

Astrid Alme

Losnemekanismar og utløp til steinsprang og steinskred ved E6 Langnesberga

Masteroppgåve i Miljø- og anleggsgeologi

Rettleiar: Reginad Hermanns

Medretteiar: Vegard Utstøl Jakobsen og François Noël

April 2023

Astrid Alme

Losnemekanismer og utløp til steinsprang og steinskred ved E6 Langnesberga

Masteroppgåve i Miljø- og anleggsgeologi
Rettleiar: Reginad Hermanns
Medretteiar: Vegard Utstøl Jakobsen og François Noël
April 2023

Noregs teknisk-naturvitskaplege universitet
Fakultet for ingeniørvitskap
Institutt for geovitskap og petroleum



Samandrag

Frå 2006 til og med 2022 er det registrert 33 steinsprang og steinskredhendingar på E6 ved Langnesberga i Trøndelag, ein av Noregs hovudfartsårer. Skreda påverkar trafikken, og har fleire gonger stengt vegstrekninga. Dei fleste steinspranga som er registrert har ein størrelse $< 1 \text{ m}^3$, men eitt steinskred 13. mars 2022 har anslått volum 1000-1200 m^3 . I tillegg til stenging av vegen utgjer skred på vegen fare for liv og helse. Det er derfor av interesse for Statens Vegvesen å kartlegge losnemekanismar og utløp til potensielle skred langs strekninga. For å vurdere losnemekanismar og potensielle utløp er følgande utført: skrivebordstudie av eksisterande informasjon, fire dagar feltarbeid med sprekkemålingar, kartlegging av svakheitssoner og kartlegging av tidlegare skredhendingar, kinematiske analysar i Dips og StnParabel og modellering av utløp i StnParabel, Rockyfor3D og RAMMS::Rockfall.

Bergmassen i skråninga over E6 består i hovudsak av svært oppsprokne berg med mindre områder med kompakt berg mellom. Skråninga har strøk mot nordaust og bratt fall, strøk og fall varierer noko langs strekninga, men er rundt 060/80. Det er til saman identifisert tre sprekkesett. Sprekkesetta som er identifisert har strøk/fall 342/89, 252/27 og 069/57. I tillegg er det mange svakheitssoner i området. Eit sett med gjennomsettande storskala svakheitssoner har orientering SV-NA, desse sonene har stor påverknad på terrenget i området. I tillegg er det målt to sett med svakheitssoner med strøk/fall 329/86 og 044/85. Orienteringa til svakheitssonene stemmer bra overeins med regionalgeologien og storskala forkastingar skildra av Heim (1997).

Oppsprekkinga og svakheitssonene gjer at det er fleire moglege losnemekansimar. I område med meir intakt berg kan ein forvente vanlege losnemekanismar som planutgliding, kileutgliding og utvelting. Kinematiske analysar i StnParabel og Dips vil gje truverdige resultat i desse områda. Alle losnemekansimane er moglege. Direkte utvelting er ut i frå Dips mest aktuelt, medan kileutgliding er mest aktuelt ut i frå StnParabel. Ved utfall av mindre steinsprang, der berre ei eller to mindre steinar/blokker med totalt volum $< 1 \text{ m}^2$ fell ut, er det mest truleg slike enkle losnemekanismar som er aktuelle. I svakheitssoner og meir oppsprokne bergmasse har dei tradisjonelle losnemekansimane truleg mindre påverknad, og utgliding skjer langs fleire ulike plan som saman dannar eit glideplan. I tillegg til bergmassen sin kvalitet påverkar også klima i området losnemekansimane. Vind som påverkar skogen kan gi rystelsar og rotvelte, noko som kan føre til mindre steinspranghendingar.

Modelleringar av utløp med blokkstorleik $0,5 \text{ m}^3$ i Rockyfor3D og RAMMS::Rockfall, og 1 m^3 i StnParabel viser at utløp frå aktuelle losneområder når store delar av den undersøkte strekninga. Utløpsmodelleringane er utført med blokker på $0,5 \text{ m}^3$ og 1 m^3 , fordi blokker $\leq 1 \text{ m}^3$ er hyppigast registrert langs strekninga og det er denne blokkstørrelsen det er mest realistisk å sette opp sikring for. Utløp frå vegskjeringa rett ovanfor E6 er vurdert å ikkje påverke skredfaren på E6 i stor grad, sidan mesteparten av utløpa vert stoppa av brei grøft. Modelleringa viser også at mesteparten av utløpa som når E6 har losneområde lågare enn 150 moh. Eitt flatt parti ved ca. 150 moh. bremsar og stoppar dei fleste utløpa ovanfrå. Registreringar viser auka hyppigheit av skredhendingar langs strekninga, men dette kjem truleg av endra rutinar på registreringar og ikkje hyppigare skredhendingar. Under feltarbeidet vart det observert mosekledde urar over E6, dette tyder på lite fersk aktivitet og at det truleg var høgare aktivitet på eit tidlegare stadium.

Abstract

From 2006 to 2022, 33 rockfalls and rockslide events have been recorded on the road E6 at Langnesberga in Trøndelag, one of Norway's main roads. These events affect traffic, and have closed the road several times. Most of the recorded rockfalls have a size of $< 1 \text{ m}^3$, but one rockslide on March 13, 2022, was estimated to have a volume of 1000-1200 m^3 . In addition to road closures, rockfalls on the road pose a danger to life and health. Therefore, it is of interest to the Norwegian Public Roads Administration to map the structures in the slope and potential release areas of rockfalls. To map structures and potential release areas, the following has been carried out: a desktop study of existing information, four days of fieldwork with measurements, mapping of weakness zones, and mapping of previous rockfall events, analysis in Dips and StnParabel, and modeling of release areas in StnParabel, Rockyfor3D, and RAMMS::Rockfall.

The rock mass in the slope above the E6 mainly consists of highly fractured rock with smaller areas of compact rock in between. The slope strikes northeast and has a steep inclination, the strike and dip vary along the stretch but are around 060/80. Three sets of fractures have been identified. The identified sets have strikes/dips of 342/89, 252/27, and 069/57. In addition, there are many weakness zones in the area. A set of through-going large-scale weakness zones has an orientation of SW-NE, and these zones have a significant influence on the terrain in the area. In addition, two sets of weakness zones with strike/dip of 329/86 and 044/85 have been measured. The orientation of the weakness zones corresponds well with the regional geology and large-scale faults described by Heim (1997).

The fracturing and weakness zones create several possible failure mechanisms. In areas with more intact rock, one can expect common failure mechanisms such as planar sliding, wedge sliding, and toppling. StnParabel and Dips will provide reliable results in these areas. All failure mechanisms are possible. Direct toppling is most likely according to kinematic analyses in Dips, while wedge sliding is most likely according to kinematic analyses in StnParabel. In the case of smaller rockfalls where only one or two smaller rocks/blocks with a total volume $< 1 \text{ m}^3$ fall out, it is most likely that such simple failure mechanisms are relevant. In weakness zones and more fractured rock mass, traditional failure mechanisms are likely to have less impact, and sliding occurs along several different fracture planes that together form a failure surface. In addition to the quality of the rock mass, the climate in the area also affects the failure mechanisms. Wind that affects the forest can cause vibrations and root uplift, which can lead to smaller rockfall events.

Simulations of release areas with block sizes of 0.5 m^3 in Rockyfor3D and RAMMS::Rockfall, and 1 m^3 in StnParabel shows that rockfalls from potential release areas reaches large parts of the investigated stretch. Rockfall simulations has been performed with blocks of 0.5 m^3 and 1 m^3 because blocks $\leq 1 \text{ m}^3$ are most frequently recorded along the stretch, and this block size is the most realistic to set up rockfall protection against. Rockfalls from the roadcut directly above E6 is considered not to significantly affect the rockfall hazard on E6, since most of the blocks are stopped by a broad ditch. The simulations also shows that most of the releases that reach E6 have release areas below 150 m above sea level. A flat section at about 150 meters above sea level slows down and stops most of the rockfalls from above. Historical registrations show an increased frequency of rockfall events along the stretch, but this is likely due to changes in monitoring procedures rather than an actual increase in rockfall events. During fieldwork moss-covered taluses were observed above E6, indicating little recent activity and that there was likely higher activity at an earlier stage.

Forord

Denne masteroppgåva er utført ved Institutt for Geovitskap og petroleum ved Norges teknisk- naturvitskapelege universitet (NTNU) i samarbeid med Statens Vegvesen. Bakgrunnen for oppgåva er problem med steinsprang og steinskred på E6 ved Langnesberga, i Trøndelag. Oppgåva tilsvara 60 studiepoeng og vart påbegynt i august 2022 og ferdig i april 2023.

Eg vil rette ein stor takk rettleiarane mine, Reginald Hermans frå NGU og NTNU, Vegard Utstøl Jakobsen frå Statens Vegvesen og François Noël frå NGU for teamsmøter med gode diskusjonar i samband med masteroppgåva. Det var spesielt god hjelp med ei felles veke i felt i august saman med Vegard. Statens Vegvesen, ved Vegard Utstøl Jakobsen skal også ha takk for ei spennande og aktuell oppgåve og tilgang til arkiv frå tidlegare arbeid på vegstrekninga.

Vidare ynskjer eg å takke François Noël for god hjelp med programvara hans StnParabel, det har vore veldig interessant å lære å bruke ei ny programvare for steinsprangmodellering.

Eg vil også rette ei stor takk til Siv Hilde Aasen for gjennomlesing av oppgåva og god hjelp med nynorsken.

Til slutt vil eg takke mine kollegaar og Asplan Viak for kontorstad, og selskap i kaffipausar og lunsj. Erfaringar og opplæring i programvarer og metodikk som eg har lært gjennom jobb har også vore svært relevant å bruke i masteroppgåva.

Sogndal, 24.04.2023

Astrid Alme

Innhald

Figurliste	VIII
Tabelliste	XI
1 Innleiing	1
1.1 Problemstilling	2
2 Teori	3
2.1 Skred	3
2.1.1 Steinsprang	3
2.2 Faktorar som påverkar stabiliteten	4
2.2.1 Bergarten sine eigenskapar	4
2.2.2 Oppsprekking	4
2.2.3 Svakheitssoner	5
2.2.4 Grunnvassforhold, klimatiske forhold	5
2.2.5 Skog	6
2.2.6 Spenningsforhold	6
2.2.7 Geometriske forhold	6
2.2.8 Rystelsar	6
2.3 Stabilitetsanalysar	6
2.3.1 Plan- og kileutgliding	9
2.3.2 Utvelting	10
2.4 Q-systemet	12
2.5 Batymetriske målingar og stabilitet i sjøbotnen	13
3 Områdeskildring	15
3.1 Topografi	19
3.2 Geologi	20
3.2.1 Berggrunn	20
3.2.2 Lausmassar	21
3.2.3 Regional geologi (Hitra-Snåsa-Forkastinga)	22
3.3 Vegetasjon	24
3.4 Klima	24
3.4.1 Vind	26
3.4.2 Framtidig klima	26
3.5 Tidlegare skredhendingar	26
3.5.1 Steinskred 13. mars 2022	30

4	Metode.....	33
4.1	Feltarbeid	33
4.2	Kinematisk analyse	34
4.2.1	Kinematisk analyse frå feltdata ved bruk av Dips	34
4.2.2	Kinematisk analyse frå høgdedata ved bruk av StnParabel	34
4.3	Steinsprangmodellering	35
4.3.1	StnParabel.....	35
4.3.2	Rockyfor3D.....	36
4.3.3	RAMMS::Rockfall	46
5	Resultat	52
5.1	Observasjonar i felt.....	52
5.2	Svakheitssoner	55
5.3	Oppsprekking	59
5.4	Kinematisk analyse frå feltdata	60
5.4.1	Tidlegare målingar gjort av SVV.....	60
5.4.2	Målingar gjort i felt	63
5.5	Kinematisk analyse frå høgdedata	67
5.6	Rockyfor3D	72
5.7	RAMMS::Rockfall	80
5.8	Batymetri	87
6	Diskusjon	89
6.1	Losnemekanismar	89
6.1.1	Svakheitssoner.....	89
6.1.2	Oppsprekking	90
6.1.3	Kinematisk analyse av feltdata	92
6.1.4	Kinematisk analyse av høgdedata	93
6.1.5	Klima	94
6.2	Skredutløp	95
6.2.1	Tidlegare hendingar	95
6.2.2	Samanlikning av modelleringsresultat for utløp.....	97
6.2.3	Usikkerheiter knytt til modelleringsresultata	103
6.2.4	Bruk av modelleringsresultat til sikring	104
7	Konklusjon	105
7.1	Skredfare.....	105
7.1.1	Samla vurdering av losnemekanismar	105
7.1.2	Samla vurdering av skredutløp	105
7.2	Vidare arbeid.....	106

7.2.1	Sikring	107
8	Referansar.....	108
9	Vedlegg.....	113

Figurliste

Figur 1: Inndeling av skredtypar i Noreg ut i frå materiale (Øydvin et al., 2011).	3
Figur 2: Typiske utrasingstypar brukt ved identifisering av potensielt ustabile bergmassar (Hantz, Vengeon og Peisser, 2003).	7
Figur 3: Strukturelle brotvilkår for planutgliding, kileutgliding og utvelting, dei rosa områda markerer instabilitet (Obregon og Mitri, 2019).	8
Figur 4: Illustrering av kinematisk analyse ved planutgliding. a.) analysen er vist med polvektorar. b.) analysen er vist med fallvektorar (Rocscience, 2022).	9
Figur 5: Illustrering av kinematisk analyse ved kileutgliding. a.) utgliding langs plan 1. b.) Utgliding langs kryssingslinja (Rocscience, 2022; Hoek og Bray, 2014).	10
Figur 6: Kritiske områder for bøyeleg utvelting markert med raudt (Rocscience, 2022).	11
Figur 7: Kritiske områder for blokk/direkte utvelting markert med raudt. Skrå utvelting markert med gult (Rocscience, 2022).	12
Figur 8: Prinsippsskisse som viser korleis batymetriske data vert samla inn med båt. Henta frå NVE rapport 22/2013 (Hansen et al., 2013).	14
Figur 9: Oversiktskart som viser kvar kartleggingsområdet er plassert. E6 er vegen som går langs Snåsavatnet i heile kartleggingsområdet.	15
Figur 10: Ortofoto frå 2020 over kartleggingsområdet (Statens Vegvesen, NIBIO og Statens Kartverk, 2022).	16
Figur 11: Oversiktbilete teke frå Langnes i vest, mot Oldervika i aust.	17
Figur 12: Illustrera korleis vegstrekninga er nummerert. 0 m i oppgåva tilsvara m 7720 i systemet nytta av Vegvesenet.	18
Figur 13: Terrenghelling i kartleggingsområdet.	19
Figur 14: Berggrunn i kartleggingsområdet (NGU, 2022b).	20
Figur 15: Lausmassekartlegginga gjort av NGU (2022a) i kartleggingsområdet.	21
Figur 16: Oversikt over regionale strukturar (forkastingar) i Trondheimsområdet Raud stjerne viser plassering av kartleggingsområdet. Bilete henta frå NGU (2008)	23
Figur 17: Samanstilling av klimadata for Langnesberga.	25
Figur 18: Vindroser frå Langnesfjellet (774 moh.)	26
Figur 19: Skredhendingar langs strekninga henta frå NVE-atlas (NVE, 2022a). Registreringane er frå 2006-2022, raud farge er dei ferskaste skredhendingane.	27
Figur 20: Oversikt over volum på ulike steinsprang og steinskredregistreringar.	30
Figur 21: Øvst: Losneområdet før skredhendinga, raud markering viser omtrentleg losneområde. Nedst: Losneområdet etter opprydding (12.02.2022) markert med raudt. Begge bilete er henta frå Jakobsen (2022c)	31
Figur 22: Oversiktbilete av steinskredet 13. Mars 2022 (Jakobsen, 2022c)	32
Figur 23: Sporlogg frå feltarbeid 8-11. august 2022.	33
Figur 24: Inndeling av bakkeegenskapar (soiltype) i Rockyfor3D i oppsett 1.	38
Figur 25: Tal tre per hektar, tre med >10 cm BHD er inkludert (NIBIO, 2022).	43
Figur 26: Grunnflatemiddeldiameter til trea i området (NIBIO, 2022).	43
Figur 27: Kronedekning i prosent, viser stor variasjon i kronedekning i området (NIBIO, 2022).	44
Figur 28: Kartutsnitt som viser inndeling i ulike skogtypar.	45
Figur 29: Terrengparameterar nytta i RAMMS::Rockfall	48
Figur 30: Kartutsnitt som viser inndeling i ulike skogtypar i RAMMS.	49
Figur 31: Oversikt over kvar bileta frå feltarbeid er tatt.	52
Figur 32: Mosegrodde urar. Varierende blokkstørrelse (punkt 1 og 2 i Figur 31).	53

Figur 33: Venstre: Rotvelte like ovanfor vegen, observert under feltarbeid. Høgre: Potensiell rotsprenging eller rotvelte som kan gi steinsprang på vegen, observert frå E6. (punkt 3 og 4 i Figur 31)	54
Figur 34: Bilete av grøfta på oppsida av E6 bileta er tatt mot nordaust. Viser grei breidde på grøfta, og at den har samla opp nedfall. (punkt 5 og 6 i Figur 31).	54
Figur 35: Polplot som viser orienteringa til svakheitssonar målt i felt. Avdekka to sett med svakheitssonar. Orientering med strøk/fall 392/86 (raud) og 044/85 (oransje).	55
Figur 36: Oversikt som viser kartlagde svakheitssonar. Punktobservasjonar registrert i felt og tilhøyrande linjer er gule. For meir informasjon om svakheitssonene sjå Tabell 13. Svakheitssonar teikna inn ut i frå skyggerelieff er vist med oransje.....	58
Figur 37: Oppsprekkingsgraden langs bergskjeringa varierer innanfor eit lite område. Gul meterstokk i dei to øvste bileta er 1 m (punkt 7, 8 og 9 i Figur 31, frå oppe til venstre).	59
Figur 38: Kinematisk analyse med omsyn på planutgliding. Analysen viser 32 kritiske plan som kan gi planutgliding	61
Figur 39: Kinematisk analyse med omsyn på kileutgliding. Analysen viser at det er strukturar som mogleggjer kileutgliding	61
Figur 40: Kinematisk analyse med omsyn på bøyeleg utvelting. Analysen viser at sannsynet for bøyeleg utvelting er til stades.	62
Figur 41: Kinematisk analyse med omsyn på blokkutvelting. Analysen viser at blokkutvelting er mogleg.	62
Figur 42: Sprekkesetta observert og målt i felt. Sprekkesett 1 er raud, sprekkesett 2 er blå og sprekkesett 3 er grøn. Foto er tatt like ved svakheitssone 23 (vist i Figur 36). ...	63
Figur 43: Kinematisk analyse av eigne data med omsyn på planutgliding. Analysen viser at planutgliding er mogleg	64
Figur 44: Kinematisk analyse av eigne data, med omsyn på kileutgliding. Analysen viser at det er strukturar som mogleggjer kileutgliding	65
Figur 45: Kinematisk analyse av eigne data, med omsyn på bøyeleg utvelting. Analysen viser at sannsynet for bøyeleg utvelting er til stades.	65
Figur 46: Kinematisk analyse av eigne data, med omsyn på blokkutvelting. Analysen viser at blokkutvelting er mogleg.	66
Figur 47: Moglege losneområde for planutgliding, frå StnParabel, markert med raudt. ..	67
Figur 48: Moglege losneområde for kileutgliding, frå StnParabel, markert med raudt	68
Figur 49: Moglege losneområde for utvelting, frå StnParabel, markert med raudt. Fleire små områder som kan vere vanskeleg å sjå på figuren.....	68
Figur 50: Moglege utløp for planutgliding, frå StnParabel. Fargane viser hastigheita til potensielle steinsprangblokker.	69
Figur 51: Moglege utløp for kileutgliding, frå StnParabel. Fargane viser hastigheita til potensielle steinsprangblokker.	70
Figur 52: Moglege utløp for utvelting, frå StnParabel. Fargane viser hastigheita til potensielle steinsprangblokker.	71
Figur 53: Energi (i kJ) til steinsprangblokker ut i frå modellering i Rockyfor3D utan omsyn til skog.	72
Figur 54: Energi i kJ(y-aksen) henta ut frå Rockyfor3D utan skog, langs E6 frå vest mot aust. X-aksen er avstand frå vestleg ende av kartleggingsområdet, 0 m på grafen tilsvarende m7720.....	73
Figur 55: Spretthøgde til steinsprangblokker ut i frå modellering i Rockyfor3D utan omsyn til skog.	74

Figur 56: Spretthøgd til steinsprang langs E6 henta ut frå simulering i Rockyfor3D utan skog. Spretthøgd i m langs y-aksen og avstand frå vestleg ende av kartleggingsområdet i meter langs x-aksen.	75
Figur 57: Energi til steinsprangblokker ut i frå modellering i Rockyfor3D med omsyn til skog.	76
Figur 58: Energi til steinsprang langs E6 henta ut frå simulering i Rockyfor3D med skog. Energi i kJ langs y-aksen og avstand frå vestleg ende av kartleggingsområdet i meter langs x-aksen.	77
Figur 59: Spretthøgd til steinsprangblokker ut i frå modellering i Rockyfor3D med omsyn til skog.	78
Figur 60: Spretthøgd til steinsprang langs E6 henta ut frå simulering i Rockyfor3D med skog. Spretthøgd i m langs y-aksen og avstand frå vestleg ende av kartleggingsområdet i meter langs x-aksen.	79
Figur 61: Energi til steinsprangblokker ut i frå modellering i RAMMS utan omsyn til skog.	80
Figur 62: Energi til steinsprang langs E6 henta ut frå simulering i RAMMS::Rockfall utan skog. Energi i kJ langs y-aksen og avstand frå vestleg ende av kartleggingsområdet i meter langs x-aksen.	81
Figur 63: Spretthøgd til steinsprang i RAMMS utan omsyn til skog.	82
Figur 64: Spretthøgd til steinsprang langs E6 henta ut frå simulering i RAMMS::Rockfall utan skog. Spretthøgd i m langs y-aksen og avstand frå vestleg ende av kartleggingsområdet i meter langs x-aksen.	83
Figur 65: Energi til steinsprangblokker ut i frå modellering i RAMMS med omsyn til skog.	84
Figur 66: Energi til steinsprang langs E6 henta ut frå simulering i RAMMS::Rockfall med skog. Energi i kJ langs y-aksen og avstand frå vestleg ende av kartleggingsområdet i meter langs x-aksen.	85
Figur 67: Spretthøgd til steinsprangblokker ut i frå modellering i RAMMS med omsyn til skog.	86
Figur 68: Spretthøgd til steinsprang langs E6 henta ut frå simulering i RAMMS::Rockfall med skog. Spretthøgd i m langs y-aksen og avstand frå vestleg ende av kartleggingsområdet i meter langs x-aksen.	87
Figur 69: Batymetri frå 8. april 2022 vist i 3D. Svarte piler viser to tydelege skredbaner i Snåsavatnet.	88
Figur 70: Batymetri frå 8. april 2022 vist som skyggerelieff. To eldre skredløp kjem tydeleg fram.	88
Figur 71: Bilete frå steinsprang juni 2022. Venstre: Nedfall på vegen. Høgre: Losneområde med lys brun farge. Ørvig berg rundt losneområdet står fram som lite oppsprokke. Bileta er henta frå Jakobsen (2022b)	91
Figur 72: Skredhending mars 2020 viser korleis grøfta vert fylt opp og skredmassane går ut i E6. dersom det er større mengder med skredmassar. Foto er tatt mot aust av Jakobsen (2020).	96
Figur 73: Senterlinja til simulerte steinsprangutløp til blokker med ulik størrelse. Hastigheita til blokkene, vist med farge, aukar med auka blokkstorleik. Utløpslengda avheng av hastigheita og ruheita til terrenget (Noël <i>et al.</i> , 2021).....	98
Figur 74: Samanlikning av spretthøgd i RAMMS og Rockyfor3D.	100
Figur 75: Samanlikning av kinetisk energi i RAMMS og Rockyfor3D.	101
Figur 76: Oversikt over kva stammediameter og skogtettheit som har effekt på ulike blokkstorleikar, henta frå NVE (2020) sin veileiar for skred i bratt terreng.....	103

Tabelliste

Tabell 1: Koordinatar for punkt klimadata er basert på.	24
Tabell 2: Oversikt over tidlegare skredhendingar. Henta frå NVE Atlas (NVE, 2022a). ...	27
Tabell 3: Informasjon om sprekkesetta nytta i programvara StnParabel.....	35
Tabell 4: Innstillingar nytta i programvara StnParabel	35
Tabell 5: Oversikt over rasterdata som krevst i Rocyfor3D (Dorren, 2016).	37
Tabell 6: Bakkeieigenskapar i Rockyfor3D (Dorren, 2016)	39
Tabell 7: Oversikt over verdiar for ruheit nytta for ulike jordtypar i oppsett 1 (Dorren, 2016).	39
Tabell 8: Parameterval på ulike skogtypar.	45
Tabell 9: Parameterval for Rockyfor3D	46
Tabell 10: Terrengparameterar nytta i RAMMS::Rockfall. Modifeisert frå SLF (2016).....	47
Tabell 11: Parameterval for RAMMS utan skog	50
Tabell 12: Parameterval for RAMMS med skog.....	51
Tabell 13: Oversikt over svakheitssoner, og informasjon om dei samla inn i felt.....	56
Tabell 14: Gjennomsnittleg orientering til svakheitssoner identifisert i felt og ut i frå DTM	58
Tabell 15: Sprekkesett definert ut i frå SVV sine sprekkemålingar.....	60
Tabell 16: Sprekkesett ut i frå egne sprekkemålingar	64
Tabell 17: Sprekkesett og svakheitssoner definert ut i frå data frå Statens Vegvesen (SVV) og egne data.	90
Tabell 18: Sikkerheitskrav for skredsannsyn på veg (Statens Vegvesen, 2022).....	107

1 Innleiing

Utbygginga av landet med auka infrastruktur og auke i folketal har på mange måtar gjort oss meir sårbare for naturkatastrofar. Sjølv om mange utsette område har vorte sikra og fleire av dei mest skredutsette områda er fråflytta, må ein rekne med at skredhendingar kan få vesentleg større konsekvensar no enn tidlegare. Kvar skredulykke kan føre til at menneskeliv går tapt, i tillegg til betydelege materielle skadar. Mange bur og ferdast i områder der sikkerheita for skred ikkje kan garanterast. Både bustadområde og kommunikasjonslinjer kan planleggast og byggast sikrast mogleg for skred (Domaas og Grimstad, 2014).

Vegane er gjerne gamle og trafikken på dei har auka drastisk, dette gjer at problem knytt til skred har auka. Steinsprang er ofte hyppigare i eldre skrånningar og vegskjeringar. Eldre menneskeskapte vegskjeringar er gjerne feil dimensjonert i forhold til skred. Uforsiktig sprenging kan også føre til større skadesone og meir oppsprokke fjell. Dette var ofte tilfelle ved sprenging tidlegare (Pierson, 2012). Framtidige klimaendringar vil føre til endring i dagens skredmønster. Auke i nedbør kan føre til at vasstrykket på sprekker i berget aukar og kan dermed gi fleire steinsprang og fjellskred (Domaas og Grimstad, 2014). Ein må derfor forvente ei auke i slike hendingar framover.

E6 Langnesberga er registrert som eit skredpunkt i NVDB (Nasjonal vegdatabank) med ein middels skredfare, skredfaktor 3,17. Skredproblemet på strekninga er steinsprang (Jakobsen, 2022a). Steinsprang er mindre hendingar som ofte førekjem i skjeringar og bergskrentar, noko som gjer veg og jernbane veldig utsett (Domaas og Grimstad, 2014). Steinsprang påverkar ofte små områder, i motsetning til andre naturfarar, men dei kan likevel føre til stor skade på infrastruktur og menneske. Derfor er det viktig med ei best mogleg tilpassa skredsikring ut i frå fare og risikovurderingar. For å kunne utvikle gode sikringsmetodar er det viktig å vite størrelsen på massane ein skal sikre mot. Ein bør også vite volum til massane, hastigheita og gjerne spretthøgda til enkeltblokker. Om ein har denne kunnskapen vert det mogleg å dimensjonere skredsikringa korrekt (Volkwein *et al.*, 2011).

Derfor er ei grunding undersøking av steinsprangfaren og faktorane som påverkar steinsprangaktiviteten på strekninga svært aktuell. Ut i frå denne kunnskapen kan det vere mogleg å sikre ei av Noregs viktigaste vegstrekningar, og hindre ulykker og stengingar. Det er ikkje utført noko skredsikring med unntak av brei grøft langs strekninga, sjølv om dette er anbefalt og undersøkt av Statens Vegvesen allereie i 1981 (Statens Vegvesen, 1981). Mangel på sikring har ført til at det er registrert 33 tidlegare steinsprang/steinskred langs strekninga ved Langnesberga fram til 2023.

Grunnundersøkingar utført av Aal og Eriksen (2015) viser at det også er blaut og kvikk leire i området. Spesielt utover i Snåsavatnet og ytre del av E6. Det er konkludert med at vegen har svært låg stabilitet mot utgliding. Ved store påkjenningar, som store skred kan ein risikere at heile vegen forsvinn ned i Snåsavatnet. Derfor er det svært interessant å undersøke steinsprang og steinskredfaren langs strekninga, og finne ut kva skredmekansimar som mest truleg pregar strekninga.

1.1 Problemstilling

Oppgåva si overordna problemstilling er å kartlegge korleis eigenskapane til bergmassen og eksterne faktorar påverkar losnemekansimar og utløp, for steinsprang og steinskred ved E6 Langnesberga.

Det er fokus på å fastsette losneområde og utløpssoner for steinsprang og steinskred i eitt gitt område langs Langnesberga. Det vert raskt diskutert betydning av klima, korleis resultatane kan nyttast til steinsprangsikring og moglegheita for at eit steinsprang/steinskred kan utløyse eit kvikkleireskred.

Det er satt nokon avgrensingar for oppgåva, arbeidet inkludera ikkje:

- Stabilitetsberekning.
- Analyse av kinematiske forhold ved historiske hendingar.
- Analysar av sikringstiltak
- Andre skredprosessar enn steinsprang og steinskred.

2 Teori

2.1 Skred

Skred vert inndelt etter kva materiale dei består av, stein, lausmassar eller debris. Vidare blir det ofte inndelt etter rørslemekanisme, om massane fell, glir, veltar, flyt eller spreier seg. I Noreg vert ei skredhending ofte klassifisert etter type materiale, fast fjell, lausmassar eller snø, vist i Figur 1, men ei skredhending kan også vere ein kombinasjon av forskjellig materiale og/eller mekanismar (Øydvin *et al.*, 2011).

Skred med opphav frå berggrunn blir omtala som skred i fast fjell, og blir i Noreg delt inn i tre typar, avhengig av volumet som rasar ut. Steinsprang $< 100 \text{ m}^3$, steinskrud mellom $100 - 10\,000 \text{ m}^3$ og fjellskrud $> 10\,000 \text{ m}^3$ (Domaas og Grimstad, 2014).

Fast fjell	Løsmasser		Snø
	Grove ←	→ Fine	
Steinsprang	Jordskrud		Snøskrud
Steinskrud			
Fjellskrud	Flomskrud	Kvikkleire-skrud	Sørpeskrud

Figur 1: Inndeling av skredtypar i Noreg ut i frå materiale (Øydvin *et al.*, 2011).

2.1.1 Steinsprang

Steinsprang er ofte raske rørsler av blokker som fell, hoppar, rullar og sklir. Losnemekansimane kan vere gliding, utvelting og rotasjon. Ein skil steinsprang frå steinskrud på volum, men det er også vanleg (praksis i utlandet) å fokusere på at ved steinsprang er det enkeltblokker som fell utan interaksjon med kvarandre. Dette er skjer ofte ved mindre volum (Loew *et al.*, 2022).

Skredløpa kan delast inn i losneområde, skredløp, og avsetningsområdet. Losneområdet er der blokkene losnar frå. Dette er vanlegvis i bratte skråningar $45\text{-}90^\circ$ (NVE, 2020). Styrken til berget i losneområdet er med på å påverke losnesannsynet, styrken avheng hovudsakleg av litologi, avstand mellom sprekkar og orienteringa til sprekkene i forhold til skråninga (Loew *et al.*, 2022). Skredløpet er området der skredmassane vert

transportert, dette kan inkludere noko meddriving av massar. Løpet kan vere alt frå plane områder til dalar/søkk eller ryggar (Loew *et al.*, 2022). Dalar og søkk vil typisk kanalisere steinsprang, medan ryggar vil spreie, derfor vil terrengformasjonar ha stor påverknad på skredbanene til blokkene.

Avsetningsområdet er området der steinspranga byrjar å stoppe, og massane dermed blir avsett. Dette kan vere enkeltblokker eller uravsetningar, avhengig av hyppigheita til steinsprang i området. Ved urdanning vert steinspranga sortert, minste blokkene øvst og største nedst (Loew *et al.*, 2022).

2.2 Faktorar som påverkar stabiliteten

Dei viktigaste faktorane som påverkar stabiliteten til bergskrentar er i følge Nielsen (2016):

- Bergarten sine materialtekniske eigenskapar
- Bergarten si oppsprekking
- Svakheitssoner i berggrunn
- Vassforhold, klimatiske forhold
- Spenningsforhold/bergtrykk
- Geometriske forhold
- Rystelsar

2.2.1 Bergarten sine eigenskapar

Bergarten sin skjerfastheit påverkar motstanden mot utrasing langs plan satt saman av fleire sprekkeplan med små «bruer» med intakt berg mellom. Andre materialtekniske eigenskapar som spesifikk vekt, elastisitetmodul og Poissons forhold, vil påverke spenningsbiletet og dermed også kunne påverke stabiliteten (Nielsen, 2016).

2.2.2 Oppsprekking

Ei sprekk er ein diskontinuitet i berggrunn med ei tjukk på mindre enn nokon cm. Sprekker opptre ofte i fleire sett som glatte plane flater eller parallelle riss (Sigmond, Bryhni og Jorde, 2013). Sprekker kan vere pre-eksisterande i berggrunn, eller vere danna av gravitasjon. Pre-eksisterande sprekker kjem av at bergartane er påverka av tektoniske forkastingar på grunn av tektonisk trykk. Sterkt oppsprukne soner er alltid geologisk svake og kan potensielt vere årsak til skred. Avstand til forkastingane påverkar oppsprekkinga i bergarten og derfor også gjerne steinsprangfaren i eitt bestemt område (Lee og Dan, 2005).

Oppsprekkinga si betydning for skråningsstabiliteten er avhengig av orienteringa til sprekkene, sprekkavstand, ruheit, uthald og eventuelt innhald av sleppemateriale. Orienteringa til sprekkene er avgjerande for om ei utgliding er kinematisk mogleg, og dermed kva utglidingstype som potensielt kan inntreffe. For utgliding langs ei samansett brotflate er det vanlegvis orienteringa til dei slakaste sprekkene som bestemmer rørsleretninga, og om utglidinga kan inntreffe (Nielsen, 2016). Oppsprekkingsgraden blir bestemt av sprekkene si orientering og avstand, som til saman utgjer bergarten sitt sprekkemønster. Stabiliteten til bergmassen vert vanlegvis dårlegare ved mindre

sprekkeavstand og auka tal sprekkesett (NGI, 2022). Sprekkeavstanden definerer tettheita av moglege brotflater i ulike retningar. Dersom bergmassen er svært oppsprokke med tett sprekkavstand, kan den stabilitetsmessig oppføre seg tilnærma som jordartar (Nielsen, 2016).

Ein sprekk sitt uthald er kor langt sprekken brer seg. Små riss eller stikk med lågt uthald vil ha lite betydning på bergarten sin stabilitet, medan markerte gjennomsettande sprekker vil påverke stabiliteten i større grad. Ruheita til sprekkeplanet og eventuelt innhald av sleppemateriale påverkar friksjonsforholda eller skjersfastheita langs sprekkeplanet. Dette vil ha avgjerande betydning for om ei utgliding finn stad. Generelt vil skred førekomme dersom skjerspenninga langs sprekkeplanet overskrid skjersstyrken (Nielsen, 2016).

2.2.3 Svakheitssoner

Svakheitssoner er soner i bergmassen med låg fastheit samanlikna med fastheita til omkringliggande bergmasse. Dette kan skuldast svakare bergartslag eller ei deformasjonssone i berggrunn (Sigmond, Bryhni og Jorde, 2013).

Store svakheitssoner med ugunstig orientering representerer potensielle utglidingsplan, og kan ha store konsekvensar for totalstabiliteten til skråningar og skjeringar. Retninga, strøk/fall, og friksjonsforholda i svakheitssona har avgjerande betydning for om ei utgliding finn stad. Friksjonsforholda er også her mest avhengig avruheita og eventuelt innhald av sleppemateriale (Nielsen, 2016).

2.2.4 Grunnvassforhold, klimatiske forhold.

Nedbør er ein svært vanleg utløysingsårsak for fleire typar skred, inkludert steinsprang. Ved auka nedbør vert det auka vasstrykk noko som senkar stabiliteten. Vatn senkar styrken til bergarten ved at det kan bryte av mindre områder der berget er intakt mellom sprekkesystema (Loew *et al.*, 2022). Vatnet i sprekker utøver eit trykk på sprekkveggane, dette trykket reduserer normalspenninga som dermed fører til redusert skjersstyrke. Ved vasstrykk i tensjonssprekker og andre steiltståande sprekker aukar vatnet dei drivande kreftene, og dermed vert stabiliteten redusert (Nielsen, 2016). Ved auka mengd vatn aukar også den kjemiske forvitringa, som sakte bryt ned bergmassen. I tillegg vil vatn som strøymer kunne erodere bort materiale som støttar blokka eller blokkene. Ved vassmetting av massane aukar vekta, noko som også gjer at dei mobiliserande kreftene aukar. Totalt sett kan derfor nedbør føre til auka krefter i fallretninga og lågare stabiliserande krefter (Loew *et al.*, 2022).

Dersom vatnet i sprekkene frys utvidar det seg ca. 10%. Volumutvidinga fører til spenningar som kan forårsake utrasing. Om vatnet er innestengt og ikkje får moglegheit til å fryse vert det underkjølt og vil dermed overføre eit trykk på det omkringliggande berget. Dette kan føre til omfattande frostsprenging, spesielt dersom vatnet i dei overflatenære partia av skråninga frys og dreneringsvegane vert blokkerte (Nielsen, 2016).

Steinsprang førekjem hyppigast om våren og hausten, og i mildvårsperiodar om vinteren, i samanheng med store nedbørsmengder, snøsmelting og tine- og fryseprosessar (Domaas og Grimstad, 2014). I tillegg til høg grunnvasspegel påverkar effekten av gjentatt frysing og tining av vatnet i sprekkene dei ytre delane av skråninga (Nielsen, 2016).

2.2.5 Skog

Skog og anna vegetasjon kan vere ein ekstern drivande faktor for utløysing av steinsprang. Røtene kan vokse inn i sprekker i losneområdet, eller forvitring og oppsprekking vert utvikla gradvis over tid. Steinsprangblokker kan også verte rivne ut eller remobilisert ved rotvelte. Samtidig kan tre og vegetasjon fungere som ein ekstern stabiliserande faktor ved å støtte og forankre lause blokker (Nielsen, 2016).

