringen. Egne erfaringer sier at RocFall simulerer avrundede blokker uten store problemer. Rektangulær blokkform som ble brukt i våre simuleringer, framstår som mer komplisert for programmet å simulere med. Dette gjelder både i forhold til tidsbruk på simuleringene og feilmeldinger. Vi opplevde allikevel at en del av simuleringene ble fjernet eller stoppet, som følge av maksimal simuleringstid.

6 Konklusjon

I en samlet vurdering av innsamlet data og metodebruk har faresonene for steinsprang blitt fastsatt. Med bakgrunn i arbeidet som er gjort og forutsatt at klimaet ikke viser store endringer, konkluderes det med at skredvollen sikrer boligfeltet mot steinsprang med årlig sannsynlighet større enn 1/1000. Dette gir tilstrekkelig sikkerhet for eneboliger (S2) etter kravene i TEK 17 §7.3.

Det er viktig å presisere at sannsynligheten for flogstein ikke inngår i denne vurderingen. Det bør derfor vurderes om det skal settes opp fangnett i den nordre enden av skredvollen hvor det har forekommet tilfelle hvor flogstein har truffet Hagavegen 71.

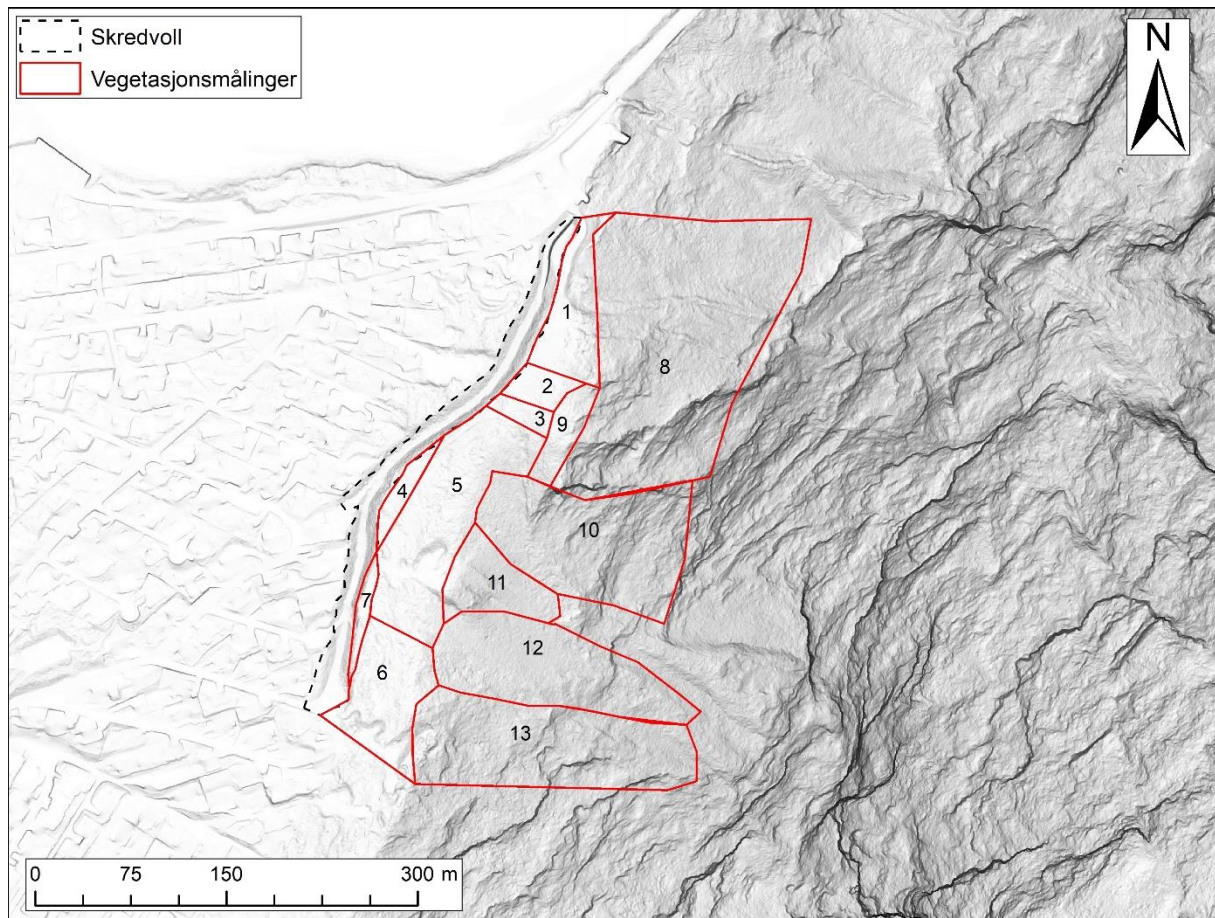
7 Referanser

- Breien, H. (2013). *Skog og Skred*. Oslo: Norges Geotekniske Institutt (NGI).
- Børstad, J. (1969). *Befaring av skredfarlig område i Vassbugen på Årdalstangen i Årdal kommune*. Årdal: Årdal kommune formannskapet.
- Børstad, J. (1972). *Rapport over befaring i Vassbugen, Årdal kommune*. Årdal: Årdal kommune formannskapet.
- Direktoratet for byggkvalitet. (2018, 5 7). *dibk.no*. Hentet fra Byggteknisk forskrift (TEK 17): <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/7/7-3/>
- Domaas, U. (1994). *Geometrical methods of calculating rockfall range*. NGI (rapport 585910-1).
- Dorren, L. (2015, 12 16). Rockyfor3D (v5.2) revealed. Genève, Sveits: Int. ecorisQ Assosiation.
- ecorisQ. (2018, 05 09). *ecorisQ.org*. Hentet fra tools: <http://www.ecorisq.org/ecorisq-tools>
- Eidsvåg, E. (2012). *Skredfarekartlegging i Bergen kommune*. Bergen: Universitetet i Bergen.
- eklima.no. (2018). *eklima.no*. Hentet fra http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_schema=PORTAL
- Esri ArcMap (v10.5.1.7333) [Dataprogram]. (2017). California, USA: Esri.
- Esri ArcScene (v10.5.1.7333) [Dataprogram]. (2017). California, USA: Esri.
- GEODATA. (2018, 05 07). *geodata.no*. Hentet fra ArcGIS fra Esri: <https://www.geodata.no/produkter-og-tjenester/arcgis-fra-esri>
- Hefre, H., Kveldsvik, V., & Ekseth, K. (2015, 11 27). *nff.no*. Hentet fra Bergmekanikkdagen 2015: <http://nff.no/wp-content/uploads/2016/01/Fjellsprengningsdagen-2015.pdf>
- Hestnes, E., & Lied, K. (1980). *Natural-hazard maps for land-use planning i Norway*. Oslo: Norges Geotekniske Institutt (NGI).
- Høydedata. (2018). *hoydedata.no*. Hentet fra Laserinnsyn: <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/>
- Jørstad, F. (1967). *Befaring ved Vassbugen, Årdalstangen i anledning steinras*. Årdal: Norges Geotekniske Institutt (NGI).
- Kronholm, K., & Sandersen, F. (2011). *Kartlegging av faresoner for skred*. Bergen: Norges Geotekniske Institutt (NGI).
- Moe, E., & Weydahl, T. (2016). *Steinsprangsimulering med Rocfall og Rockyfor3D*. Sogndal: Høyskolen i Sogn og Fjordane.
- Multiconsult. (2015, 01 30). *Sula bibliotek*. Hentet fra <http://www.sula-bibliotek.no/Handlers/fh.ashx?Mid1=102&Fillid=2223>
- NGI . (2013). *Årdal kommune Skredfarekartlegging*. Oslo: NVE.
- NGI. (2012). *Arnadal, Bergen kommune, Kartlegging av faresoner for skred*. Trondheim: Norges Geotekniske Institutt (NGI).

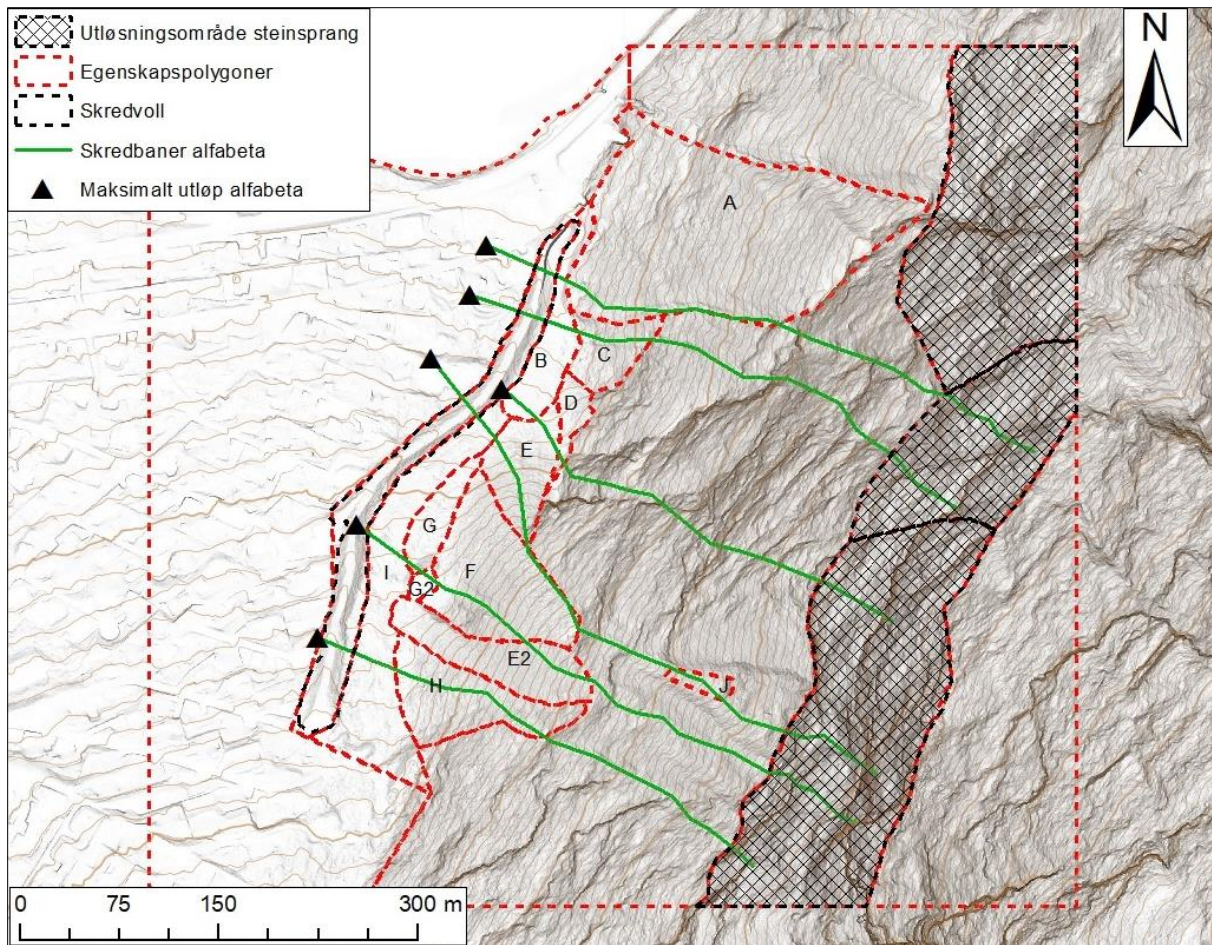
- NGU (a). (2018, 05 09). *geo.ngu.no*. Hentet fra berggrunnskart: <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/>
- NGU (b). (2018, 05 07). *geo.ngu.no*. Hentet fra løsmassekart: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>
- NGU. (2015, 03 20). *geo.ngu.no*. Hentet fra Presentasjonsregler for løsmassedata: http://geo.ngu.no/kart/common94/losmasse/Fullstendig_tegnforklaring_LosmasseFlate.pdf
- Norge i bilder. (2018). *Norgebilder.no*. Hentet fra <http://norgebilder.no/>
- Norsk Klimaservicesenter. (2018, 5 7). *klimaservicesenter.no*. Hentet fra Klimaframskrivninger : https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/scenarios.xhtml?climateIndex=precipitation_a mount&period=Annual&scenario=RCP85®ion=NO&mapInterval=2085
- NVE (a). (2017, 06 23). *nve.no*. Hentet fra Klima, nå og i framtiden: <https://www.nve.no/klima/klima-na-og-i-framtiden/>
- NVE (b). (2017, 05 12). *nve.no*. Hentet fra Aktsomhetskart: http://gis3.nve.no/metadata/produktark/produktark_steinsprang_aktsomhet.pdf
- NVE (c). (2017, 09 21). *nve.no*. Hentet fra Aktsomhetskart for steinsprang: <https://www.nve.no/flaum-og-skred/kartlegging/aktsemdkart/>
- NVE. (2011). *Plan for skredfarekartlegging. Delrapport steinsprang, steinskred og fjellskred*. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).
- NVE. (2013). *Hva er sørpeskred?* Oslo: Kjetil Hillestad.
- NVE. (2018, 05 18). *NVE AlfaBeta*. Hentet fra Utløpslengde beregning: <http://nve.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=e510e316b4654982a64a5e5c2fcff474>
- Petje, U., Ribicic, M., & Mikos, M. (2005). *Computer simulation of stonefalls and rockfalls*. Ljubljana: Acta geographica Slovenica.
- PimpMyRockyfor (v1.1) [Programutvidelse]. (2014, 08 29). Hentet fra <http://wp.unil.ch/risk/software/pimpmyrockyfor>.
- Ramberg, I., Bryhni, I., & Nøttvedt, A. (2007). *Landet blir til*. Trondheim: Norsk Geologisk Forening (NGF).
- Roald, L. (2013). *Flom i Norge*. Vestfossen: Tom & Tom.
- RocFall (v6.011) [Dataprogram]. (2018, 01 24). Toronto, Canada: Rocscience Inc.
- Rockyfor3D (v5.2.6) [Dataprogram]. (2016, 03 30). Geneve, Sveits: ecorisQ.
- Rocscience (a). (2018, 01 24). *rocscience.com*. Hentet fra Rocscience Coefficient of Restitution Table: https://www.rocscience.com/help/rocfall/webhelp6/baggage/rn_rt_table.htm
- Rocscience (b). (2018). *rocscience.com*. Hentet fra Tutorial: https://www.rocscience.com/help/rocfall/webhelp6/pdf_files/Tutorials/Tutorial_01_Quick_Start.pdf
- Rocscience (c). (2018). *rocscience.com*. Hentet fra RocFall: <https://www.rocscience.com/rocscience/products/rocfall>