Skogen kan også ha ei effekt på utløpslengda til steinsprang, den avheng av sannsynet for at blokkene treff stammene og sannsynet for at stammene er grove nok til å ta opp ein del av energien. Derfor er skogen si utbreiing, tettheit og stammediameter avgjerande, i tillegg til blokkstørrelse. NGI si litteraturstudie om skog og skred i NVE (2020) er det konkludert med at skog kan ha ei effekt for steinsprang med ei øvre blokkstorleik på ca. 2m³. Dersom blokkene er større er det mindre relevant å vurdere skogen nærare, ved blokker større enn 5 m³ har skog ingen dokumentert effekt på steinsprang.

2.2.6 Spenningsforhold

Spenningane i bergmassen avheng normalt av djupn under overflata (ved tunellar og bergrom), tektoniske forhold og anisotropiske forhold på grunn av topografi (NGI, 2022). Bergtykket har derfor størst relevans for stabiliteten til høge skråningar og skjeringar i Noreg, slik som fjord- og dalsider og i djupe dagbrot. For mindre skjeringar, slik som typiske vegskjeringar har bergtrykket liten påverknad på stabiliteten til skråningar og bergskjeringar (Nielsen, 2016).

2.2.7 Geometriske forhold

Kurvaturen til skråninga eller bergskjeringa har innverknad på stabiliteten, generelt vil ein konkav skråningsgeometri verke stabiliserande medan ein konveks geometri verkar destabiliserande. Utspringande hjørne i skjeringar manglar innspenning og bør derfor unngåast (Nielsen, 2016).

2.2.8 Rystelsar

Seismisk aktivitet i form av jordskjelv kan ha stor påverknad på stabiliteten, og må derfor inkluderast i stabilitetsberekninga i seismisk aktive område. Rystelsar frå sprenging kan også påverke skråningsstabiliteten negativt. Sprenging kan føre til danning av sekundære sprekker og lausriving av bergmassen langs eksisterande sprekker (bakbryting). Dette kan vere sterkt medverkande årsaker til skred. Geologiske faktorar har stor betydning for kor vellykka sprenging i berget vil vere. Faktorane som påverkar mest er bergartsstyrke, oppsprekingsgrad og sprekkene og svakheitssonene sin orientering og karakter (Nielsen, 2016).

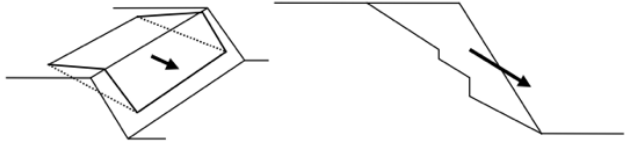
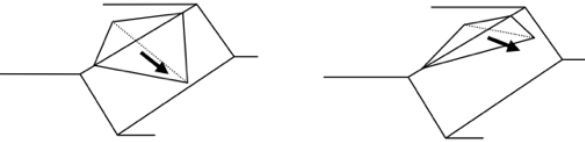
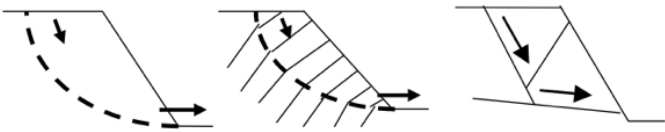
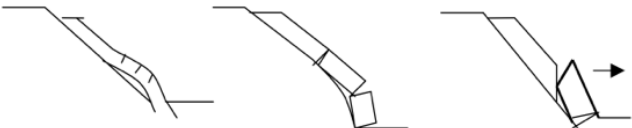
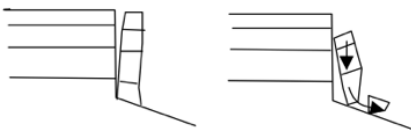


2.3 Stabilitetsanalysar

Bergsprekker og andre svakheitsplan, som foliasjon, skifrigheit og lagdeling, forårsakar skred i bergmassar ved utvelting eller utgliding. Det er derfor viktig å kartlegge alle svakheitsplan som kan forårsake brotmekansimar ved vurdering av stabiliteten til skråninga. For at stein- eller fjellskred skal førekomme må nokre topografiske og geologiske vilkår vere oppfylt. Ei steinblokk eller ein bergmasse har sin eigen kritiske hellingsvinkel som fører til utgliding eller utvelting. Vinkelen varierer mykje med bergmassen og sprekkelflata sine eigenskapar, og avheng også av vasstrykk som kan byggast opp i sprekkene (Domaas og Grimstad, 2014).

I harde bergartar bestemmer sprekke si orientering i forhold til skråninga si orientering om det skjer ei utgliding. Dersom dei geometriske forholda er til stades er det skjersstyrken langs sprekke som avgjer stabiliteten til kvar enkelt blokk. I svake bergartar derimot er det låg trykkstyrke og raskare forvitring, noko som fører til at skjermotstanden mot utgliding vert låg (Domaas og Grimstad, 2014).

Stabiliteten til ein bergmasse, ei skråning eller ei bergskjering avheng også av sprekkefrekvens. Ulike sprekkesett kan ha ulike sprekkefrekvens. Ut i frå sprekkemønsteret i bergmassen kan ustabilitet oppstå på fleire måtar, og utgliding kan også skje langs fleire sprekkeplan samtidig. Dersom bergmassen er sterkt oppsprokken eller består av svake bergartar kan det dannast skred uavhengig av enkelte sprekkeplan (Domaas og Grimstad, 2014).

Hantz, Vengeon og Peisser (2003) definerer sju typiske utrasingstypar som vert brukt ved potensielt ustabile bergmassar, vist i Figur 2.

Configuration	Mechanism
	Plane slide
	Wedge or plane slide
	Rotational or multiblock slide
	Slab failure
	Column collapse
	Column or block toppling
	Overhang failure

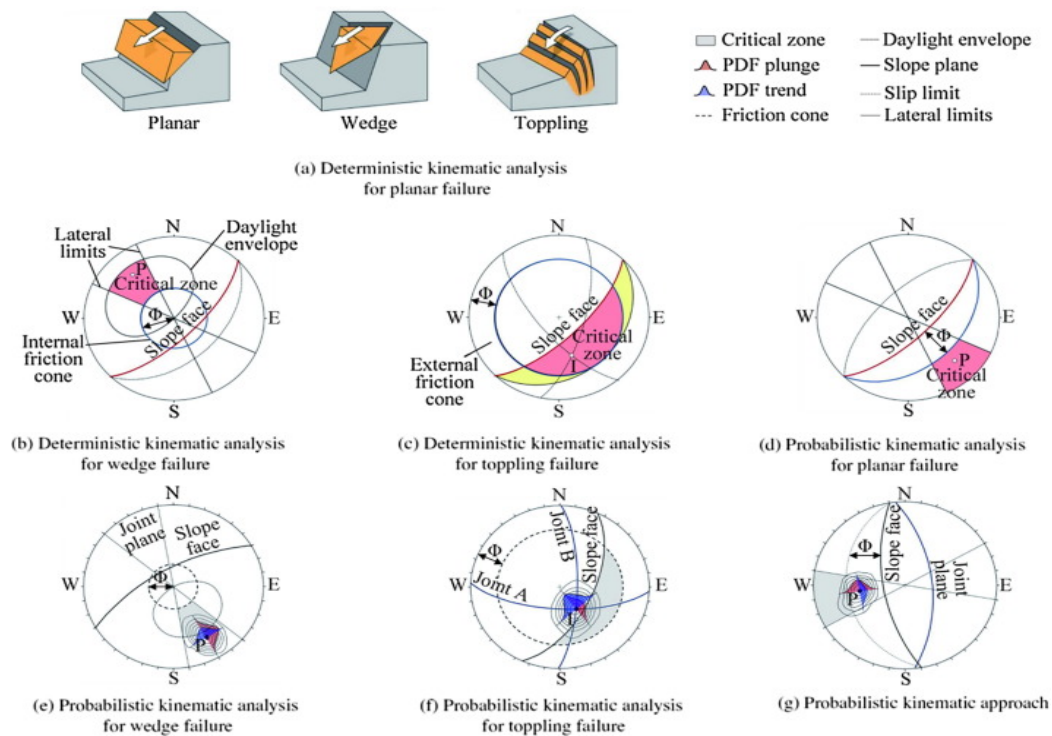
Figur 2: Typiske utrasingstypar brukt ved identifisering av potensielt ustabile bergmassar (Hantz, Vengeon og Peisser, 2003).

For å visualisera orienteringa til strukturane i bergmassen er stereonett mykje brukt. Eit stereonett er ein planprojeksjon av ei halvkule, der linjer for meridianar og breiddegrader er teikna inn. Planstrukturar kan visast som polar, og ved å lage eit poldiagram kan alle sprekkar plottast og ein kan få eit godt bilete av sprekkemønsteret. Planet kan også plottast som ein storsirkel, planet vert framstilt som ein sirkelbue. Storsirklar vert nytta til å finne skjeringlinja mellom to plan (Hantz, Vengeon og Peisser, 2003).

For å identifisere ulike utrasingstypar i ei gitt skråning, eller skjering, vert det utført stereografiske analysar. Dei er basert på innteikning av sprekk og slepperetningar i stereonett (Nielsen, 2016). Stereografiske analysar kan avdekke potensielt ustabile bergmassar. Identifiseringa er basert på ulike typar brotmekanismar, dei mest typiske er vist i Figur 2. Størrelsen og forma til potensielt ustabile bergmassar avheng av sprekkene si orientering, avstand og uthald. Potensielle ustabile bergskjeringar og bratte bergskråningar kan identifiserast ut i frå sprekkene sitt strøk og fall i forhold til skråninga sitt strøk og fall (Hantz, Vengeon og Peisser, 2003).

Kinematisk analyse er ein mykje brukt metode for å identifisere ustabile bergmassar. Det er ein geometrisk metode som identifiserer potensielle brotmekanismar ut i frå vinkelforholda mellom diskonuitetane og skråninga (Yan *et al.*, 2022). Sprekkesetta si orientering i forhold til kvarandre og bergskråninga avgjer om det vert brot og eventuell brotmekanisme. Ein kinematisk analyse krev at ulike brotmekanismar vert identifisert og at tilhøyrande analysemetode vert nytta. Tre testar kan identifisere mogleg planutgliding, kileutgliding og utvelting. Desse er vist i Figur 3 (Obregon og Mitri, 2019).

Om ein nyttar gjennomsnittet av diskonuitetane blir det sett på som ei deterministisk tilnærming. På grunn av variasjon i diskonuitetane og i målingane kan det føre til feil konklusjon. Derfor bør ein probalistisk metode verte nytta om ein ynskjer å ta omsyn til usikkerheitene knytt til variasjon i orienteringa til diskonuitetane. Dette kan gjerast ved å nytte «contour plot» til å symbolisere polane (Obregon og Mitri, 2019).



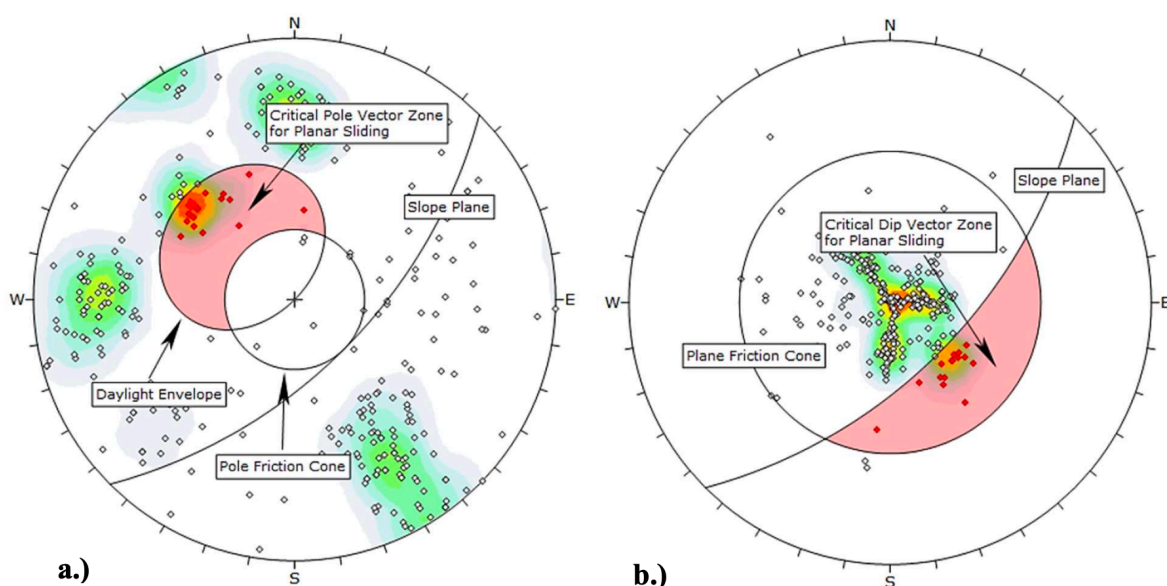
Figur 3: Strukturelle brotvilkår for planutgliding, kileutgliding og utvelting, dei rosa områda markerer instabilitet (Obregon og Mitri, 2019).

2.3.1 Plan- og kileutgliding

Bergskjeringa si overflate, friksjonsvinkel og diskontinuitetsplan vert presentert i same plott ved analyse av plan- og kileutgliding. Friksjonsvinkelen, ϕ , vert representert av friksjonssirkelen som har ein radius på 90° med senter i plottet. Området mellom skjeringa sin storsirkel og friksjonssirkelen er det kritiske området der plan- og kileutgliding er mogleg. Fylgjande kriteria må vere oppfylt (Kliche, 2018):

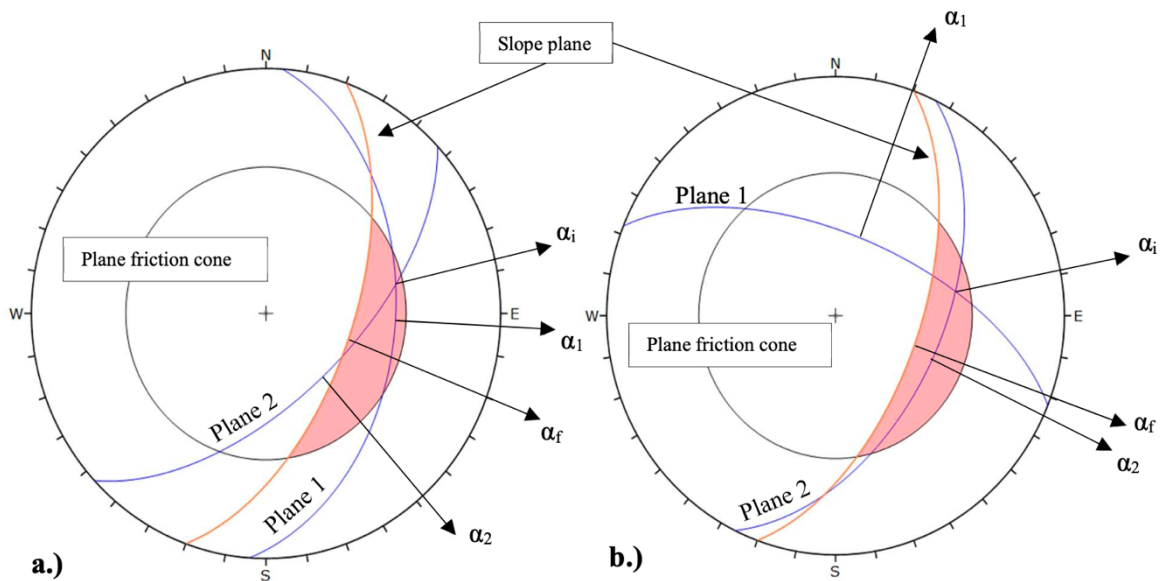
1. Fallet på diskontinuitetsplanet eller kryssingslinja mellom to plan må vere større enn friksjonsvinkelen og mindre enn fallet til skjeringa/skråninga.
2. Diskontinuitetsplanet eller kryssingslinja må ha utgåande i skjeringa/skråninga.

Ut i frå Kliche (2018) er det naturleg å sette ei sideavgrensing på $\pm 20^\circ$, på grunn av innlåsing ved for høg differanse i orientering mellom skråninga og diskontinuitetane. Figur 4 viser eit eksempel på planutgliding der ein skil mellom pol og fallvektorar (Rocscience, 2022).



Figur 4: Illustrering av kinematisk analyse ved planutgliding. a.) analysen er vist med polvektorar. b.) analysen er vist med fallvektorar (Rocscience, 2022).

Kileutgliding er mogleg dersom kryssingslinja mellom to plan ligg i det kritiske området, markert med raudt i Figur 5. Dersom strøket til ein av diskontinuitetane fell mellom kryssingslinja og skjeringa sitt strøk er utglidinga hovudsakleg på det planet (Figur 5a). Dersom strøket til kryssingslinja og skjeringa derimot ligg mellom strøka til diskontinuitetane vil kileutgliding førekomme langs kryssingslinja (Figur 5b) (Hoek og Bray, 2014).



Figur 5: Illustrering av kinematisk analyse ved kileutgliding. a.) utgliding langs plan 1. b.) Utgliding langs kryssingslinja (Rocscience, 2022; Hoek og Bray, 2014).

2.3.2 Utvelting

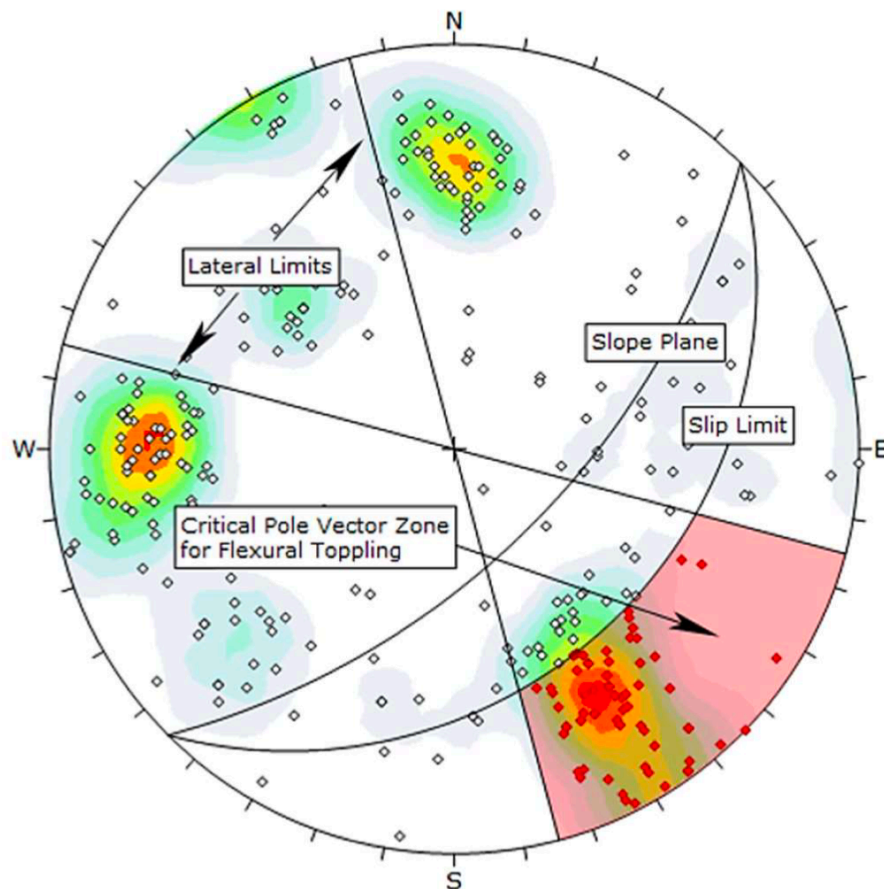
Ved kinematisk analyse av utvelting vert det skilt mellom bøyeleg og blokk/direkte utvelting (Rocscience, 2022). For at utvelting skal vere mogleg må:

1. Lagdelinga som står normalt på det bratt hellande sprekkesettet ha lågare vinkel enn friksjonsvinkelen.
2. Strøk for utveltinga og skråninga vere tilnærma lik. Ofte nytta ei grense på 10°

Tre faktorar påverkar stabiliteten i samband med bøyeleg utvelting:

1. Skråninga si helling.
2. Glidinga sitt grenseplan (slip limit).
3. Laterale avgrensingar.

Dersom faktorane er til stades for bøyeleg utvelting hamnar polane i det kritiske området markert med raudt i Figur 6.



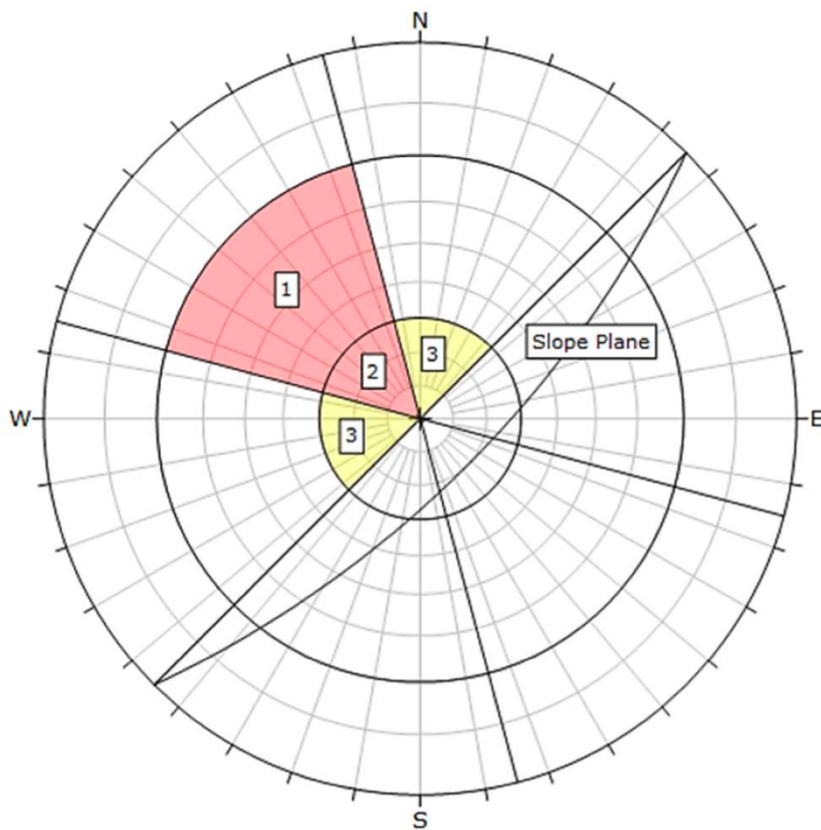
Figur 6: Kritiske områder for bøyeleg utvelting markert med raudt (Rocscience, 2022)

To element blir trekt fram av Rocscience (2022) for å ha stor påverknad på stabiliteten i samband med blokk/direkte utvelting:

1. Danning av søyler ved at to nær vertikale diskontinuitetssett kryssast og kryssingslinja har utløp ut i skjeringa/skråninga.
2. Eit tredje nært horisontalt diskontinuitetssett som fungera som glideplan eller frigjer blokkene i botn, slik at utvelting kan oppstå.

Dersom faktorane er til stades for blokk- eller direkteutvelting hamnar polane i dei kritiske områda markert med raudt og gult i Figur 7. Sone 1 og 2 (markert med raudt) er primærsona, der polvektorar kan resultera i nært vertikale kryssande plan og avlastande glideplan. Primærsona er definert av sideavgrensingar og ein ytre avgrensande sirkel definert av vinkelen til skråninga. Skiljet mellom sone 1 og sone 2 er fastslått av basis friksjonsvinkel og avgjer om blokkene vil kunne ha skjerrørsle langs glideplanet.

Sone tre (markert med gult) er sekundærsona, der kan skrå utvelting førekomme (Rocscience, 2022).



Figur 7: Kritiske områder for blokk/direkte utvelting markert med raudt. Skrå utvelting markert med gult (Rocscience, 2022).

2.4 Q-systemet

Q – systemet er eit empirisk klassifiseringssystem for bergmassar med omsyn til stabilitet i tunellar og bergrom. Q – systemet kan nyttast til å klassifisere bergmassen rundt bergrom og tunellar i tillegg til feltkartlegging i dagen (NGI, 2022).

Q – verdien til ein bergmasse er basert på seks parameterar, som til saman gir bergmassen sin kvalitet:

- RQD – Oppsprekkingstal
- J_n – Tal sprekkesett
- J_r – Sprekkeflata si ruheit
- J_a – Sprekkematerialet sin styrke
- J_w – Sprekkevassmengd og -trykk
- SRF – Bergspenningsfaktor
-

Parameterane vert gitt ein talverdi ut i frå tabellar gitt i NGI (2022) si handbok, og Q-verdien vert rekna ut i frå formel 1 (Nielsen, 2016). Høge Q – verdier indikerer god stabilitet, medan låge tyder på dårleg stabilitet (NGI, 2022).

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (1)$$

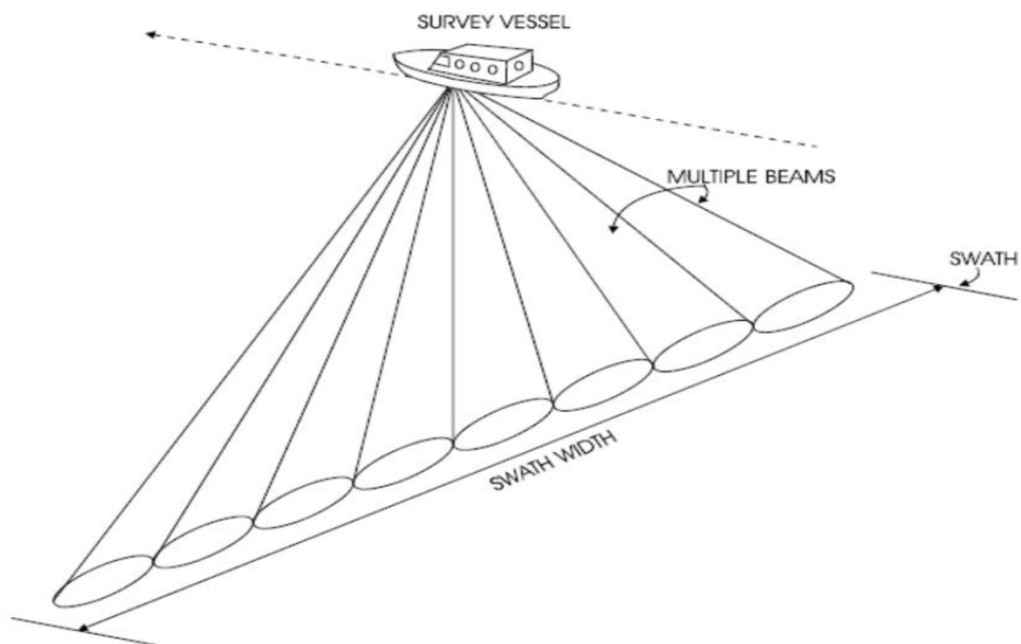
Kvart ledd i formelen uttrykkjer tre hovudfaktorar som skildrar stabiliteten. Fyrste ledd sildrar oppsprekkingsgraden, andre ledd bergmassen sin minimale skjerfastheit og det siste leddet skildrar optreande spenning(NGI, 2022).

Q – verdien og dei seks tilhøyrande parameterverdiane skildrar bergmassen. Ein bestemt Q - verdi tilseier eit bestemt stabilitetsforhold som krev eit bestemt sikringsomfang. Lågare Q-verdi tyder lågare bergmassekvalitet. NGI (2022) definerer kvaliteten som dårleg dersom Q-verdien er under 4, og svært dårleg dersom den er under 1. Q – verdien er mest presis når den er basert på kartlegging i tunellar og bergrom, då det ved feltarbeid i dagen kan vere vanskeleg å estimere nokon av verdiane. Q- verdier frå feltkartlegging vil derfor ofte ha større usikkerheit knytt til seg (NGI, 2022).

2.5 Batymetriske målingar og stabilitet i sjøbotnen

Høgoppløyselig batymetri over fjordbotn eller innsjøbotn kan samlast inn frå båt eller fly. Frå båt vert multistråleekkolodd nytta, det sender lydbølgjer ut i fleire retningar og dei returnerte signala kjem att i ulike retningar avhengig av kvar på sjøbotnen dei har treft (Figur 8). Dette gjev viktig informasjon om skråningshøgde og helling. I tillegg kan dei nyttas til å identifisere landformer under vatn som til dømes skredkantar og skredmassar, og ein kan tolke prosessar som til dømes teikn på erosjon. Batymetriske data kan nyttast til å produsere hellingskart og skyggerelieffkart, som deretter kan tolkast og nyttast til å utføre stabilitetsanalysar (Hansen *et al.*, 2013).

Høgoppløyselige batymetriske data nær land i Noreg viser at det finnest mange skredgroper og skredmassar med ukjend alder. Med tida vert skredmassane og-gropene drapert med fjord- eller innsjøsediment. Dei eldste spora kan dermed verte utydelege på dei batymetriske dataa, og i nokre tilfelle berre påvisast med seismiske data (Hansen *et al.*, 2013).



Figur 8: Prinsippskisse som viser korleis batymetriske data vert samla inn med båt. Henta frå NVE rapport 22/2013 (Hansen *et al.*, 2013).

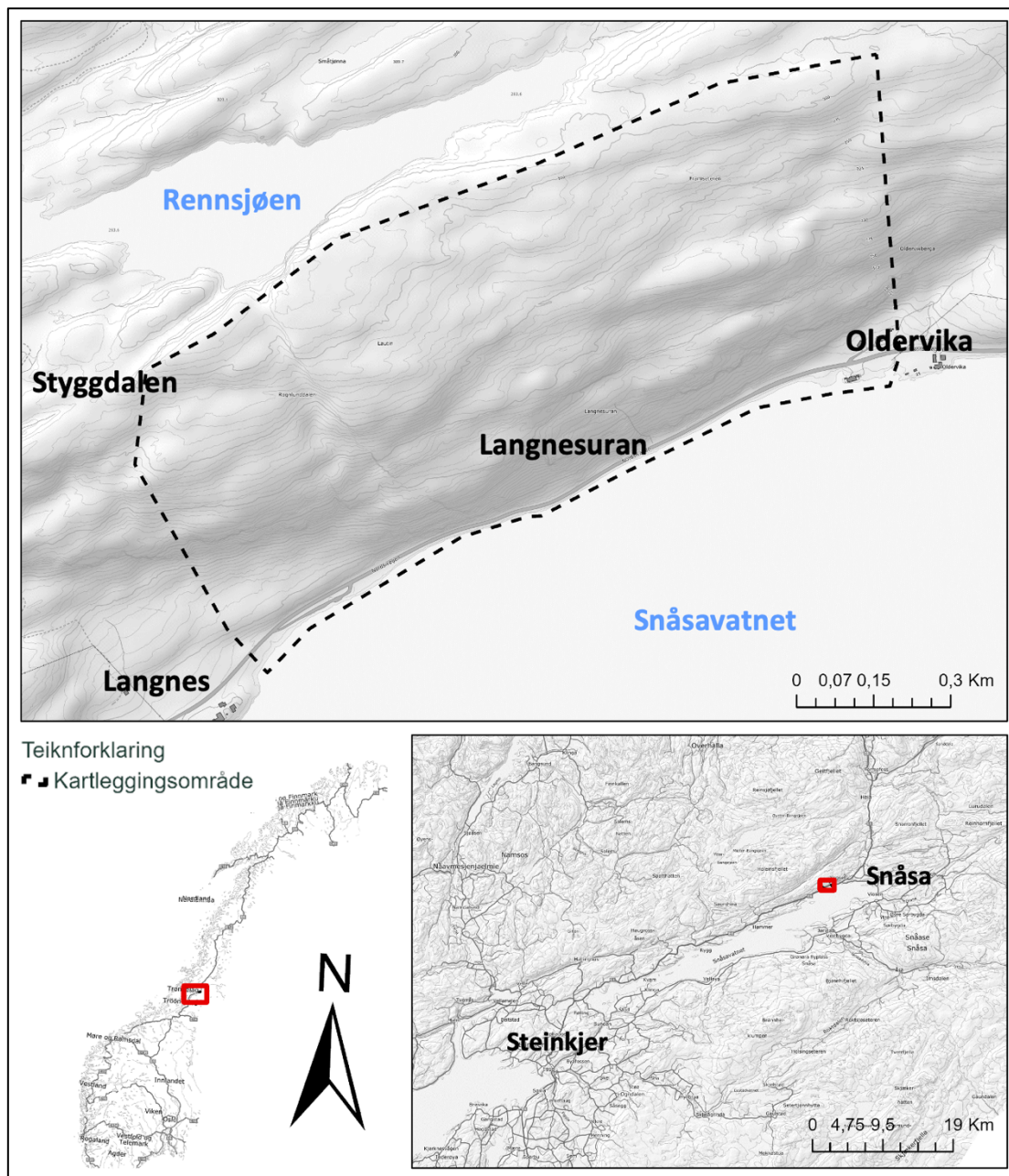
Menneskeleg aktivitet som utfylling, myldring og sprenging i strandsona er vanlege årsaker til skred langs strandsona. Rystelsar i frå sprenging forplantar seg i berg og lausmassar og kan føre til utglidingar i skråningar under vatn. Dersom kvikkleirelommer vert punkterte eller erosjon frå skredmassar utløyser nye skred kan det få alvorlege konsekvensar (Hansen *et al.*, 2013). Eit skred utløyst i strandsona kan utvikle seg retrogressivt innover land, så lenge ugunstige grunnforhold eksisterer. I tilfelle der kvikkleire er involvert kan skred forplante seg langt innover land, ofte over 125 m (L'Heureux *et al.*, 2013).

I marine og lakustrine miljø på går det kontinuerlege prosessar som endrar sjøbotnen, tilførsel av sediment og erosjon av eksisterande sjøbotn påverkar sjøbotnen sin helling og lagtjukn. Denne kontinuerlege endringa påverkar stabiliteten. Dersom det vert avsett store mengder sediment på toppen av skråninga kan dette føre til auka skjerspenningar og dermed lågare stabilitet. Ved undersjøiske strøymingar i vatnet kan det også føregå erosjon av sediment under vatnet, dette vil også senke stabiliteten (Hampton, Lee og Locat, 1996).

I denne oppgåva er det nytta batymetriske målingar samla inn av Statens Vegvesen 8. april 2022. Dei innsamla dataa har oppløysing 0,5 meter langs land og 1 meter i dei djupare områda. Oppløysinga er avgjerande for kor store blokker ein kan identifisere på kartlegginga, ein kan berre kan identifisere blokker som er større enn oppløysinga. I denne oppgåva vil det derfor vere mogleg å identifisere blokker som er større enn 1m³ langs heile sjøbotn, og større enn 0,5m³ nær land.

3 Områdeskildring

Området som skal vurderast, kalla kartleggingsområdet, er vegstrekninga mellom Langnes og Oldervika, ved Snåsavatnet i Trøndelag, og området rundt som kan påverke vegstrekninga (Figur 9). Vegstrekninga går langs med Snåsavatnet og store delar av strekninga er bygd på ein fylling ut i vatnet. Over vegen er det vegskjering og bratte bergskråningar som strekker seg oppover mot Rennsjøen i Nordvest. Ortofoto er vist i Figur 10 og oversiktbilete er vist i Figur 11.



Figur 9: Oversiktskart som viser kvar kartleggingsområdet er plassert. E6 er vegen som går langs Snåsavatnet i heile kartleggingsområdet.

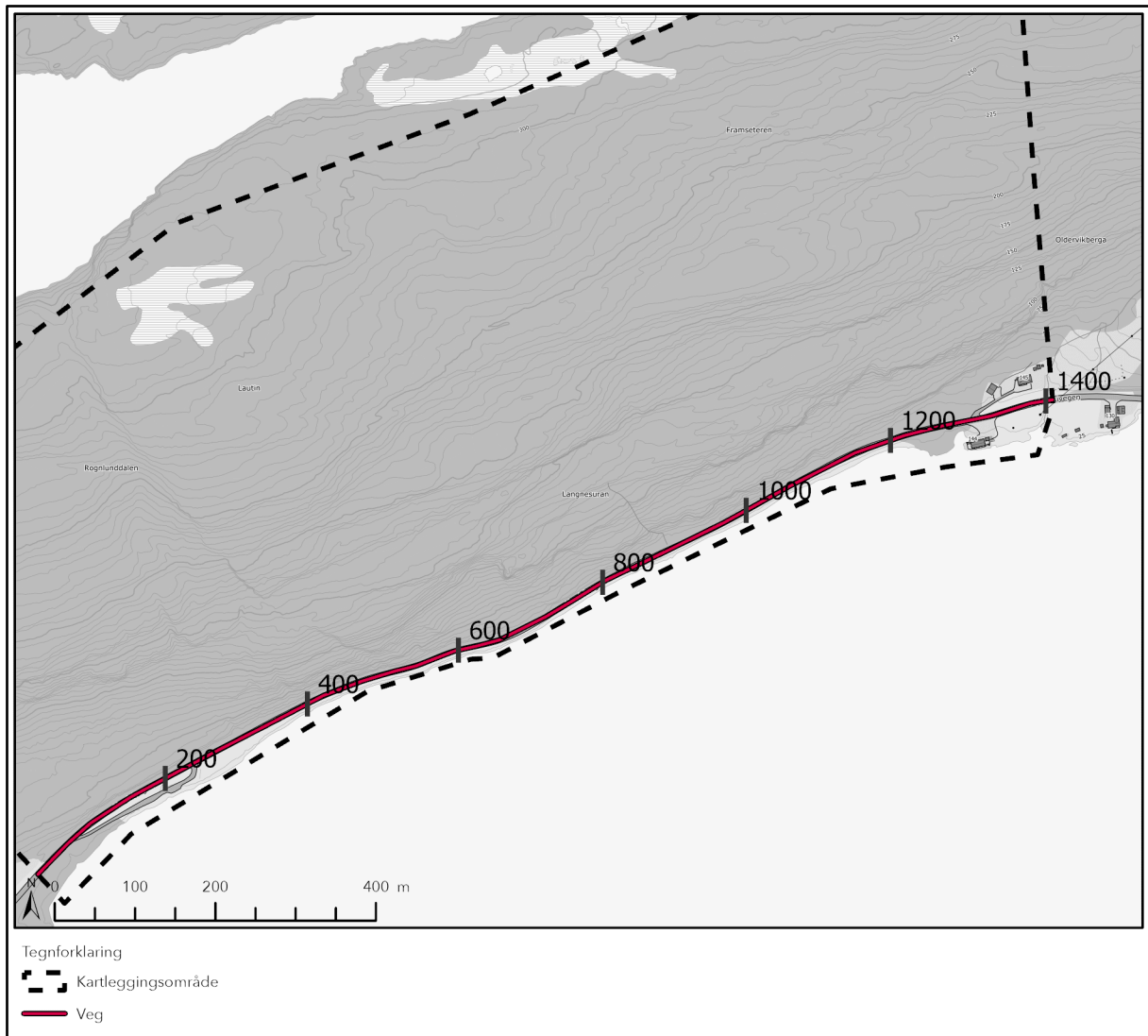


Figur 10: Ortofoto frå 2020 over kartleggingsområdet (Statens Vegvesen, NIBIO og Statens Kartverk, 2022).



Figur 11: Oversiktbilete teke frå Langnes i vest, mot Oldervika i aust.