- Rocscience (d). (2018, 05 23). *rocscience.com*. Hentet fra Coefficient of Restitution:
https://www.rocscience.com/help/rocfall/webhelp/rocfall/Coefficient_of_Restitution.htm
- Rocscience. (2003). Advanced Tutorial. *RocNews*.
- Russenes, B. F. (2009). *Årdal kommune - Skredhending Vassbugen - Årdalstangen Framlegg til sikringstiltak*. Leikanger: Sogn og Fjordane Fylkeskommune.
- seNorge. (2018). *senorge.no*. Hentet fra snødybde:
<http://www.senorge.no/index.html?p=senorgeny&st=snow>
- Starheim, O. (2013, 05 14). *allkunne.no*. Hentet fra Naturskader og ulykker i Årdal:
<https://www.allkunne.no/framside/fylkesleksikon-sogn-og-fjordane/historie-i-sogn-og-fjordane/historie/naturskader-og-ulukker-i-ardal/1901/76558/>
- Statens Vegvesen. (2014). *Flom- og sørpeskred*. Oslo: Veidirektoratet.
- Varsom. (2018, 5 7). *Varsom.no*. Hentet fra Snøskredtyper:
<http://www.varsom.no/snoskredskolen/snoskredvarselet-forklaring/snoskredtyper/>
- Årdal Kommune (a). (2012, 02 09). *ardal.kommune.no*. Hentet fra Vassbugen (trinn 1 og 2):
<http://www.ardal.kommune.no/vassbugen-trinn-1-2.161799.nn.html>
- Årdal Kommune (b). (2012, 02 09). *ardal.kommune.no*. Hentet fra Vassbugen (trinn 3):
<http://www.ardal.kommune.no/vassbugen-trinn-3.162004.nn.html>
- Årdal Sogelag. (2013). *ardalsogelag.no*. Hentet fra Sogelagets bildearkiv:
<http://www.ardalsogelag.no/bilder>

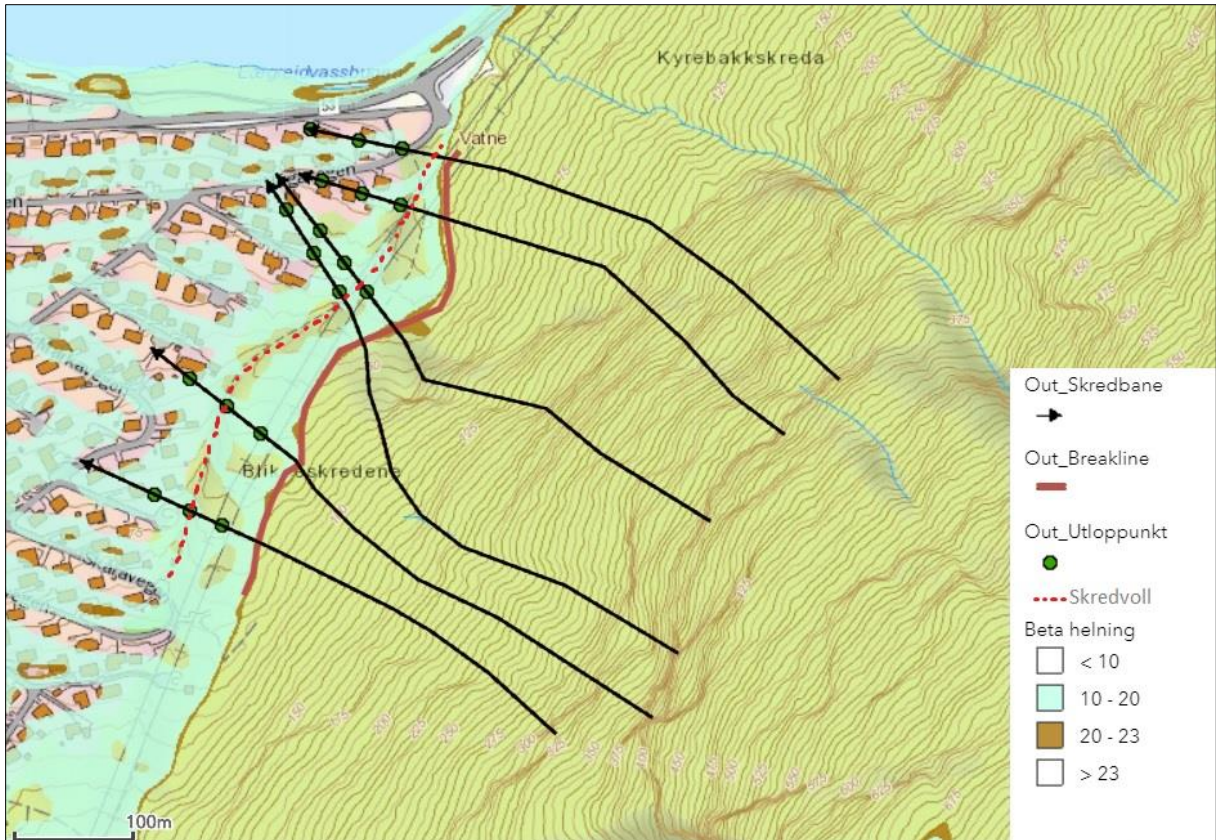
8 Vedlegg



Figur 40: Vegetasjon delt inn i tilhørende polygon



Figur 41: Maksimalt utløp α - β .



Figur 42: α - β metode utført på NVE sine hjemmesider. Modellen viser tre utløp per profil. Dette kommer av at NVE bruker en pluss og minus verdi på siste del av ligningen.

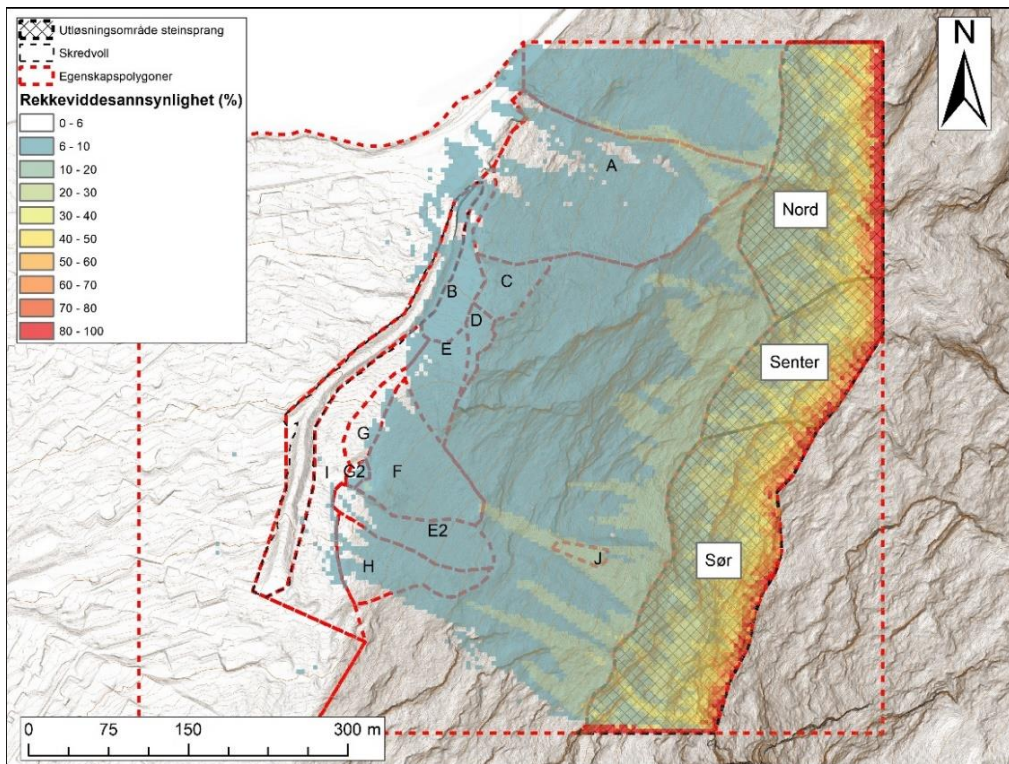


Figur 43: Utløsningsområde i overkant av område F (Figur 27). Bildet er tatt ved foten av skredvallen. Utløsningsområde har svart skravur mens skredbanen er markert med rød stiplet linje. Blokker nederst i figuren har trolig opprinnelse fra nettopp det. Foto: Thomas Danielsen

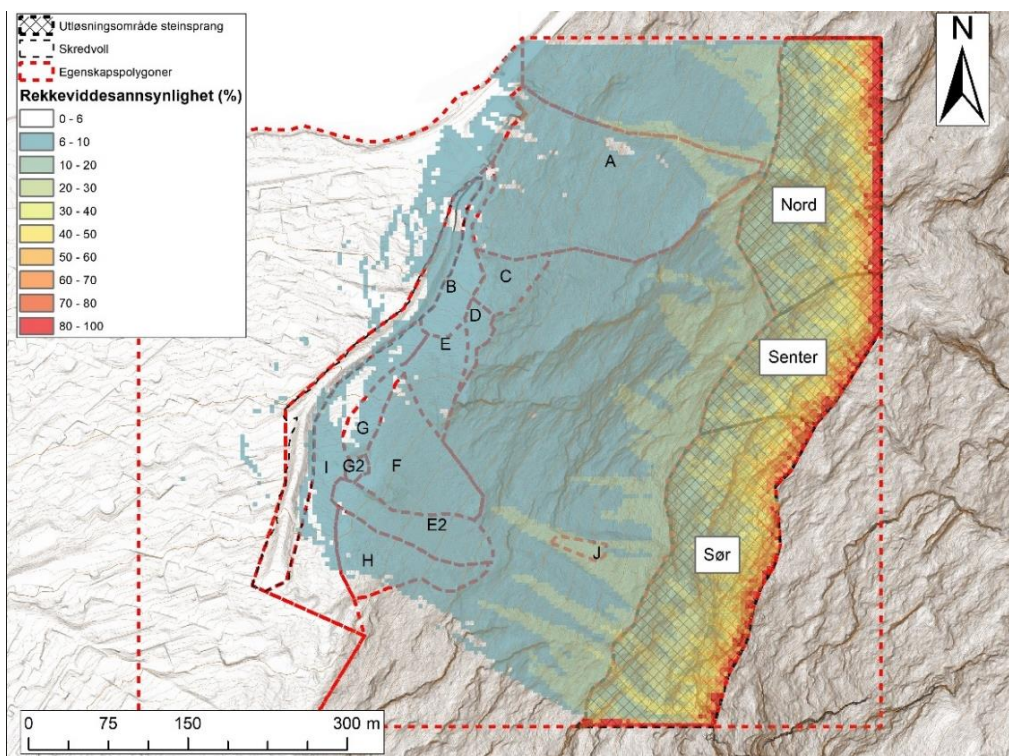


Figur 44: Utøsningsområde, skredbane og avsetningsområde i en samlet oversikt fra utøsningsområde i sør. Avsetningsområde markert på figuren dekker område E, F, G, G2 og E2 (venstre til høyre). Skredbanen bidrar til både løsmasseskred og leder stein løsnet fra fast fjell. Bildet er tatt fra Tangen skole. Foto: Thomas Danielsen.

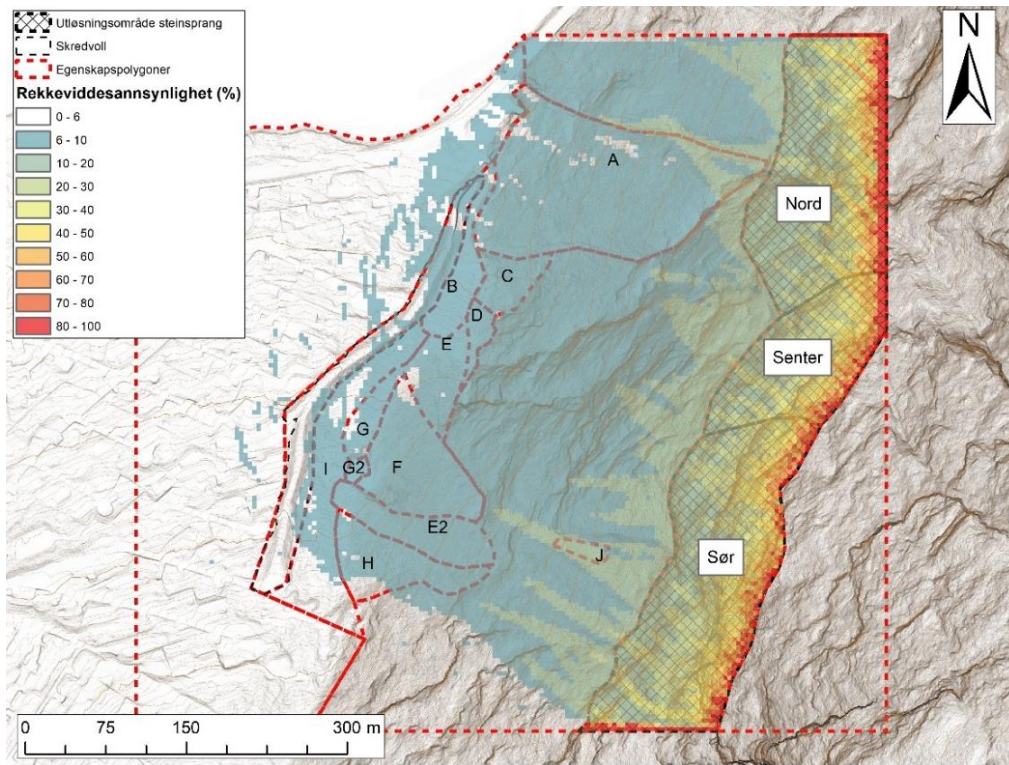
8.1 Rockyfor3D



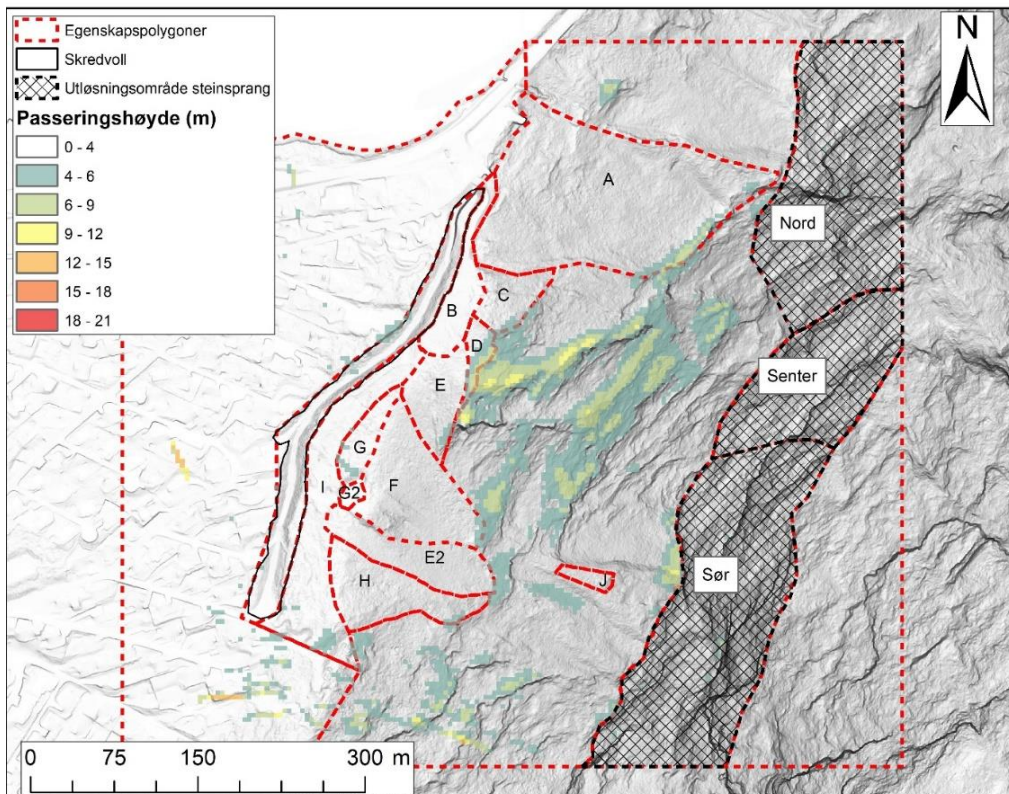
Figur 45: Resultater som ASC-fil fra Rockyfor3D presentert i ArcMap. Simulering med største årlig sannsynlighet 1/100.



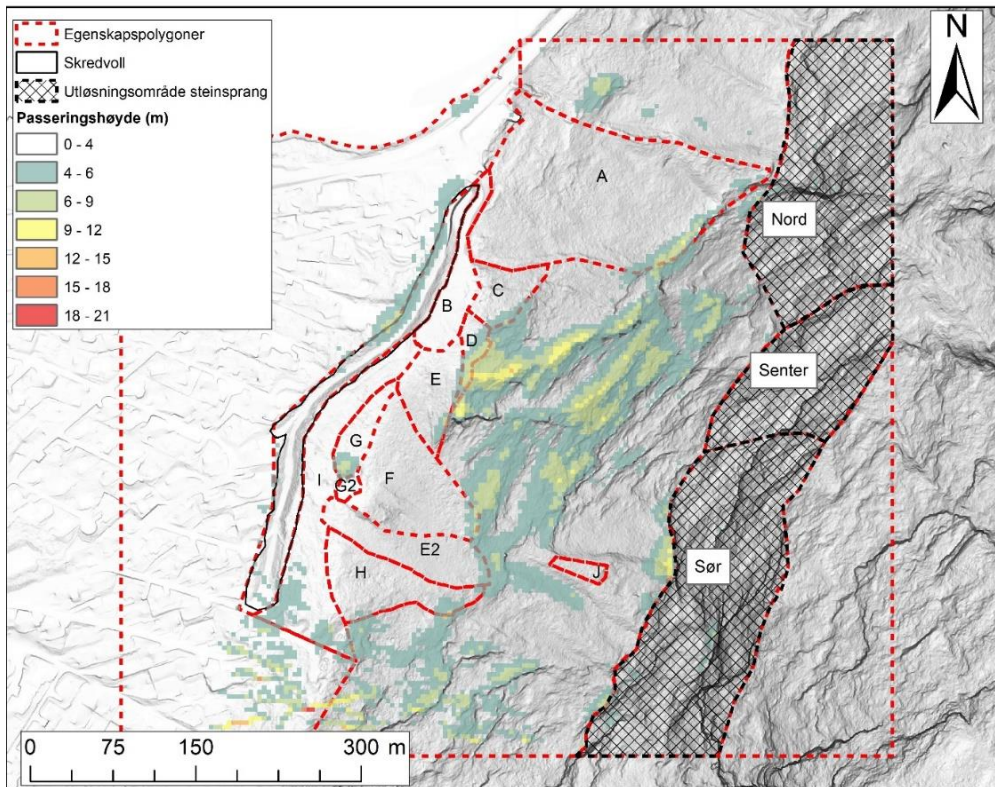
Figur 46: Resultat som ASC-fil fra Rockyfor3D presentert i ArcMap. Simulering med største årlig sannsynlighet 1/1000.



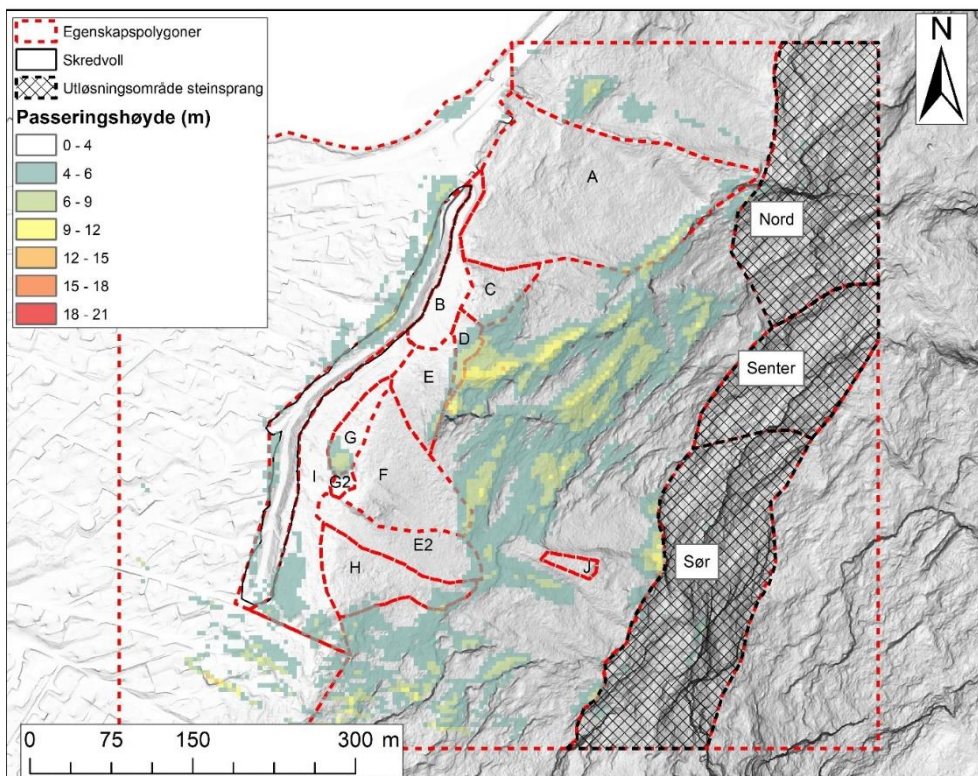
Figur 47: Resultat som ASC-fil fra Rockyfor3D presentert i ArcMap. Simulering med største årlig sannsynlighet 1/5000.



Figur 48: Spretthøyde for simulering med største årlig sannsynlighet 1/100.



Figur 49: Spretthøyde for simulering med største årlig sannsynlighet 1/1000.



Figur 50: Spretthøyde for simulering med største årlig sannsynlighet 1/5000.

Tabell 10: Inndata simulering for største årlig sannsynlighet 1/100.

FID	OBJECTID	SHAPE_Leng	SHAPE_Area	Type	Rockdensit	BLSHAPE	D1	D2	D3	RG70	RG20	RG10	SOILTYPE
0	1	875,2949134	31811,3586	Utløsningsområde sør	2700	1	1	1	1	0	0	0	6
1	2	519,8672165	14258,48561	Utløsningsområde senter	2700	1	1	1	1	0	0	0	6
2	7	703,5934104	26004,84222	Utløsningsområde nord	2700	1	1	1	1	0	0	0	6
3	8	391,9299526	5731,976047	Område H	0	0	0	0	0	0,228	0,442	0,87	4
4	9	374,3240488	5081,639845	Område E2	0	0	0	0	0	0,08	0,174	0,322	3
5	10	406,5925395	8438,076891	Område F	0	3	0	0	0	0,051	0,208	0,854	4
6	11	76,55720886	377,4766189	Område G2	0	0	0	0	0	1,414	1,414	1,414	4
7	12	229,9445736	2007,203522	Område G	0	0	0	0	0	1,414	0,978	2,192	4
8	13	732,625597	26427,90797	Område A	0	2	0	0	0	0,108	0,208	0,45	4
9	17	232,786725	2653,020435	Område C	0	1	0	0	0	0,172	0,456	0,45	4
10	18	397,7190451	3448,428546	Område B	0	0	0	0	0	0,03	0,03	0,03	3
11	19	216,2595699	1183,359156	Område D	0	1	0	0	0	0,11	0,252	0,338	4
12	20	282,4196947	3806,352938	Område E	0	0	0	0	0	0,08	0,174	0,322	3
13	21	776,1399409	10327,77737	Område I	0	0	0	0	0	0,03	0,03	0,03	4
14	22	947,9835431	10000,78326	Skredvoll	0	0	0	0	0	0	0	0,05	3
15	23	1949,99805	114859,2701	Boliger/Bebyggelse Vassbugen	0	0	0	0	0	0	0	0	3
16	28	123,496034	650,607324	Løsmasser i skredbane	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,3	4
17	29	2411,464364	124667,7106	Tynt dekke1	0	0	0	0	0	0	0,05	0,1	5
18	20	952,8630041	34419,20018	Tynt dekke2	0	0	0	0	0	0	0,05	0,1	5

Tabell 11: Inndata simulering for største årlig sannsynlighet 1/1000.

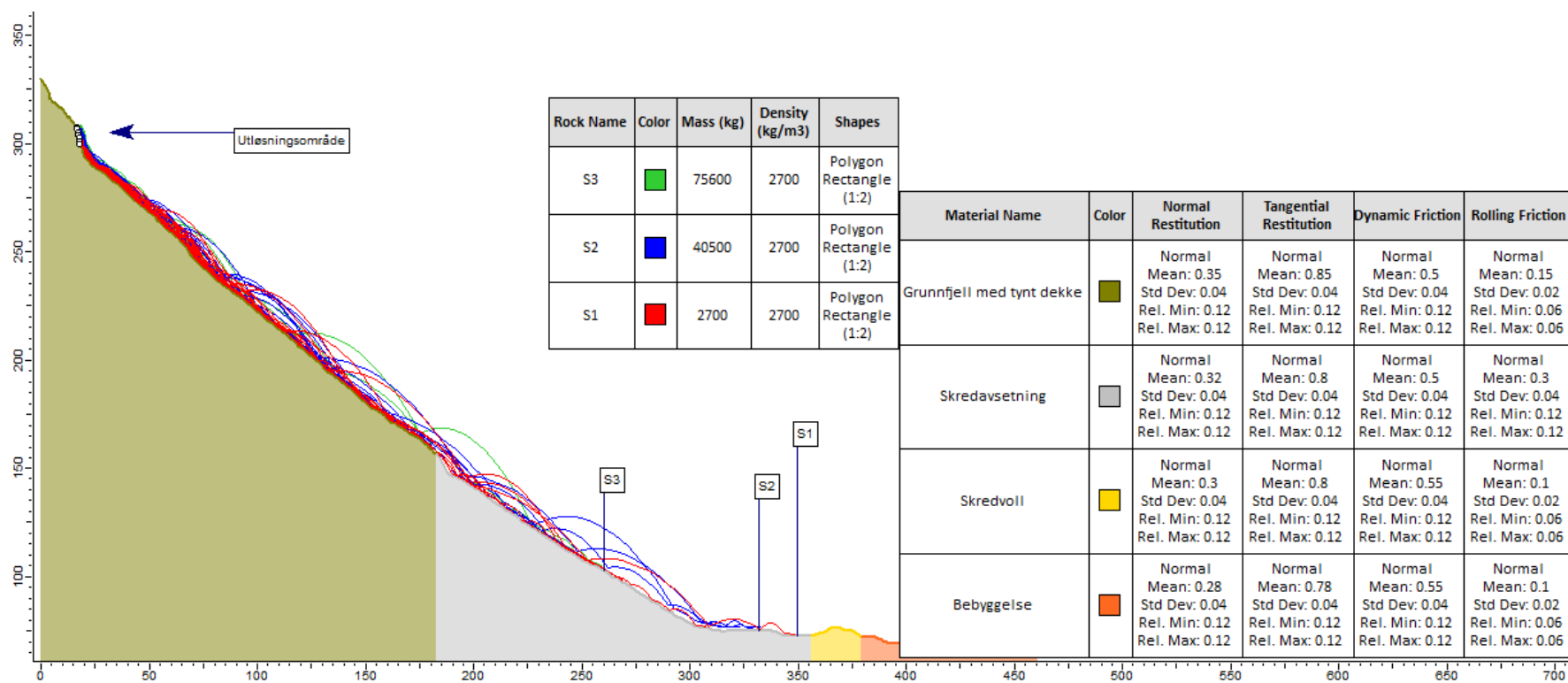
FID	OBJECTID	SHAPE_Leng	SHAPE_Area	Type	Rockdensit	BLSHAPE	D1	D2	D3	RG70	RG20	RG10	SOILTYPE
0	1	875,2949134	31811,3586	Utløsningsområde sør	2700	1	2,46	2,46	2,46	0	0	0	6
1	2	519,8672165	14258,48561	Utløsningsområde senter	2700	1	1,9	1,9	1,9	0	0	0	6
2	7	703,5934104	26004,84222	Utløsningsområde nord	2700	1	1,9	1,9	1,9	0	0	0	6
3	8	391,9299526	5731,976047	Område H	0	0	0	0	0	0,228	0,442	0,87	4
4	9	374,3240488	5081,639845	Område E2	0	0	0	0	0	0,08	0,174	0,322	3
5	10	406,5925395	8438,076891	Område F	0	3	0	0	0	0,051	0,208	0,854	4
6	11	76,55720886	377,4766189	Område G2	0	0	0	0	0	1,414	1,414	1,414	4
7	12	229,9445736	2007,203522	Område G	0	0	0	0	0	1,414	0,978	2,192	4
8	13	732,625597	26427,90797	Område A	0	2	0	0	0	0,108	0,208	0,45	4
9	17	232,786725	2653,020435	Område C	0	1	0	0	0	0,172	0,456	0,45	4
10	18	397,7190451	3448,428546	Område B	0	0	0	0	0	0,03	0,03	0,03	3
11	19	216,2595699	1183,359156	Område D	0	1	0	0	0	0,11	0,252	0,338	4
12	20	282,4196947	3806,352938	Område E	0	0	0	0	0	0,08	0,174	0,322	3
13	21	776,1399409	10327,77737	Område I	0	0	0	0	0	0,03	0,03	0,03	4
14	22	947,9835431	10000,78326	Skredvoll	0	0	0	0	0	0	0	0,05	3
15	23	1949,99805	114859,2701	Boliger/Bebyggelse Vassbugen	0	0	0	0	0	0	0	0	3
16	28	123,496034	650,607324	Løsmasser i skredbane	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,3	4
17	29	2411,464364	124667,7106	Tynt dekke1	0	0	0	0	0	0	0,05	0,1	5
18	30	952,8630041	34419,20018	Tynt dekke2	0	0	0	0	0	0	0,05	0,1	5

Tabell 12: Inndata simulering for største årlig sannsynlighet 1/5000.