For å enklare kunne lese av resultatane i modelleringane, og enklare hente ut grafar over energi og spretthøgde, er det nytta eige nullpunkt på vegstrekninga. Ikkje Vegvesenet si nummerering som kjem fram på vegkart og i vegvisaren. I systemet som er nytta er 0 m på vegen satt til der kartleggingsområdet byrjar ved Langnes, tilsvara m7720 i vegvesenet sitt system, og føl E6 og tel oppover mot Oldervika (Figur 12). For å gjere om til Vegvesenet sitt system må ein derfor legge til 7720 på tala oppgitt utover i oppgåva.

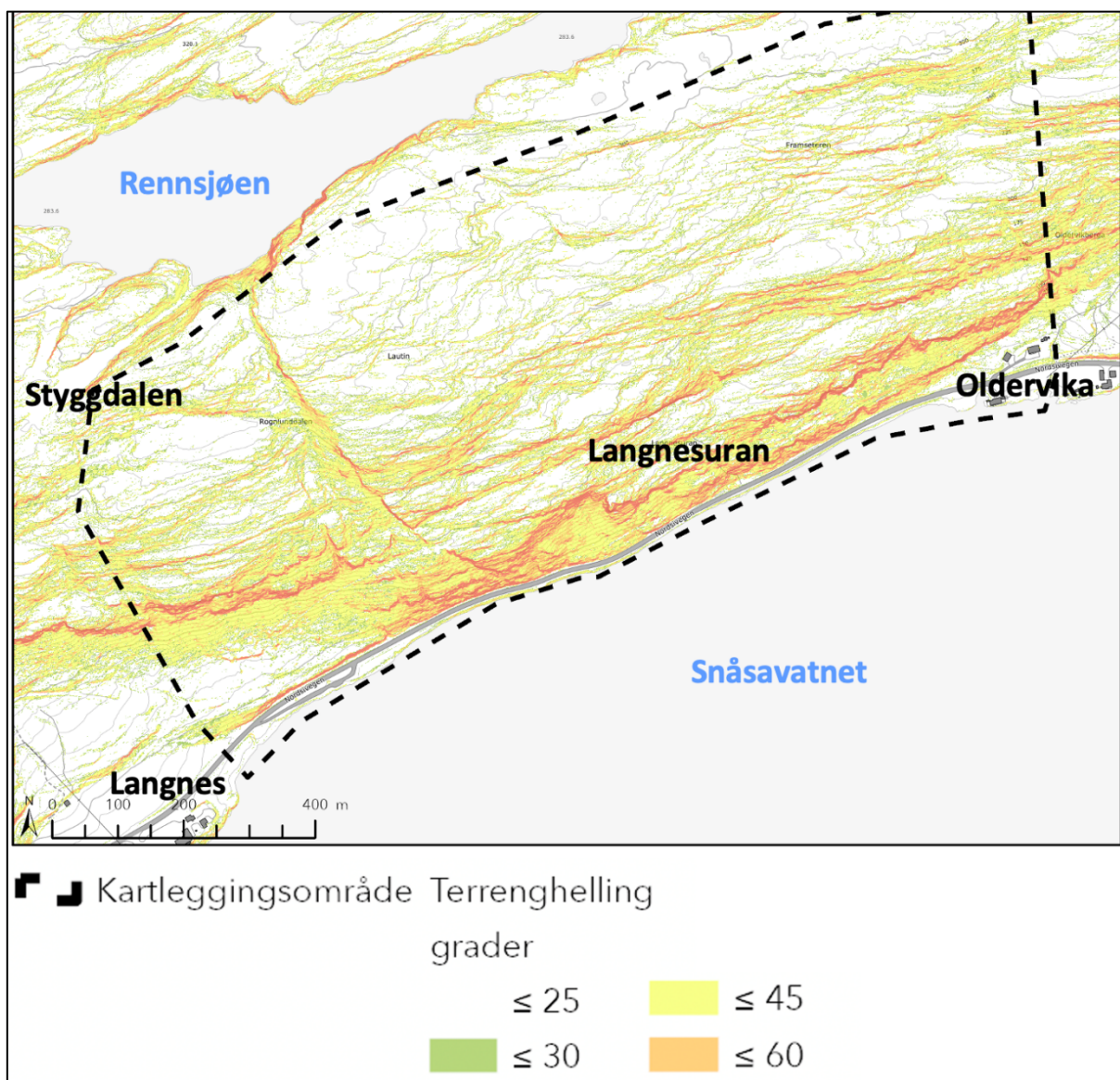


Figur 12: Illustrera korleis vegstrekninga er nummerert. 0 m i oppgåva tilsvara m 7720 i systemet nytta av Vegvesenet.

3.1 Topografi

Kartleggingsområdet ligg i ei søraust vendt fjellside, og strekker seg heilt ned til nordsida av Snåsavatnet. Fjellsida går frå Snåsavatnet 23,1 moh. til ca. 318 moh. E6 går like ved vatnet langs heile strekninga. Stadvis på vegfylling. Over E6 er terrenget svært bratt og består av fleire bergskrentar med terrenghelling $\geq 60^\circ$ (Figur 13). Mellom dei nedre bergskrentane og vegen er terrenget hovudsakleg 45-60°. Over ca. 150 moh. er terrenget mellom bergskrentane slakare, under 25°, og skrentane er lågare. I nordaustleg og sørvestleg del av kartleggingsområdet er terrenget slakare, under 25° i nedre del, ved Oldervika og Langnes.

Dei nedre skrentane nærast vegen (under 150 moh.) har ei høgd på opp mot 100 m, der hellinga hovudsakleg er over 60°. Skrentane lengre oppe i terrenget har lågare høgde, opp mot ca. 40 m. Over skrentane, ca. 250 moh., flatar terrenget ut og vert hovudsakleg flatare enn 25°.



Figur 13: Terrenghelling i kartleggingsområdet.

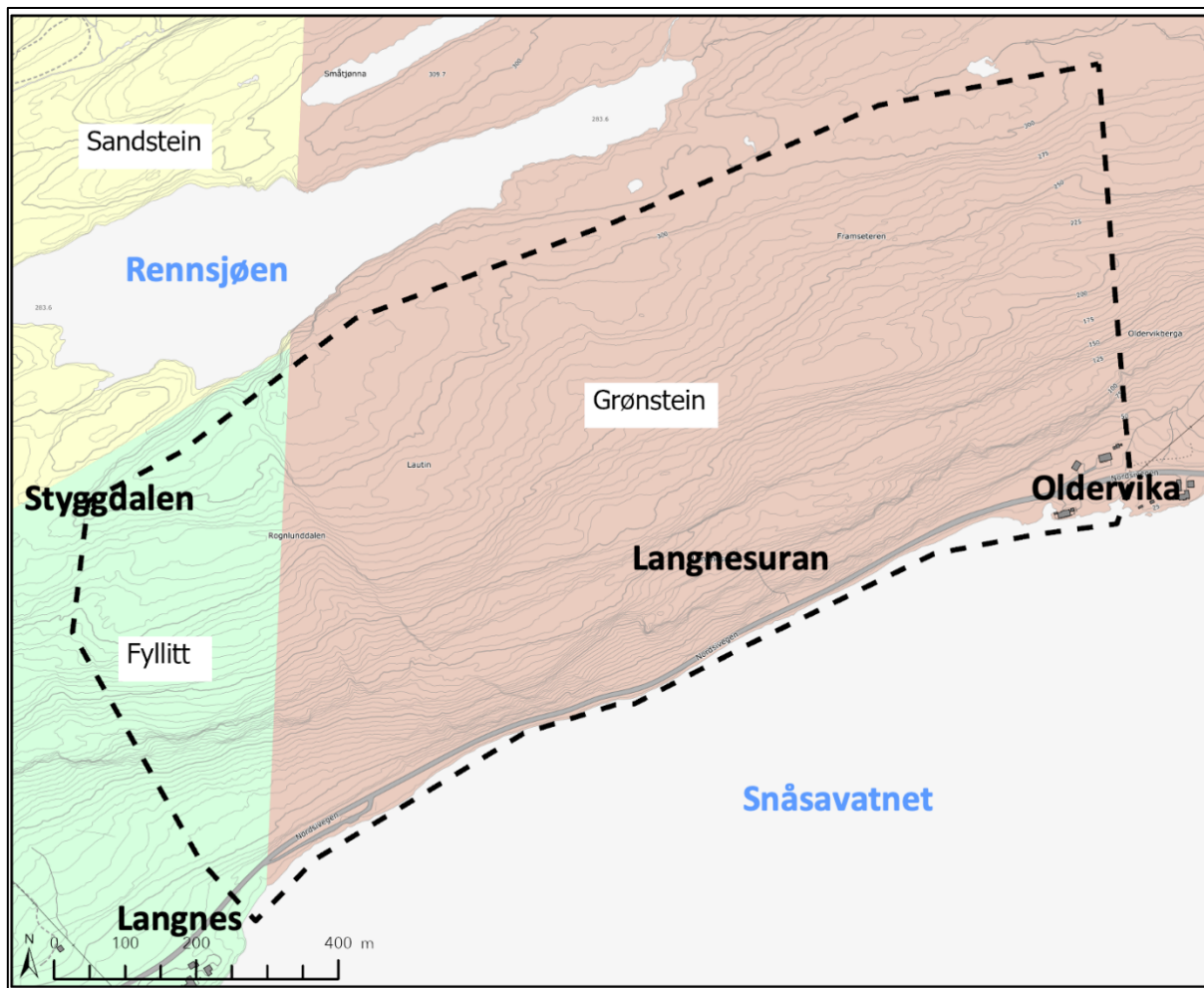
3.2 Geologi

3.2.1 Berggrunn

Berggrunn i området er kartlagt i målestokk 1:50 000, vist i Figur 14 (NGU, 2022b). Området ligg midt mellom to kartblad 1723-1 Overhalla (Sveian *et al.*, 2014) i vest ved Langes, og 1823-4 Grong (Bergstrøm, 1991) i aust ved Oldervika.

Bergartane ved Langes er kartlagt å vere fylitt, sølvgrå til grøn, i veksling med garbenskifer, glimmerskifer, kvartsfyllitt og porfyrisk til ikkje-porfyrisk grønstein omtrent opp til Styggdalen. Der grensar fylittten til sandstein, vulkanoklastisk, mørk grå til lys grøn. I veksling med finkorna konglomerat, tuff og agglomerat.

På kartblad Grong samsvarar ikkje kartlegginga til NGU (2022b) med kartlegginga på kartblad Overhalla. Heile området er kartlagt som grønstein, grønskifer, stadvis til dels amfibolittisert. Dette samsvarar med kartblad 1723-2 Snåsavatnet rett sør for kartblad Overhalla.

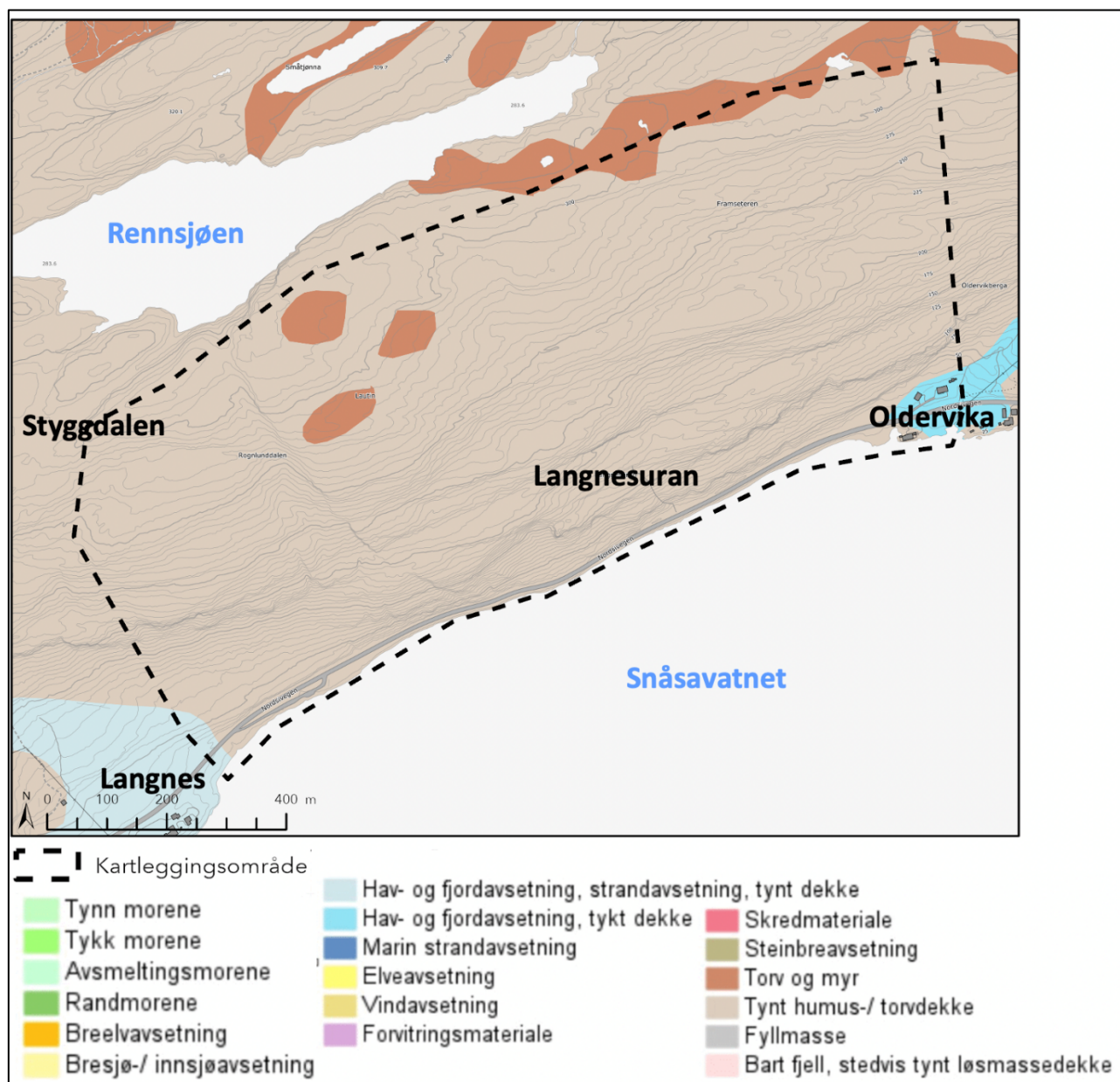


Figur 14: Berggrunn i kartleggingsområdet (NGU, 2022b).

Under feltarbeidet vart det observert fylitt med noko grønstein, glimmerskifer kvartsfyllitt mellom. Dette samsvarar bra med den nyaste kartlegginga i området, som er kartlegginga på kartblad 1723-1 Overhalla (Sveian *et al.*, 2014).

3.2.2 Lausmassar

I følge NGU (2022a) sitt lausmassekart er det humusdekke/tynt torvdekke over berggrunn i området. Det er i tillegg registrert usamanhengande/tynt dekke med steinsprangavsetning ved Langnesurane. Ved Langnes er det kartlagt å vere Hav- og fjordavsetning og strandavsetning, usamanhengande eller tynt dekke over berggrunnen. Hav- og fjordavsetning er også kartlagt ved Oldervika, men denne er samanhengande og har større mektigheit.



Figur 15: Lausmassekartlegginga gjort av NGU (2022a) i kartleggingsområdet.

3.2.3 Regional geologi (Hitra-Snåsa-Forkastinga)

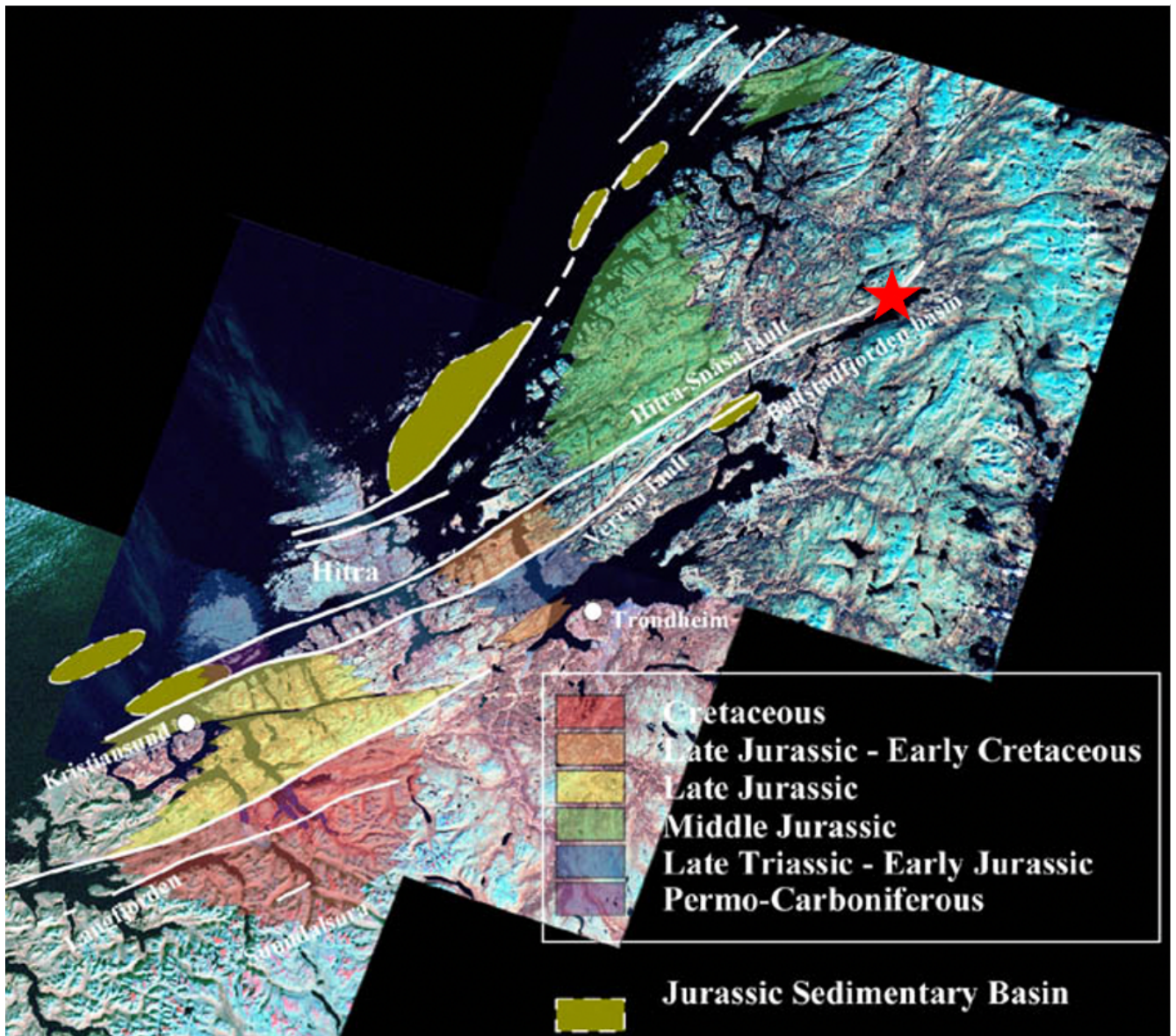
Kartleggingsområdet ligg i tilknytning til Møre-Trøndelag forkastingskomplekset. Møre-Trøndelag forkastingskomplekset er ei av dei viktigaste regionale strukturane i midt - Noreg. Offshore deler komplekset det djupe Møre og Vøring bassenget frå krittperioden i frå eit grunnare bassensystem frå jura-kritt-tertiær. På land går sona djupt og deler ulike bergartar (Redfield *et al.*, 2005).

Om ein følger Møre-Trøndelags forkastingskomplekset mot nord ser ein at det heng saman med ekstensjonskjersoner som Høybakkskjersona og Kollstraumskjersona, desse skjersonene har meir samansette rørsler enn Møre-Trøndelag forkastingskomplekset. Komplekset har einsretta nordvestrørsle i Sør-Noreg. (Ramberg og Norsk geologisk forening, 2013). I den nordlege enden av Møre-Trøndelag forkastingskomplekset er det veldig lite/ingen topografisk kontrast på tvers av dei ulike forkastingane. (Redfield og Osmundsen, 2009)

Den delen av Møre-Trøndelag forkastingskomplekset som er synleg på land er Hitra-Snåsa forkastinga og Verran forkastinga, med orientering sørvest-nordøst (Figur 16). Desse er begge karakterisert av duktil deformasjon etterfølgd av sprø deformasjon. Skjerrørsler langs desse forkastingane inkluderer sinistrale (venstrevendte) duktile rørsler i tidleg Devon, og fleire sprø «dip slip» og dekstral til «oblique-slip» i sein devon/tidleg terciær (Braathen *et al.*, 2000).

Tidleg skjerdeformasjon førte til danning av mylonittiske bergartar med varierende tjukn. Dette skjedde under av takande låggrads metamorfosevilkår. Strukturane har sinistralt skjer (Heim, 1997). Når dei plastiske duktile skjersonene vart lyfta opp på eit grunnare skorpenivå fortsette ekstensjon ved sprø deformasjon. Bergartar som tidlegare hadde vorte deformert som deig vart no kutta opp og knust i sprø forkastingar. Dette hendte truleg til ulik tid avhengig av kor djupt bergartane låg etter kollisjonen og kor fort dei kom opp att (Ramberg og Norsk geologisk forening, 2013). Sprø deformasjon danna massiv mikrobrennsje og kataklasitt i området rundt Hitra-Snåsa forkastinga (Heim, 1997).

Eit sett med sekundære forkastingar med orientering nord/nordøst-sør/sørvest skjærer gjennom tidlegare strukturar. Desse har også stadvis mykje kvartsårer knytt til seg, kvartsårene har som regel nord-sør orientering. Geometrien på skjerband, fibrige mineral, glidespeil osv. i tillegg til forskyving av bergartsgrenser indikerer sinistralt skjer vanlegvis underordna skråkomponent (Heim, 1997). Geometrien skildra av Heim (1997) passar med ein nord-sør kompresjon, der kvartsårene representerer innfylling i ekstensjonssprekker, sekundærforkastingane sine syntetiske R-Strukturar og hovudkataklasitten som truleg er ein P-struktur. Sidan vinkelen mellom hovudsona og dei sekundære forkastingane er relativt stor er danning i eit transpressivt regime mest truleg. Eit transpressivt regime er der ein har ei sidelengs skjerson med ein komponent av kompresjon (Heim, 1997).



Figur 16: Oversikt over regionale strukturar (forkastingar) i Trondheimsområdet Raudstjerne viser plassering av kartleggingsområdet. Bilete henta frå NGU (2008)

Den primære litologien kontrollerer i ei viss grad utforminga av Hitra-Snåsa forkastinga. Spesielt i den nordaustlege delen der duktile bergartar fører til ei forgreining av forkastinga (Heim, 1997).

Alle typar skred og brotmekansimar er viktige mekanismar for utforminga av landskapet. Mange skred skjer nær aktive plategrenser, der tektoniske krefter fører til landheving. Det går også store skred i fjellområde i Noreg, som no ligg langt frå ei aktiv plategrense (Redfield and Osmundsen, 2009).

3.3 Vegetasjon

Oversiktsfoto (Figur 11) og NIBIO (2022) sitt skogsressurskart viser at kartleggingsområdet hovudsakleg er dekkja av barskog, gran med noko furu, med litt lauvskog innimellom. Tettleiken til skogen minkar med aukande høgd. Figurar som viser data frå NIBIO er vist i avsnitt 4.3.

NIBIO (2022) anslår varierende kronedekning, med 80-90% i nedre del og ned mot 5-10% i høgareliggande område.

Studering av flyfoto frå 2001, 2002, 2008, 2010, 2011, 2016, 2017 og 2020 (Statens Vegvesen, NIBIO og Statens Kartverk, 2022) viser at det har vore lite endring i vegetasjon i kartleggingsområdet. Flyfoto er frå ein kort periode, og gjev lite informasjon bakover i tid. Det er ikkje observert synlege skredhendingar som har påverka skogen frå 2001 og fram til 2020.

Meir informasjon om skogen er presentert i avsnitt 4.3, i samband med simulering av steinsprang med omsyn til eksisterande skog.

3.4 Klima

Nedbørdata er henta frå NVE sitt «Grid times series» API (NVE, 2022b). Datasettet er SeNorge2 som er basert på observerte og interpolerte data frå 1990-2020 (Lussana, 2018). Vindroser er basert på data frå mars 2018 til mars 2020, noko som er ein kort periode i eit klimaperspektiv. Interpolerte data er justert for høgd.

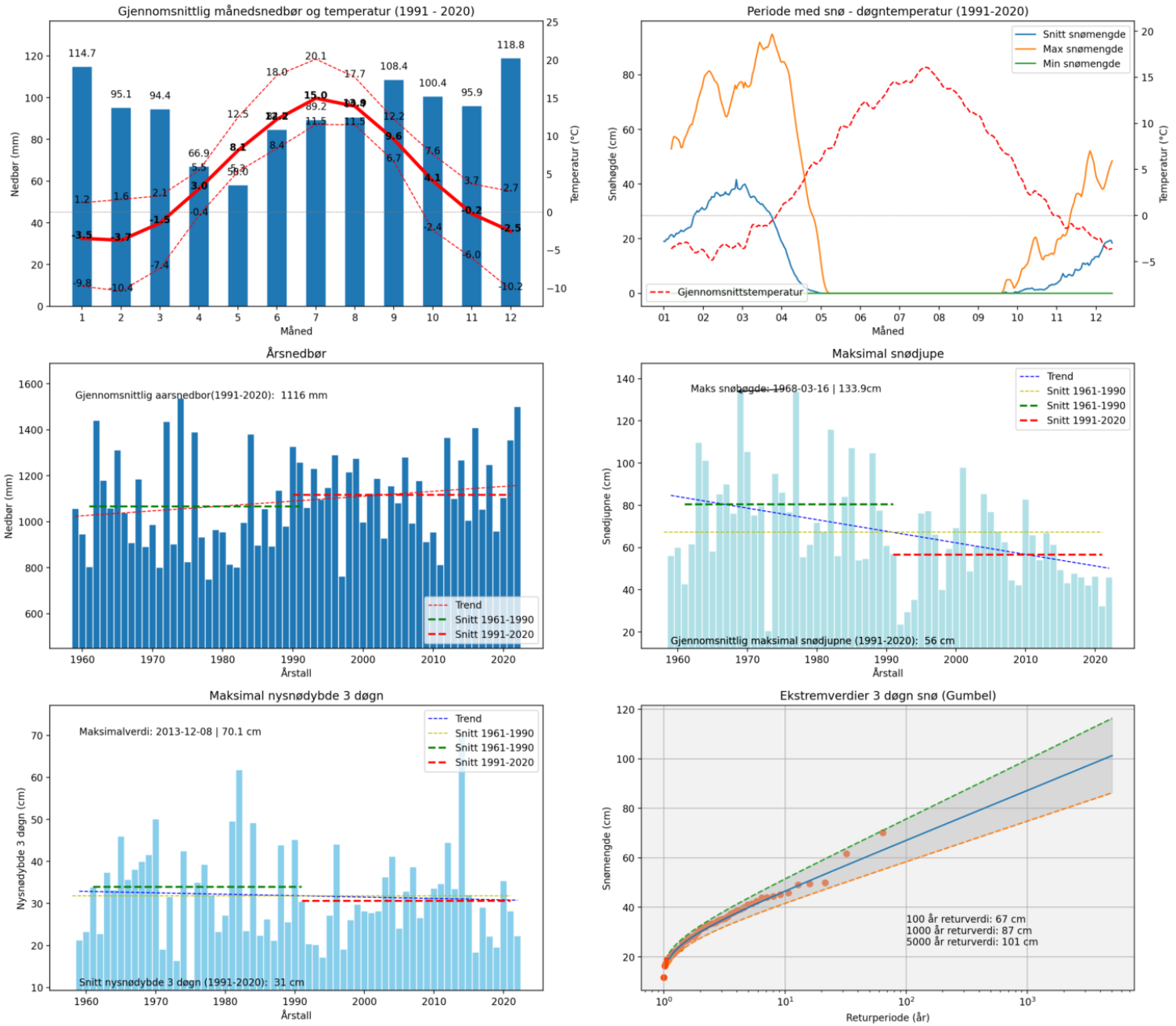
Klimadata er henta frå Langnesberga ca. 25 moh. og Langnesfjellet 774 moh., høgaste punktet nord for Langnesberga. På høgder vert vinden mindre påverka av dalstrøk. Koordinatane nytta til å hente ut klimadata er vist i Tabell 1.

Tabell 1: Koordinatar for punkt klimadata er basert på.

Lokalitet	Koordinatar UTM 33	
	N	Ø
Langnesberga (25 moh.)	7128674.3	365759.2
Langnesfjellet (774 moh.)	7132090.1	363370.2

Området har milde temperaturar og moderat nedbør (Figur 17). Gjennomsnittstemperaturen varierer frå -3.7°C i februar til 15°C i juli. Frå november til mars er gjennomsnittstemperaturen under 0°C. Det er mest nedbør i desember, med ca. 119 mm i gjennomsnitt, og minst i mai med 58 mm i gjennomsnitt. Gjennomsnittleg årsnedbør for området er 1116 mm, med ein aukande trend.

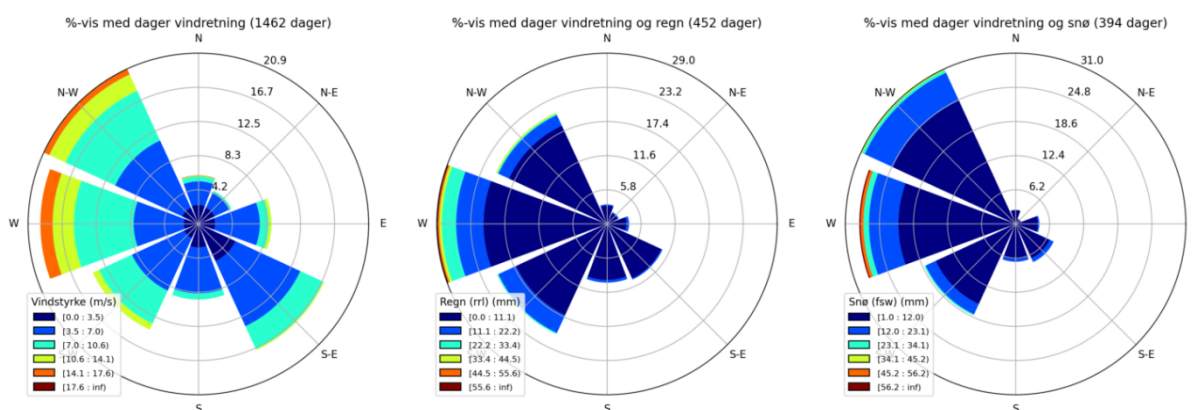
Klimaoversikt for Langnesberga



Figur 17: Samanstilling av klimadata for Langnesberga.

3.4.1 Vind

Figur 18 viser dominerande vindretning, vindretning for generell nedbør og vindretning ved snø. Flest dagar er registrert med vind frå vest og nordvest, men mange dagar frå sørøst og sørvest også. Sterkaste vind er registrert frå vest og nordvest med styrke opp mot 17,6 m/s på Langnesfjellet. Nedbørførande vindretning er hovudsakleg frå vest. Snøførande vindretning er frå nordvest og vest, med flest dagar frå nordvest og større snømengder frå vest.



Figur 18: Vindrosen frå Langnesfjellet (774 moh.)

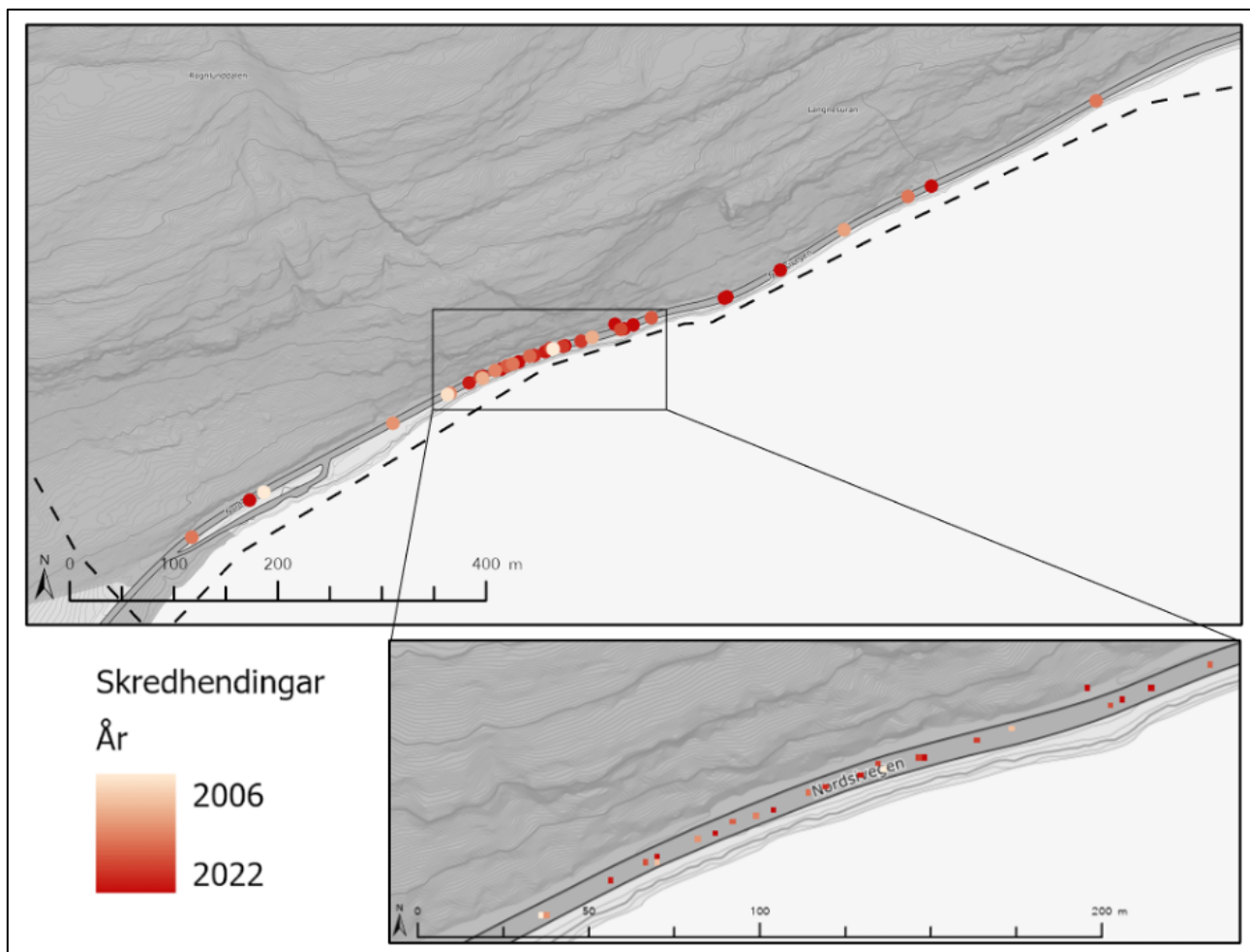
3.4.2 Framtidig klima

Klimaprofil for Nord-Trøndelag (Norsk Klimaservicesenter, 2022) viser at klimaendringane vil føre til vesentleg fleire episodar med kraftig nedbør i intensitet og førekomst. Det er venta fleire og større regnflaumar, og i mindre bekkar og elvar må ein vente ei auke i flaumvassføringa. Hyppigare episodar med kraftig nedbør vil kunne auke hyppigheita av steinsprang og steinskred, hovudsakleg mindre steinspranghendingar.

3.5 Tidlegare skredhendingar

Det er registrert 33 tidlegare steinsprang og steinskredhendingar og tre lausmasseskred på strekninga mellom Langnes og Oldervika sidan 2006 (Data frå 2006 ≤ 2022). Figur 19 viser registrerte skredhendingar i NVE-atlas (NVE, 2022a), data er prosessert og dobbeltregistreringar er fjerna, og hendingane er også lista opp i Tabell 2. Det er registreringar i samband med nedfall på E6. Felles for dei fleste av steinspranga er at det er mindre hendingar med losneområde maks 50 m. oppover i skråninga. Eldre hendingar har lite informasjon, og er derfor meir usikre. Registreringane viser ein konsentrasjon av skredhendingar langs den undersøkte strekninga, mesteparten av registreringane er gjort mellom ca. 400 – 600 m inn i kartleggingsområdet frå vest (Figur 12).

Det er registrert 11 steinsprang/steinskred i 2022, og to jordskred. Steinskreda og steinspranga er registrert i ulike størrelsekategoriar. Desse kategoriane har truleg endra seg med åra, men det er valt å dele skreda inn etter informasjon gitt i NVE Atlas (NVE, 2022a). Ei oversikt over størrelsefordelinga er vist i Figur 20. Dei fleste registreringane er <1 m³, og berre ei er over 100 m³.



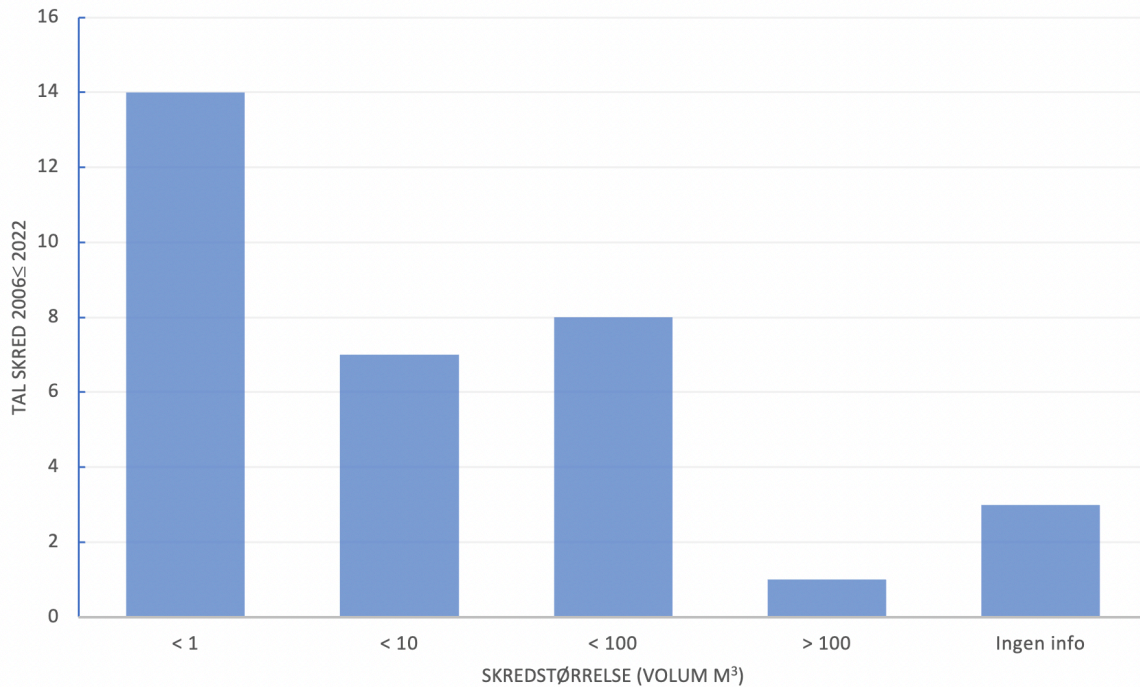
Figur 19: Skredhendingar langs strekninga henta frå NVE-atlas (NVE, 2022a). Registreringane er frå 2006-2022, raud farge er dei ferskaste skredhendingane.

Tabell 2: Oversikt over tidlegare skredhendingar. Henta frå NVE Atlas (NVE, 2022a).