FID	OBJECTID	SHAPE_Leng	SHAPE_Area	Type	Rockdensit	BLSHAPE	D1	D2	D3	RG70	RG20	RG10	SOILTYPE
0	1	875,2949134	31811,3586	Utløsningsområde sør	2700	1	3,04	3,04	3,04	0	0	0	6
1	2	519,8672165	14258,48561	Utløsningsområde senter	2700	1	2,46	2,46	2,46	0	0	0	6
2	7	703,5934104	26004,84222	Utløsningsområde nord	2700	1	2,46	2,46	2,46	0	0	0	6
3	8	391,9299526	5731,976047	Område H	0	0	0	0	0	0,228	0,442	0,87	4
4	9	374,3240488	5081,639845	Område E2	0	0	0	0	0	0,08	0,174	0,322	3
5	10	406,5925395	8438,076891	Område F	0	3	0	0	0	0,051	0,208	0,854	4
6	11	76,55720886	377,4766189	Område G2	0	0	0	0	0	1,414	1,414	1,414	4
7	12	229,9445736	2007,203522	Område G	0	0	0	0	0	1,414	0,978	2,192	4
8	13	732,625597	26427,90797	Område A	0	2	0	0	0	0,108	0,208	0,45	4
9	17	232,786725	2653,020435	Område C	0	1	0	0	0	0,172	0,456	0,45	4
10	18	397,7190451	3448,428546	Område B	0	0	0	0	0	0,03	0,03	0,03	3
11	19	216,2595699	1183,359156	Område D	0	1	0	0	0	0,11	0,252	0,338	4
12	20	282,4196947	3806,352938	Område E	0	0	0	0	0	0,08	0,174	0,322	3
13	21	776,1399409	10327,77737	Område I	0	0	0	0	0	0,03	0,03	0,03	4
14	22	947,9835431	10000,78326	Skredvoll	0	0	0	0	0	0	0	0,05	3
15	23	1949,99805	114859,2701	Boliger/Bebyggelse Vassbugen	0	0	0	0	0	0	0	0	3
16	28	123,496034	650,607324	Løsmasser i skredbane	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,3	4
17	29	2411,464364	124667,7106	Tynt dekke1	0	0	0	0	0	0	0,05	0,1	5
18	30	952,8630041	34419,20018	Tynt dekke2	0	0	0	0	0	0	0,05	0,1	5

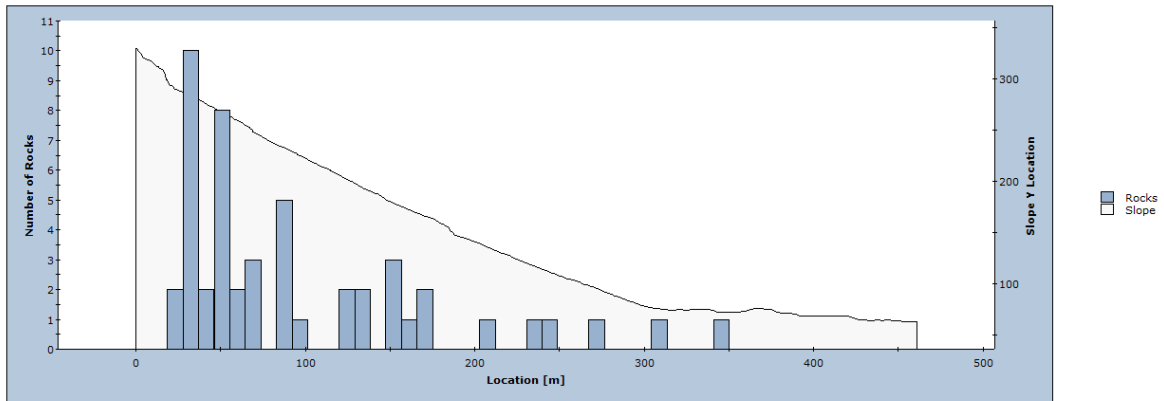
8.2 RocFall

Profil 1

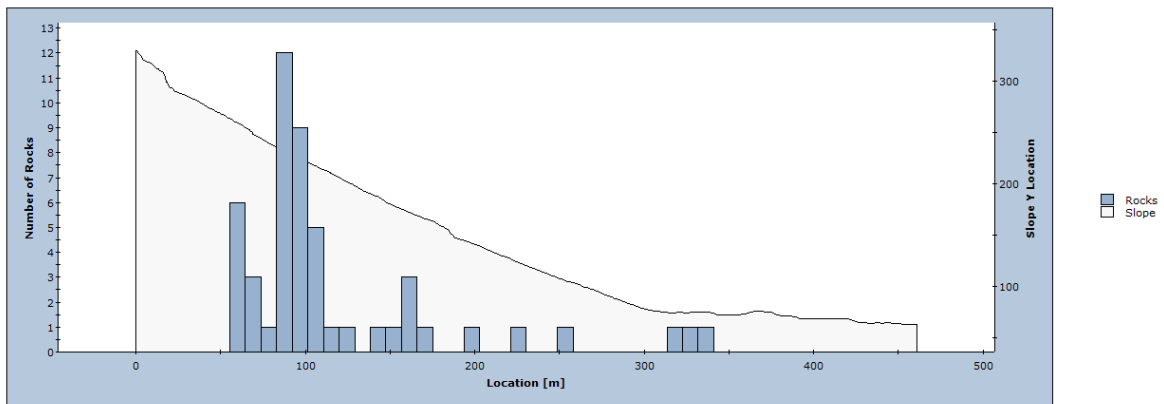


Figur 51: De maksimale utløpslengdene simulert for blokkstørrelsene S1 (2700 kg), S2 (40 500 kg) og S3 (75 600 kg) i profil 1.

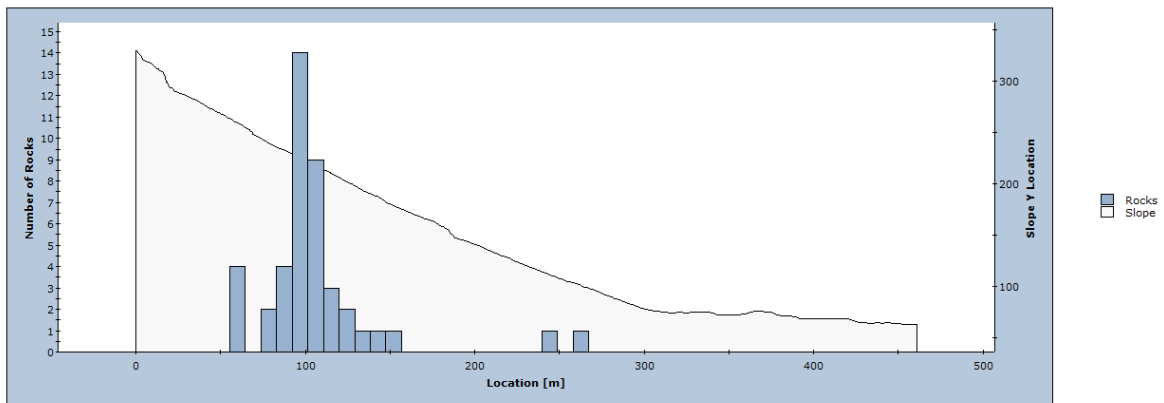
Distribution of Rock Path End Locations



Distribution of Rock Path End Locations

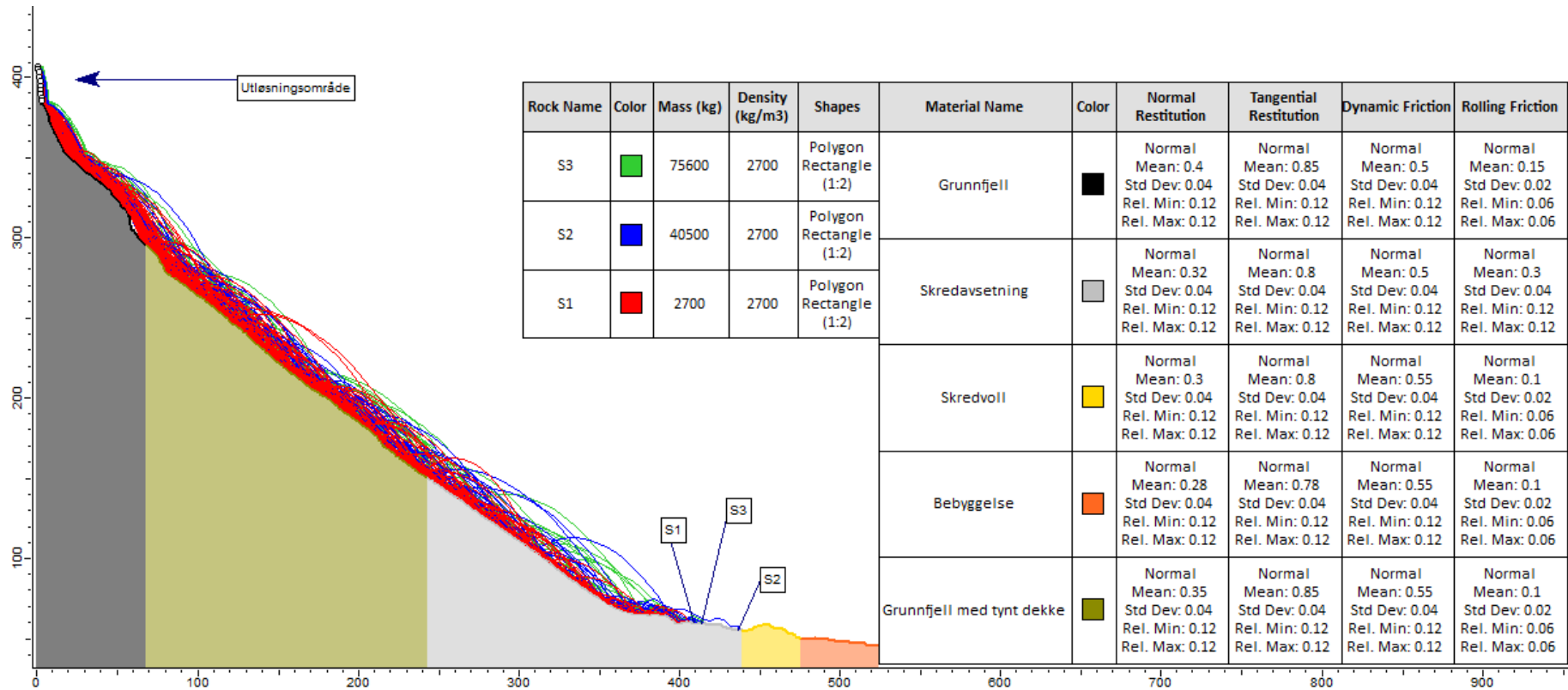


Distribution of Rock Path End Locations

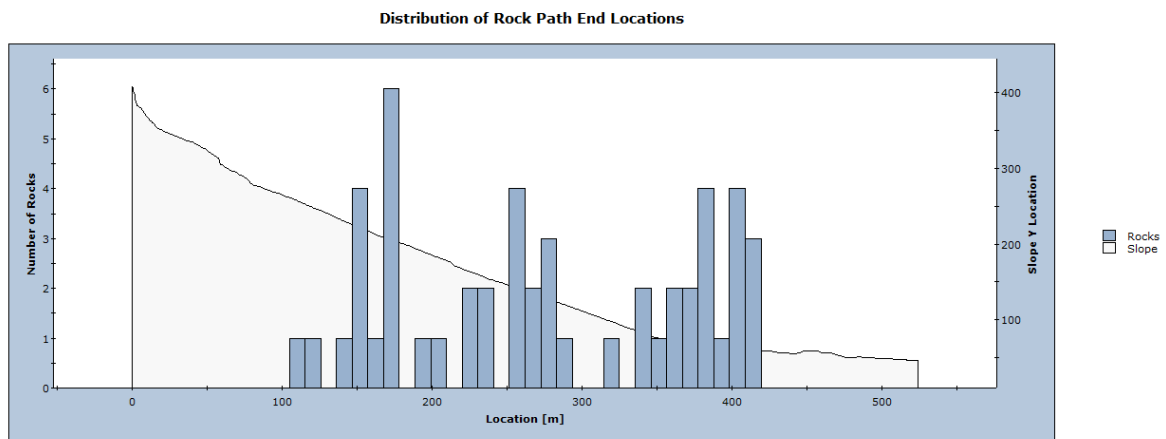
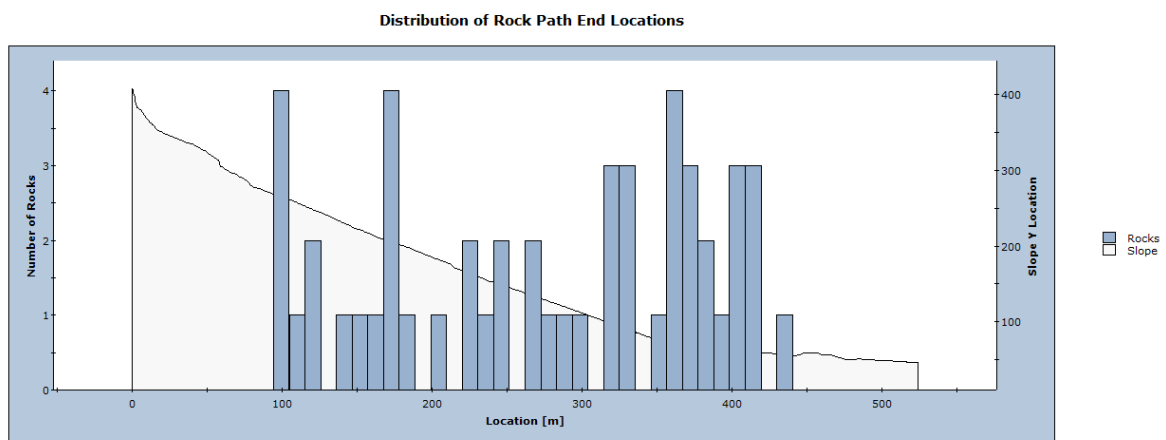
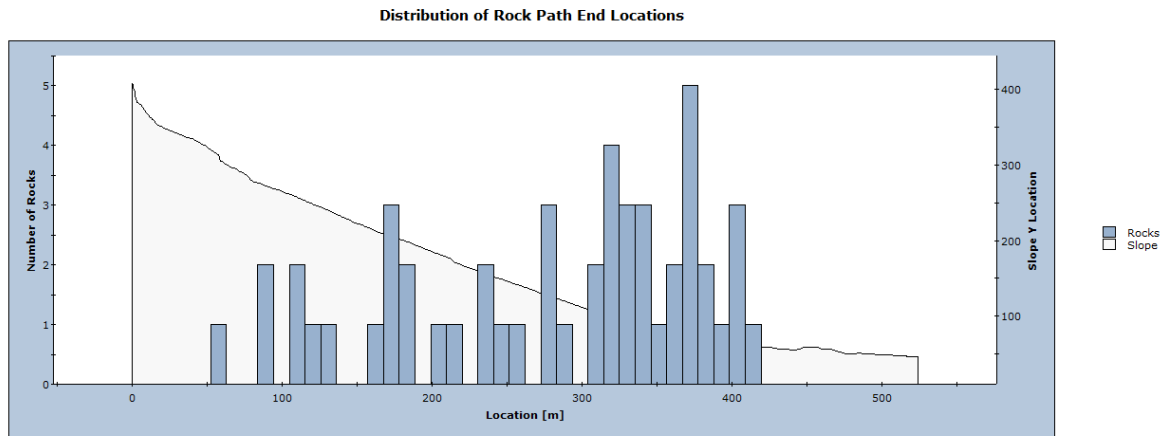


Figur 52: Fordeling av hvor blokkene stopper langs profil 1, gitt blokkstørrelse S1 (2700 kg), S2 (40 500 kg) og S3 (75 600 kg).

Profil 2

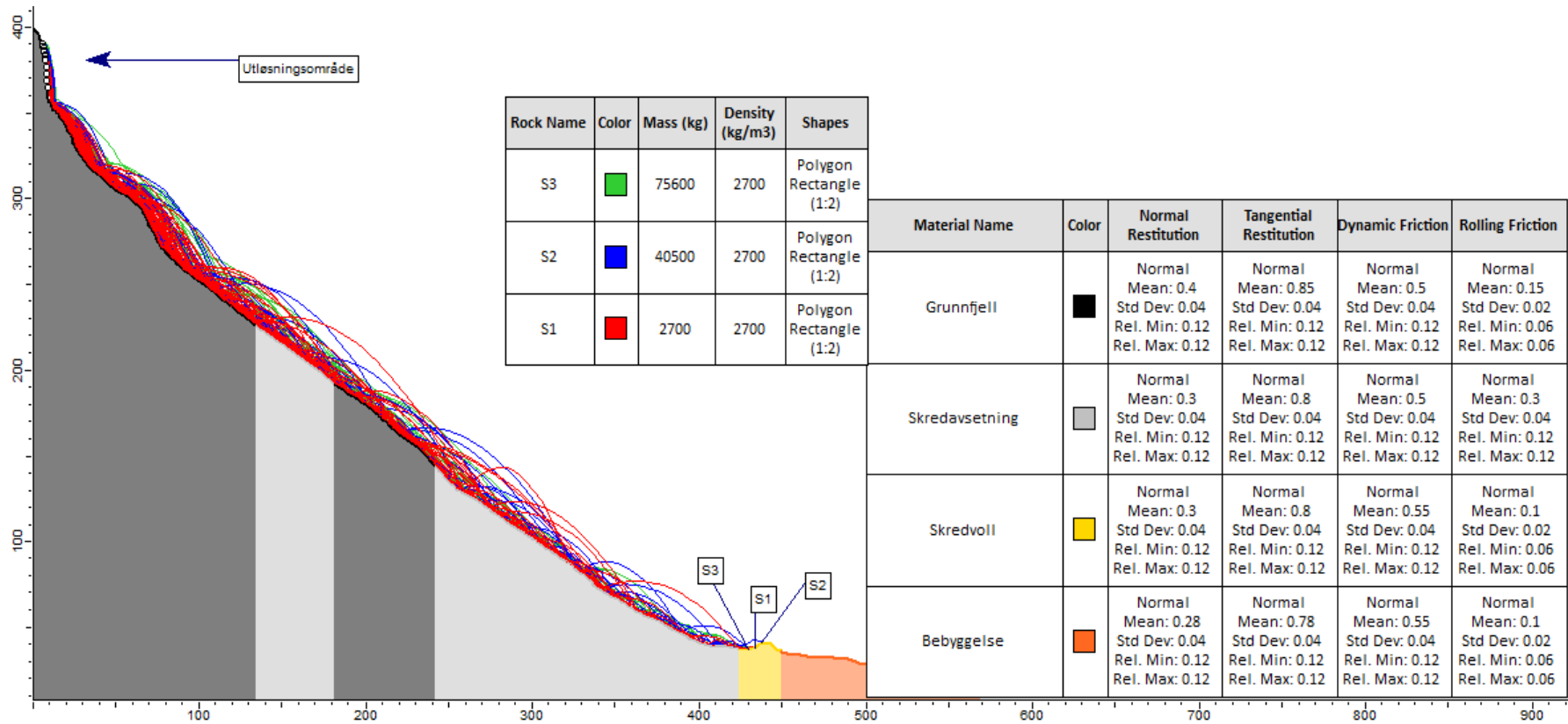


Figur 53: De maksimale utløpslengdene simulert for blokkstørrelsene S1 (2700 kg), S2 (40 500 kg) og S3 (75 600 kg) i profil 2.

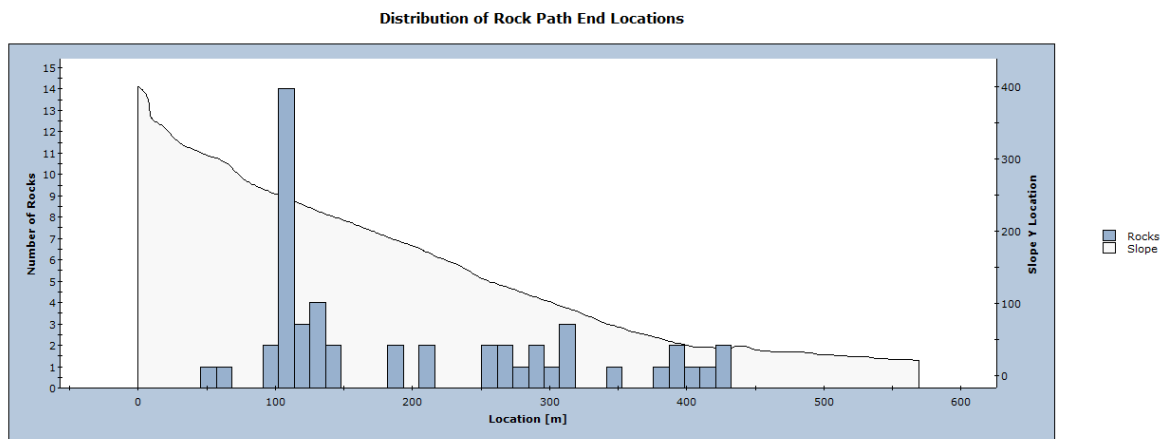
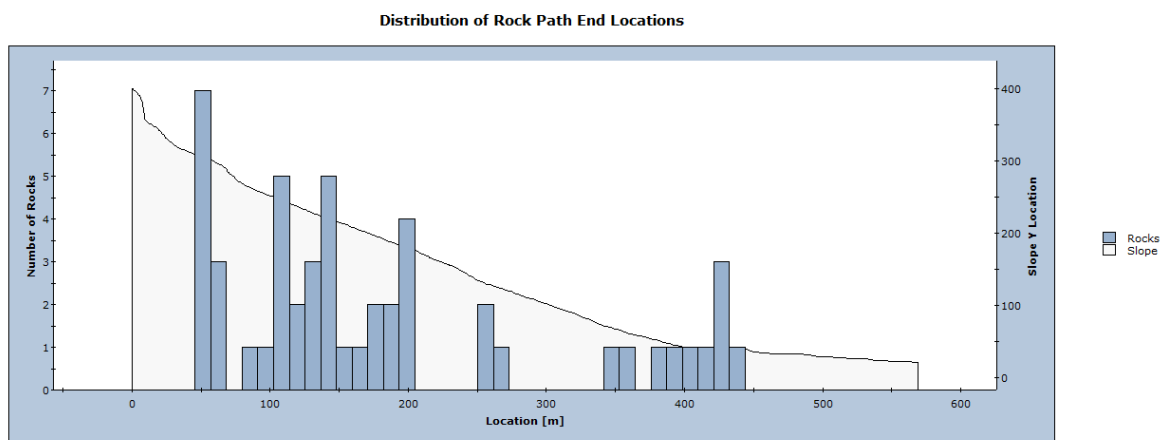
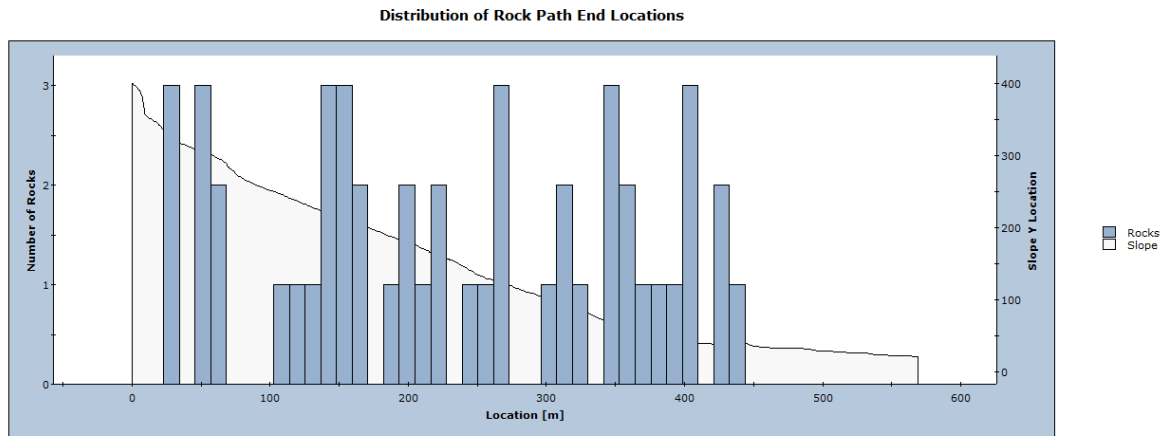


Figur 54: Fordeling av hvor blokkene stopper langs profil 2, gitt blokkstørrelse S1 (2700 kg), S2 (40 500 kg) og S3 (75 600 kg).