Skredtype	Dato	Skildring
Steinsprang	16.oktober 2006	Steinsprang < 100m ³ . Ikkje meir informasjon.
Steinsprang	1. november 2006	Steinsprang < 100m ³ . Ikkje meir informasjon.
Uspesifisert steinskred	20.desember 2007	Ikkje meir informasjon.
Uspesifisert steinskred	17. april 2011	Ikkje meir informasjon.
Steinsprang	27. oktober 2011	Steinsprang < 100m ³ . Ikkje meir informasjon.
Steinsprang	19. mars 2012	Steinsprang < 100m ³ . Ikkje meir informasjon.
Steinsprang	13. april 2013	Steinsprang < 100m ³ . Ikkje meir informasjon.
Steinsprang	9. januar 2014	Steinsprang < 100m ³ . Ikkje meir informasjon.

Steinsprang	15. februar 2014	Steinsprang < 100m ³ . Ikkje meir informasjon
Steinsprang	20. april 2015 (09.30)	Stein på E6 losna frå vegskjering 0-50 m over vegen. Anslått skredvolum <10m ³ og blokkert veglengde på 0-10m.
Steinsprang	11. august 2015 (20.30)	Stein på E6 losna frå vegskjering 0-50 m over vegen. Anslått skredvolum < 10 m ³ . Tidspunkt for skredhendinga kan vere noko usikkert.
Steinsprang	22.september 2015 (10.12)	Stein i grøfta ved E6, losna frå vegskjering, 0-50 m over vegen. Anslått skredvolum < 10 m ³ .
Steinsprang	21. desember 2016 (10.10)	Stein og isnedfall ned i grøft på E6 losna frå vegskjering 0-50 m over veg. Anslått skredvolum er mindre enn 1m ³ .
Steinsprang	27. mars 2017 (07.01)	Steinsprang < 100m ³ . Ikkje meir informasjon
Steinsprang	4. september 2017 (09.44)	Stein i grøft på E6 losna frå vegskjering 0- 50 m over veg. Anslått skredvolum < 1 m ³ .
Steinsprang	25. april 2018 (04.19)	Stein på E6 losna frå vegskjering 0-50 m over vegen. Anslått skredvolum <10m ³ og blokkert veglengde på 0-10m.
Steinsprang	31. desember 2018 (13.00)	Stein på E6 losna frå vegskjering 0-50 m over vegen. Anslått skredvolum <1m ³ og blokkert veglengde på 0-10m.
Steinsprang	4. januar 2019 (13.30)	Steinsprang frå 20-30 m høgde over vegen. Blokk på ca. 1 m ³ hamna i det eine køyrefeltet, samt noko massar i grøfta. Noko usikkert klokkeslett.
Steinsprang	9. mai 2019 12.34	Stein på E6 losna frå vegskjering 0-50 m over vegen. Anslått skredvolum < 1m ³ . Blokkert veglengde 0-10 m.
Steinsprang	18.september 2020 (09.14)	Stein på E6 losna frå vegskjering 0-50 m. Anslått skredvolum på veg er mindre enn 1 m ³ . Blokkert veglengde 0-10 m.
Steinsprang	2. mars 2021 (11.48)	Stein på E6 losna frå vegskjering 0-50m over vegen. Anslått skredvolum på veg er mindre enn 1m ³ . Blokkert veglengde er 0-10m.
Steinsprang	22. mars 2021 (10.52)	Stein på E6 losna frå fjellside o-50 m. Anslått skredvolum på veg < 1m ³ . Blokkert veglengde 0-10m.
Steinsprang	10. februar 2022 (01.17)	Stein i grøft på E6 losna frå vegskjering 20-50 m. Anslått skredvolum på veg < 10 m ³ .
Steinskred	13. mars 2022 (22.55)	Større steinskred. >100 m. Meir info i avsnittet under.
Steinskred	26. mars 2022 (19.24)	Stein på E6 losna frå fjellside. Anslått skredvolum på veg < 1m ³ . Registrert to same dag, kan vere dobbeltregistrering?

Steinsprang	10. april 2022 (19.30)	Stein på E6 losna frå vegskjering. Anslått skredvolum på veg er mindre enn 1m ³ . Blokkert veglengde er 0-10m.
Steinsprang	13. april 2022 (02.48)	Stein på E6 losna frå fjellside 5- 20 m. Anslått skredvolum på veg < 10 m ³ . Blokkert veglengde >100 m. Stengt for all trafikk mellom kl. 05.58 den 13.04 – kl. 08.54 den 14.04.
Steinsprang	3. juni 2022 (03.42)	Stein på E6 losna frå fjellside 20-50 m. Anslått skredvolum på veg < 10 m ³ . Blokkert veglengde 50-100m
Steinsprang	12. juni 2022 (09.41)	Stein på E6 losna frå vegskjering 20-50 m. Anslått skredvolum på veg er mindre enn 1m ³ .
Steinsprang	14.september 2022 (08.17)	Stein på E6 losna frå ur 50-200 m. Anslått skredvolum på veg < 1 m ³ . Blokkert veglengde < 10m. Stengt for all trafikk.
Steinsprang	26. september 2022 (08.08)	Stein på E6 losna frå fjell/dalside.
Steinsprang	24. oktober 2022 (09.44)	Stein på E6 losna frå vegskjering 20-50 m. Anslått skredvolum på veg <1 m ³ . Blokkert veglengde < 10m.
Steinsprang	18. nov. 2022 (12.36)	Stein på E6 losna frå vegskjering 20-50 m. Anslått skredvolum på veg <1 m ³ . Blokkert veglengde. Kun i grøft
Uspesifisert lausmasseskred	4. desember 2007 (09.00)	Ikkje noko meir informasjon.
Jordskred	10. februar 2022 (01.11)	Jord/lausmasse ved E6 losna frå vegskjering, 20-50m. Anslått skredvolum på veg er <100 m ³ . Blokkert veglengde er 10 - 50 m.
Jordskred	20. mars 2022 (13.02)	Jord/lausmasse i grøft på E6 losna frå vegskjering 5-20m. Anslått skredvolum på veg < 1 m ³ .

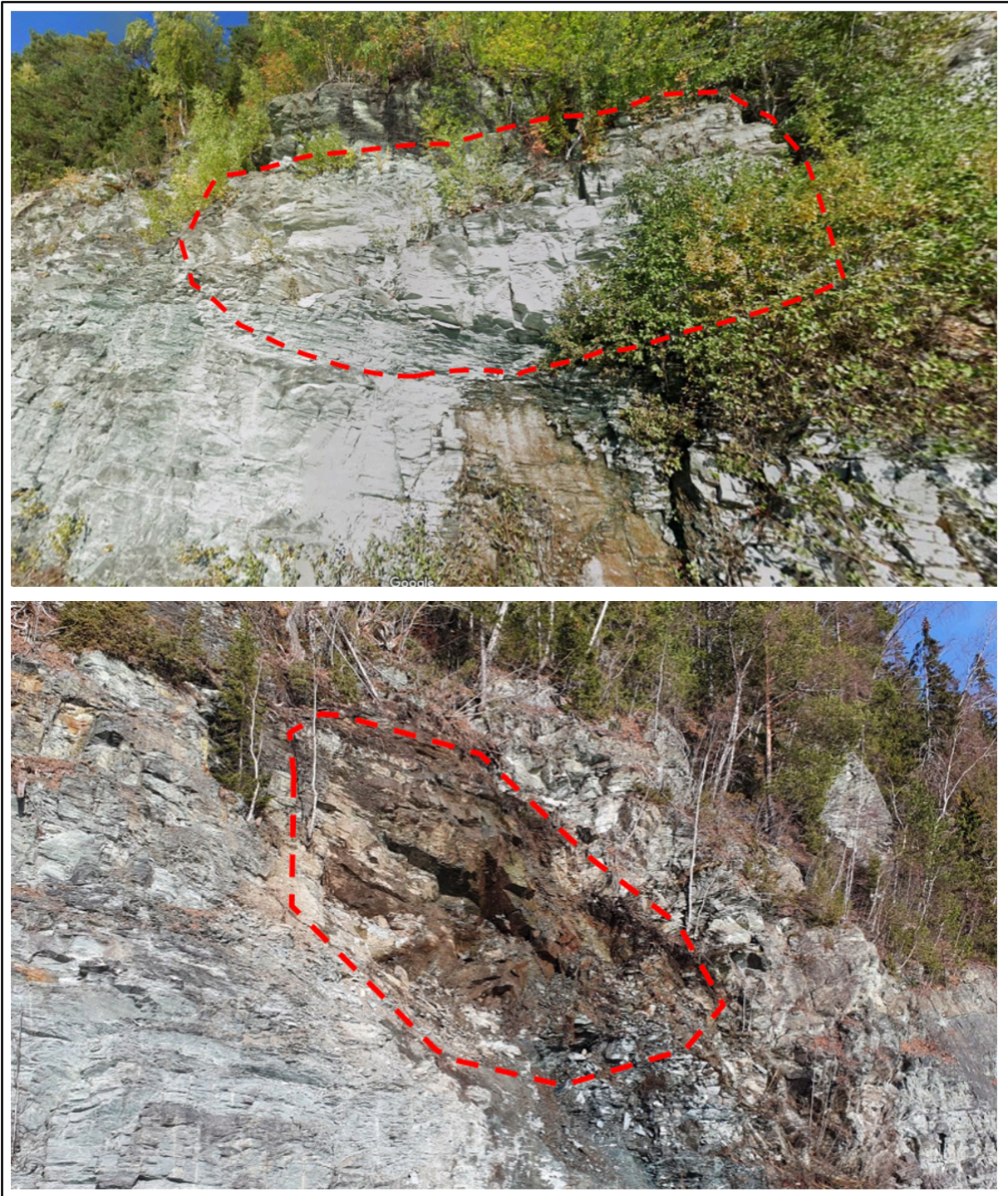


Figur 20: Oversikt over volum på ulike steinsprang og steinskredregistreringar.

3.5.1 Steinskred 13. mars 2022

Ei av dei større hendingane i det siste er eit steinskred 13. mars 2022. Dette skil seg frå dei fleste andre hendingar der mindre steinar/blokker fell ned, gjerne i grøft.

Skredet losna i overgangen mellom terreng og skjering, losneområdet er vist i Figur 21. Anslått volum er 1000-1200 m³ og blokkstørrelsen er vurdert til å vere opp mot 10-20 m³. Losneområdet er skildra å ha høg forvitningsgrad og vere samansett av fleire dominerande svakheitssoner/slepper. Skredhendinga vert karakterisert som ei kompleks overflateutgliding sidan brotplanet ligg relativt grunt og er sett saman av fleire ulike sprekker, slepper, brotflater og svakheitssoner. Mesteparten av skredmaterialet landa på vegen, men enkelte av blokkene hadde utløp ned i Snåsavatnet slik som vist i Figur 22 (Jakobsen, 2022c).



Figur 21: Øvst: Losneområdet før skredhendinga, raud markering viser omtrentleg losneområde. Nedst: Losneområdet etter opprydding (12.02.2022) markert med raudt. Begge bilete er henta frå Jakobsen (2022c)

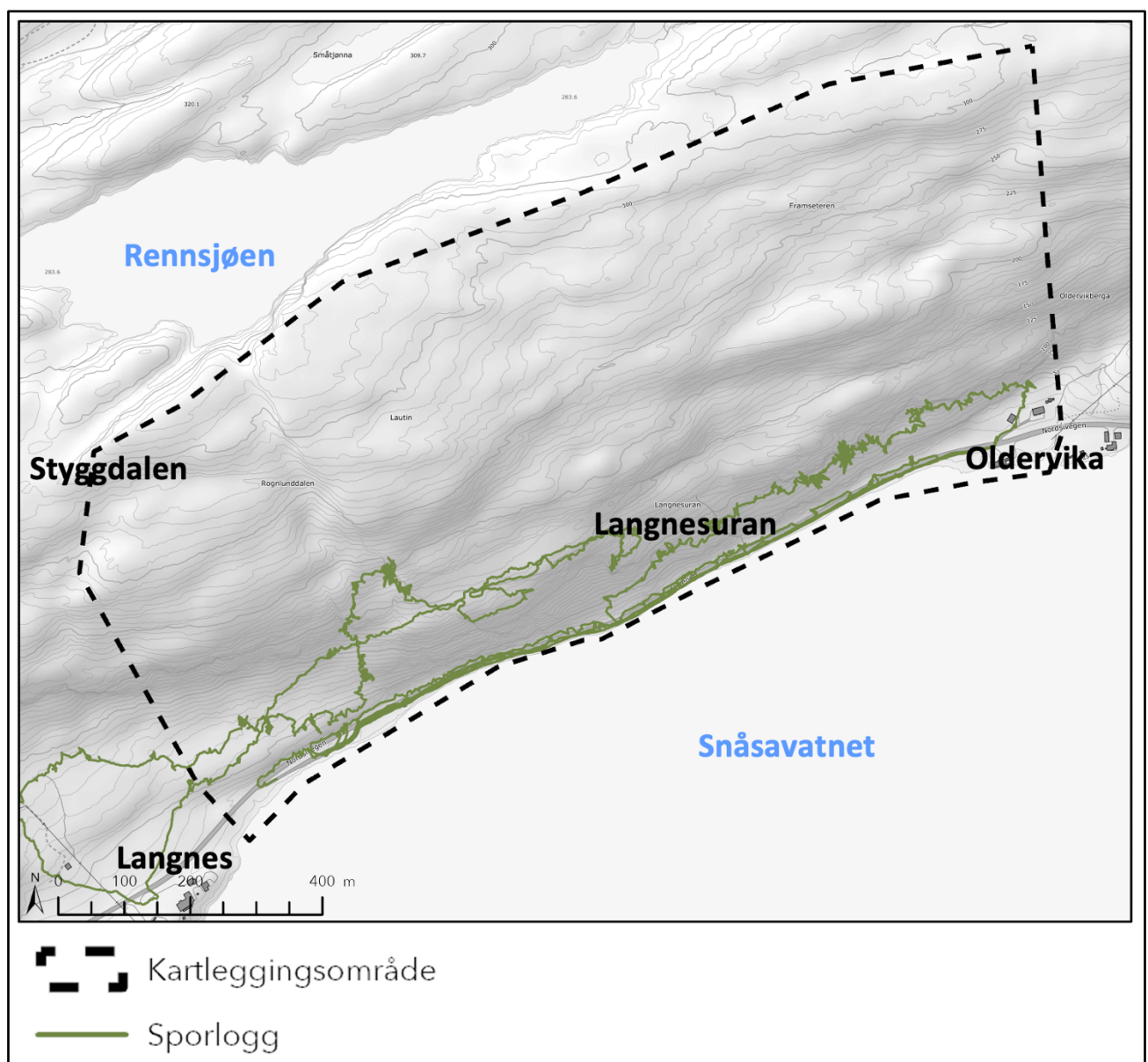


Figur 22: Oversiktbilete av steinskredet 13. Mars 2022 (Jakobsen, 2022c)

4 Metode

4.1 Feltarbeid

Feltarbeid vart gjennomført 8. august - 11. august 2022, av Astrid Alme og Vegard Utstøl Jakobsen. Det var hovudsakleg tørt og bart under feltarbeidet, med unntak av 9. august då terrenget var vått på føremiddagen. Arbeidet gjekk føre seg langs skjeringa mellom Langnes og Oldervika, og i terrenget over skjeringa, sjå sporlogg i Figur 23.



Figur 23: Sporlogg frå feltarbeid 8-11. august 2022.

To dagar vart nytta i terrenget for å samle inn informasjon om tidlegare hendingar og skogen. For å få ei oversikt over ulike losnemekanismar og losnesannsyn, og treinformasjon for å utføre modellering med skog. To dagar vart nytta langs vegskjeringa, for å samle inn mest mogleg informasjon om svakheitssoner og strukturar som kjem tydeleg fram langs skjeringa. Det vart samla inn nokon strukturmålingar av diskontinuitetar, men sidan det allereie er mykje innsamla sprekkedata i området var fokuset å validere desse og vidare ha mest fokus på svakheitssonene. Alle svakheitssoner observert langs vegskjeringa vart klassifisert ut i frå Q-systemet, og strøk og fall vart målt så godt som råd. Det er berre svakheitssonene som vart klassifisert ut i frå Q-systemet, ikkje den generelle oppsprekkinga. I tillegg vart det gjennomført ein køyretur til Trollsvatnet for å undersøke skjersonene i området der.

4.2 Kinematisk analyse

4.2.1 Kinematisk analyse frå feltdata ved bruk av Dips

Registrerte strukturgeologiske målingar har vorte presentert i programvara Dips, frå Rocscience, for å visualisere sprekkemålingar og gjennomføre kinematiske analysar ut i frå sprekkemålingane. Data er henta frå Statens Vegvesen sine tidlegare målingar i tillegg til nokon eige innsamla data for å validere dataa til Statens Vegvesen. Statens Vegvesen sitt datasett består av 1239 sprekkemålingar, medan eigne innsamla data berre består av 67 sprekkemålingar.

Alle sprekkemålingar vert importert inn i programvara. For å visualisere sprekkesetta vert det nytta konturplot av polane, ein probalistisk metode. Ut i frå desse vert det definert ulike sprekkesett for kvart av dei innsamla datasetta. Det vert også gjennomført kinematiske analysar for planutgliding, kileutgliding og utvelting.

For å gjennomføre kinematisk analyse i Dips har følgende metode vorte nytta:

- Definert dei geometriske rammene, friksjonsvinkel og eventuelle laterale avgrensingar i analysen. I denne oppgåva har følgende avgrensingar vorte nytta:
 - o Skråningen/skjeringa sin fallvinkel: 80°
 - o Skråningen/skjeringa sitt strøk: 60°
 - o Friksjonsvinkel: 30°
 - o Laterale avgrensingar: 20°

4.2.2 Kinematisk analyse frå høgdedata ved bruk av StnParabel

StnParabel er ei programvare som kan definere losneområder ut frå ein digital terrengmodell og sprekkesetta i området, for så å utføre steinsprangmodelleringar frå losneområda. Versjon June2021 av StnParabel (Noël, 2021) vart nytta til å lokalisere moglege losneområder ut i frå strukturmålingane. Gjennomsnittlege verdiar for dei ulike sprekkelana vart henta ut i frå Dips og importert inn i StnParabel, vist i Tabell 3. Sprekkedata frå Statens vegvesen sine målingar er lagt til grunn. Det tredje sprekkesettet er henta frå eigne data, då det ikkje kjem fram på Statens Vegvesen sine målingar.

Tabell 3: Informasjon om sprekkesetta nytta i programvara StnParabel

Fall	Strøk	Phi	Vinkeltoleranse
89	342	30	20
27	252	30	20
57	69	30	20

Vidare er innstillingar vist i Tabell 4 nytta og det er gjennomført kinematiske analysar ut i frå terrengmodell, sprekkedata og valte verdiar. Moglegheita for planutgliding, kileutgliding og utvelting vert utreia, og moglege losneområde for kvar brotmekanisme vert definert av programvara. Krava for kileutgliding er at ϕ' og vinkeltoleransen mellom to møtande plan vert forenkla til gjennomsnittet av inngangsverdiene dersom dei er ulike. For utvelting er vinkeltoleransen fastsett til 20°, uavhengig av verdien definert i Excel regnearket (Tabell 3)(Noël, 2021).

4.3 Steinsprangmodellering

Steinsprangmodelleringa er utført med tre ulike programvarer: StnParabel, Rockyfor3D og RAMMS::Rockfall. Dette for å samanlikne utløp, og få best mogleg forståing av korleis steinsprang breier seg i skråninga. Volum til modelleringane er sett til 1 m³ for StnParabel, og 0,5 m³ for Rockyfor3D og RAMMS::Rockfall. Det er valt å nytte små blokkstorleikar fordi det er flest blokker ≤ 1 m³ som er registrerte i tidlegare hendingar, i tillegg til at det er denne blokkstorleiken som er observert under feltarbeidet. Store skjeldne steinsprang og steinskred er ikkje mogleg å sikre med enkle metodar som steinsprangnett, og det er derfor ikkje like aktuelt å vite energi og spretthøgde på desse. Modelleringar med små blokker gjev moglegheit for å nytte resultatane til sikring av strekninga mot dei hyppigaste skredstorleikane.

4.3.1 StnParabel

Ut i frå losneområda definert i den kinematiske analysen i StnParabel vert det simulert steinspranghendingar som viser moglege utløp. Simuleringane er gjort utan skog. Det er ikkje definert terrengmateriale, då dette ikkje er nødvendig ved bruk av «rolling friction model». Ved bruk av denne innstillinga vert det nytta ein ϕ' på 28° og ein kohesjon på 30 kPa. som standard. Jorda sin tettheit er fastsett til 2000 kg/m³ (Noël, 2021).

Tabell 4: Innstillingar nytta i programvara StnParabel

Innstilling	Verdi
Avstand mellom punkta (m)	0,24
Kritisk skråningsvinkel	70°
Blokkstørrelse d1-d2-d3 (m)	1,9 - 1,3 - 0,9
Volum (m ³)	1
Tettheit (g/m ³)	2700
Impact model	Rolling friction

«Rolling friction model» er ein eigen metode nytta av StnParabel som antek ei viss arrdanning i terrenget etter treff frå fallande blokker. Akselerasjonen normalt på bakken (a_N) vert forenkla til ein konstant verdi. Dette gjer det mogleg å berekne krafta normalt på bakken over eit gitt tidsintervall (δT), der blokka søkk ned i bakken for så å sprette opp att. Vidare vert det påført ei friksjonskraft ved å bruke krafta normalt på bakken som ein funksjon av Mohr-Coulomb. Retninga til denne krafta er parallell med bakken og avheng av blokka si gliding eller skrens. Dersom rotasjonen er synkronisert vert det påført ein enkel rullemotstand, med ein rullemotstandskoeffisient. Og ei vilkårleg grense hindrar blokka å bremse meir enn 90% av hastigheita ved samanstøyt (Noël, 2021).

Programvara er i hovudsak nytta som eit supplement til Dips, for å ta omsyn til variasjonane i strøk og fall til skråninga langs heile strekninga. Det er derfor ikkje lagt spesielt stor vekt på steinsprangsimuleringane.

4.3.2 Rockyfor3D

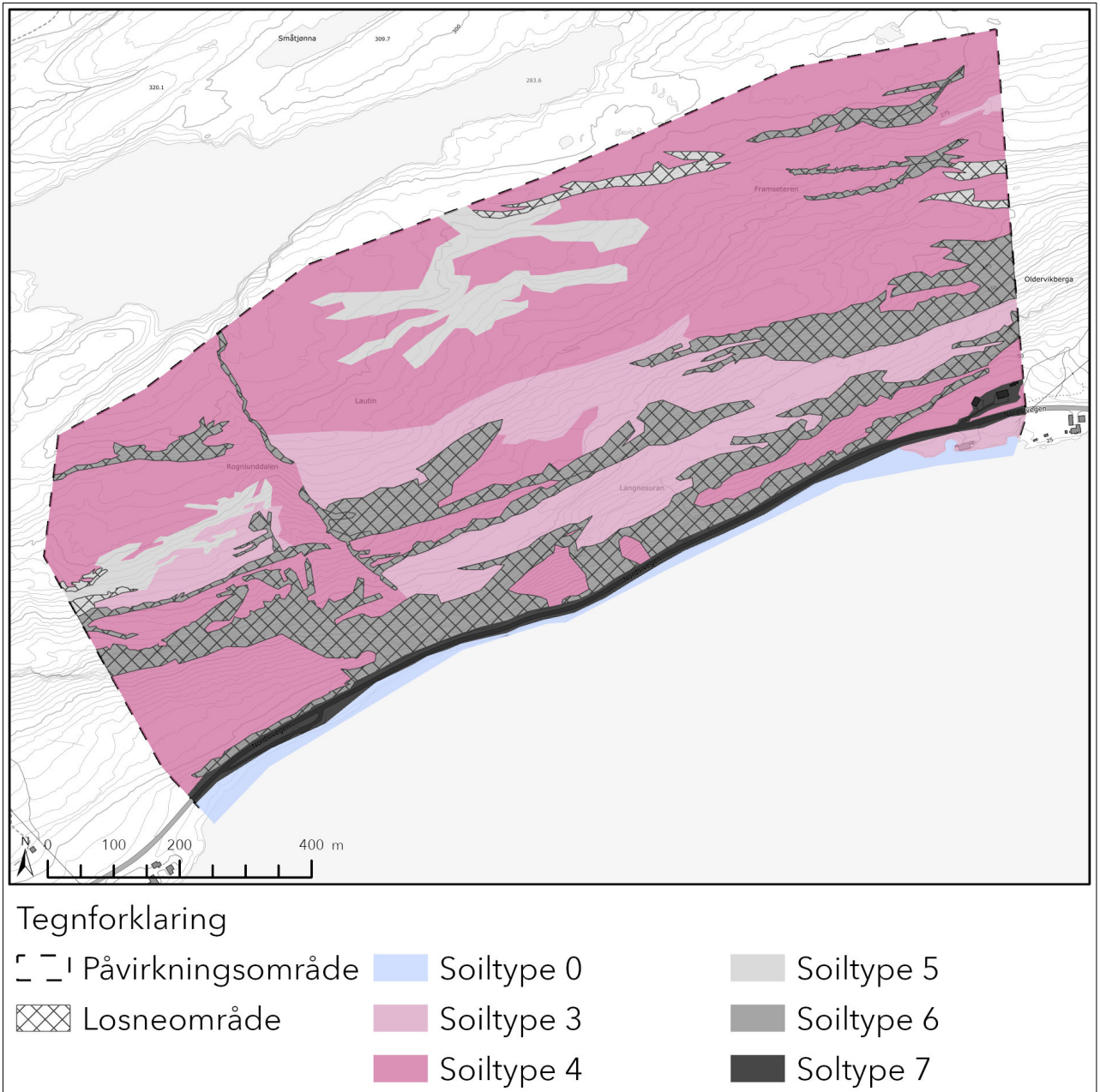
Rockyfor3D er eit modelleringsverktøy som kalkulera skredbaner i 3D til kvar enkelt fallande blokk. Modellen kombinerer deterministiske algoritmar basert på fysikk med ein stokastisk tilnærming. Det er derfor ein probalistisk prosessbasert steinsprangmodell. Den simulerer skredbanene som 3D vektordata, og tek omsyn til korleis terrengoverflata påverkar blokkene. Den har også moglegheit til å ta omsyn til korleis samanstøyt med tre i skredbane påverkar utløpet til blokkene (Dorren, 2016).

For å oppnå gode resultat ved bruk av programvara krevst det at informasjonen ein gir modellen er mest mogleg korrekt. Den nødvendige informasjonen består av eit sett ASCII-rasterar som definerer topografi og terrengoverflata, i tillegg til nødvendig informasjon om losneområda. Rastera som krevst er vist i Tabell 5 (Dorren, 2016). Det vart utarbeidd tilstrekkeleg rasterdata ut i frå tilgjengeleg grunnlagsdata og informasjon frå felt.

Utanom rapid automatic simulation krev Rockyfor3D at ein fastset bakkeegenskapar i ulike rasterdatasett. Desse verdiane vart fastsett ut i frå observasjonar gjort i felt og ved undersøking av grunnlagsdata som høgdmodell, flybilete og dronebilete. Figur 24 viser val av soiltype (bakkeegenskap) for ulike områder, og definerte losneområde. Tabell 6 viser ei oversikt over bakkeegenskapane som er nytta og kva eigenskapar dei har. I tillegg til å definere bakkeegenskap er det fastsett ulik ruheit for dei ulike områda. Parameterane nytta er fastsett ut i frå kunnskap om området, og variera noko innan jordtypane, ei oversikt over verdiane nytta for ruheit er gitt i Tabell 7.

Tabell 5: Oversikt over rasterdata som krevst i Rocyfor3D (Dorren, 2016).

Namn på rasteren	Forklaring
dem.asc	Digital høgdemodell som beskriv topografien. Ut i frå høgdemodellen reknar programvara ut eit hellingskart og ei vising av terrenget.
rockdensity.asc	Rasterdata med tettheita til bergarten i kvart kjeldeområde. Definerer både kjeldeområda og tettheita til blokkene.
d1.asc d2.asc d3.asc	Tre rasterdatasett som definerer størrelsen på blokka, i form av høgde, breidde og lengde.
blshape.asc	<p>Rasterdatasett som definerer forma på blokka. Kan ha verdiar mellom 0-4.</p> <p>0: Ingen blokkform/ikkje definert kjeldeområde 1: Rektangulær blokk (alle tre dimensjonane kan vere ulike) 2: Ellipseforma blokk (alle tre dimensjonane kan vere ulike) 3: Sfærisk blokk (alle tre dimensjonane er identiske) 4: Diskforma blokk (minste dimensjon er maks 1/3 av dei andre to)</p> <p>Dersom det ikkje er definert noko blokkform vil Rockyfor3D simulera ein ellipseforma eller sfærisk blokk avhengig av blokkdimensjonane.</p>
rg70.asc rg20.asc rg10.asc	<p>Tre rasterdatasett som definerer overflateruheita. Ruheita må bli definert i felt, og teikna som polygon i kartet i ettertid. Verdiane variera frå 0-100m. Dersom terrengoverflata er glatt får det ein ruheit på 0. Ein verdi på 100 kan nyttast for å tvinge simuleringa til å stoppe, til dømes i vatn. Rockyfor3D er svært sensitiv til desse parameterane og dei må derfor veljast med forsiktighet.</p> <p>Celleverdiane i i rg70.asc representera størrelsen til materiale som dekkja 70% av overflata, rg20.asc dekkja 20% og rg10.asc dekkja 10%.</p>
soiltype.asc	Rasterdata som definerer bakkeegenskapar. Får verdiar mellom 0-7, sjå Tabell 7. Representerer elastisiteten til grunnen, og må bli kartlagt per polygon.










Figur 24: Inndelinga av bakkeegenskapar (soiltype) i Rockyfor3D i oppsett 1.





Tabell 6: Bakkeegenskapar i Rockyfor3D (Dorren, 2016)

Type	Skildring av grunnen	Gjennomsnittleg R _n verdi	R _n verdiområde
0	Elv eller sumpområder, område der ei blokk kan penetrere	0	0
1	Fine sediment (djupn >100cm)	0,23	0,21-0,25
2	Fine sediment (djupn < 100cm), eller miks av sand/grus.	0,28	0,25-0,31
3	Skredmateriale (Ø<10cm), medium kompakte sediment med små bergartsfragment eller skogsveg.	0,33	0,30-0,36
4	Ur (Ø>10cm), eller kompakte sediment med store bergartsfragment.	0,38	0,34-0,42
5	Berg med tynnt forvitningsmateriale eller jorddekke.	0,43	0,39-0,47
6	Berg	0,53	0,48-0,58
7	Asfaltveg	0,35	0,32-0,39

Tabell 7: Oversikt over verdier for ruheit nytta for ulike jordtypar i oppsett 1 (Dorren, 2016).

Jordtype	Rg70	Rg20	Rg10	Bilete (frå manualen)
0	100	100	100	
3	0	0	0,05	

	0,03	0,03	0,03	
4	0,1	0,35	0,15	
	0,15	0,15	0,25	
	0,05	0,1	0,2	
	0,05	0,05	0,1	

	0,25	0,5	0,9	
5	0	0,05	0,1	
6	0	0	0,05	
7	0	0	0	

Rockyfor3D har to moglegheiter for å integrere skogdata. Den fyrste er å bruke ei trefil, som inneheld x- og y-koordinatar til kvart enkelt tre i tillegg til stammediameter ved brysthøgde (i cm). Denne må få namnet treefile.txt.

Det andre alternativet er å kalkulere ut i frå fire rasterdatasett:

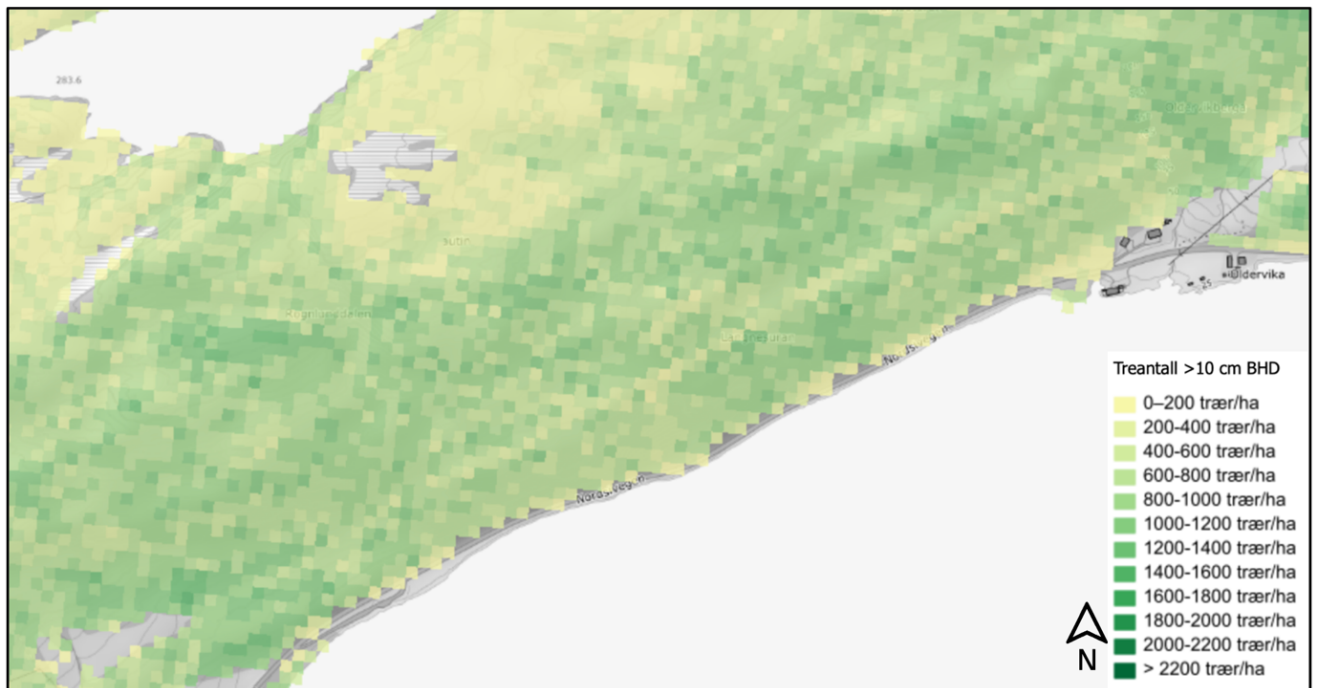
- Nrtrees.asc - celleverdiane representera tal på stammar per hektar.
- Dbhmean.asc - celleverdiane representera gjennomsnittleg diameter ved brysthøgde.
- Dbhstd.asc - celleverdiane representera standardavviket til diameter ved brysthøgde.
- Conif_precent.asc - celleverdiane representera gjennomsnittleg prosentdel av bartre.

Ut i frå desse rasterane plasserer modellen eit gitt nummer tre med ein gitt diameter tilfeldig innanfor kvar pixel. Vidare lagar den ei fil som inneheld x- og y-koordinatar for alle trea, samt diameter ved brysthøgde (Dorren, 2016).

Sidan modellen nyttar analytiske løysingar veit ein alltid den eksakte plasseringa til steinsprangblokkene. Derfor kan ein kalkulere treffstad på tre og treet sin påverknad på energien til blokka. Dersom blokka treff eit tre mistar den noko av sin kinetiske energi, kor mykje avheng av dei fire faktorane nemnd ovanfor.

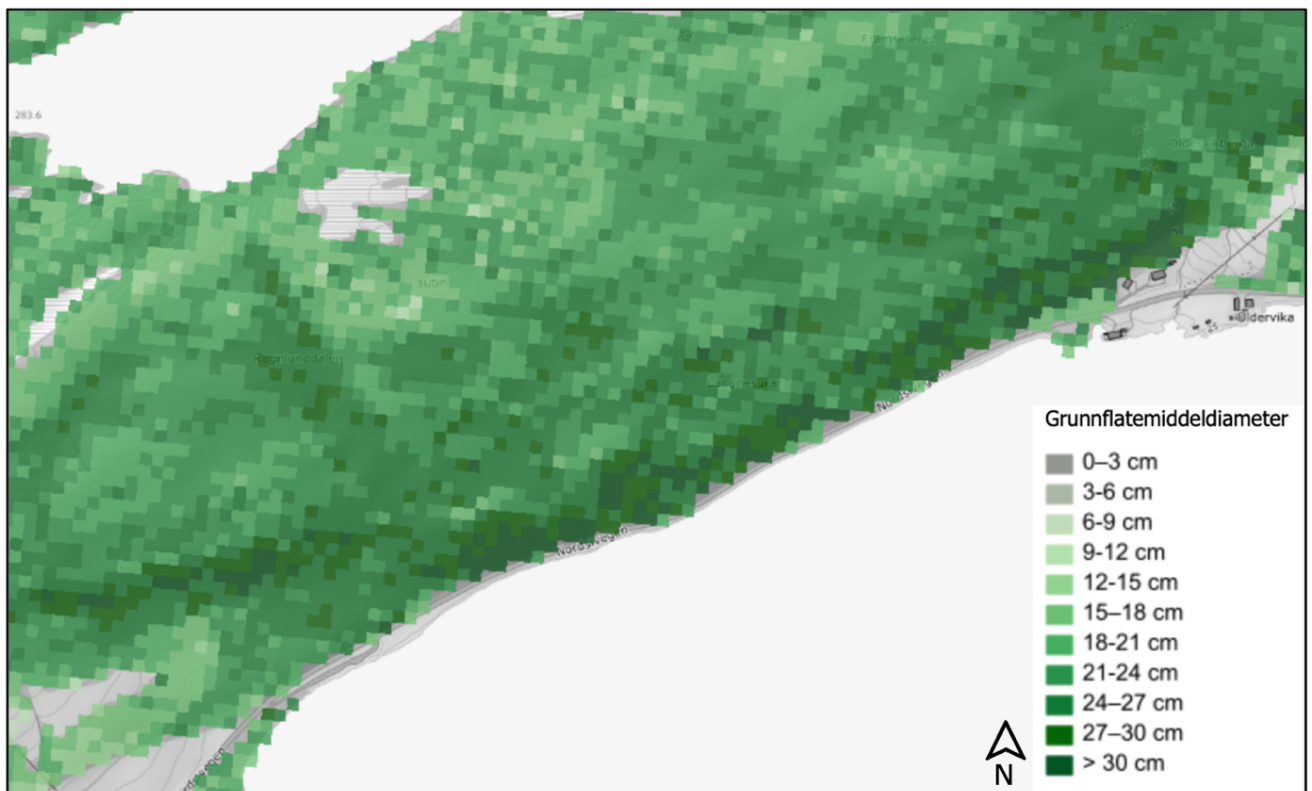
Modelleringa med skog er gjort ved å kalkulere ei trefil ut i frå fire rasterdatasett. For å inkludere skogen sin effekt på steinspranga vart det definert ulike område med lik skogtype og bestemt tal tre per hektar, gjennomsnittleg stammediameter ved brysthøgde, standardavvik på stammediameter ved brysthøgde og kronedekning. Desse verdiane vart sett ut frå observasjonar gjort i felt og informasjon henta inn frå NIBIO (2022) si kartteneste. Det er gjort ei forenkling ved å teikne inn polygon med like eigenskapar, og det kan dermed vere mindre variasjonar i eigenskapar innanfor kvart polygon. Polygona er valt ut i frå tydelege inndelingar i eigenskapane til skogen.