Profil 3

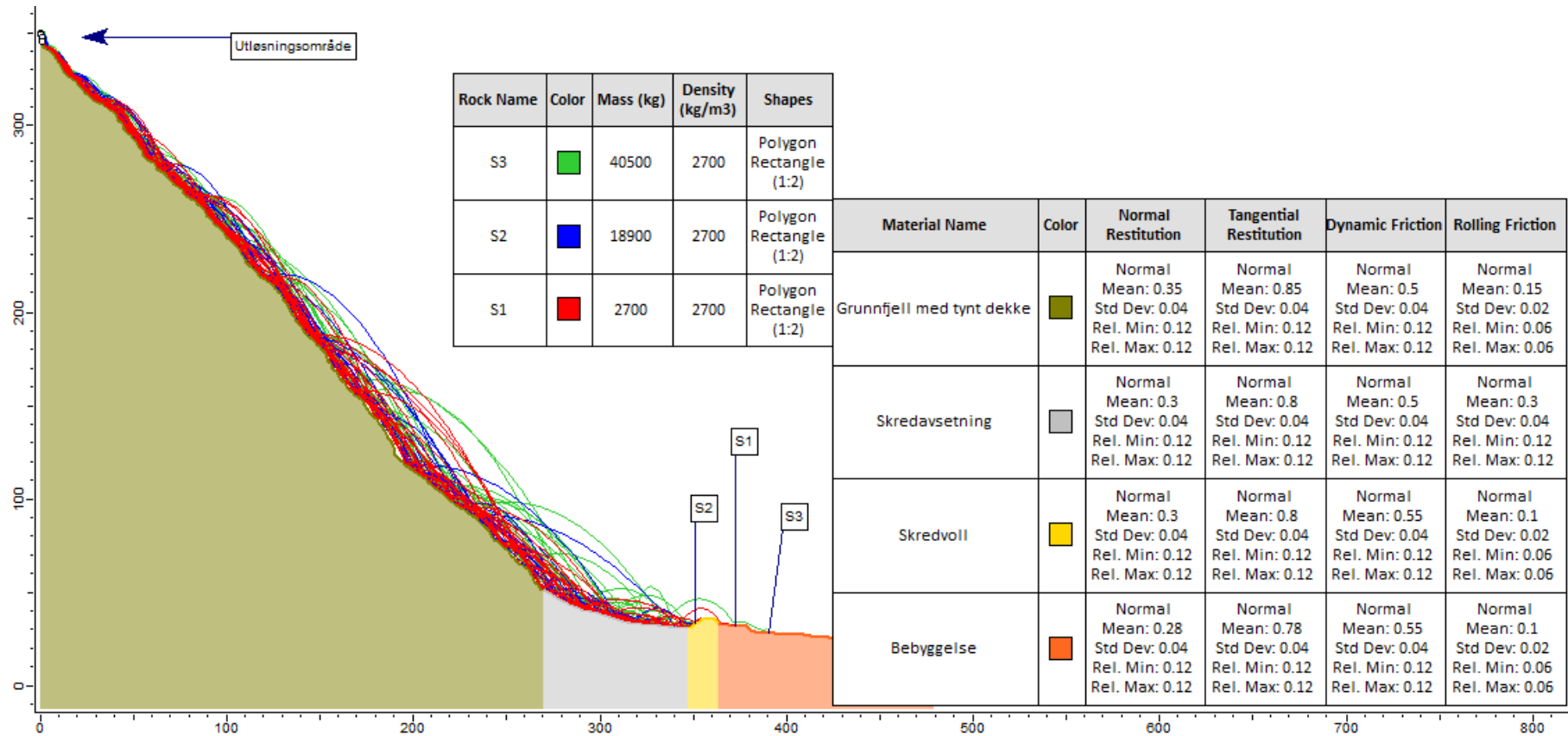


Figur 55: De maksimale utløpslengdene simulert for blokkstørrelsene S1 (2700 kg), S2 (40 500 kg) og S3 (75 600 kg) i profil 3.

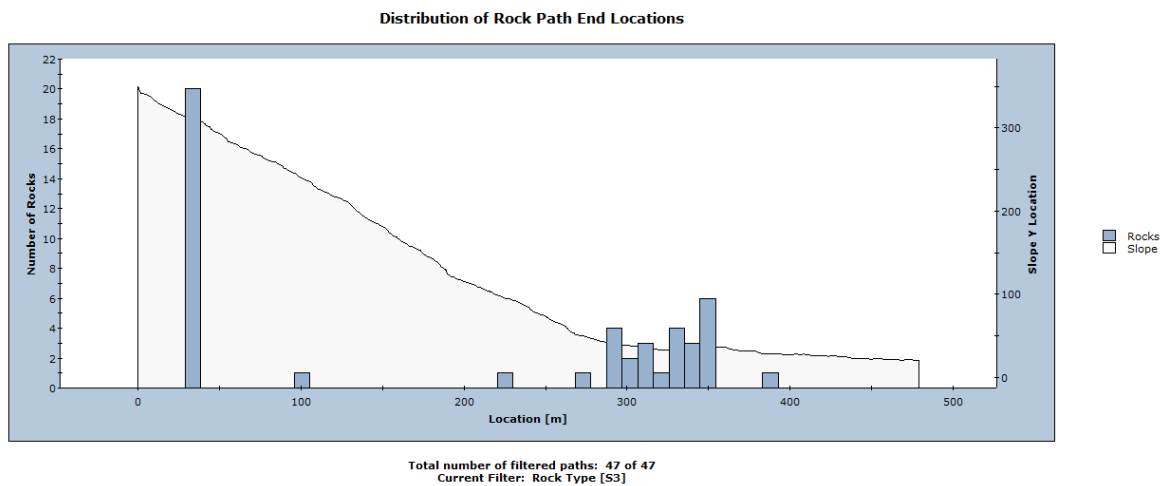
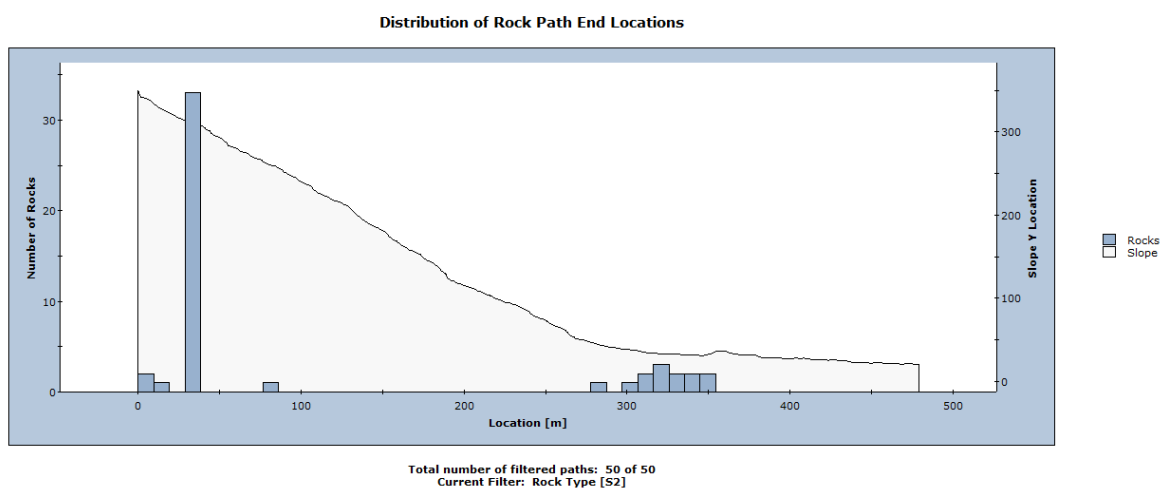
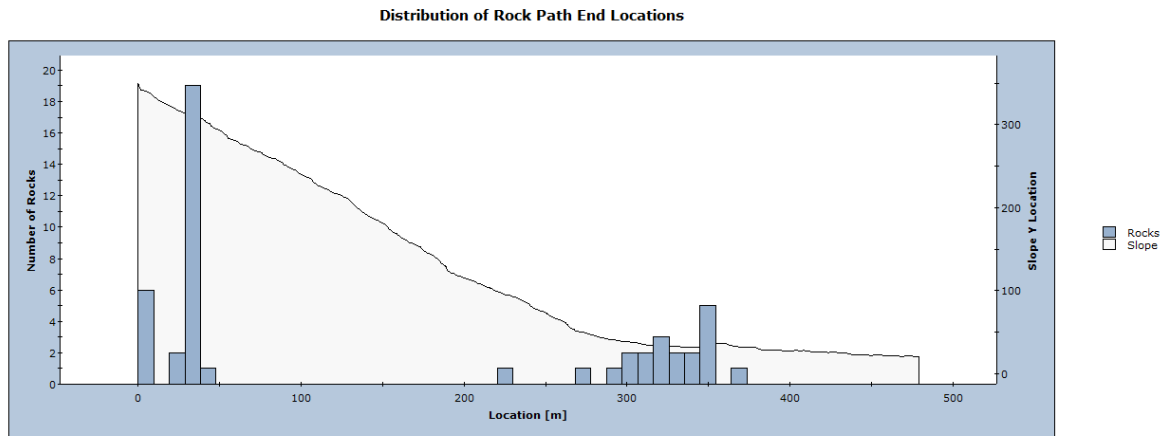


Figur 56: Fordeling av hvor blokkene stopper langs profil 3, gitt blokkstørrelse S1 (2700 kg), S2 (40 500 kg) og S3 (75 600 kg).

Profil 4

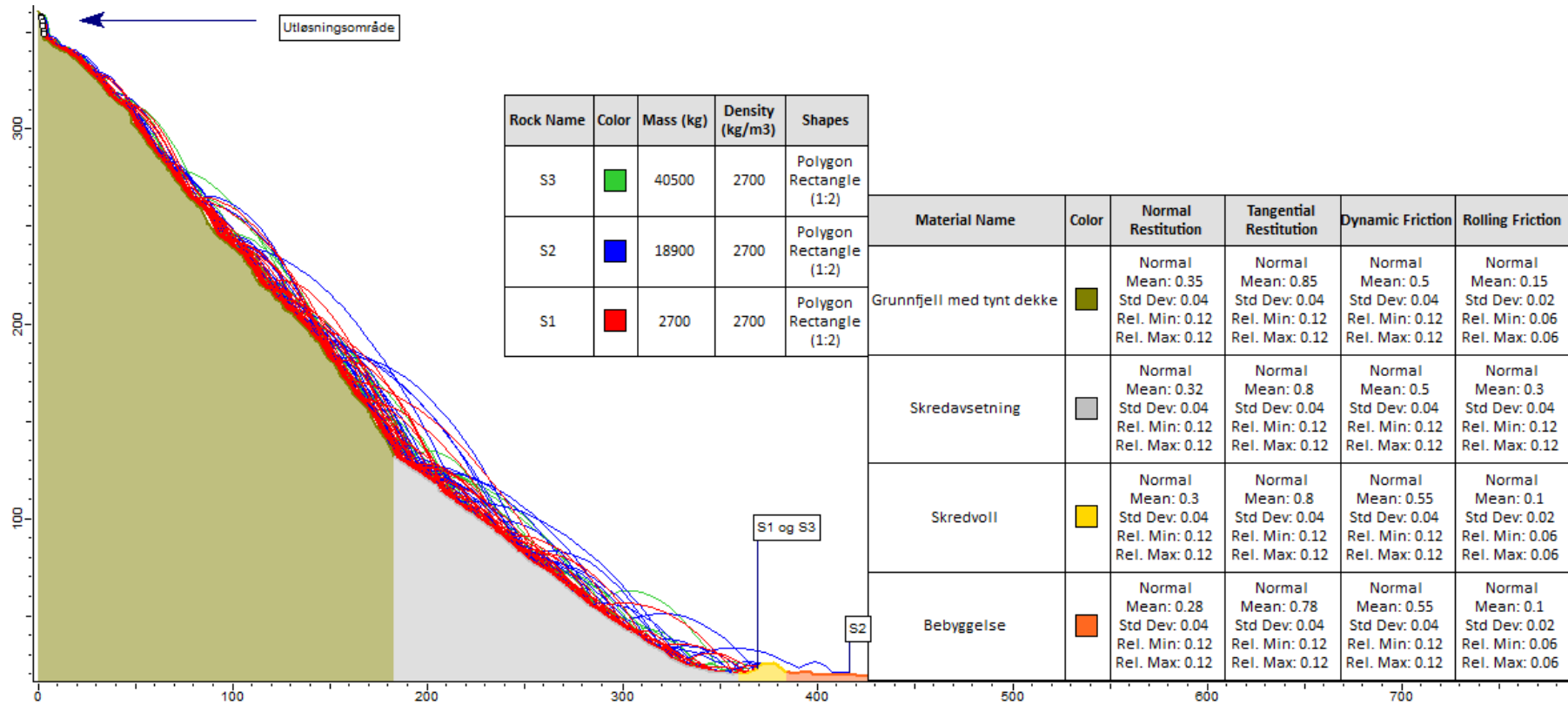


Figur 57: De maksimale utløpslengdene simulert for blokkstørrrelsene S1 (2700 kg), S2 (18 900 kg) og S3 (40 500 kg) i profil 4.

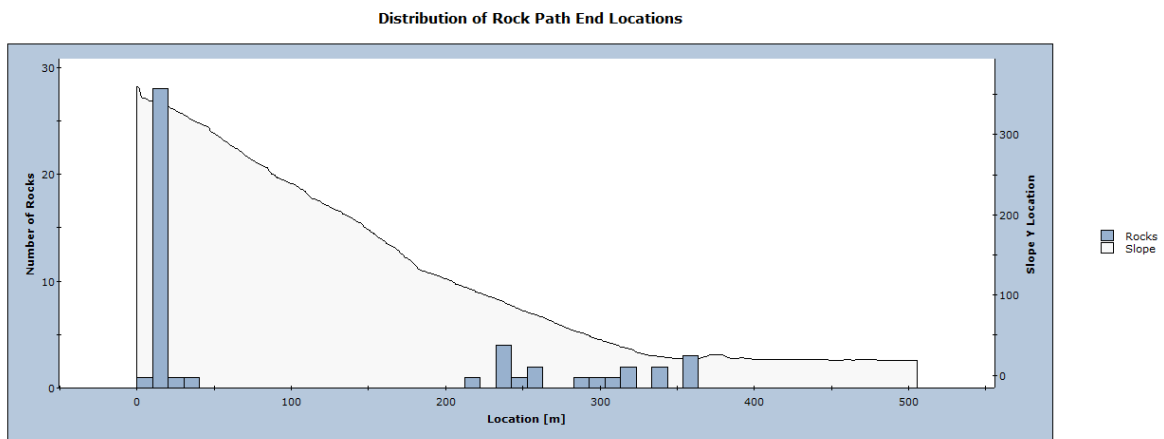
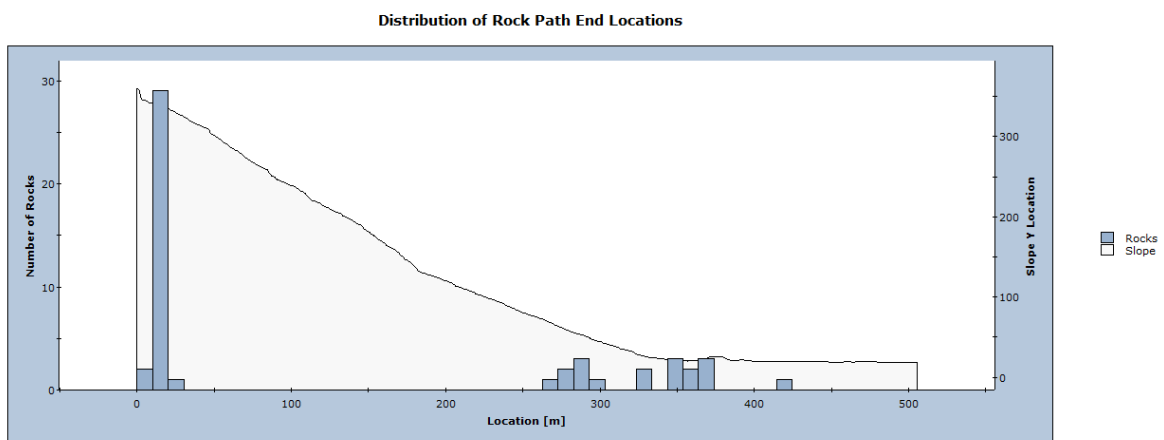
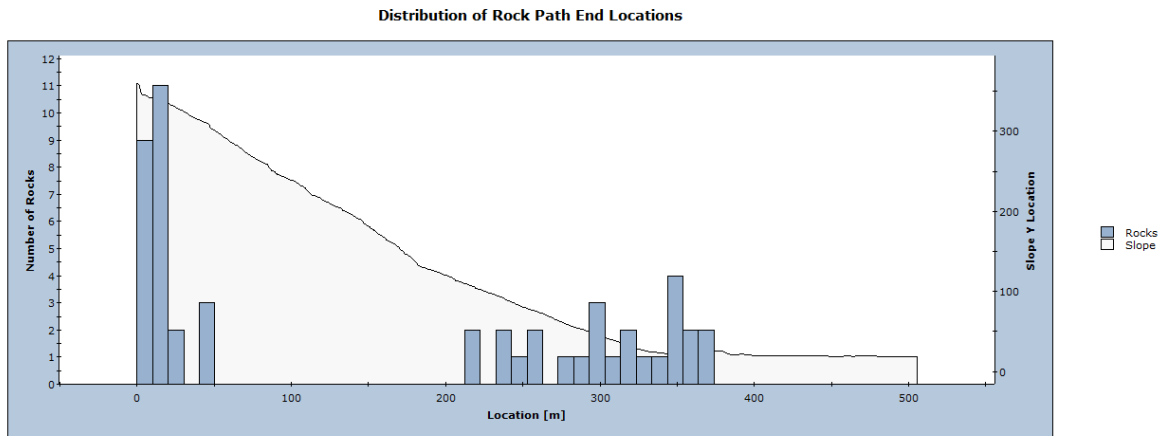