Tal tre per hektar er henta frå NIBIO (2022), kartlag *treantall >10cm BHD*, vist i Figur 25. Kartløyninga tek med alle tre med diameter i brysthøgde over 10 cm. Det er også tatt omsyn til målingar gjort i felt, der BHD og avstand mellom trea vart målt, men sidan dette er gjort i enkeltpunkt spreidd rundt er det lagt mest vekt på NIBIO (2022) si kartteneste ved inndeling i polygon.



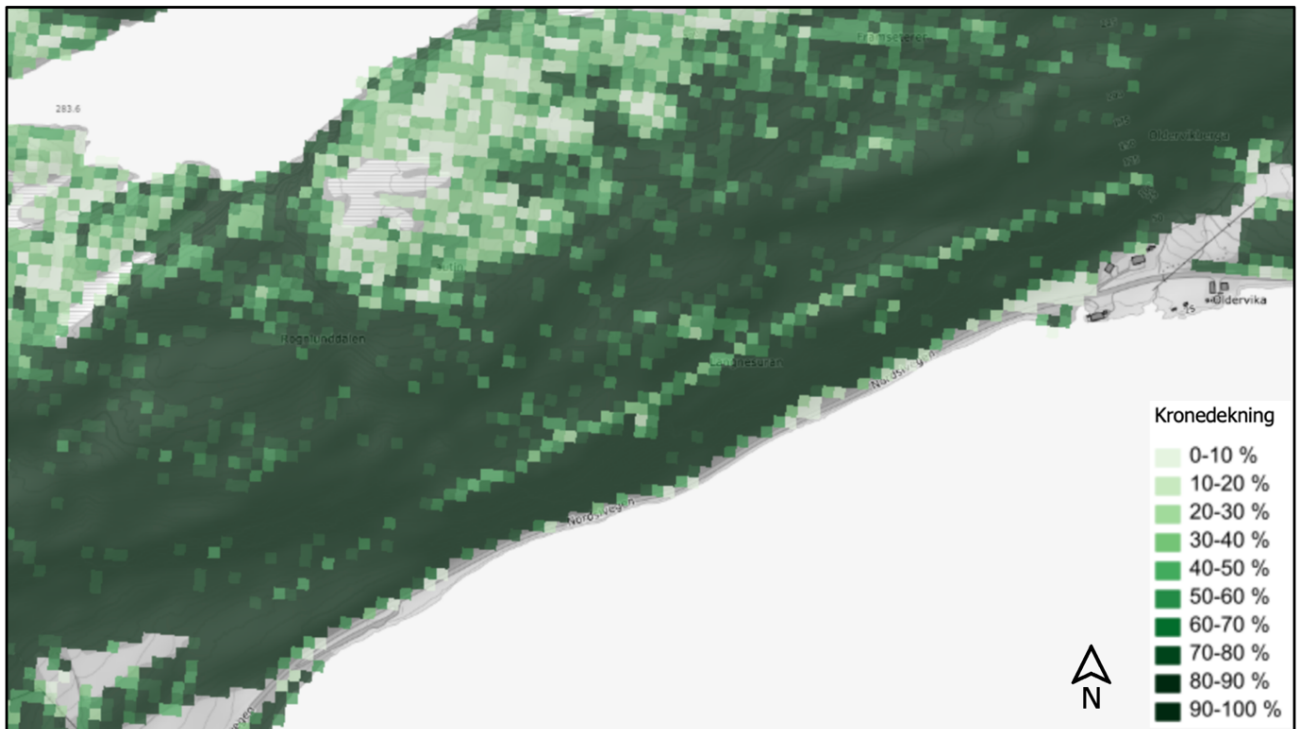
Figur 25: Tal tre per hektar, tre med >10 cm BHD er inkludert (NIBIO, 2022).

Gjennomsnittlig diameter ved brysthøgde er målt i felt, i tillegg er diameter og grunnflatemiddeldiameter (Figur 26) frå NIBIO (2022) nytta i områder utan feltdata. Grunnflatemiddeldiameter er diameteren til eit tre som har grunnflate lik gjennomsnittet. Standardavviket er satt ut i frå feltmålingar og variasjon i data frå NIBIO (2022).



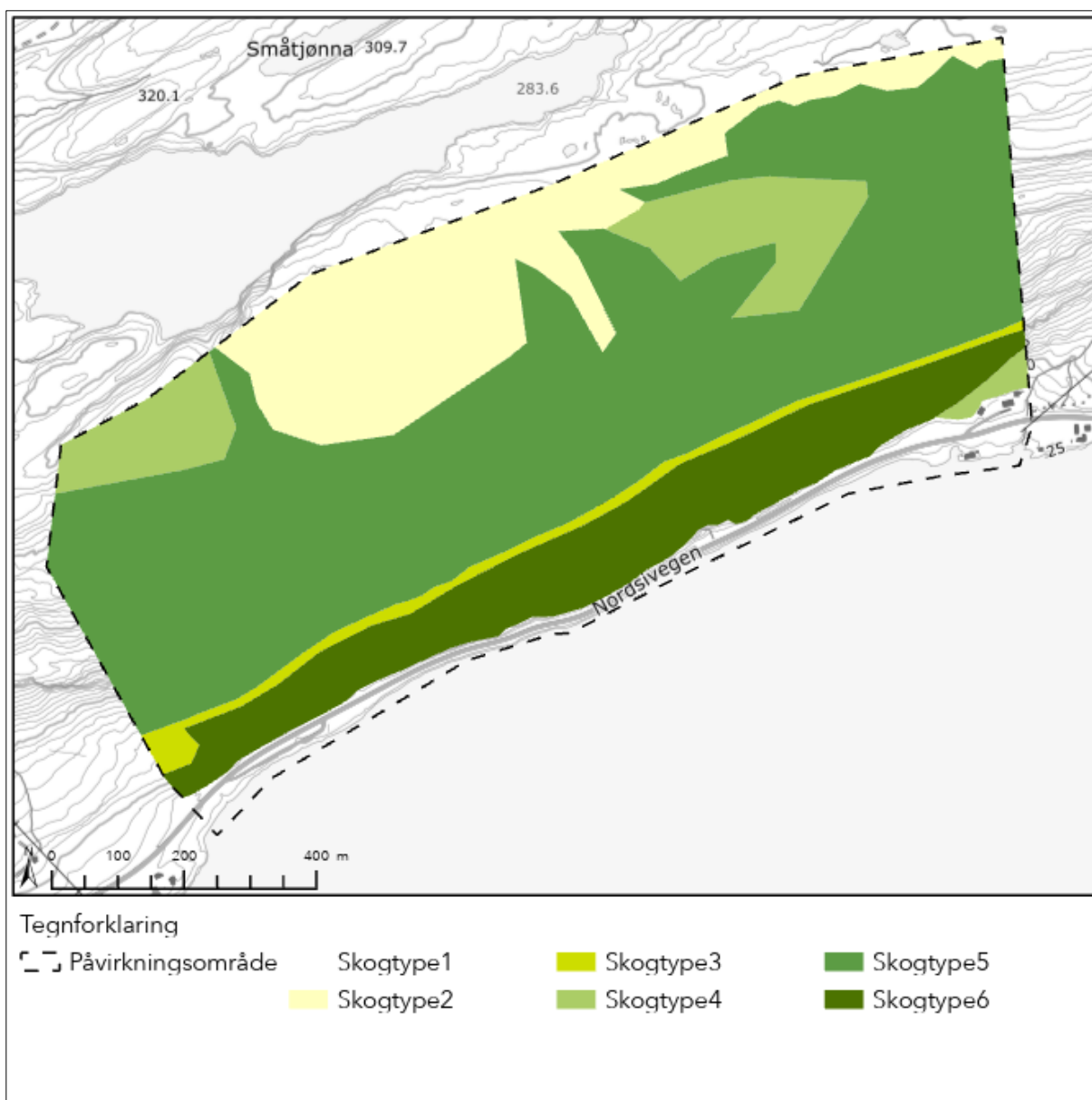
Figur 26: Grunnflatemiddeldiameter til trea i området (NIBIO, 2022).

Kronedekning er kor stor del av arealet som er dekkja av trekrona sin vertikale projeksjon og er oppgitt i prosent. Kronedekninga er henta direkte ut i frå NIBIO (2022) sitt skogsressurskart, vist i Figur 27. I tillegg er tilgjengelege flyfoto nytta for å sjå endring over tid.



Figur 27: Kronedekning i prosent, viser stor variasjon i kronedekning i området (NIBIO, 2022).

All informasjon nemnd ovanfor er tatt omsyn til ved innteikning av polygon med like skogeigenskapar. Det er gjort ei skjønsmessig vurdering på kva område som kan inngå i dei ulike polygona, og det er noko variasjon innanfor kvart enkelt polygon då innteikning av polygon vert ei forenkling av verkelegheita. Figur 28 viser inndelinga i ulike skogtypar, og parametervala for dei ulike inndelingane er gitt i Tabell 8.



Figur 28: Kartutsnitt som viser inndeling i ulike skogtyper.

Tabell 8: Parameterval på ulike skogtyper.

Skogtype	Tal tre per hektar	Gjennomsnittleg diameter ved brysthøgd	Standardavvik diameter ved brysthøgd	Kronedekning
1	0	0	0	0
2	150 stk.	15 cm	10 cm	20%
3	400 stk.	15 cm	10 cm	30%
4	400 stk.	20 cm	10 cm	70%
5	600 stk.	20 cm	10 cm	85%
6	600 stk.	30 cm	10 cm	85%

Ut i frå informasjonen gitt ovanfor og parameterane oppgitt i Tabell 9 det gjort simuleringar av steinsprang med Rockyfor3D for terreng med og utan skog. Modellane der bakkeegenskapar er definert er nytta i oppgåva, «rapid automatic» vart nytta i fyrste omgang for å få ei viss oversikt.

Tabell 9: Parameterval for Rockyfor3D

Modell	DEM	Tettheit kg/m ³	Blokkform	Volum m ³	Bakkeegenskapar	Tal simuleringar	Tre
Rapid automatic	1m	2700	1x2x1, ellipsoid	1	Rapid automatic	100	Nei
Modellering utan skog	1m	2700	1x0,5x1 Rectangular	0,5	Oppsett 1	100	Nei
Modellering med skog	1m	2700	1x0,5x1 Rectangular	0,5	Oppsett 1	100	T1


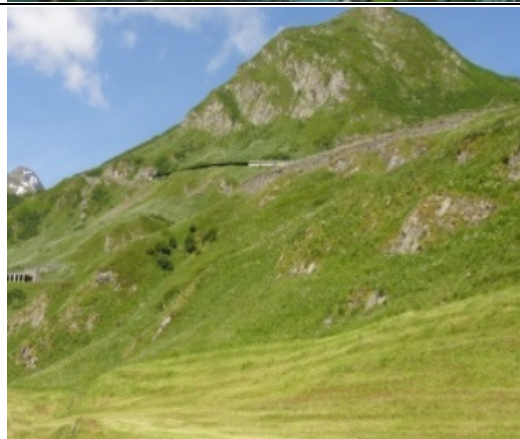

4.3.3 RAMMS::Rockfall

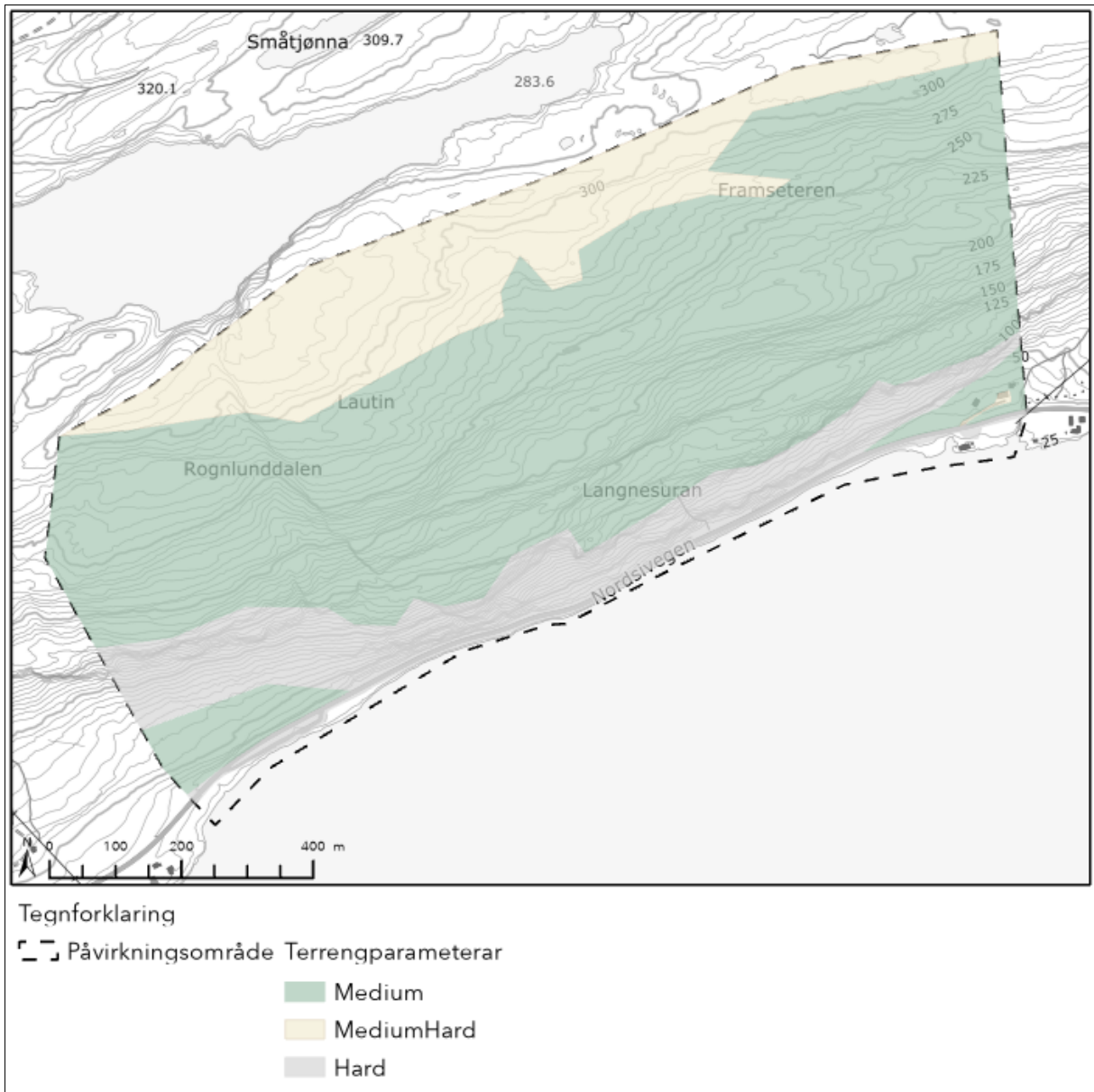
Programmet simulerer rørsle til eit fast objekt/blokk på ei overflate, i 3D. Blokkene blir sloppe ut frå brukarbestemte kjeldeområde, i form av inn teikna polygon, linjer eller punkt. Overflata ein slepp ut blokkene på er ein georeferert terrengmodell (DEM). Denne kan delast inn i ulike bakkeegenskapar ved hjelp av polygon (SLF, 2016).

Volum, masse og tettheit til blokkene er brukardefinert, og forma kan veljast ut i frå eit bibliotek i programmet eller verte modellert i felt ved hjelp av fjernmålingsteknikkar. Blokkene vert sloppe ut i fritt fall, ved kontakt med terrengoverflata vert blokka påverka av krefter frå det punktet den rører bakken med. Dette kan føre til retningsendring og rotasjon. Kvar gong blokka er i kontakt med terrengoverflata vert den utsett for friksjon, i tillegg til ei dragkraft i motsett retning av hastigheita. Dragkrafta og friksjonen avheng begge av kva bakkeegenskapar som er sett for det bestemte området. Blokkene fortset nedover fram til dei har nådd ei førehandsbestemt minimumshastigheit eller maks tidsbruk på simuleringa (SLF, 2016).

Bakkeegenskapane har stor innflytelse på simuleringresultata. Åtte førehandsvalte eigenskapar er inkludert i programvara. Ved Langnesberga er det berre nytta tre av kategoriane, desse er vist i Tabell 10. Området vart inndelt i polygon med ulike bakkeegenskapar, slik som ved modelleringa i Rockyfor3D. Det vart nytta andre polygon, då RAMMS tek utgangspunkt i ei anna inndeling av bakkeparameterar. Inndelinga vart fastsett ut i frå observasjonar gjort i felt og ved undersøking av grunnlagsdata som høgdemodell, flybilete og dronebilete. I tillegg vart det lagt stor vekt på skildringa av dei ulike terrengtypene og tilhøyrande eksempelbilete vist i brukarmanualen til programvara (SLF, 2016). Figur 29 viser val av terrengtype for ulike område, og definerte losneområde som linjer.

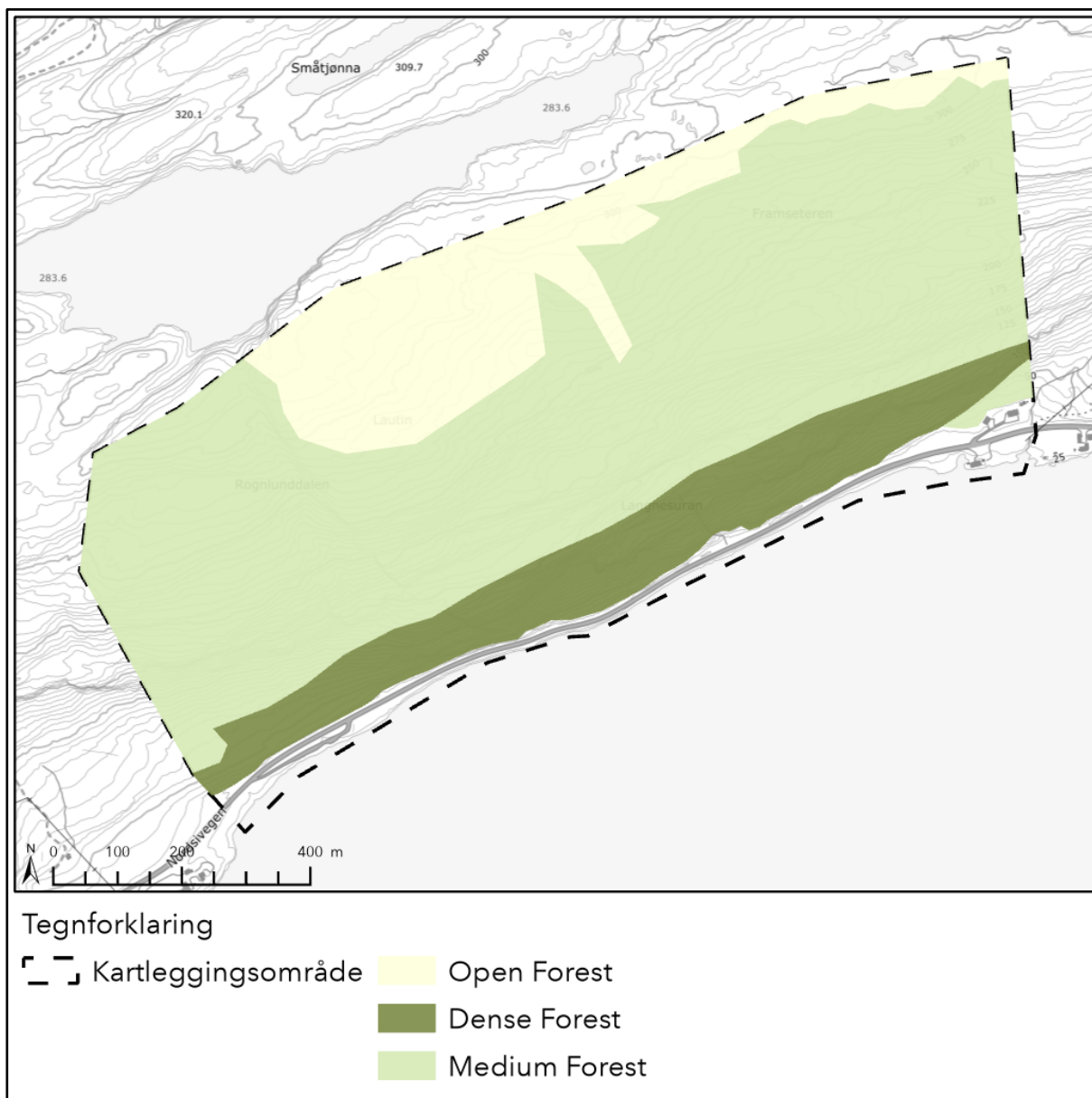
Tabell 10: Terrengparameterar nytta i RAMMS::Rockfall. Modifeisert frå SLF (2016)

Terreng	Skildring	Bilete
Medium	Jordsmonnet er tjukt, men inneheld bergartsfragment. Kan vere dekkja av vegetasjon.	
Medium Hard	Penetrasjonsdjupn er låg. Blokkrik overflate, noko tynn jordsmonn kan førekomme. Vanlegvis lite vegetasjon.	
Hard	Ur, miks av små og store blokker. Vanlegvis utan mykje vegetasjon.	



Figur 29: Terrengparameterar nytta i RAMMS::Rockfall

Effekten av skogen vart inkludert i RAMMS simuleringa ved å teikne inn ulike polygon i ArcGis Pro og gi dei ulike eigenskapar i simuleringa. RAMMS deler skogen inn i tre ulike typar: Open skog, medium skog og tett skog. Kvart polygon vert gitt ei kraft som verkar bakover, størrelsen på krafta avheng av kva skogtype som er definert i området. Open skog utøver ei kraft på 250 kg/s, medium 500 kg/s og tett 750 kg/s (SLF, 2016). Stammediameter, grunnflatemiddeldiameter (Figur 26) og tal tre per hekar (Figur 25) frå NIBIO (2022) si kartteneste vart nytta ved inndelinga i skogtypar, i tillegg til feltobservasjonar og flyfoto. Sjå avsnitt 4.3.2 for meir informasjon om korleis informasjon er henta ut. Figur 30 viser polygon for dei ulike skogtypane nytta i simuleringa med skog i RAMMS.



Figur 30: Kartutsnitt som viser inndeling i ulike skogtyper i RAMMS.

Ut i frå informasjonen i avsnitta ovanfor og parameterane vist i Tabell 11 og Tabell 12 vart det gjort simuleringar av steinsprang med RAMMS::Rockfall for terreng med og utan skog.

Tabell 11: Parameterval for RAMMS utan skog

	Langnesberga_L101_reallong	Langnesberga_L102_reallong	Langnesberga_L103_Reallong (L4)	Langnesberga_L104_reallong (L3)	Langnesberga_L105_reallong	Langnesberga_L106_reallong	Langnesberga_L107_reallong
DEM - oppløysing	2 m	2 m	2 m	2 m	2 m	2 m	2 m
Losneområde/ lengde	L101/315m	L102/185m	L104/147m	L103/751m	L105/241m	L106/176m	L107/106m
Blokkform	Real_long_1,2	Real_long_1,2	Real_long_1,2	Real_long_1,2	Real_long_1,2	Real_long_1,2	Real_long_1,2
Blokkdimensjonar	1,0/1,21/1,02	1,0/1,21/1,02	1,0/1,21/1,02	1,0/1,21/1,02	1,0/1,21/1,02	1,0/1,21/1,02	1,0/1,21/1,02
Tettheit	2700 kg/m ³	2700 kg/m ³	2700 kg/m ³	2700 kg/m ³	2700 kg/m ³	2700 kg/m ³	2700 kg/m ³
Masse (blokk)	1416,8 kg	1416,8 kg	1416,8 kg	1416,8 kg	1416,8 kg	1416,8 kg	1416,8 kg
Volum (blokk)	0,525 m ³	0,525 m ³	0,525 m ³	0,525 m ³	0,525 m ³	0,525 m ³	0,525 m ³
Terreng	Medium, medium hard og hard, sjå Figur 29	Medium, medium hard og hard, sjå Figur 29	Medium, medium hard og hard, sjå Figur 29	Medium, medium hard og hard, sjå Figur 29	Medium, medium hard og hard, sjå Figur 29	Medium, medium hard og hard, sjå Figur 29	Medium, medium hard og hard, sjå Figur 29
Skog	Ikkje tatt med	Ikkje tatt med	Ikkje tatt med	Ikkje tatt med	Ikkje tatt med	Ikkje tatt med	Ikkje tatt med
Nr. random orientations	10	10	10	10	10	10	10
Nr. of points	32	19	15	75	24	18	11
Nr. of simulations	320 (40 filetert bort av ramms)	190 (30 filtert bort)	150	750 (50 filtert bort)	240 (30 filtert bort)	180 (90 filtert bort)	110 (10 filtert bort)

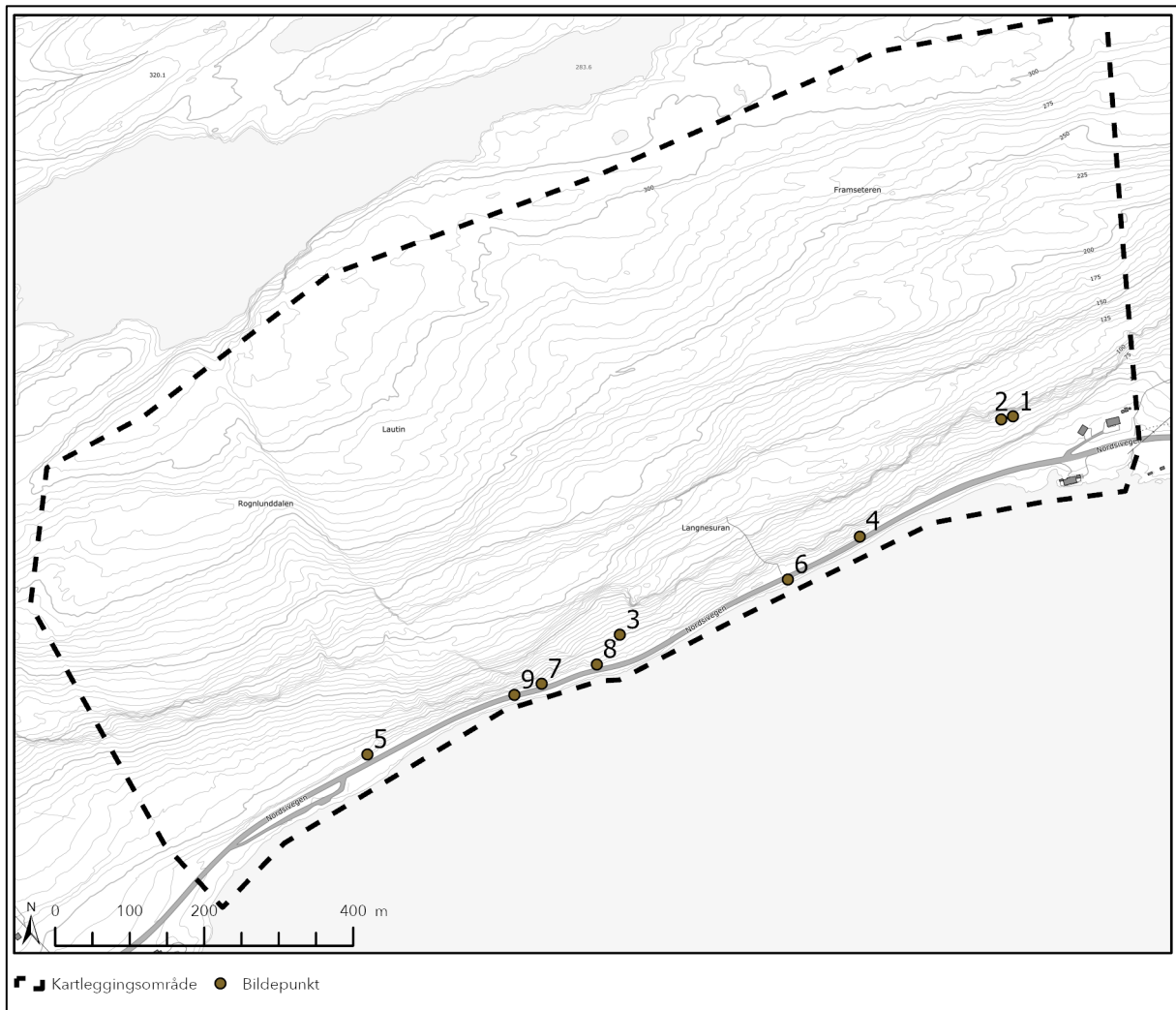
Tabell 12: Parameterval for RAMMS med skog

	Langnesberga_skog_L101_reallong	Langnesberga_skog_L102_reallong	Langnesberga_skog_L104_Real long	Langnesberga_skog_L104_reallong	Langnesberga_skog_L105_reallong	Langnesberga_L106_reallong	Langnesberga_skog_L107_reallong
DEM - oppløysing	2 m	2 m	2 m	2 m	2 m	2 m	2 m
Losneområde/ lengde	L101/315m	L102/185m	L103/751m	L104/147m	L105/241m	L106/176m	L107/106m
Blokkform	Real_long_1,2	Real_long_1,2	Real_long_1,2	Real_long_1,2	Real_long_1,2	Real_long_1,2	Real_long_1,2
Blokkdimensjoner	1,0/1,21/1,02	1,0/1,21/1,02	1,0/1,21/1,02	1,0/1,21/1,02	1,0/1,21/1,02	1,0/1,21/1,02	1,0/1,21/1,02
Tettheit	2700 kg/m ³	2700 kg/m ³	2700 kg/m ³	2700 kg/m ³	2700 kg/m ³	2700 kg/m ³	2700 kg/m ³
Masse (blokk)	1416,8 kg	1416,8 kg	1416,8 kg	1416,8 kg	1416,8 kg	1416,8 kg	1416,8 kg
Volum (blokk)	0,525 m ³	0,525 m ³	0,525 m ³	0,525 m ³	0,525 m ³	0,525 m ³	0,525 m ³
Terreng	Medium, medium hard og hard, sjå Figur 29	Medium, medium hard og hard, sjå Figur 29	Medium, medium hard og hard, sjå Figur 29	Medium, medium hard og hard, sjå Figur 29	Medium, medium hard og hard, sjå Figur 29	Medium, medium hard og hard, sjå Figur 29	Medium, medium hard og hard, sjå Figur 29
Skog	Open, medium og dense, vist i Figur 28	Open, medium og dense, vist i Figur 28	Open, medium og dense, vist i Figur 28	Open, medium og dense, vist i Figur 28	Open, medium og dense, vist i Figur 28	Open, medium og dense, vist i Figur 28	Open, medium og dense, vist i Figur 28
Nr. random orientations	10	10	10	10	10	10	10
Nr. of points	32	19	15	15	24	18	11
Nr. of simulations	320 (40 filtrert bort av ramms)	190 (30 filtrert bort)	750 (50 filtrert bort)	150	240 (30 filtrert bort)	180 (90 filtrert bort)	110 (10 filtrert bort)

5 Resultat

5.1 Observasjonar i felt

Kart som viser ei oversikt over kvar bileta frå feltarbeidet er tatt er vist i Figur 31.



Figur 31: Oversikt over kvar bileta frå feltarbeid er tatt.

Under feltarbeidet vart det observert varierende kronedekning, og stammediameter ved brysthøgde (DBH) vart målt til å vere mellom 20-30 cm på dei mest representative trea. Yngre skog på veg opp er ikkje inkludert i desse tala. Skogen hadde varierende tettheit med mellom 0,6-3 m mellom dei målte trea, og få opne områder.

Lausmassedekket i området var generelt tynt, og nokre stadar var det mykje steinsprangavsetningar i form av ur (Figur 32). Blokkstorleiken i avsetningane varierte, og i nærleiken av svakheitssoner var det finare massar. Felles for alle urane observert under feltarbeidet var eit tjukt mosedekke på toppen. Massane i steinsprangurane vart kartlagt å vere svært lause og ustabile. Ein liten ytre påverknad, i form av ferdsl i terrenget, rotvelte, rotsprenging eller liknande, er alt som skal til for å remobilisere blokkene. Det vart observert mykje rotvelter under synfaring i området, og fleire potensielle rotvelter (Figur 33).

Det vart observert at det ligg fleire mindre blokker og diverse nedfall i grøfta på oppsida av E6, vist i Figur 34. Grøfta har generelt stor breidde, over 2-3 m dei fleste stadar, og dermed potensiale til å fange opp mindre blokker frå bergskjeringa.



Figur 32: Mosegrodde urar. Varierende blokkstørrelse (punkt 1 og 2 i Figur 31).



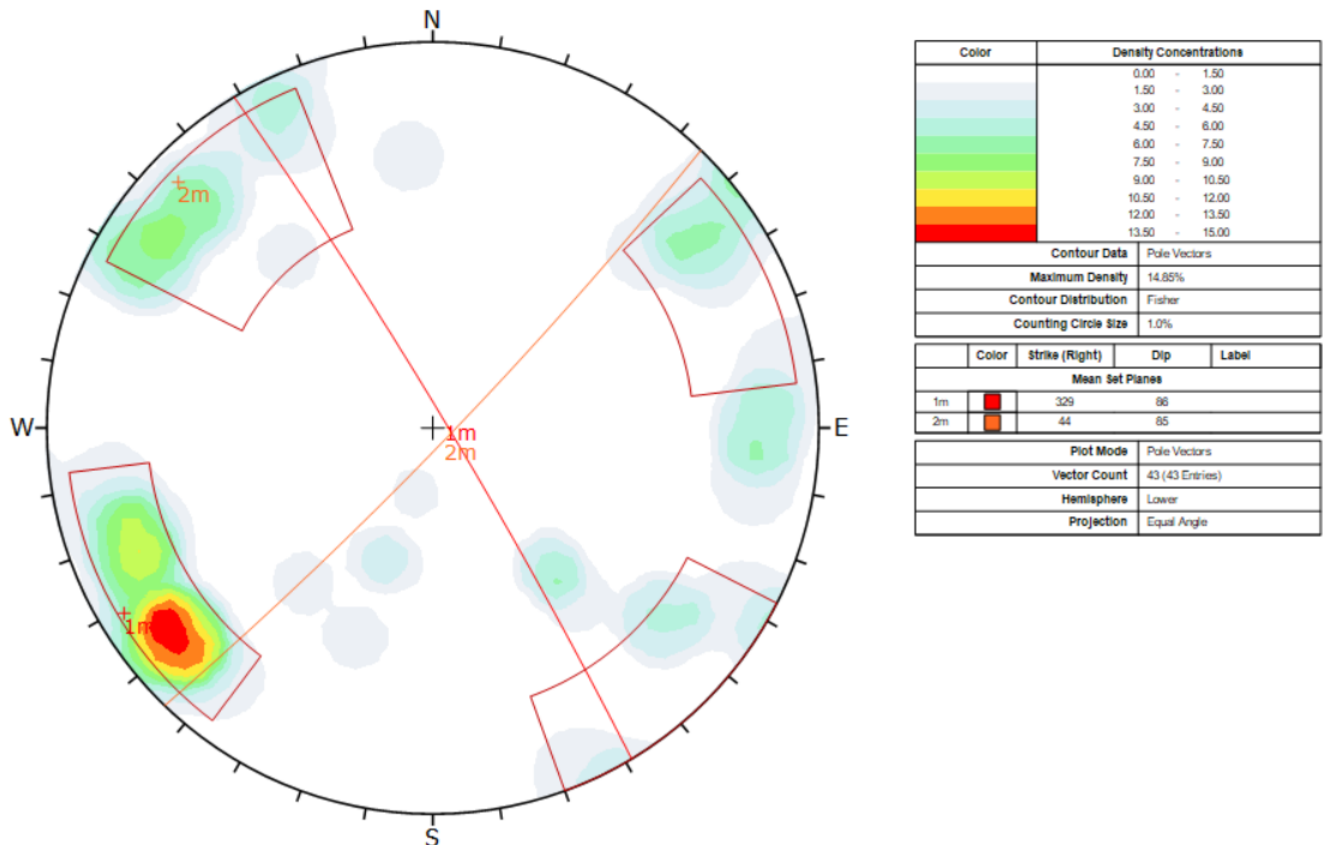
Figur 33: Venstre: Rotvelte like overfor vegen, observert under feltarbeid. Høgre: Potensiell rotsprenging eller rotvelte som kan gi steinsprang på vegen, observert frå E6. (punkt 3 og 4 i Figur 31)



Figur 34: Bilete av grøfta på oppsida av E6 bileta er tatt mot nordaust. Viser grei breidde på grøfta, og at den har samla opp nedfall. (punkt 5 og 6 i Figur 31).

5.2 Svakheitssoner

Bergmassen er generelt oppsprokke med mange svakheitssoner med tettare oppsprekking. Målingar gjort i felt avdekka to sett svakheitssoner, vist i Figur 35 og Tabell 13. Gjennomgang av skyggerelieff og flyfoto avdekka eit sett til med store gjennomsettande svakheitssoner med strøk ca. 280°, vist i Figur 36. Dette er same orientering som mindre vatn og dalsøkk i området har. Ei oversikt over gjennomsnittleg orientering til dei tre setta med svakheitssoner som er identifisert i området er gitt i Tabell 14.

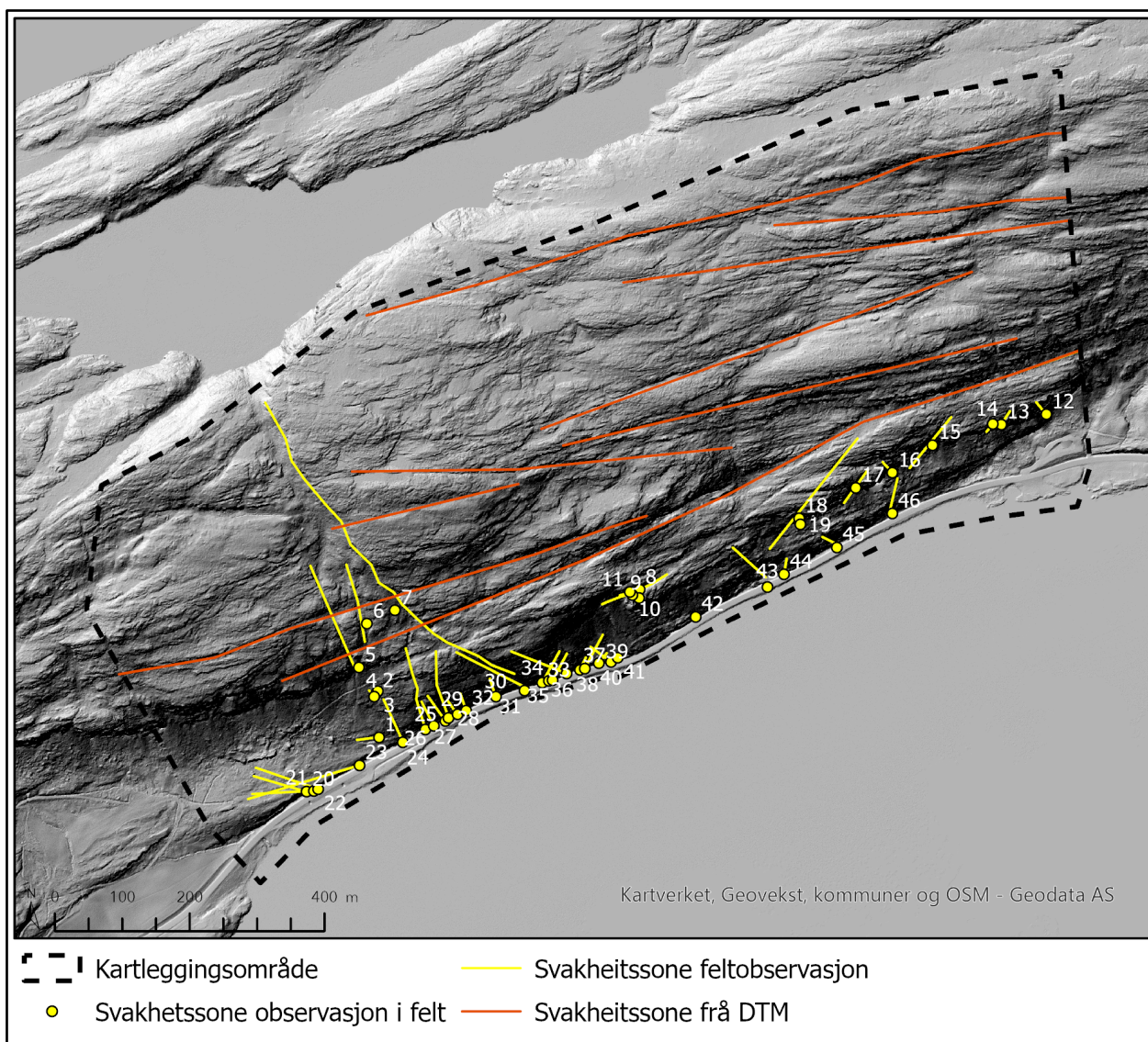


Figur 35: Polplot som viser orienteringa til svakheitssoner målt i felt. Avdekka to sett med svakheitssoner. Orientering med strøk/fall 392/86 (raud) og 044/85 (oransje).