Figur 58: Fordeling av hvor blokkene stopper langs profil 4, gitt blokkstørrelse S1 (2700 kg), S2 (18 900 kg) og S3 (40 500 kg).

Profil 5

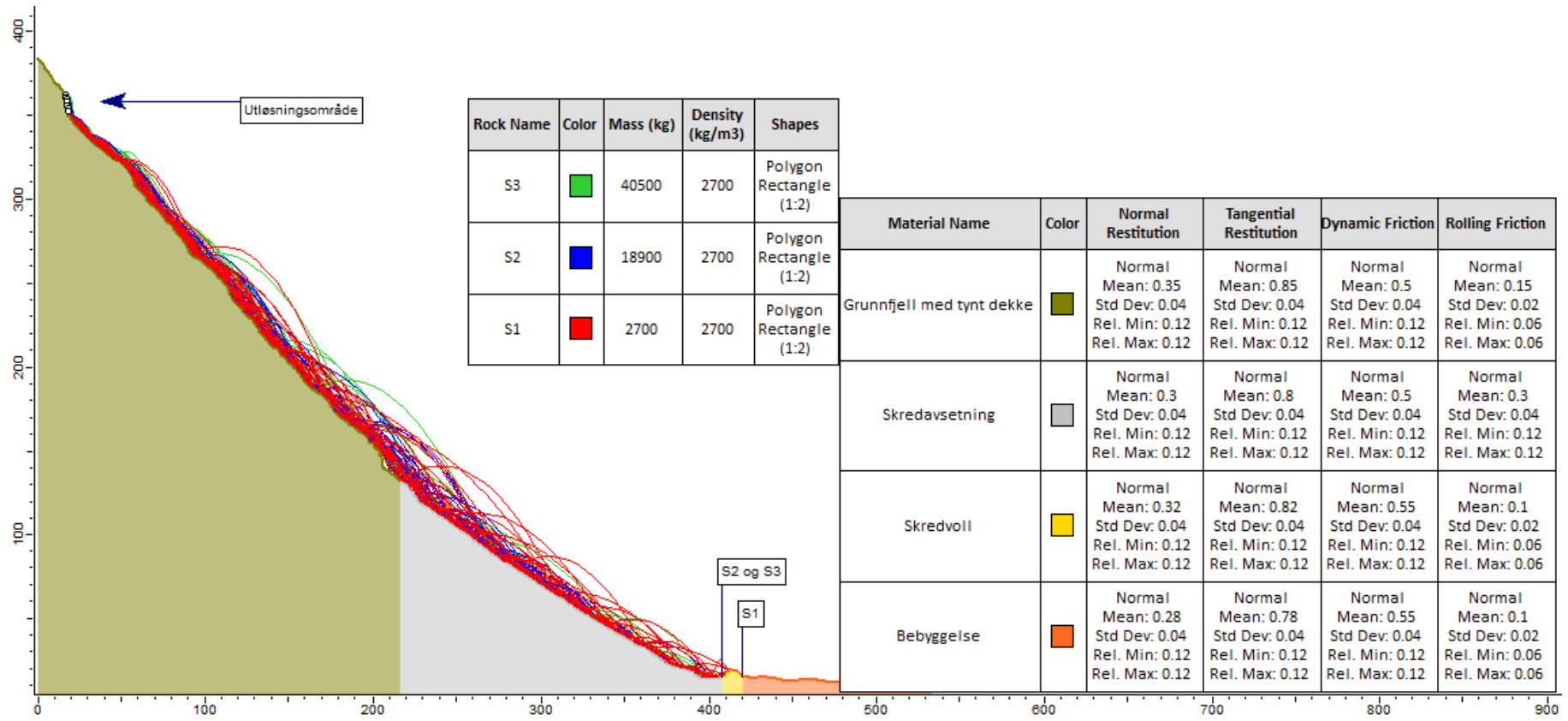


Figur 59: De maksimale utløpslengdene simulert for blokkstørrelsene S1 (2700 kg), S2 (18 900 kg) og S3 (40 500 kg) i profil 5.

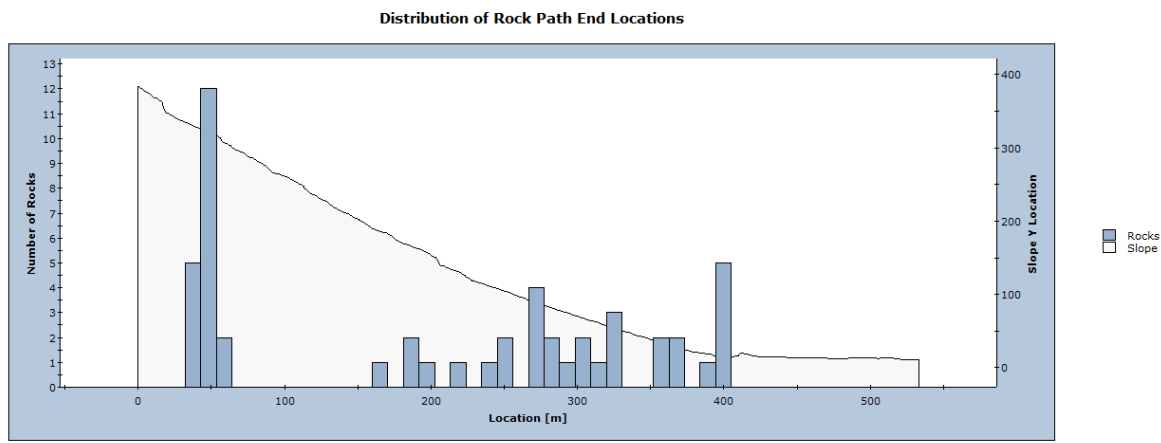
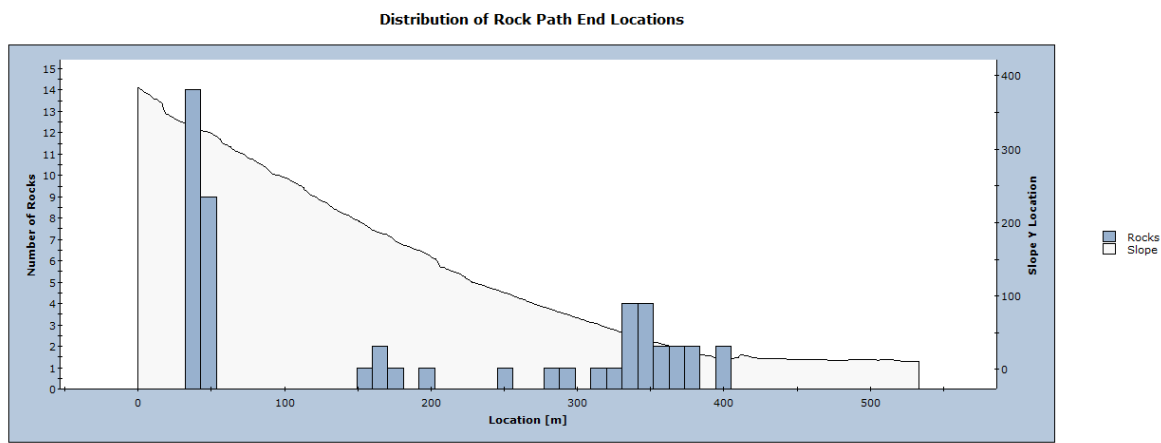
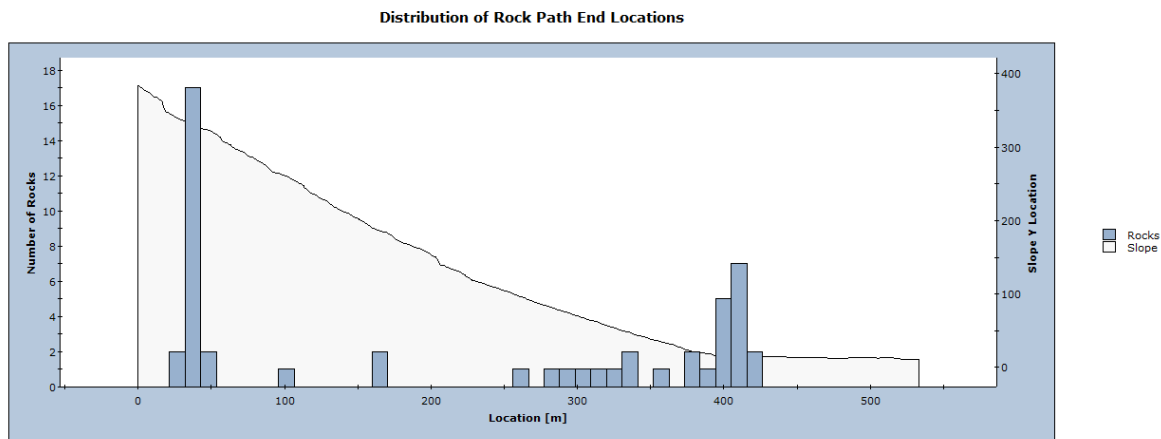


Figur 60: Fordeling av hvor blokkene stopper langs profil 5, gitt blokkstørrelse S1 (2700 kg), S2 (18 900 kg) og S3 (40 500 kg).

Profil 6



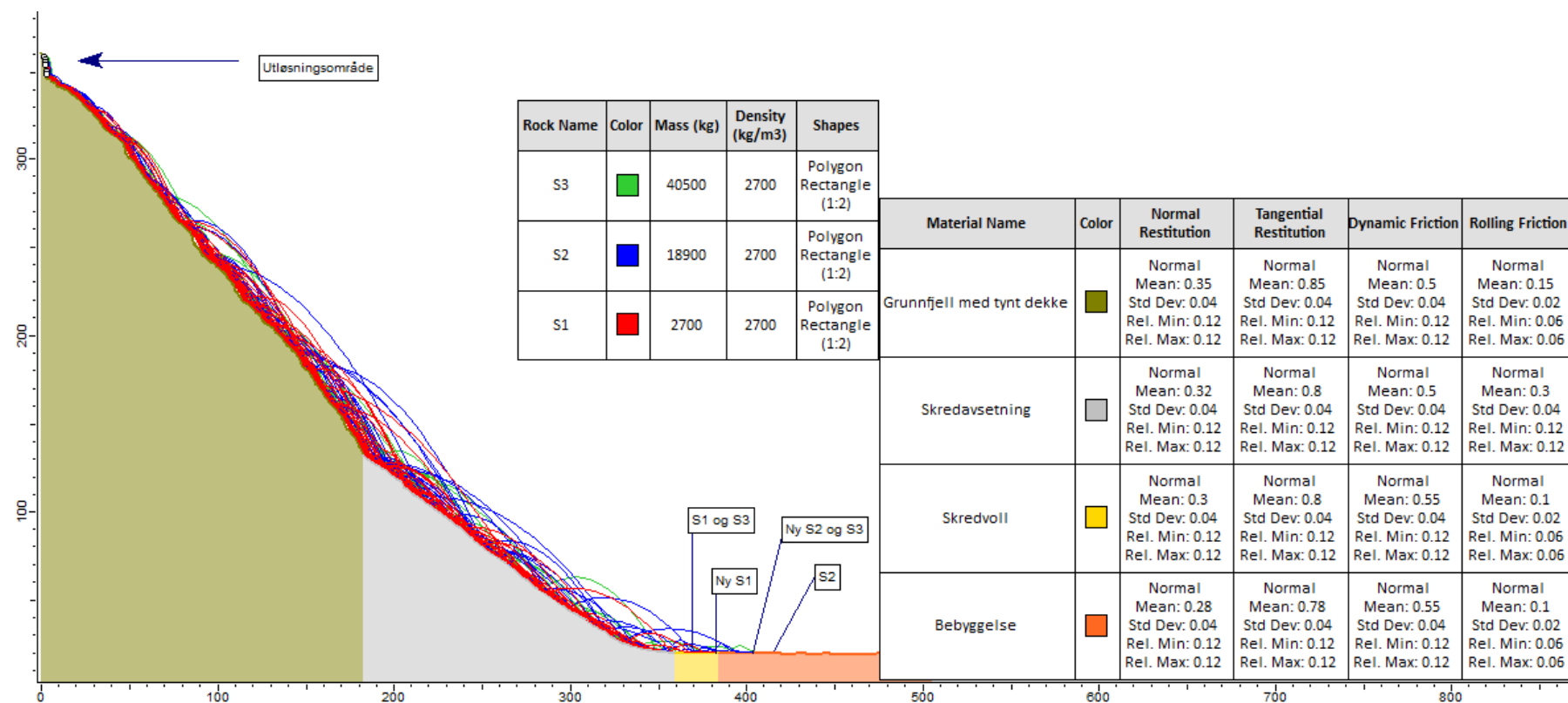
Figur 61: De maksimale utløpslengdene simulert for blokkstørrelsene S1 (2700 kg), S2 (18 900 kg) og S3 (40 500 kg) i profil 6.