Tabell 13: Oversikt over svakheitssoner, og informasjon om dei samla inn i felt

I D	Forvitnings- grad	S T R Ø K	F A L L	Mektig- heit	R Q D	Jn	Jr	Ja	Jw	S R F	Q	Generell info
1	0	80	-	100	-	-	-	-	0,66	5	-	Søkk i terreng. Vassførande.
2	2	230	50	1	2	7	2	6	1	5	0,82	Svakheitssone rett ved ei anna svakheitssone.
3	3	320	80	70	2	7	2	4	1	5	0,99	
4		320	80	1	2	6	5	5	1	5	1,53	Svakheitssone rett ved to andre.
5		335	80	-	-	-	-	-	1	5	-	Ikkje kompakt sideberg. Stor svakheitssone. Noko høgare risiko for steinsprang herifrå. Mykje av materialet hamnar i ei føringsrenne.
6		350	80	300	-	-	-	-	1	5	-	Svakheitssone smal øvst. Fleire meter nedover.
7		150	80	5	-	-	-	-	1	5	-	Mektig svakheitssone.
8		60	85	200	-	-	-	-	1	5	-	Mektigheit ca. 2m Relativt vertikalt fall.
9		320	80	-	-	-	-	-	1	5	-	
10	3	310	80	150	-	-	-	-	1	5	-	Svakheitssone, smalare i botn, og ca. 2m i toppen. Avløyste blokker på begge sider.
11		65	80	150	-	-	-	-	1	5	-	1,5-2 m opning.
12	2	140	82	100	2	6	5	6	1	5	1,37	
13		45	-	150	-	-	-	-	1	5	-	Svakheitssone observert som søkk i terrenget.
14		45	-	-	-	-	-	-	1	5	-	
15		40	80	7	-	-	-	-	1	5	-	Mektigheit 5-10 meter. Fall relativt vertikalt.
16		320	85	2	-	-	-	-	1	5	-	Ca. vertikal. Omtrent 2 m opning.
17	4	30	80	2	-	-	-	-	1	5	-	Svakheitssone, synleg som søkk i terrenget
18		30	-	-	-	-	-	-	1	5	-	
19		30	-	-	-	-	-	-	1	5	-	
20	2	290	60	30	2	7	5	3	1	5	2,15	30-40 cm brei, noko breiare i toppen, kanskje ca. 1m
21	3	85	70	20		6	2	3	1	5	0,87	
22	3	285	20	30		9	3	6	1	5	0,7	20 cm-100 cm brei.
23		247	88	10	1	9	2	6	1	5	0,64	Varierende tjukn. Somme stadar over 20 cm nokre stadar under 1 cm.
24	2	145	80	100	2	7	3	3	0,66	5	1,42	Svakheitssone med litt vatn i. God avstand til vegen. Truleg ikkje fare for utfall heilt ut i vegbana.
25	2	170	85	150	2	7	5	3	1	5	2,15	Varierende breidde. Ca 1 m der den er open (øvst). 2-3 m nedst.
26	2	325	85	100		5	2	3	1	5	0,87	
27		330	80	50	1	7	2	3	1	5	1,01	Varierende breidde. 20 cm på det minste. 2 m ca. på det meste. Litt vanskeleg å sjå

												pga. fine sediment frå sona dekker.
28		340	80	300		7	2	3	1	5	0,87	Ikkje så forvitra som dei andre.
29		320	80	-	2	7	2	3	1	5	1,15	
30		340	80	-	-	-	-	-	1	5	-	Svakheitssone. Meir vegetasjon og litt meir oppsprokke berg.
31		285	40	100	1	8	2	6	1	5	0,66	
32		180	80	100	2	8	2	6	1	5	0,78	
33		220	75	10	2	7	2	3	1	5	1,15	
34		180	80	40	2	7	2	6	1	5	0,82	
35		230	50	-	-	-	-	-	1	5	-	
36		295	40	40	1	8	2	6	0,66	5	0,59	Drypp/renn vatn i sona.
37	4	230	60	5	1	8	2	6	1	5	0,66	Lita sone/sprekk.
38		50	60	100	1	9	2	10	1	5	0,51	
39	3	220	75	10	1	9	2	10	1	5	0,51	5-20 cm med finmateriale (to plassar rett ved kvarandre).
40		310	55	100	1	8	5	6	1	5	1,16	
41		-	-	-	-	-	-	-	1	5	-	Vanskeleg å sjå strøk og fall ol. Mykje ur/lausmassar i vegen.
42		-	-	-	2	7	5	3	1	5	2,15	Ur, mogleg svakheitssone. Meir oppsprokke berg i dette området. Litt som eit søkk oppover. Vanskeleg å fastslå mektigheit på eventuell sone. Breidde nede ved vegen på ura er ca. 30m.
43	2	140	70	200	3	-	-	-	0,66	5	-	Mogleg svakheitssone. Renn ein bekk i eit lite skar.
44		190	80	-	-	-	-	-	1	5	-	
45	3	340	75	-	2	7	2	6	1	5	0,82	
46		210	85	2,5	2	8	2	6	1	5	0,78	2-3 m med meir oppsprokke berg. Tydeleg søkk i berget.



Figur 36: Oversikt som viser kartlagde svakheitssoner. Punktobservasjonar registrert i felt og tilhøyrande linjer er gule. For meir informasjon om svakheitssonene sjå Tabell 13. Svakhetssoner teikna inn ut i frå skyggerelieff er vist med oransje.

Tabell 14: Gjennomsnittleg orientering til svakheitssoner identifisert i felt og ut i frå DTM

Svakhetszone	Strøk	Fall
1	392	86
2	044	85
3	280	-

5.3 Oppsprekking

Generelt vart det observert høg oppsprekking langs vegskjeringa, med interne variasjonar, vist i Figur 37. I svakheitssoner og i nærleiken av desse er bergmassen svært dårleg, med Q-verdiar under 1, sjå Tabell 13.



Figur 37: Oppsprekkingsgraden langs bergskjeringa varierer innanfor eit lite område. Gul meterstokk i dei to øvste bileta er 1 m (punkt 7, 8 og 9 i Figur 31, frå oppe til venstre).

Sprekkeavstanden generelt langs skjeringa er tett, ned mot nokon få cm i dårlege områder. Det er observert totalt tre sprekkesett under feltarbeidet, foliasjon og to steile sprekkesett. Det er vald å definere foliasjon som eitt av setta, sprekkesett 2. Sjå meir i kapittel 5.4.2 om inndeling i sprekkesett og orienteringa til dei ulike sprekkesetta. Elles er det observert lang uthaldenheit på sprekkene i skjeringa og låg ruheit. Spesielt sprekkeplanet med strøk langsmed vegskjeringa og svakt fall mot E6 har høg uthaldenheit og går langs heile vegstrekninga.

Innimellom tett oppsprukke berg er det områder med lågare oppsprekking, som vist i Figur 37, dette er hovudsakleg mindre områder. Det kan vere mindre knausar som ligg mellom meir oppsprukne områder. Strukturane og sprekkeplana er til stades i desse områda også, men ikkje like tett oppsprekking.

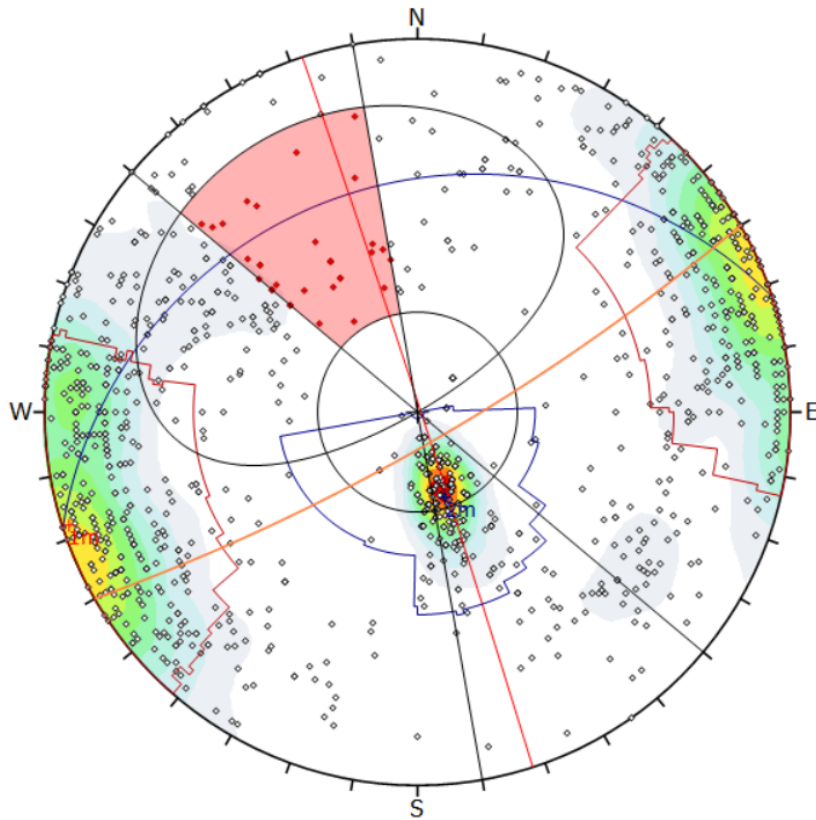
5.4 Kinematisk analyse frå feltdata

5.4.1 Tidlegare målingar gjort av SVV

Ut i frå sprekkemålingane gjort av SVV kan det definerast to sprekkesett, der sprekkesett 2 er foliasjon til bergarten, vist i Tabell 15. I tillegg er det mange tilfeldige sprekker med svært varierende strøk og fall. Kinematisk analyse av resultatane i Dips viser at 2,6% av plana er kritiske og kan gi planutgliding (Figur 38), 21,4% kritiske skjeringslinjer som kan gi kileutgliding (Figur 39), 5,6% kritiske plan som kan gi bøyeleg utvelting (Figur 40), 26,1% kritiske skjeringslinjer som kan gi direkte blokkutvelting og 7,9% kritiske skjeringslinjer som kan gi skrå blokkutvelting (Figur 41).

Tabell 15: Sprekkesett definert ut i frå SVV sine sprekkemålingar

Sprekkesett	Strøk	Fall
1	342	89
2	252	27



Symbol	Feature
○	Pole Vectors
●	Critical Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.10
	1.10 - 2.20
	2.20 - 3.30
	3.30 - 4.40
	4.40 - 5.50
	5.50 - 6.60
	6.60 - 7.70
	7.70 - 8.80
	8.80 - 9.90
	9.90 - 11.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	10.69%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

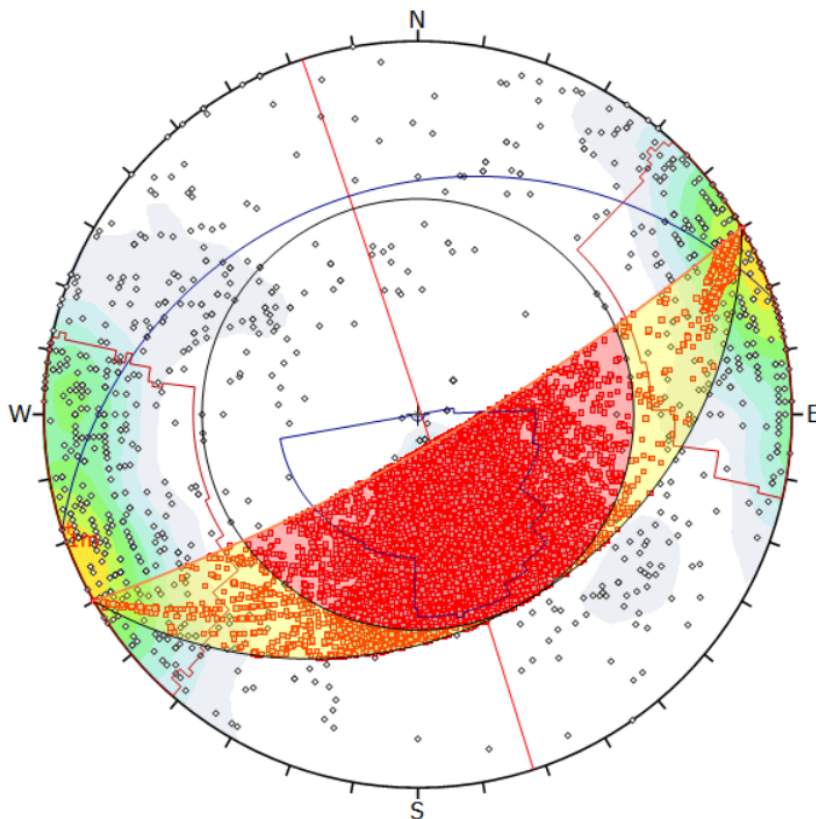
Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	80
Slope Dip Direction	150
Friction Angle	30°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	32	1239	2.58%

Color	Strike (Right)	Dip	Label
1m	342	89	
2m	252	27	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	1239 (1239 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Figur 38: Kinematisk analyse med omsyn på planutgliding. Analysen viser 32 kritiske plan som kan gi planutgliding



Symbol	Feature
○	Pole Vectors
■	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.10
	1.10 - 2.20
	2.20 - 3.30
	3.30 - 4.40
	4.40 - 5.50
	5.50 - 6.60
	6.60 - 7.70
	7.70 - 8.80
	8.80 - 9.90
	9.90 - 11.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	10.69%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

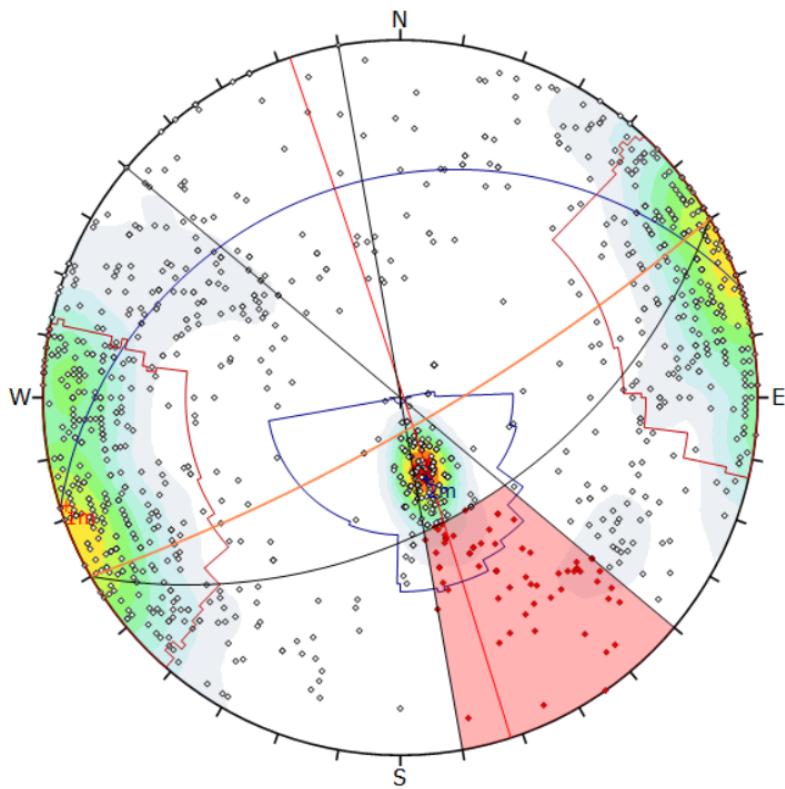
Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	80
Slope Dip Direction	150
Friction Angle	30°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	163816	796183	21.38%

Color	Strike (Right)	Dip	Label
1m	342	89	
2m	252	27	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	1239 (1239 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	796183
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Figur 39: Kinematisk analyse med omsyn på kileutgliding. Analysen viser at det er struktur som mogleggjer kileutgliding



Symbol	Feature
○	Pole Vectors
●	Critical Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.10
	1.10 - 2.20
	2.20 - 3.30
	3.30 - 4.40
	4.40 - 5.50
	5.50 - 6.60
	6.60 - 7.70
	7.70 - 8.80
	8.80 - 9.90
	9.90 - 11.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	10.69%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle size	1.0%	

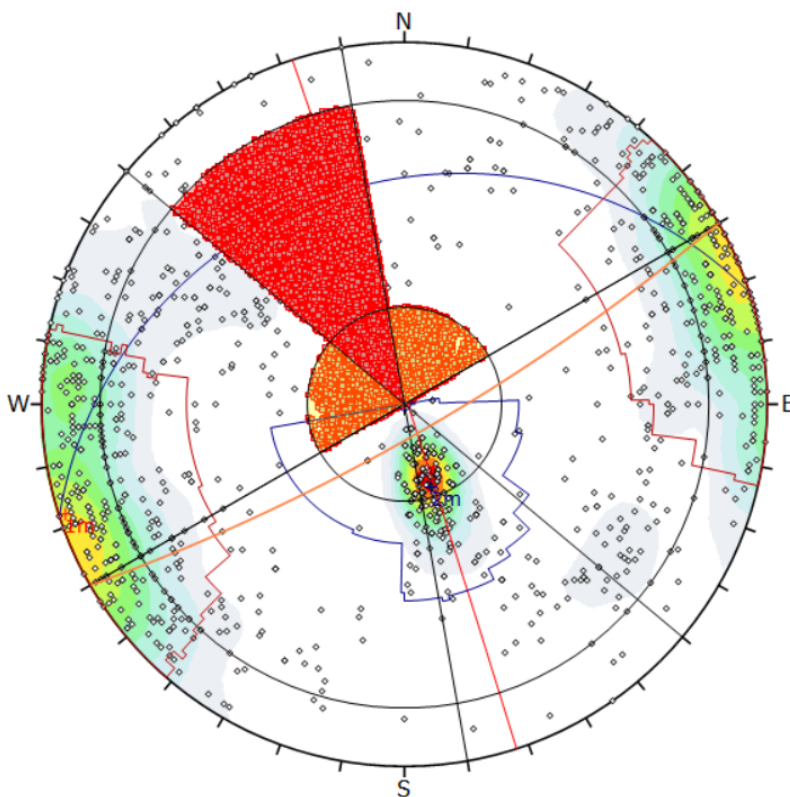
Kinematic Analysis		Flexural Topping
Slope Dip	80	
Slope Dip Direction	150	
Friction Angle	30°	
Lateral Limits	20°	

	Critical	Total	%
Flexural Topping (All)	69	1239	5.57%
Flexural Topping (Set 2)	28	303	9.24%

Color	Strike (Right)	Dip	Label
Mean Set Planes			
1m	342	89	
2m	252	27	

Plot Mode		Pole Vectors
Vector Count	1239 (1239 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

Figur 40: Kinematisk analyse med omsyn på bøyeleg utvelting. Analysen viser at sannsynet for bøyeleg utvelting er til stades.



Symbol	Feature
○	Pole Vectors
●	Critical Vectors
●	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.10
	1.10 - 2.20
	2.20 - 3.30
	3.30 - 4.40
	4.40 - 5.50
	5.50 - 6.60
	6.60 - 7.70
	7.70 - 8.80
	8.80 - 9.90
	9.90 - 11.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	10.69%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Direct Topping
Slope Dip	80	
Slope Dip Direction	150	
Friction Angle	30°	
Lateral Limits	20°	

	Critical	Total	%
Direct Topping (Intersection)	199601	766183	26.05%
Oblique Topping (Intersection)	60328	766183	7.87%
Base Plane (All)	40	1239	3.23%
Base Plane (Set 2)	1	303	0.33%

Color	Strike (Right)	Dip	Label
Mean Set Planes			
1m	342	89	
2m	252	27	

Plot Mode		Pole Vectors
Vector Count	1239 (1239 Entries)	
Intersection Mode	Grid Data Planes	
Intersections Count	766183	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

Figur 41: Kinematisk analyse med omsyn på blokkutvelting. Analysen viser at blokkutvelting er mulig.

5.4.2 Målinger gjort i felt

Ut i frå observasjonar og målingar gjort i felt er det tre ulike sprekkesett som dominerer, inkludert foliasjon til bergarten, vist i Figur 42 og Tabell 16. Sprekkene har varierende uthald, men mange har lang uthald og kan sjåast langs store delar av strekninga.

Kinematisk analyse av resultatata i Dips viser at 16,4% av plana er kritiske for planutgliding (Figur 43), 35,2% er kritisk for kileutgliding (

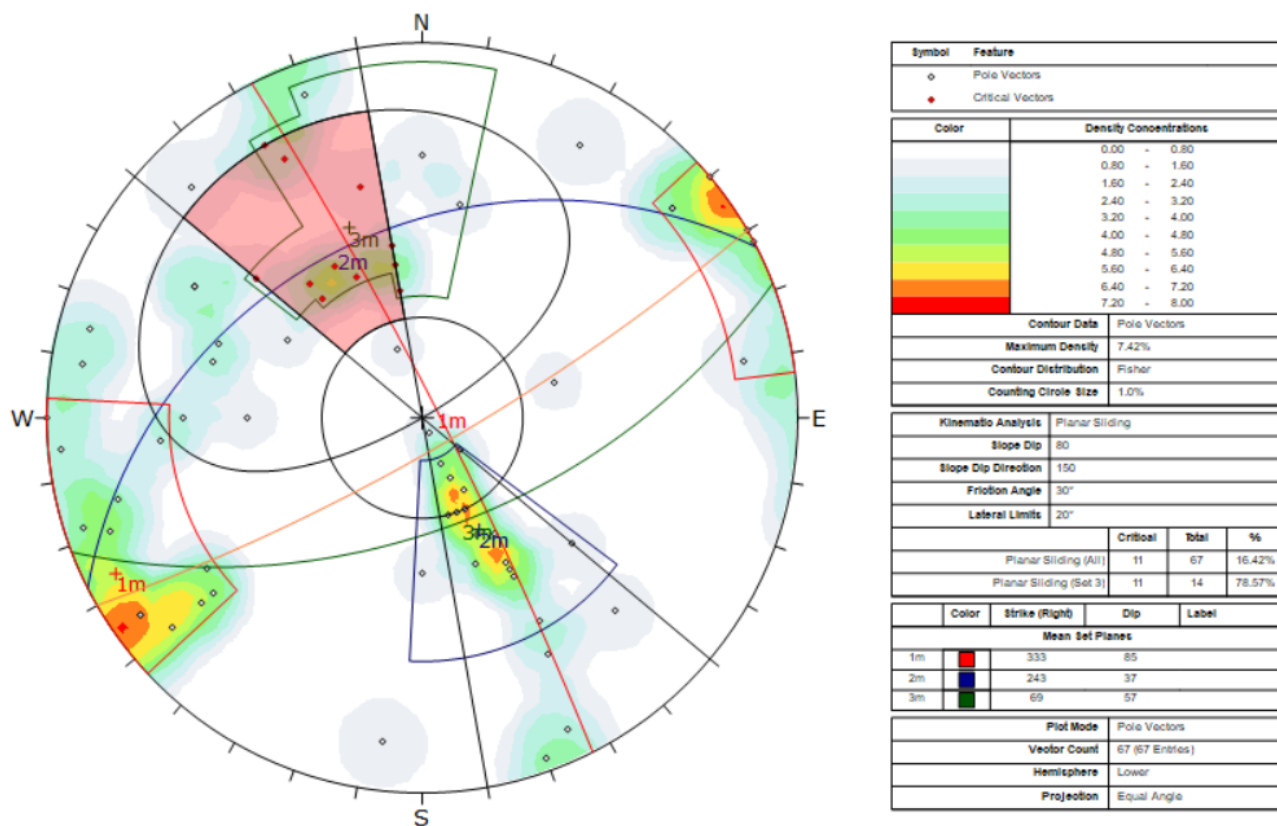
Figur 44), 14,9% er kritisk for bøyeleg utvelting (Figur 45), 0,9% er kritisk for skrå blokkutvelting og 28,6% er kritisk for direkte blokkutvelting (Figur 46).



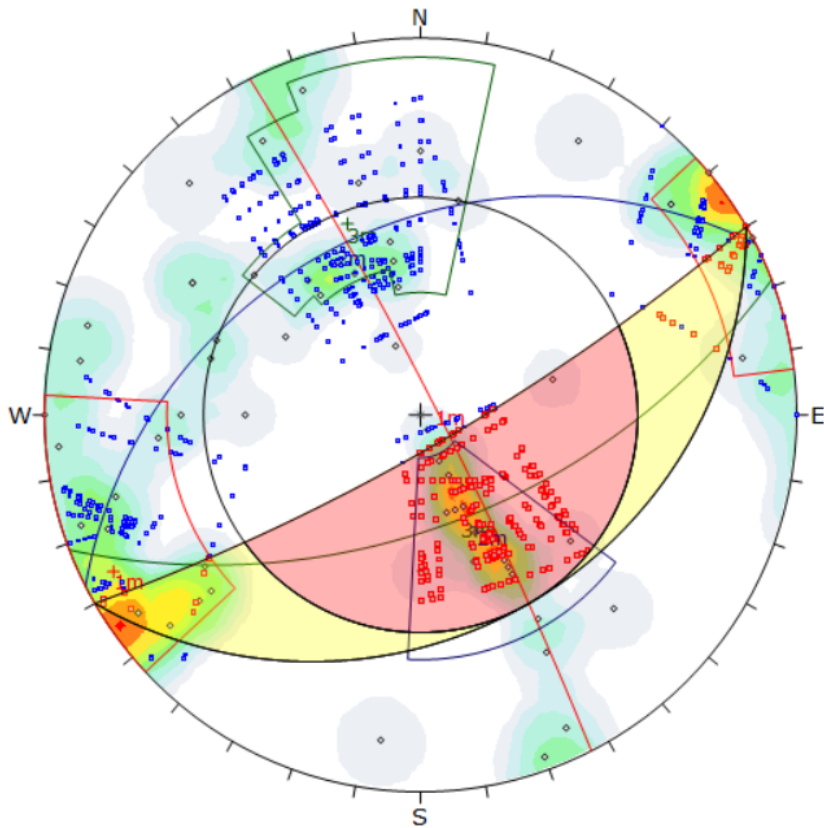
Figur 42: Sprekkesetta observert og målt i felt. Sprekkesett 1 er raud, sprekkesett 2 er blå og sprekkesett 3 er grøn. Foto er tatt like ved svakheitssone 23 (vist i Figur 36).

Tabell 16: Sprekkesett ut i frå egne sprekkemålingar

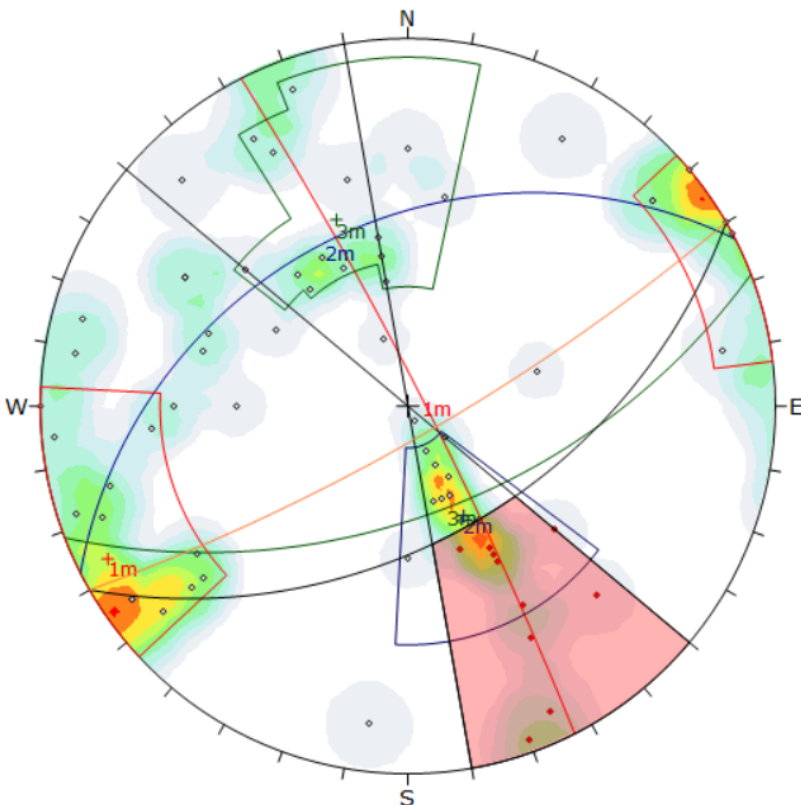
Sprekkesett	Strøk	Fall
1	333	85
2	243	37
3	69	57



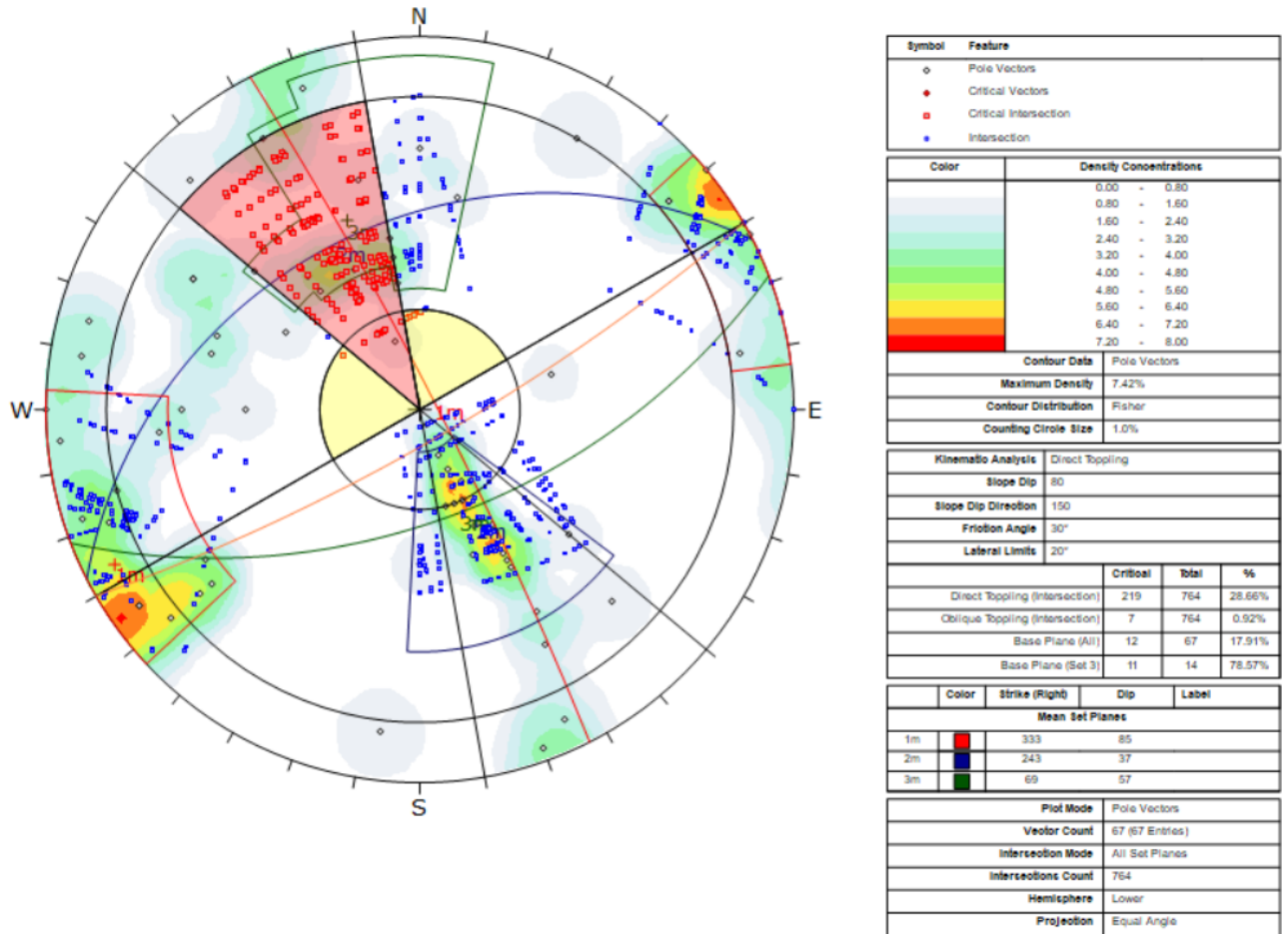
Figur 43: Kinematisk analyse av egne data med omsyn på planutgliding. Analysen viser at planutgliding er mogleg



Figur 44: Kinematisk analyse av egne data, med omsyn på kileutgliding. Analysen viser at det er strukturar som mogleggjer kileutgliding



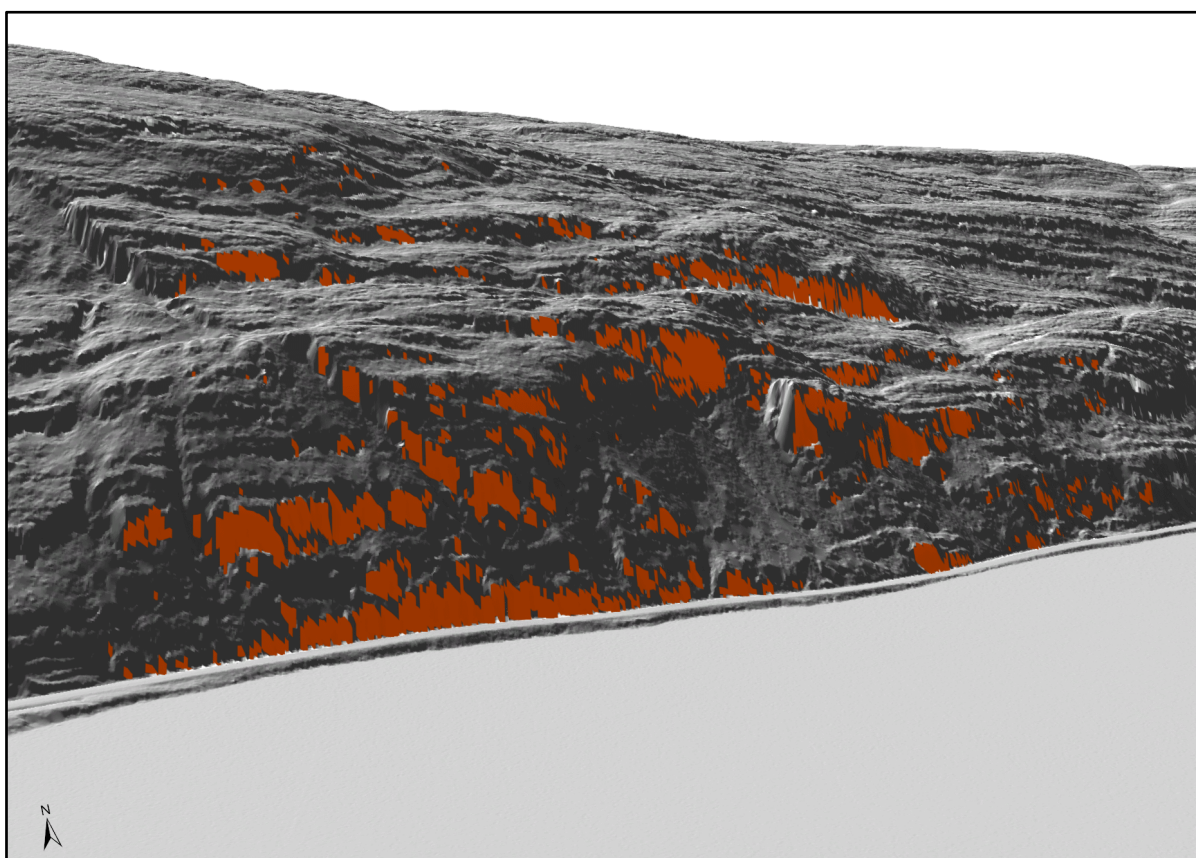
Figur 45: Kinematisk analyse av egne data, med omsyn på bøyeleg utvelting. Analysen viser at sannsynet for bøyeleg utvelting er til stades.



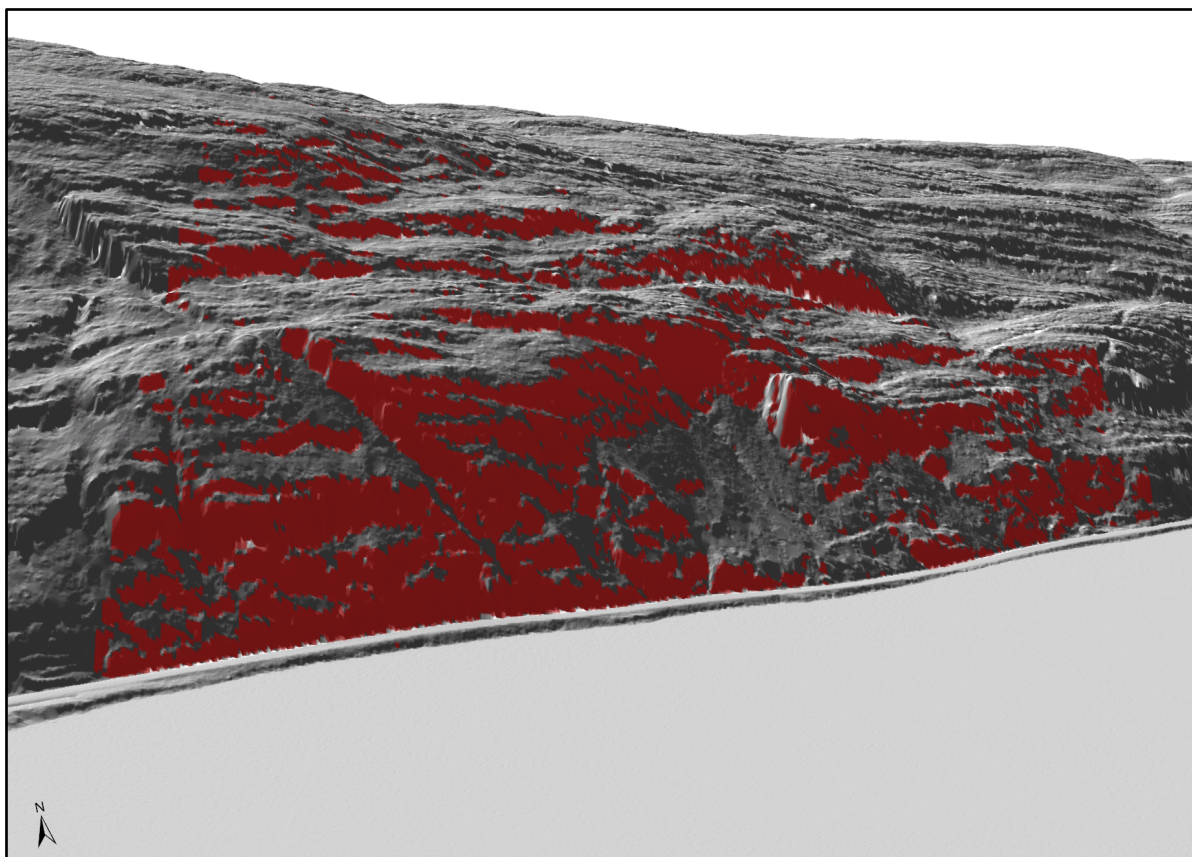
Figur 46: Kinematisk analyse av egne data, med omsyn på blokkutvelting. Analysen viser at blokkutvelting er mulig.