Figur 62: Fordeling av hvor blokkene stopper langs profil 6, gitt blokkstørrelse S1 (2700 kg), S2 (18 900 kg) og S3 (40 500 kg).

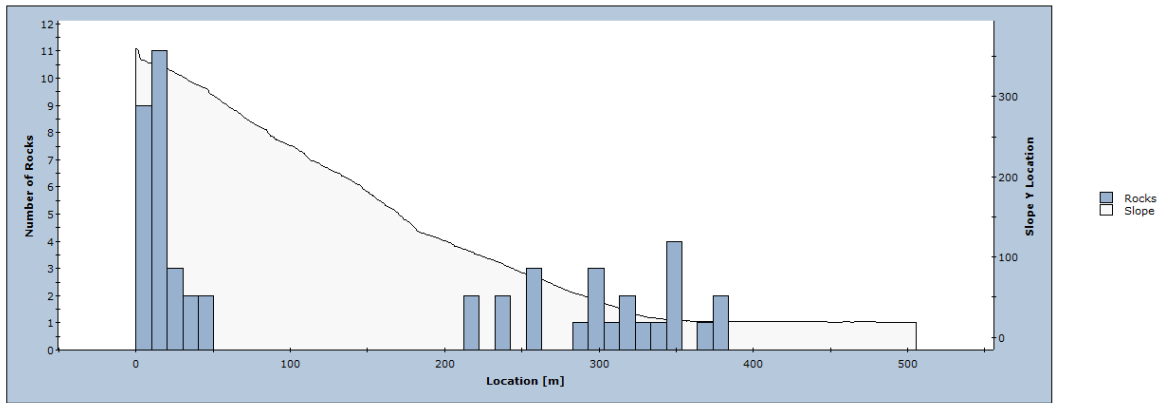
8.2.1 Simulering uten skredvoll

Profil 5

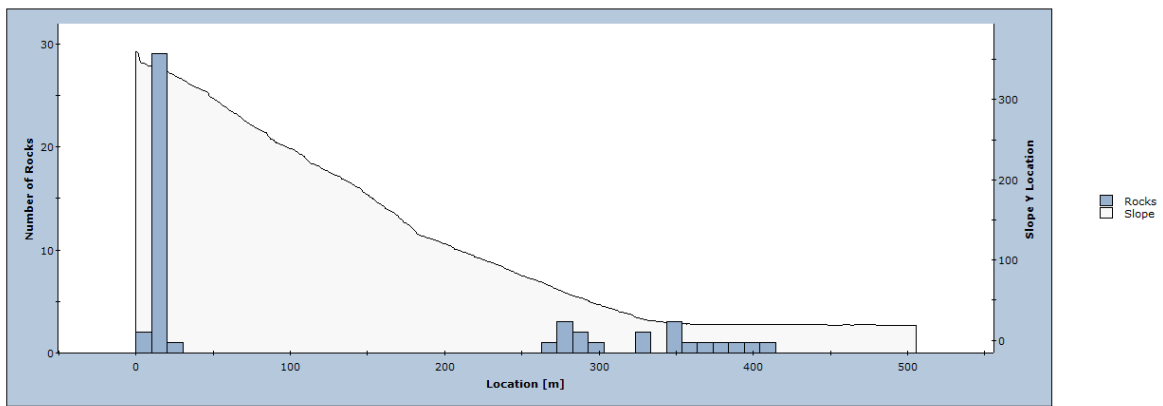


Figur 63: Simulering uten skredvoll i profil 5.

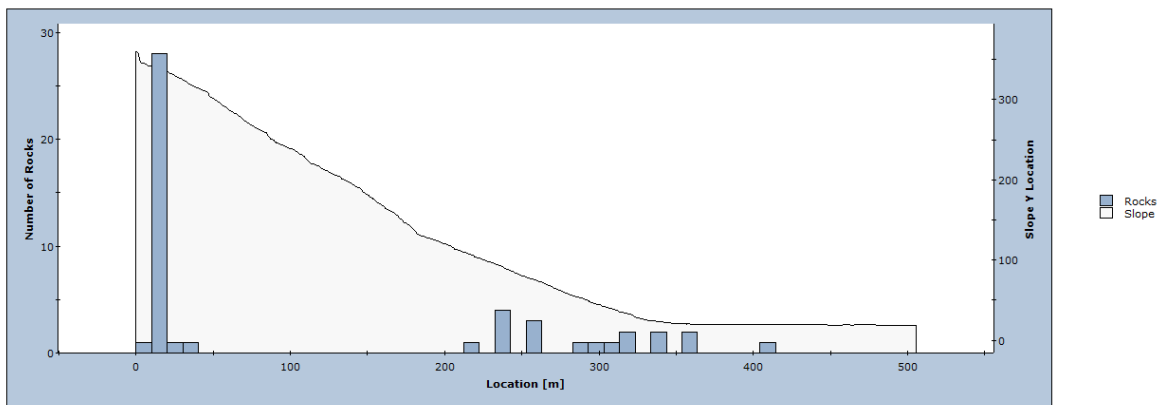
Distribution of Rock Path End Locations



Distribution of Rock Path End Locations

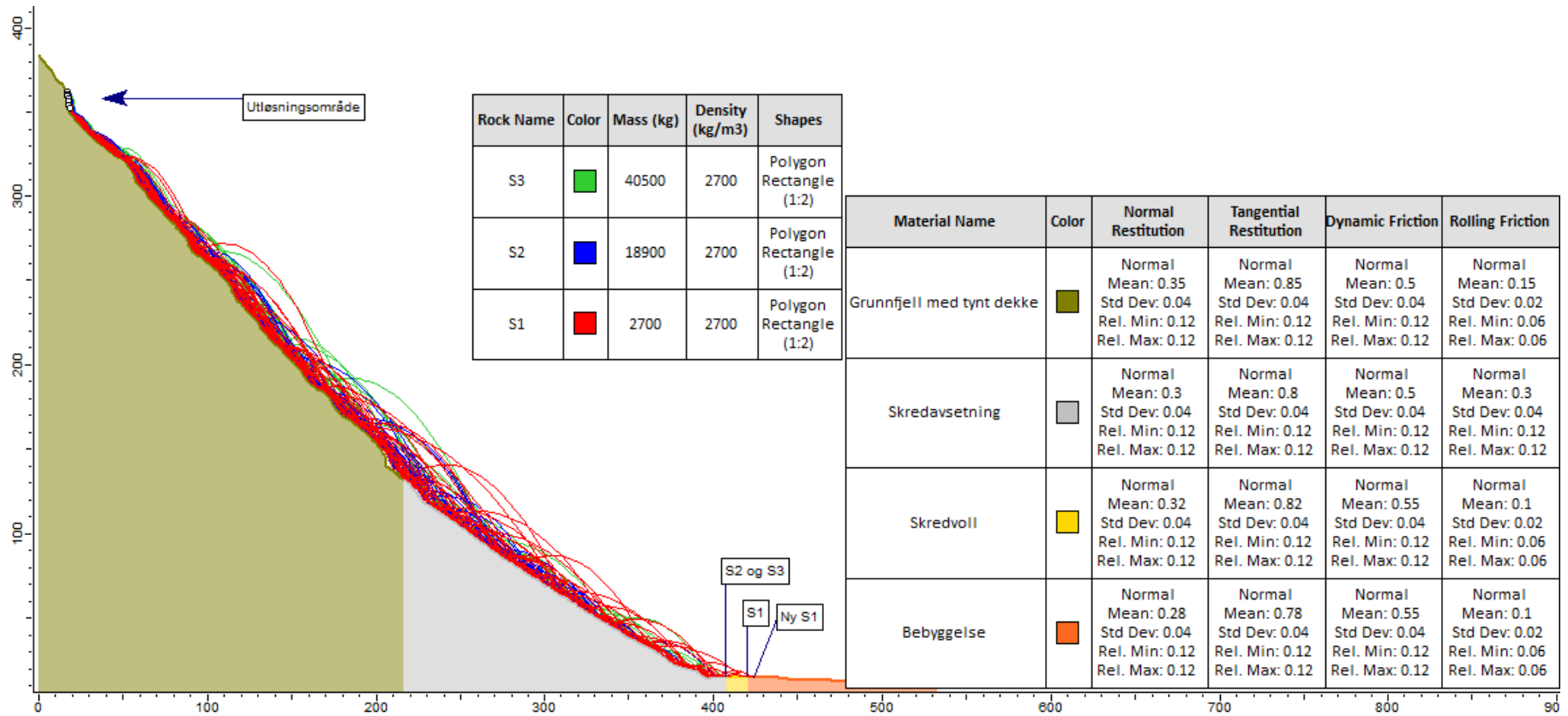


Distribution of Rock Path End Locations

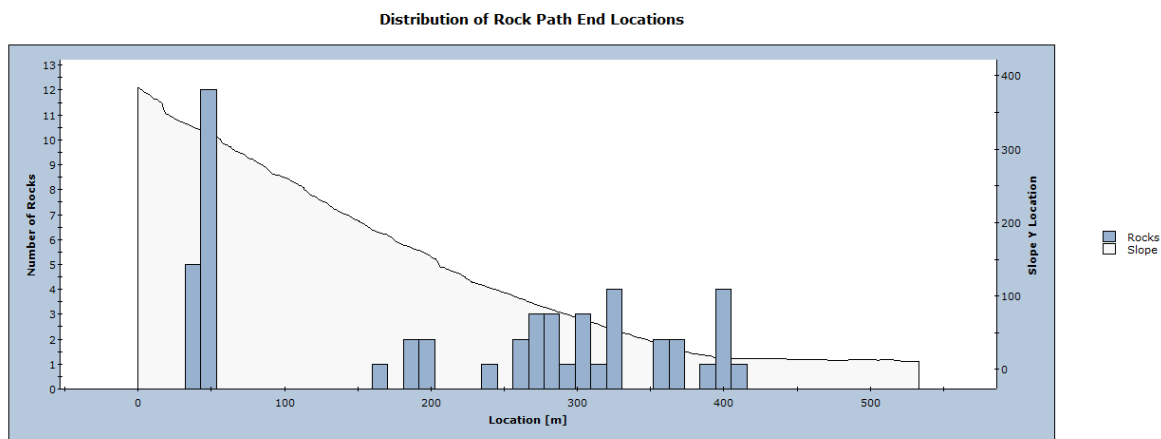
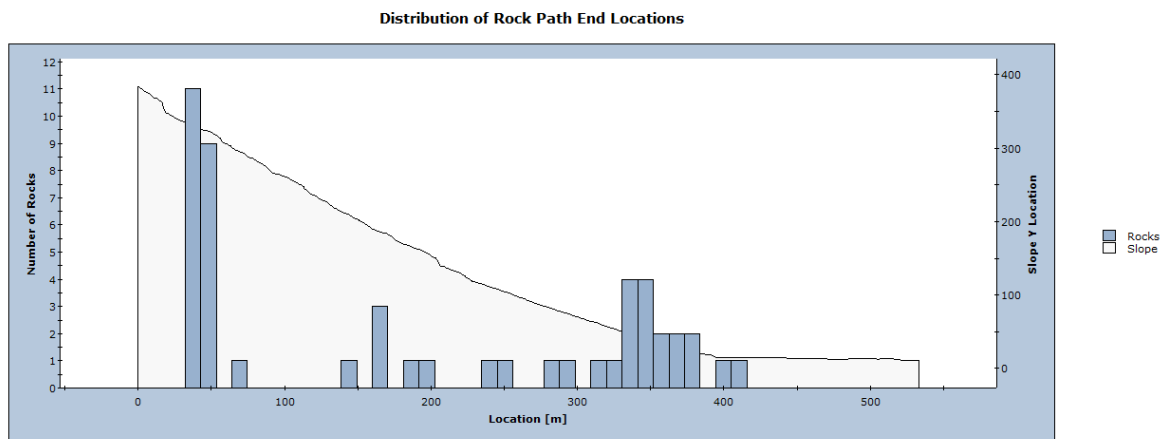
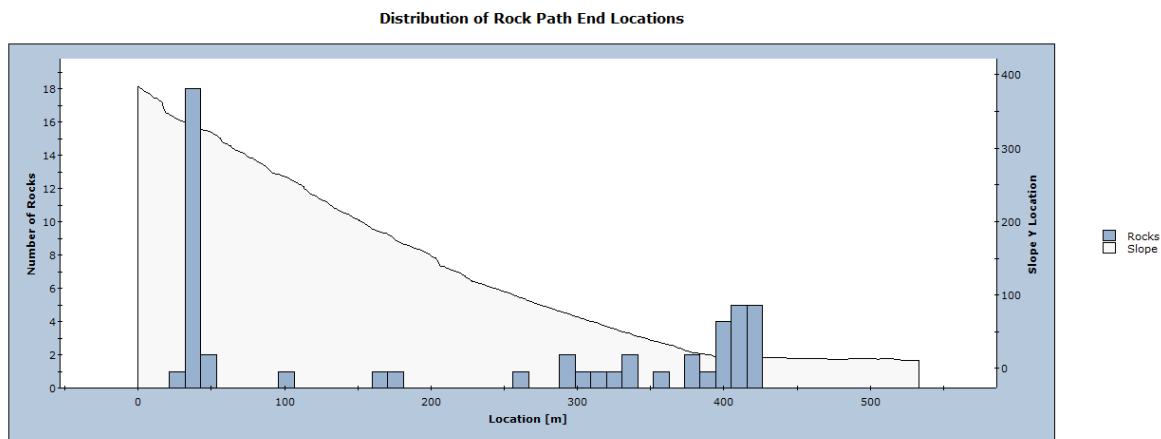


Figur 64: Fordeling av blokker i profil 5, uten skredvoll.

Profil 6



Figur 65: Simulering uten skredvoll i profil 6.



Figur 66: Fordeling av blokker i profil 6, uten skredvoll.