5.5 Kinematisk analyse frå høgdedata

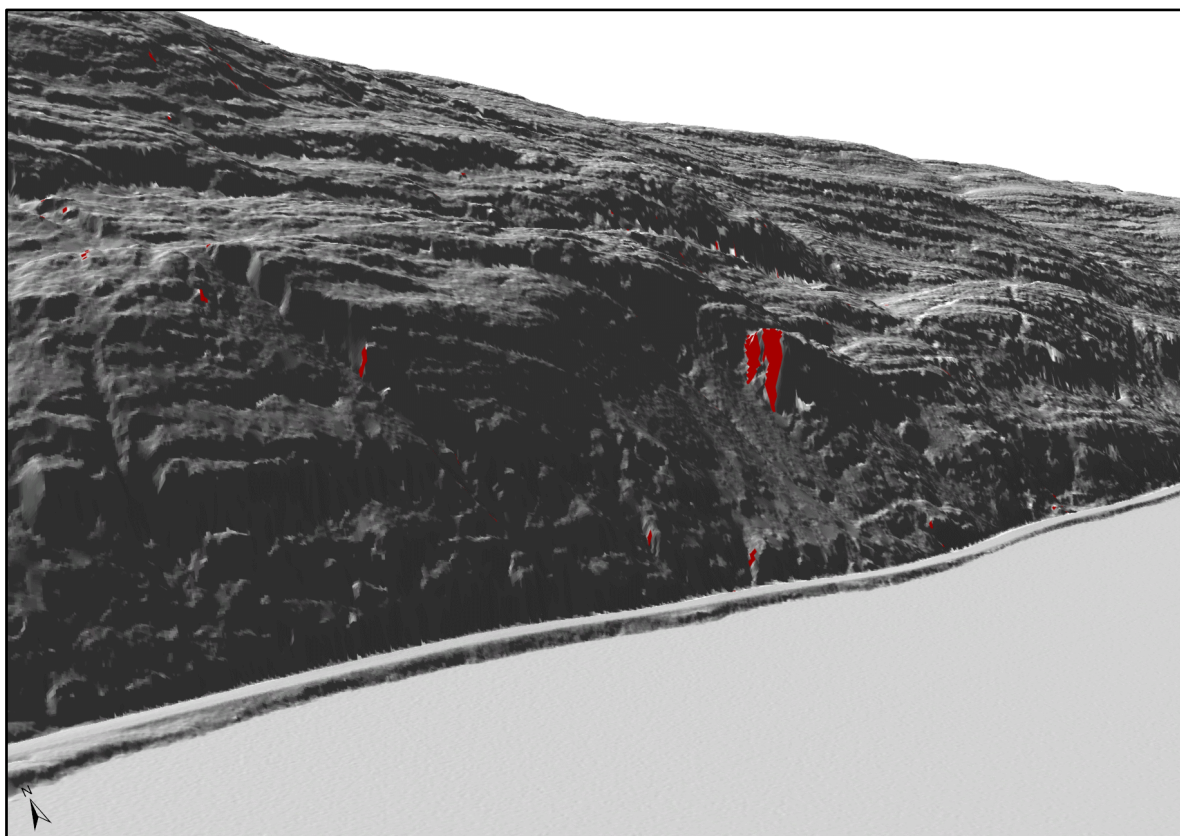
Ut i frå programvara StnParabel er planutgliding (Figur 47), kileutgliding (Figur 48) og utvelting (Figur 49) moglege losnemekanismer. Områda markert med raudt i figurane er moglege losneområde. Kileutgliding og planutgliding er, som ein ser på Figur 48 og Figur 47, prosessar som er kinematisk mogleg i store delar av området som er undersøkt. Begge desse losnemekansimane er hovudsakleg retta mot sør. Kileutgliding er mest utbreidd. Utvelting er mindre aktuelt, men det er mindre områder i det undersøkte området der utvelting er kinematisk mogleg. Dei største losneområda for utvelting er langs terrenget som vender mot vest.



Figur 47: Moglege losneområde for planutgliding, frå StnParabel, markert med raudt.

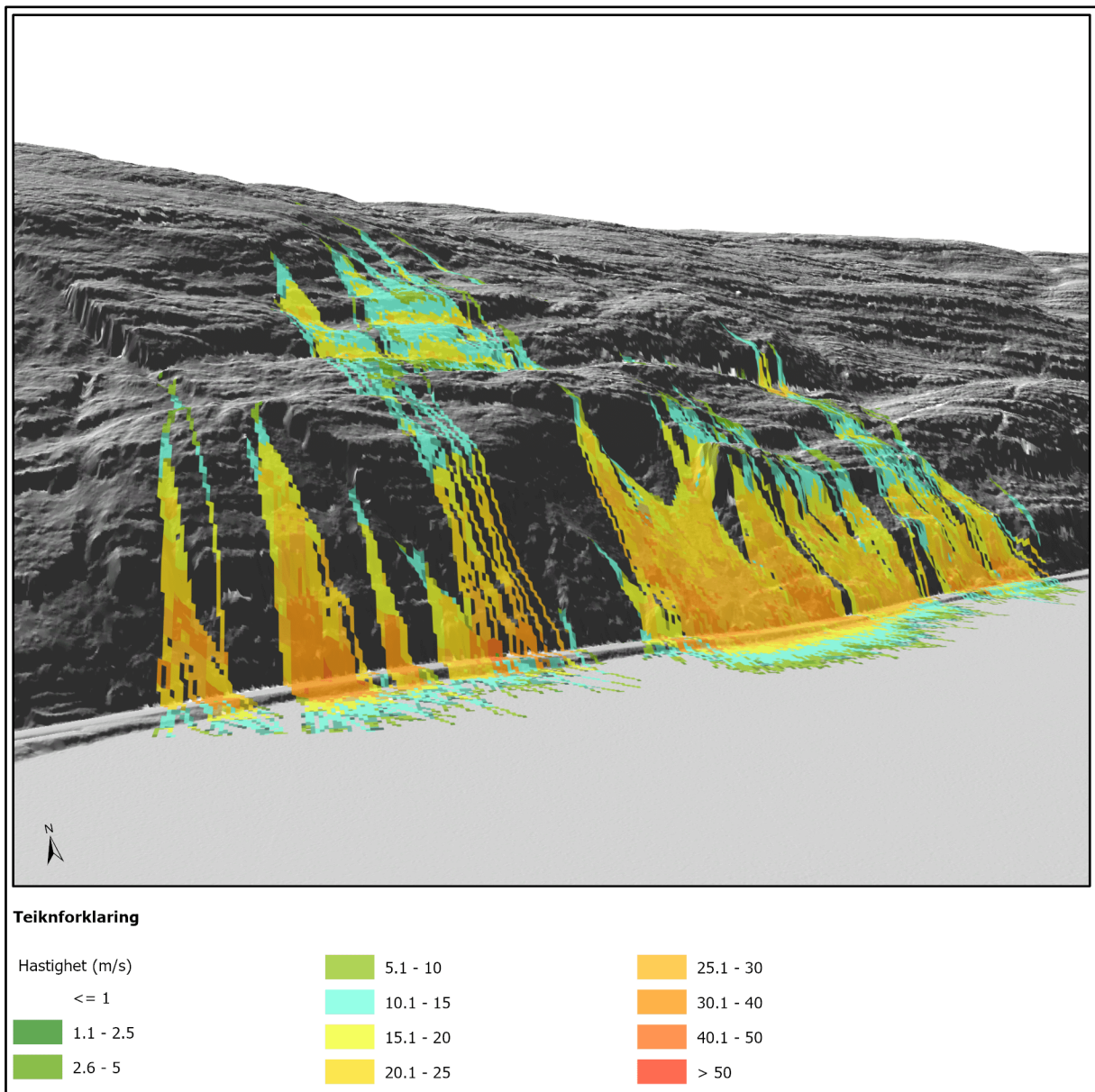


Figur 48: Moglege losneområde for kileutgliding, frå StnParabel, markert med raudt



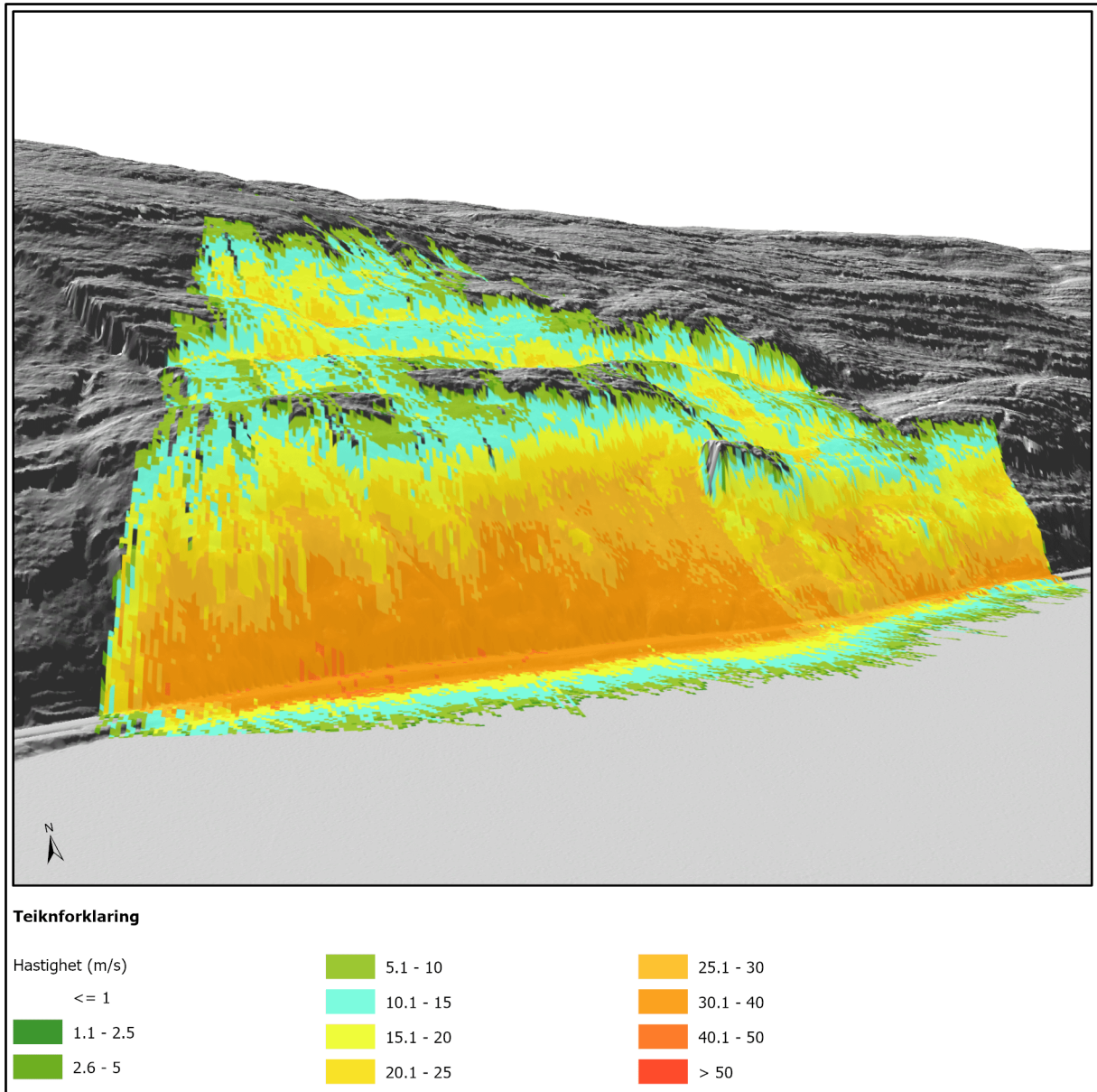
Figur 49: Moglege losneområde for utvelting, frå StnParabel, markert med raudt. Fleire små områder som kan vere vanskeleg å sjå på figuren.

Skredbanene til potensielle skredhendingar, simulert med StnParabel, frå losneområda er vist i Figur 50, Figur 51 og Figur 52. Planutgliding gjev skredbaner som dekker store delar av den undersøkte strekninga (Figur 50). Hastigheiter opp mot 30 m/s er aktuelt fleire stadar langs strekninga. Det er tydeleg at det flate terrenget omtrent 150 moh. bremsar og stoppar mesteparten av steinspranga frå planutgliding ovanfrå. Det er hovudsakleg losneområda nedanfor ca. 150 moh. som gjev utløp ned i vegbana.



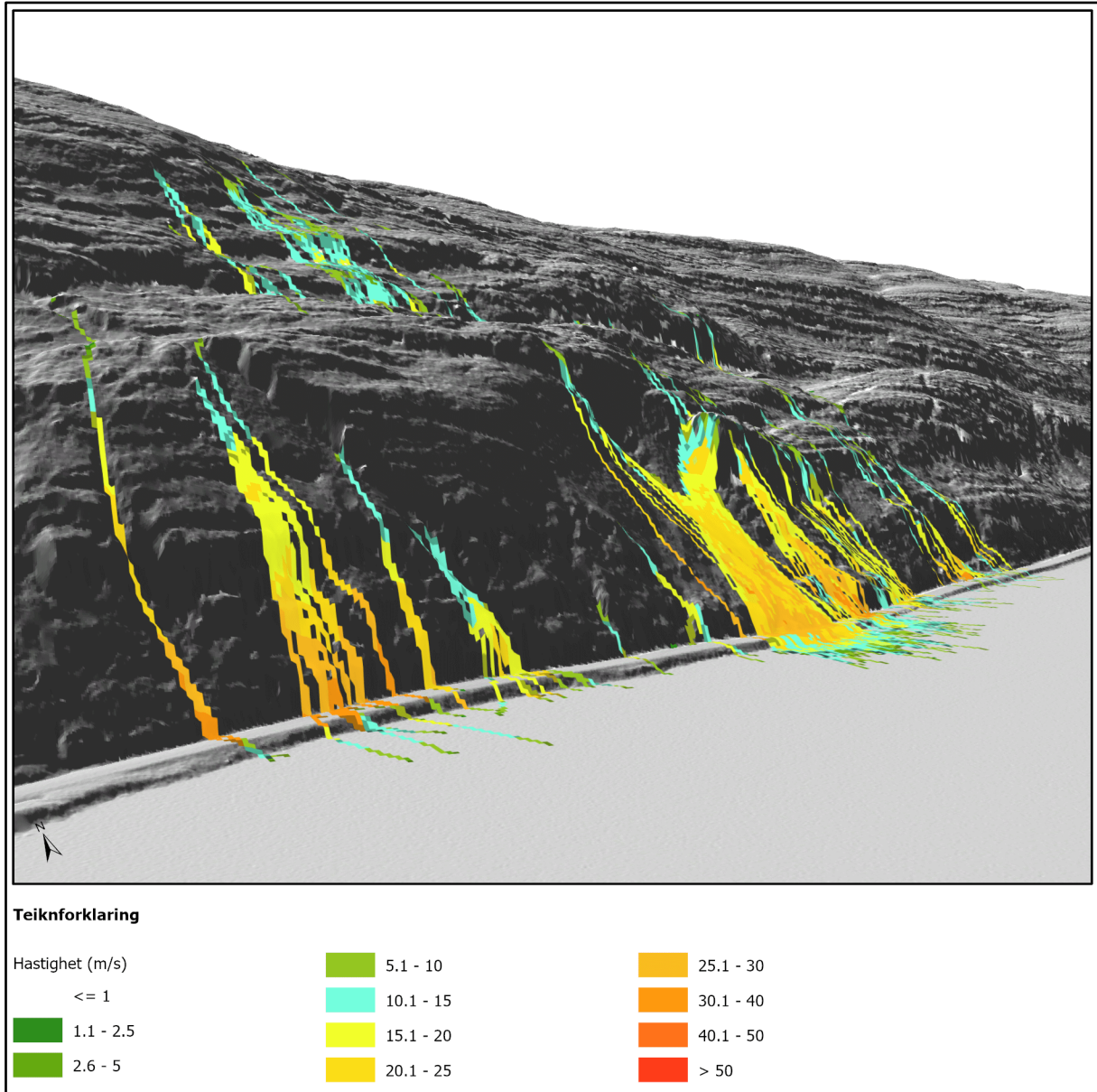
Figur 50: Moglege utløp for planutgliding, frå StnParabel. Fargane viser hastigheita til potensielle steinsprangblokker.

Moglege utløp frå losneområda for kileutgliding treff vegbana langs heile den undersøkte strekninga, med hastigheiter opp mot 40 m/s (Figur 51). Det er tydeleg at det flate området ca. 150 moh. også bremsar og stoppar mesteparten av steinspranga ovanfor. Hovuddelen av blokkene som treff vegen losnar frå område lågare enn 150 moh. Det er likevel ein større del av losneområda for kileutgliding over 150 moh. der blokkene går over det flatare partiet, enn for planutgliding.



Figur 51: Moglege utløp for kileutgliding, frå StnParabel. Fargane viser hastigheita til potensielle steinsprangblokker.

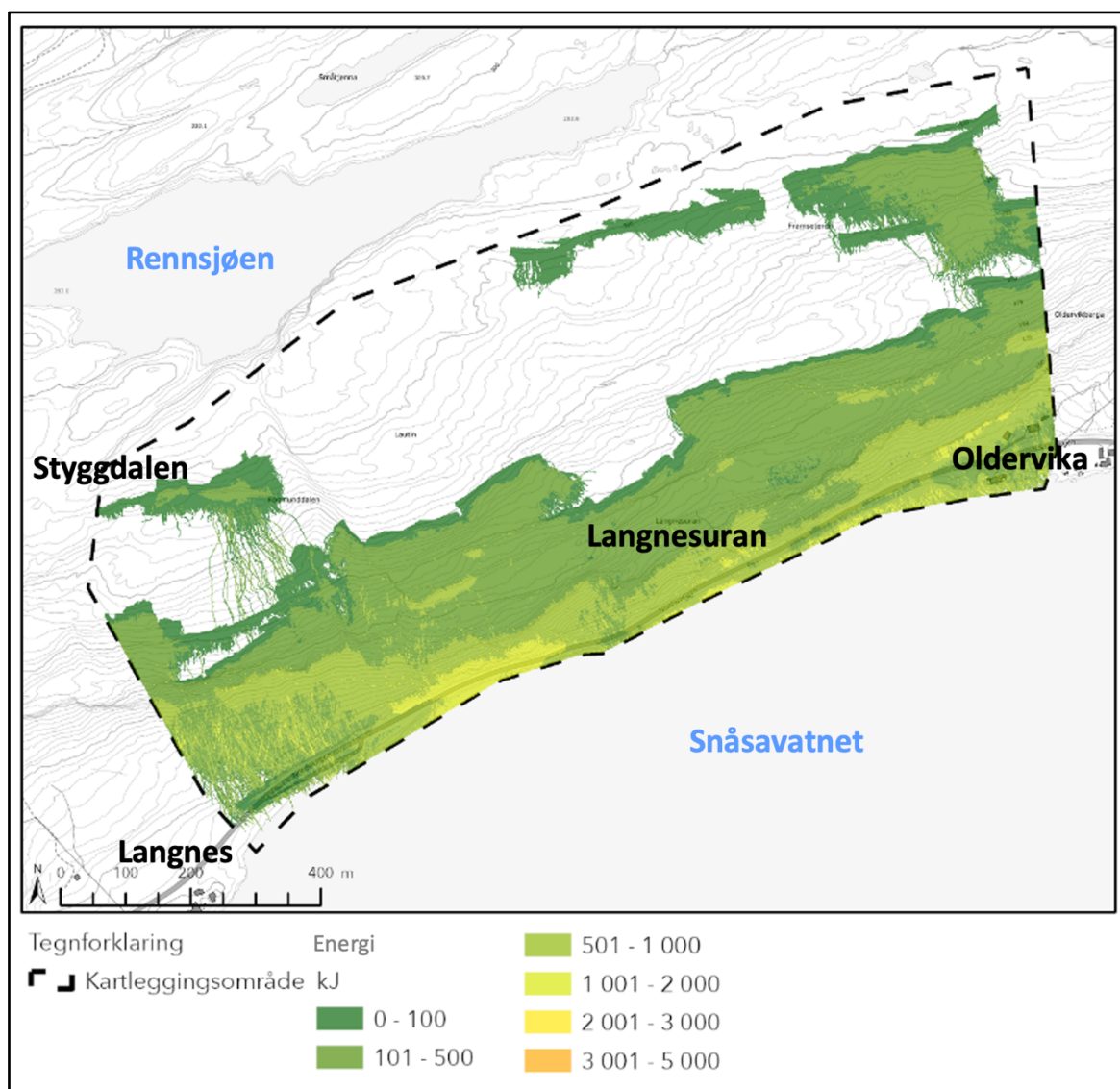
Figur 52 viser potensielle skredbaner for steinsprang frå utvelting. Blokker frå utvelting kan potensielt treffe vegbana fleire stadar, med hastigheiter opp mot 30 m/s, men store delar av strekninga ligg utanfor skredløpa.



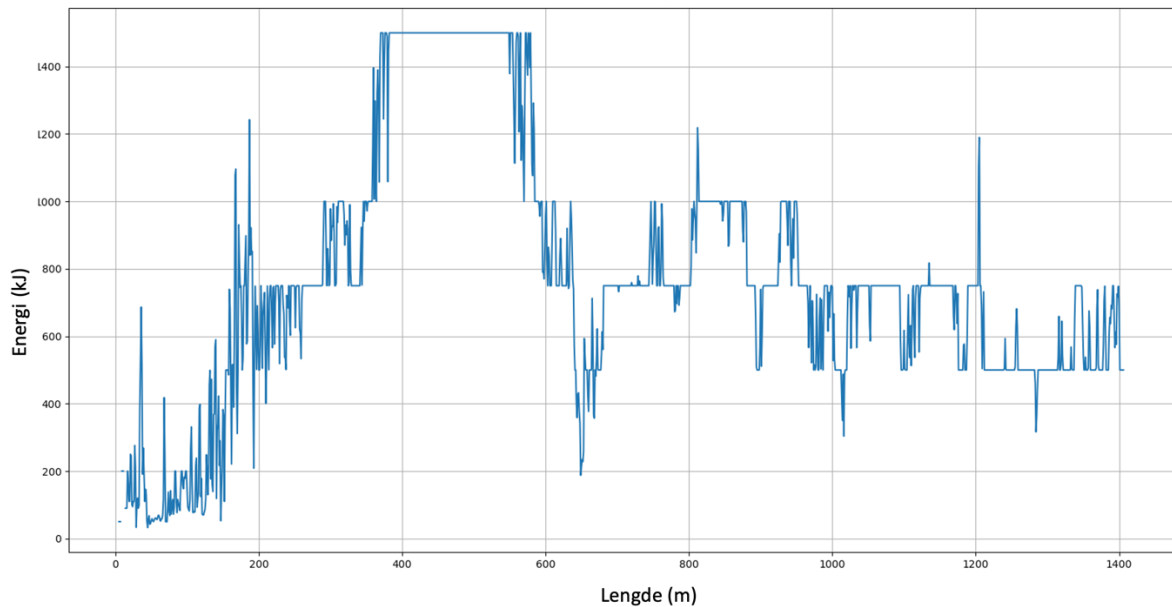
Figur 52: Moglege utløp for utvelting, frå StnParabel. Fargane viser hastigheita til potensielle steinsprangblokker.

5.6 Rockyfor3D

Modellering av steinsprang i Rockyfor3D gjev utløp langs heile kartleggingsområdet. Området der moglege steinsprang treff vegen med høgast energi ligg mellom 350 m og 550 m inn i profilet (profilen er vist i Figur 12), her treff dei med ca. 1500 kJ, ut i frå modellar utan skog. Figur 53 viser energien til potensielle steinsprang i skråninga, utan omsyn til skog. Grafen i Figur 54 er energi henta ut frå ei linje langs E6 frå vest mot aust. Lågast energi er det frå 0 m – ca. 300 m, frå ca. 650 m – ca. 800 m og frå ca. 950 m til 1400 m. Langs desse strekningane har moglege steinsprang lågare energi enn 800 kJ når dei treff vegen.

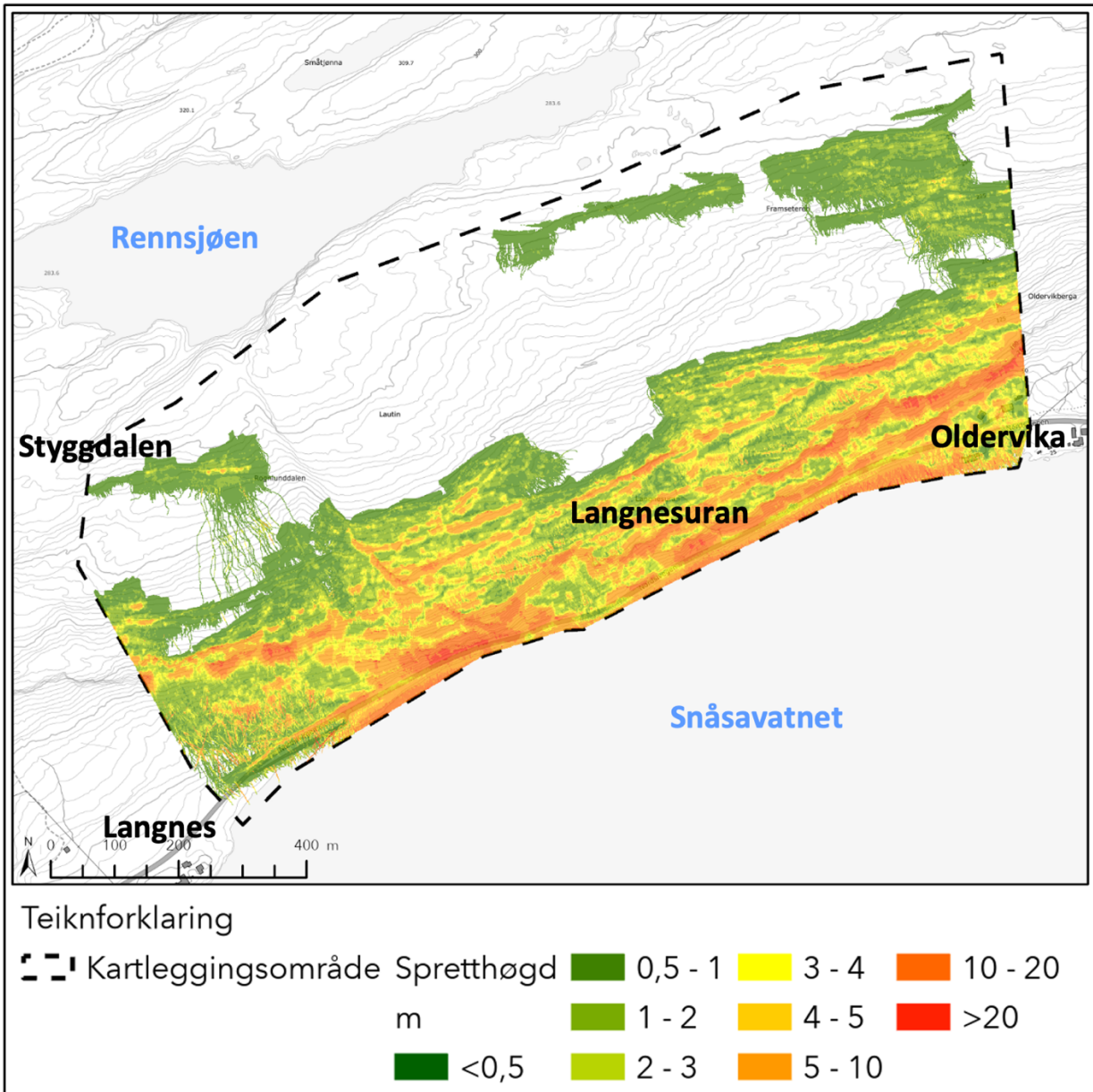


Figur 53: Energi (i kJ) til steinsprangblokker ut i frå modellering i Rockyfor3D utan omsyn til skog.

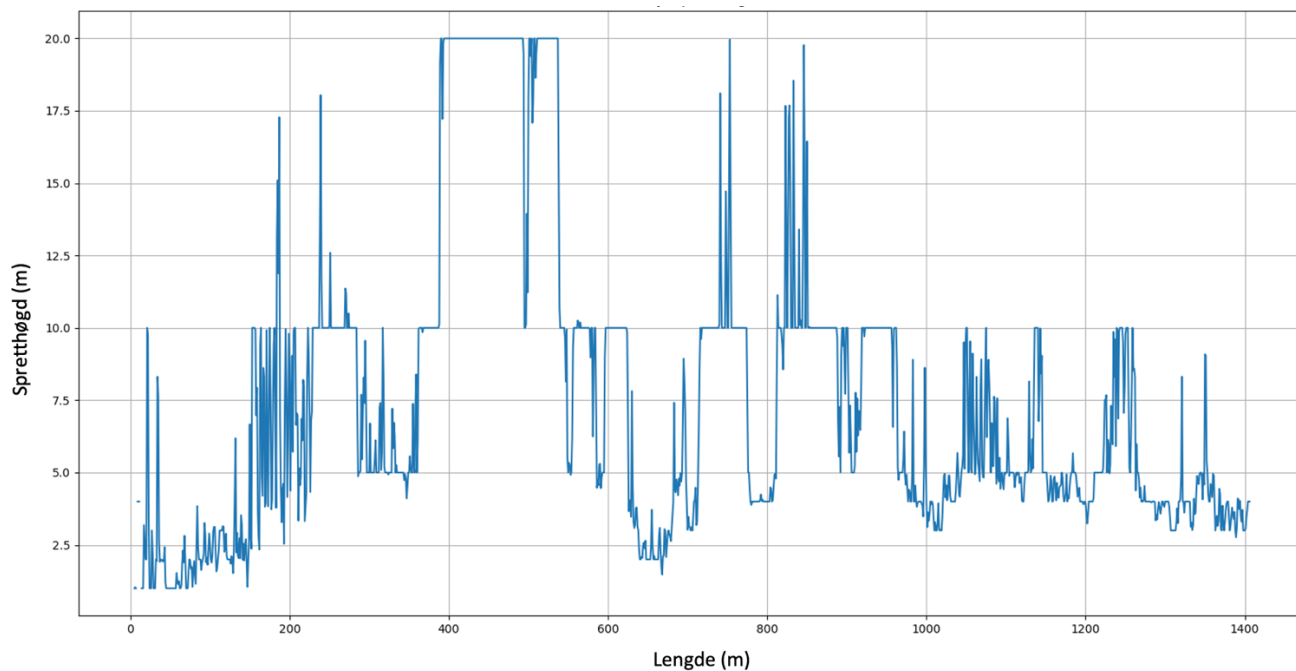


Figur 54: Energi i kJ(y-aksen) henta ut frå Rockyfor3D utan skog, langs E6 frå vest mot aust. X-aksen er avstand frå vestleg ende av kartleggingsområdet, 0 m på grafen tilsvara m7720.

Simulering utan å inkludere skogen gir høg spretthøgda langs store delar av vegen i kartleggingsområdet, spretthøgda er vist i Figur 55. Spretthøgda er fleire stadar mellom 10-20 m (Figur 56). Frå 380 m til 550 m er spretthøgda 20 m langs heile strekninga. Lågast spretthøgda generelt er frå Langnes (0) til 150 m, mellom 630 – 680 m, ved ca. 800 m, ca. 1000 m og etter 1250m. I desse områda er spretthøgda hovudsakleg under 5 m.

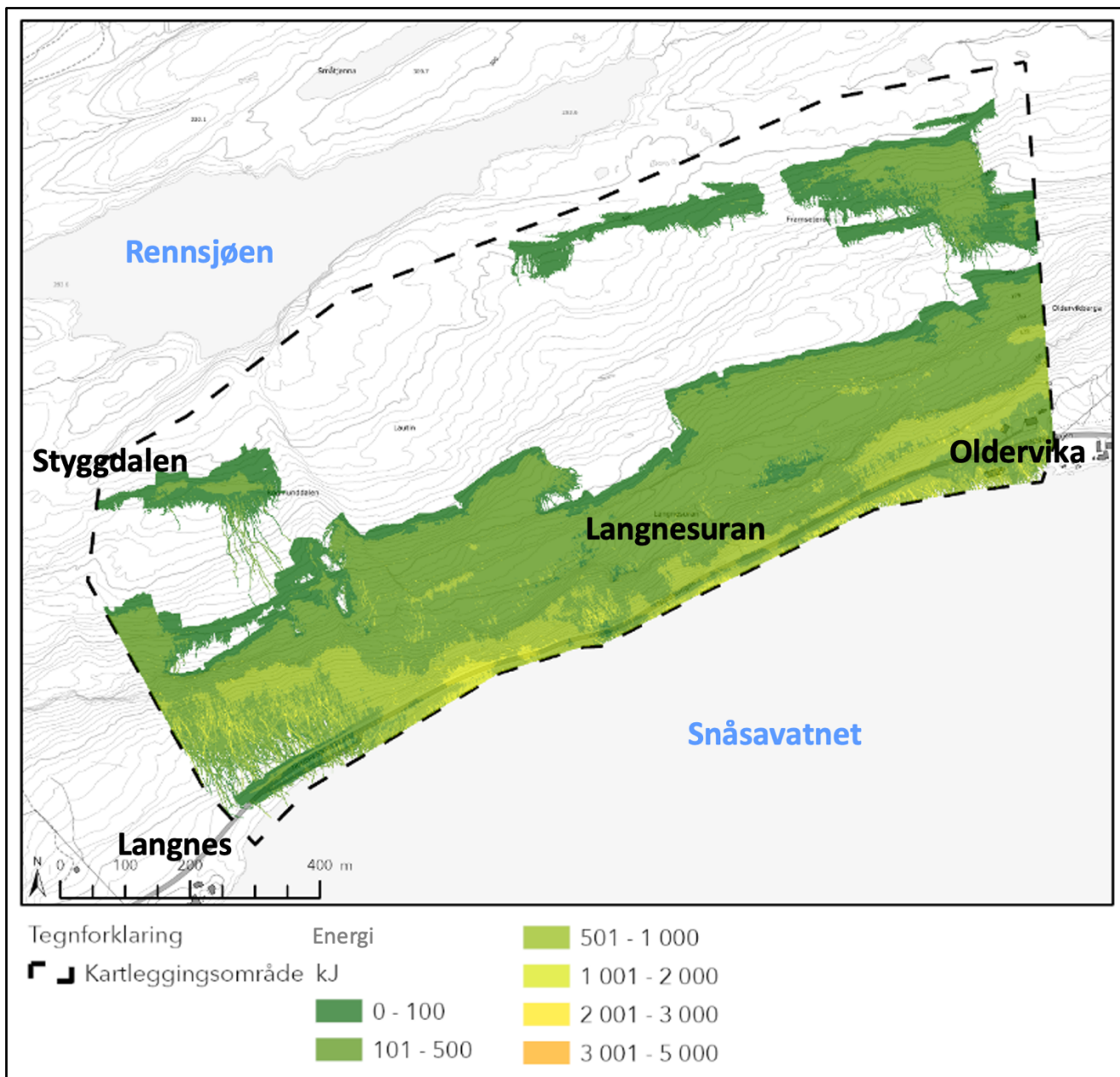


Figur 55: Spretthøgd til steinsprangblokker ut i frå modellering i Rockyfor3D utan omsyn til skog.

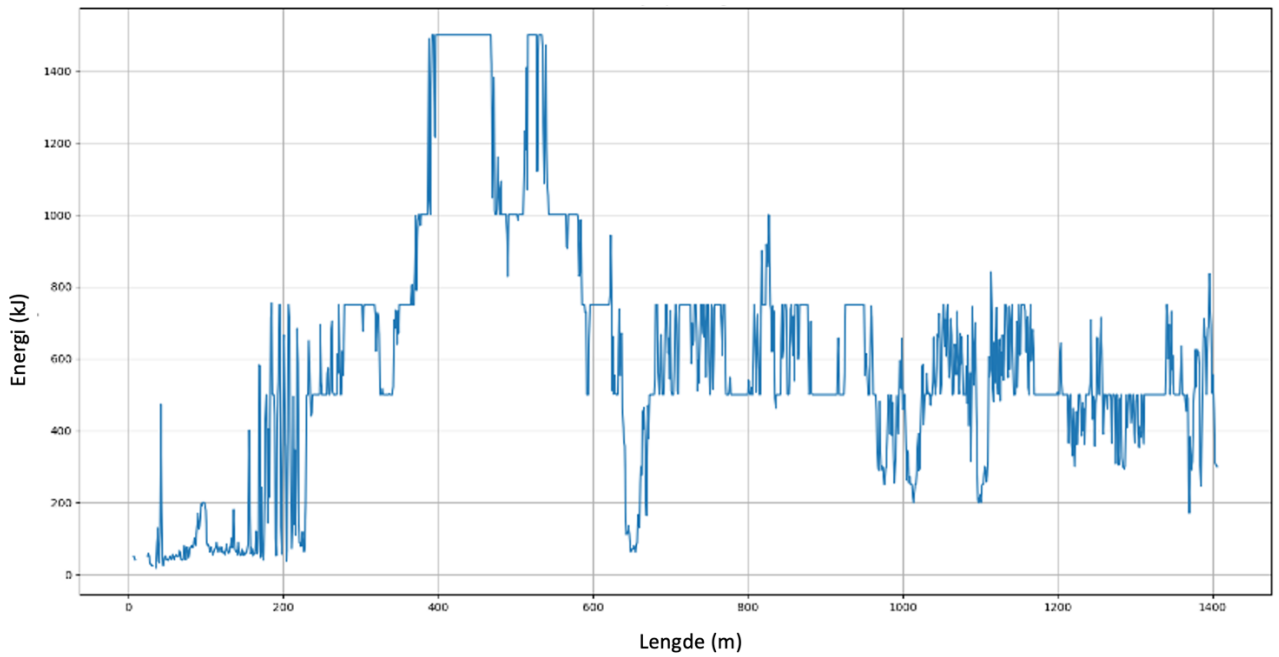


Figur 56: Spretthøgd til steinsprang langs E6 henta ut frå simulering i Rockyfor3D utan skog. Spretthøgd i m langs y-aksen og avstand frå vestleg ende av kartleggingsområdet i meter langs x-aksen.

Steinspranga når vegen med høg energi (Figur 57 og Figur 58) og høg spretthøgd (Figur 59 og Figur 60), sjølv med modellering med skog. Generelt gjev modellering med skog noko lågare energiar, og kortare strekkingar med høge energiar ved vegbana. Spesielt områda med energiar over 1000 kJ er redusert. Områda med energi opp mot 1500 kJ er redusert til 390 – 380 m og 410 – 450m. Energien potensielle blokker treff vegbana med utanom nemnde områder er hovudsakleg under 800 kJ.

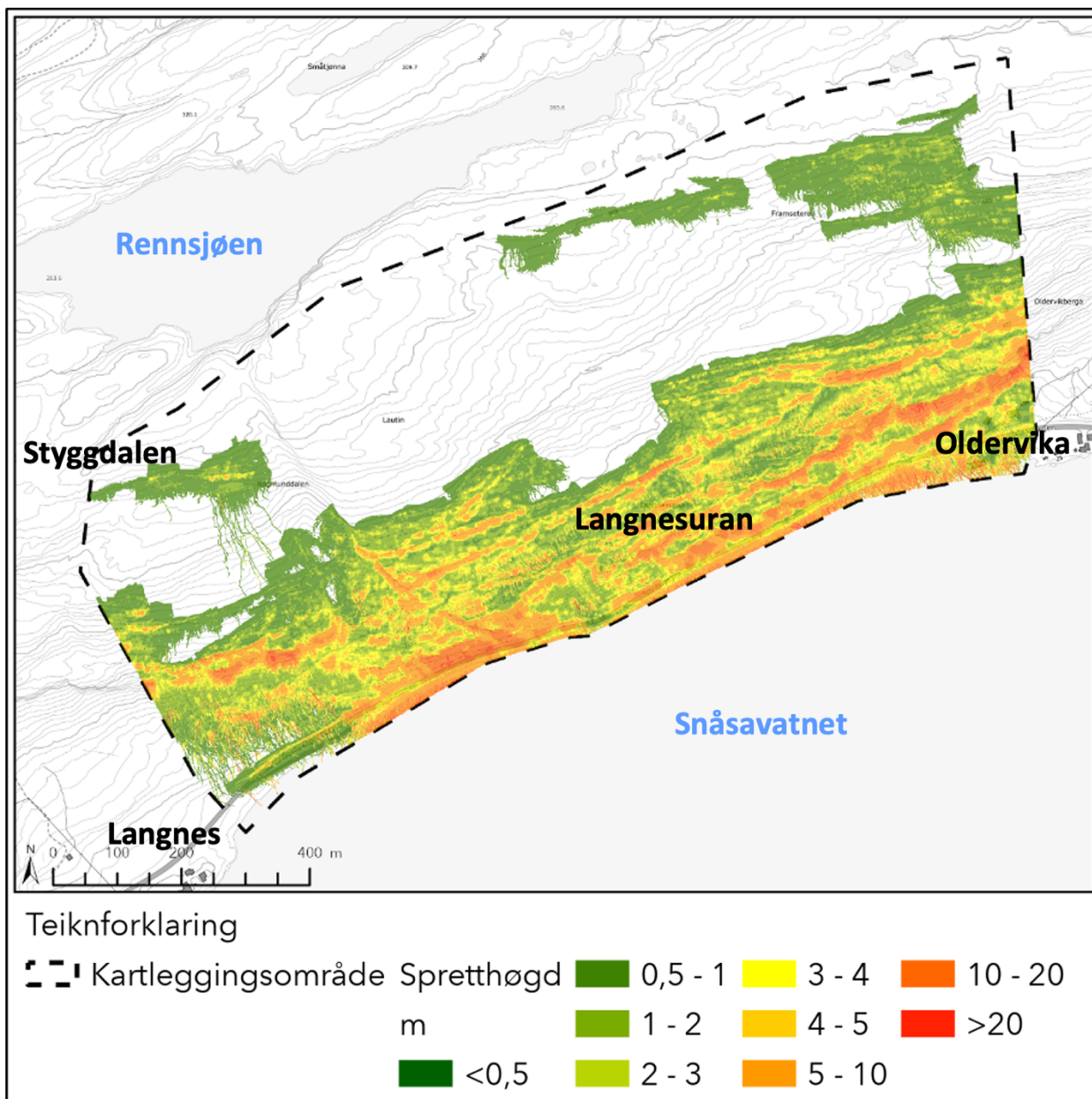


Figur 57: Energi til steinsprangblokker ut i frå modellering i Rockyfor3D med omsyn til skog.

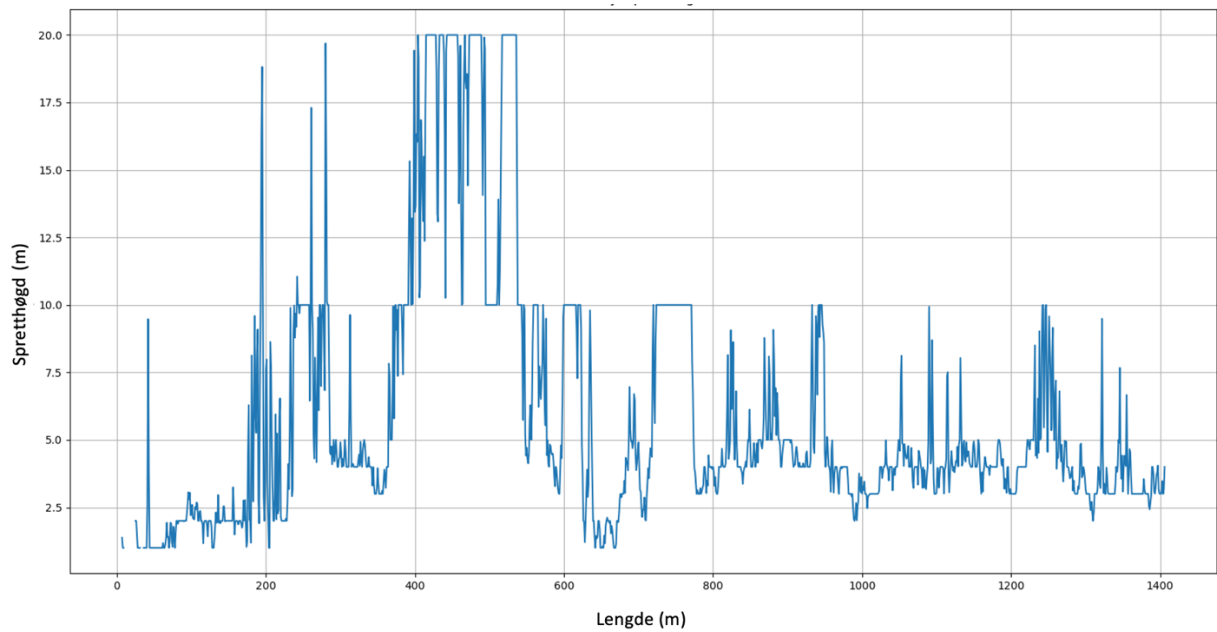


Figur 58: Energi til steinsprang langs E6 henta ut frå simulering i Rockyfor3D med skog. Energi i kJ langs y-aksen og avstand frå vestleg ende av kartleggingsområdet i meter langs x-aksen.

Spretthøgda til potensielle blokker (Figur 59 og Figur 60) vert ikkje tydeleg endra av å inkludere skog i simuleringa. Den største forskjellen med og utan skog er mellom 700 – 850 m. I dette området var det fleire moglege steinsprang med spretthøgder over 10 m i modellen utan skog, med skog vert alle under 10 m.



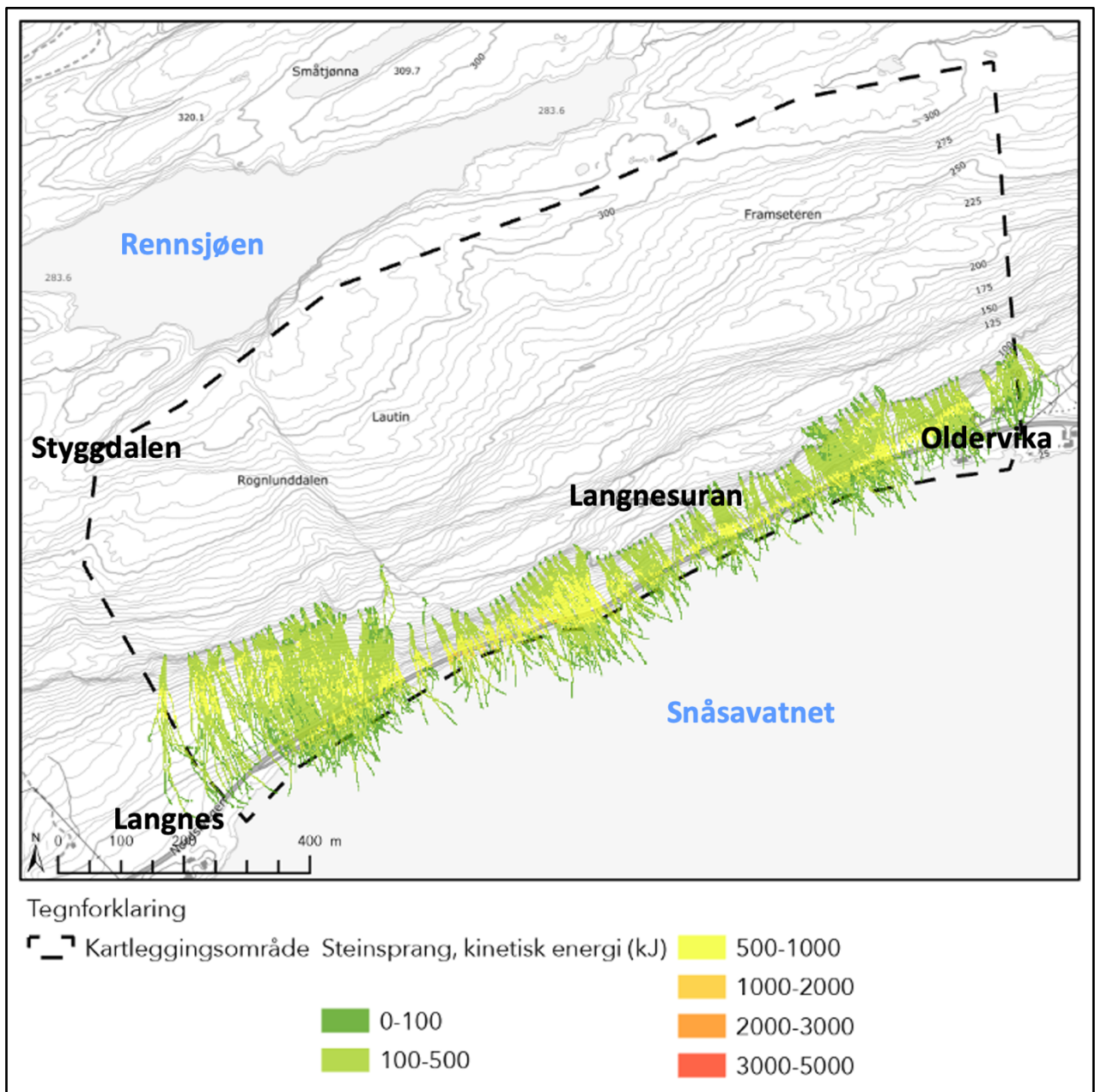
Figur 59: Spretthøgd til steinsprangblokker ut i frå modellering i Rockyfor3D med omsyn til skog.



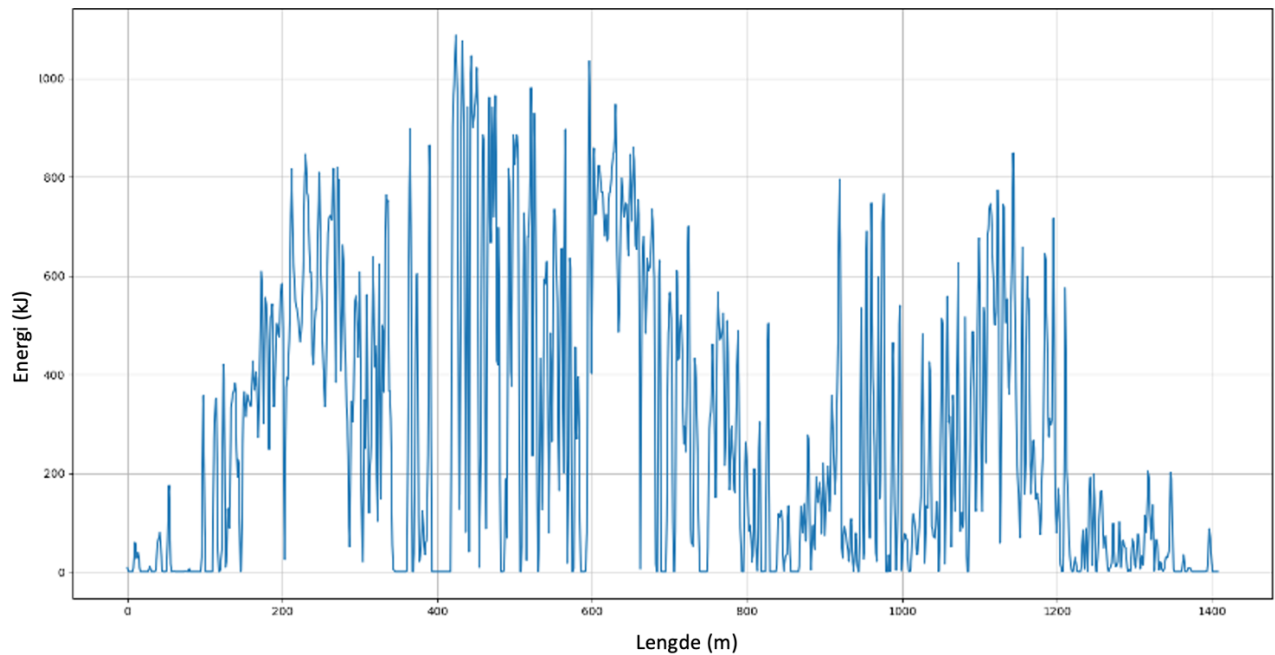
Figur 60: Sprethøgd til steinsprang langs E6 henta ut frå simulering i Rockyfor3D med skog. Sprethøgd i m langs y-aksen og avstand frå vestleg ende av kartleggingsområdet i meter langs x-aksen.

5.7 RAMMS::Rockfall

Simulering utan skog i RAMMS::Rockfall gjev hovudsakleg energiar lågare enn 1000 kJ langs E6 (Figur 61 og Figur 62). Mellom 420 – 450 m er det eit område der energiane er opp mot 1100 kJ. Og ei steinsprangbane ved ca. 600 m har energi over 1000 kJ. Lågast energi er det mellom 0 – 150 m, 790 – 950 m og 1210 – 1400 m der energiane hovudsakleg er lågare enn 400 kJ. 0 – 100 m og 1210 – 1400 m har energiar lågare enn 200 kJ.

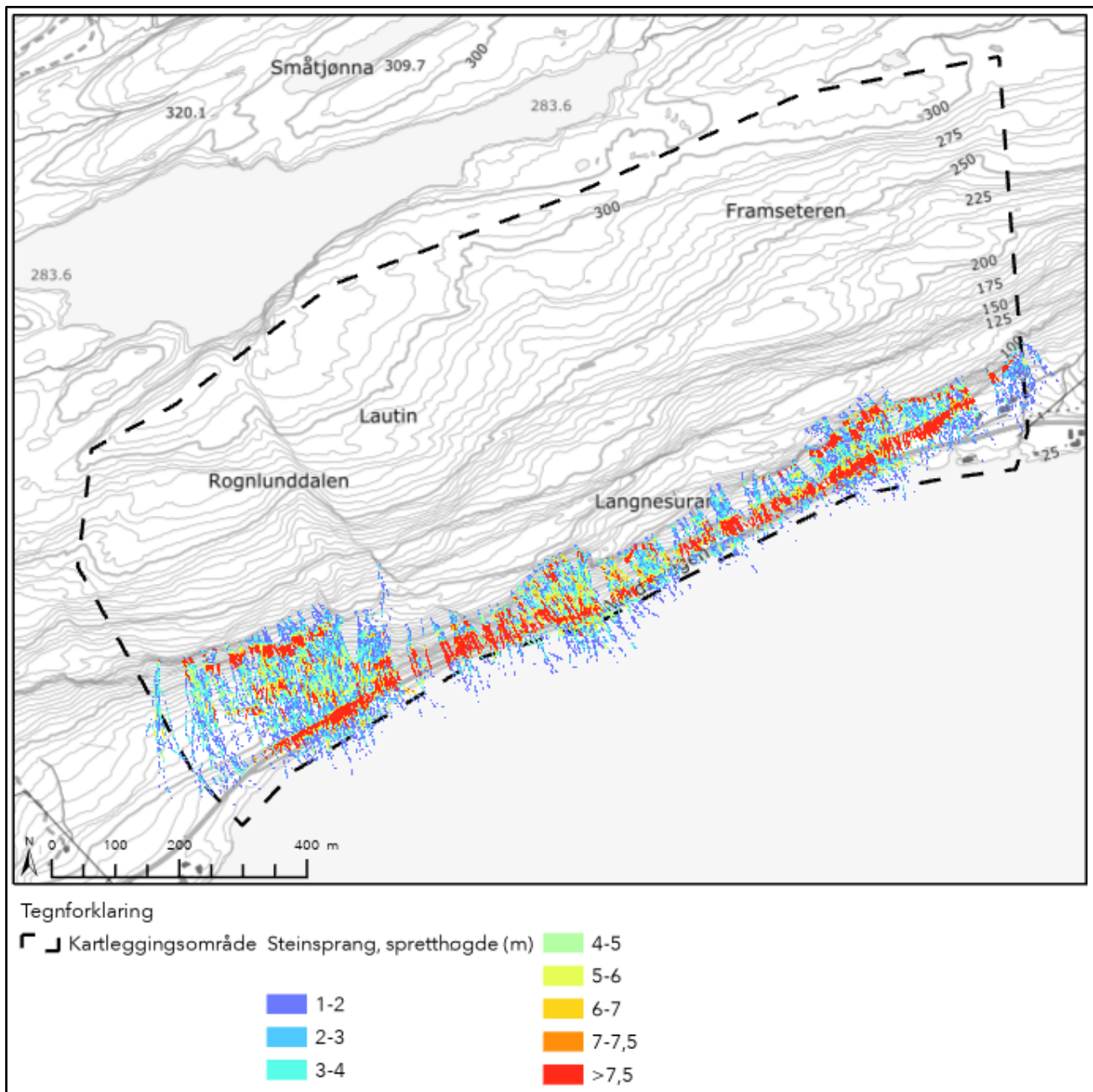


Figur 61: Energi til steinsprangblokker ut i frå modellering i RAMMS utan omsyn til skog.

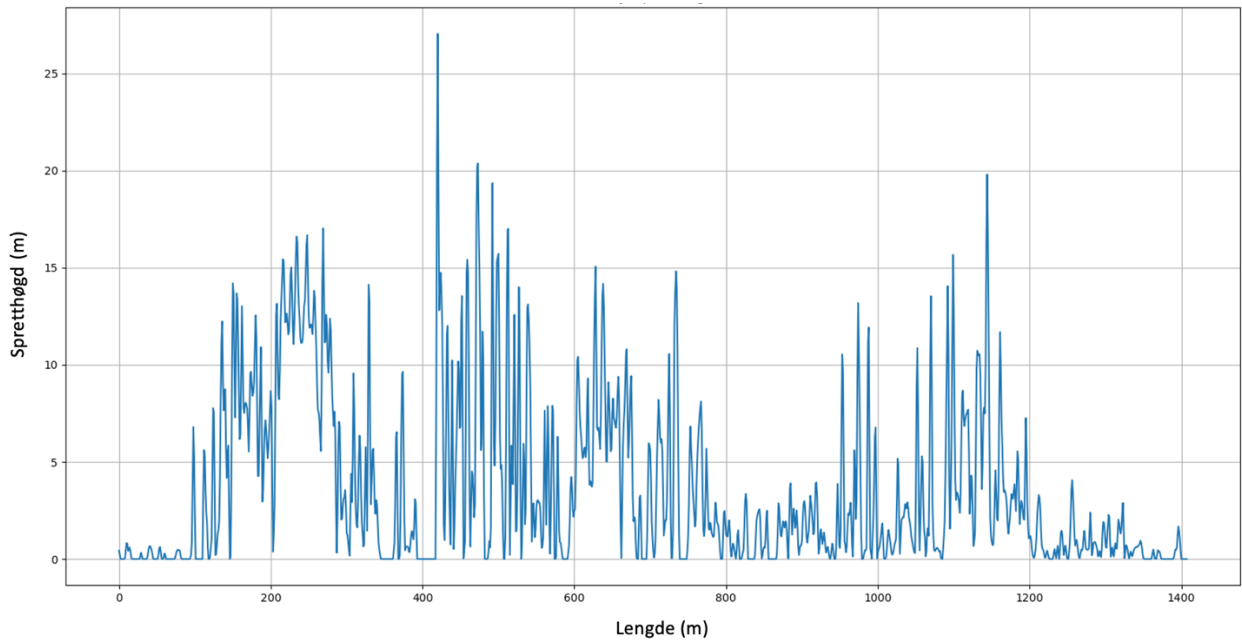


Figur 62: Energi til steinsprang langs E6 henta ut frå simulering i RAMMS::Rockfall utan skog. Energi i kJ langs y-aksen og avstand frå vestleg ende av kartleggingsområdet i meter langs x-aksen.

Spretthøgda til potensielle steinsprangblokker i modellar i RAMMS::rockfall utan skog er generelt opp mot 20 m. Dei høgste spretthøgdenene er hovudsakleg mellom 120 – 740 m og 950 – 1160 m, her er spretthøgdenene over 10 m. Mellom 0 – 100 m, 780 – 950 m og 1200 – 1400 m er spretthøgdenene under 4 m og mange stadar mykje lågare.

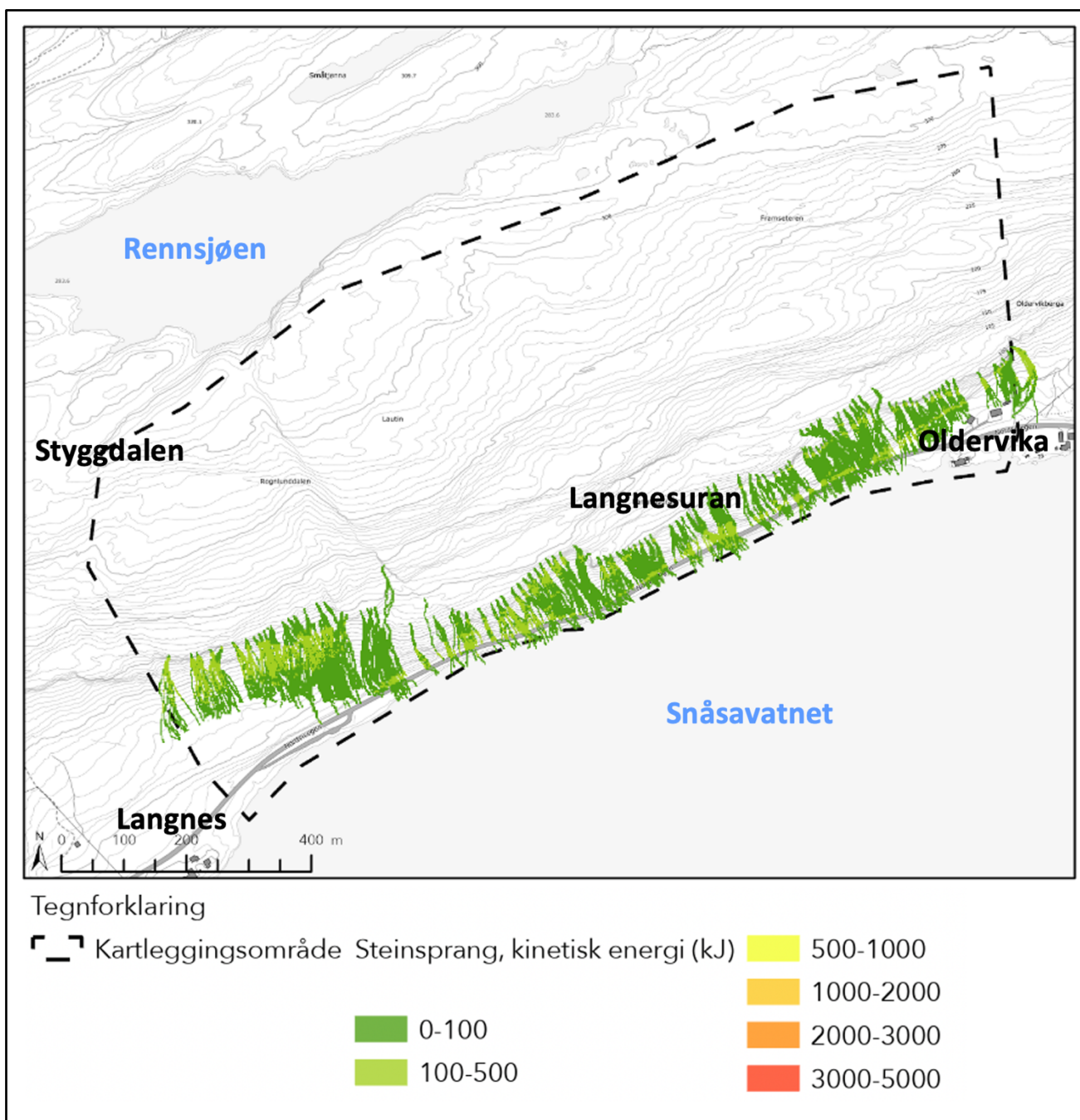


Figur 63: Spretthøgde til steinsprang i RAMMS utan omsyn til skog

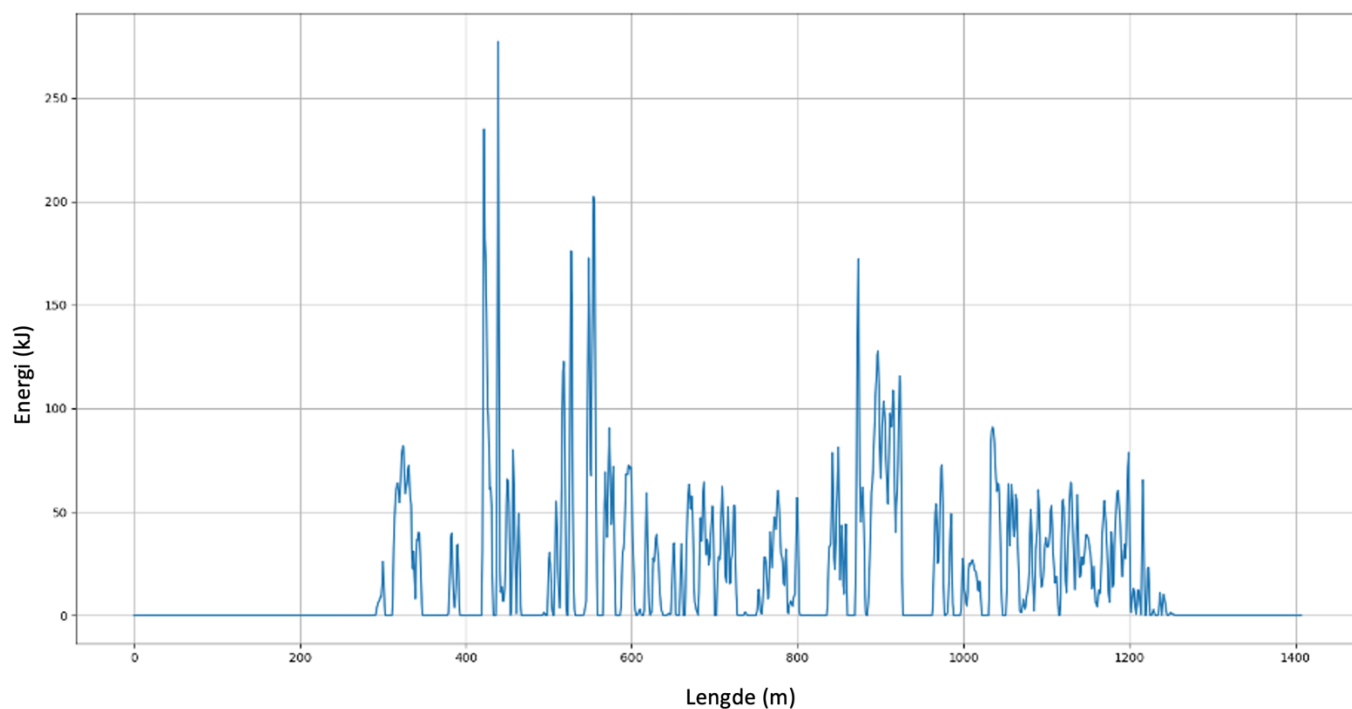


Figur 64: Spretthøgd til steinsprang langs E6 henta ut frå simulering i RAMMS::Rockfall utan skog. Spretthøgd i m langs y-aksen og avstand frå vestleg ende av kartleggingsområdet i meter langs x-aksen.

Modellar av steinsprang i RAMMS::Rockfall der skog er inkludert viser hovudsakleg energiar lågare enn 100 kJ (Figur 65 og Figur 66). Mellom 420 – 440 m, 500 – 550 m og 860 – 920 m er energiane over 100 kJ, heilt opp mot 300 kJ.

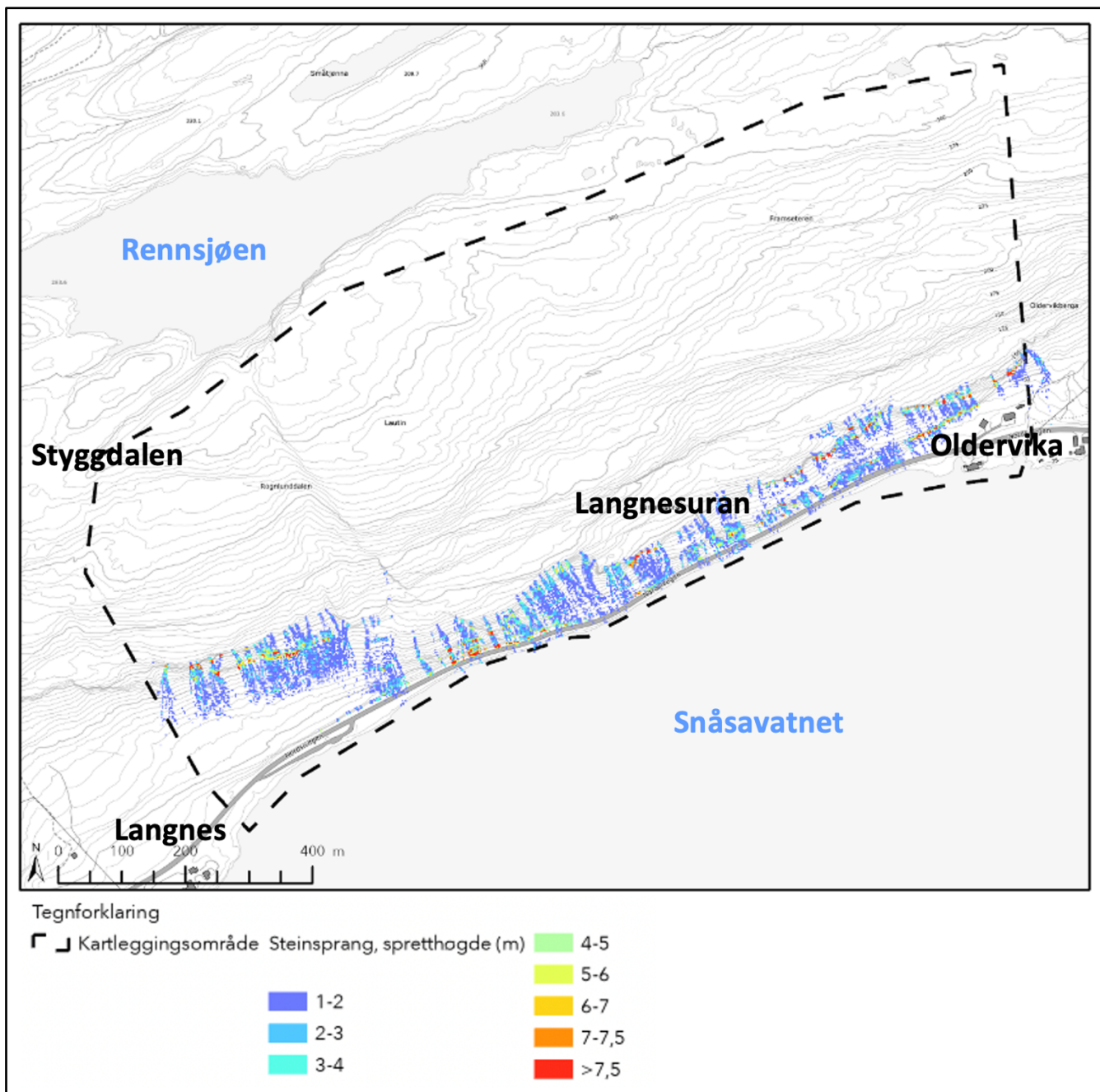


Figur 65: Energi til steinsprangblokker ut i frå modellering i RAMMS med omsyn til skog.

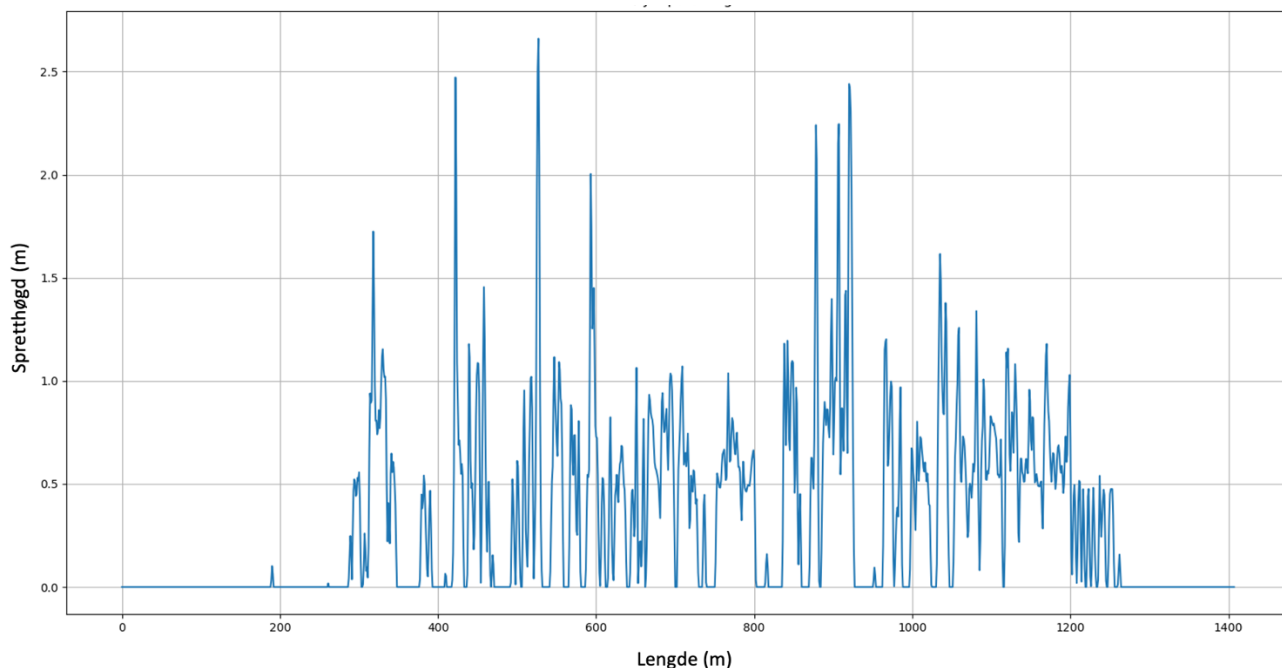


Figur 66: Energi til steinsprang langs E6 henta ut frå simulering i RAMMS::Rockfall med skog. Energi i kJ langs y-aksen og avstand frå vestleg ende av kartleggingsområdet i meter langs x-aksen.

Spretthøgda i RAMMS::Rockfall der skog er inkludert i simuleringa gjev spretthøgder lågare enn 3 meter i langs E6 i heile kartleggingsområdet (Figur 67 og Figur 68). Frå 0 – 280 m og 1260 – 1400 m er spretthøgda hovudsakleg 0 m.



Figur 67: Spretthøgd til steinsprangblokker ut i frå modellering i RAMMS med omsyn til skog.

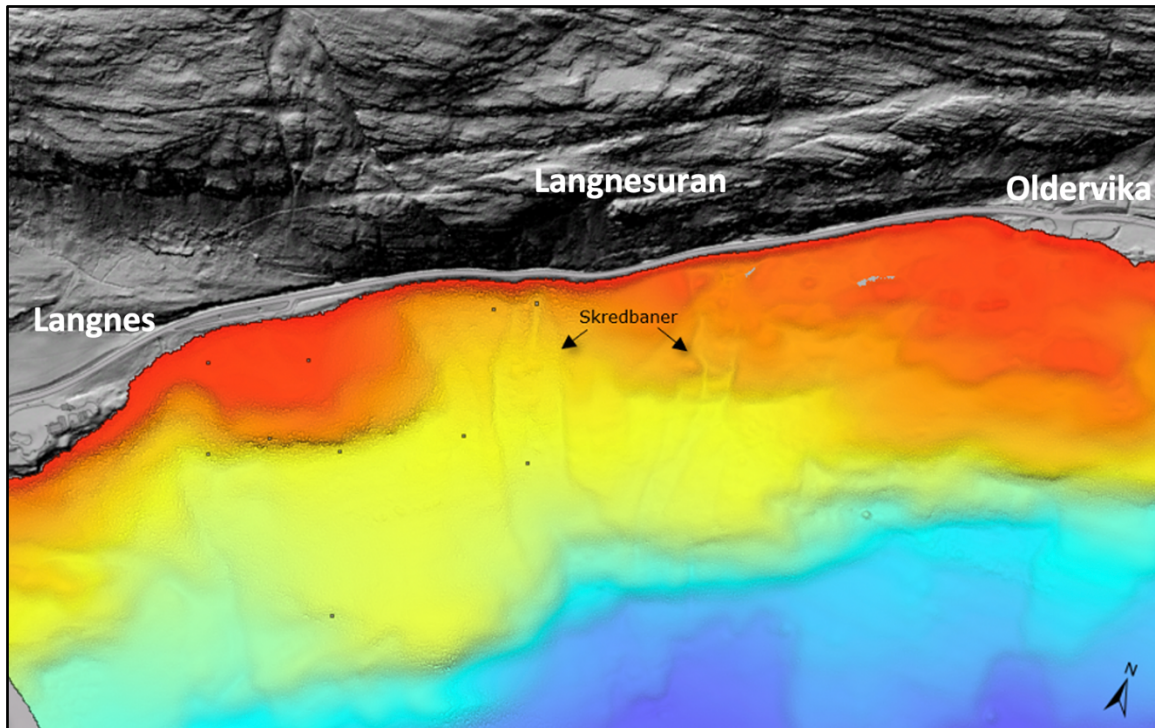


Figur 68: Spretthøgd til steinsprang langs E6 henta ut frå simulering i RAMMS::Rockfall med skog. Spretthøgd i m langs y-aksen og avstand frå vestleg ende av kartleggingsområdet i meter langs x-aksen.

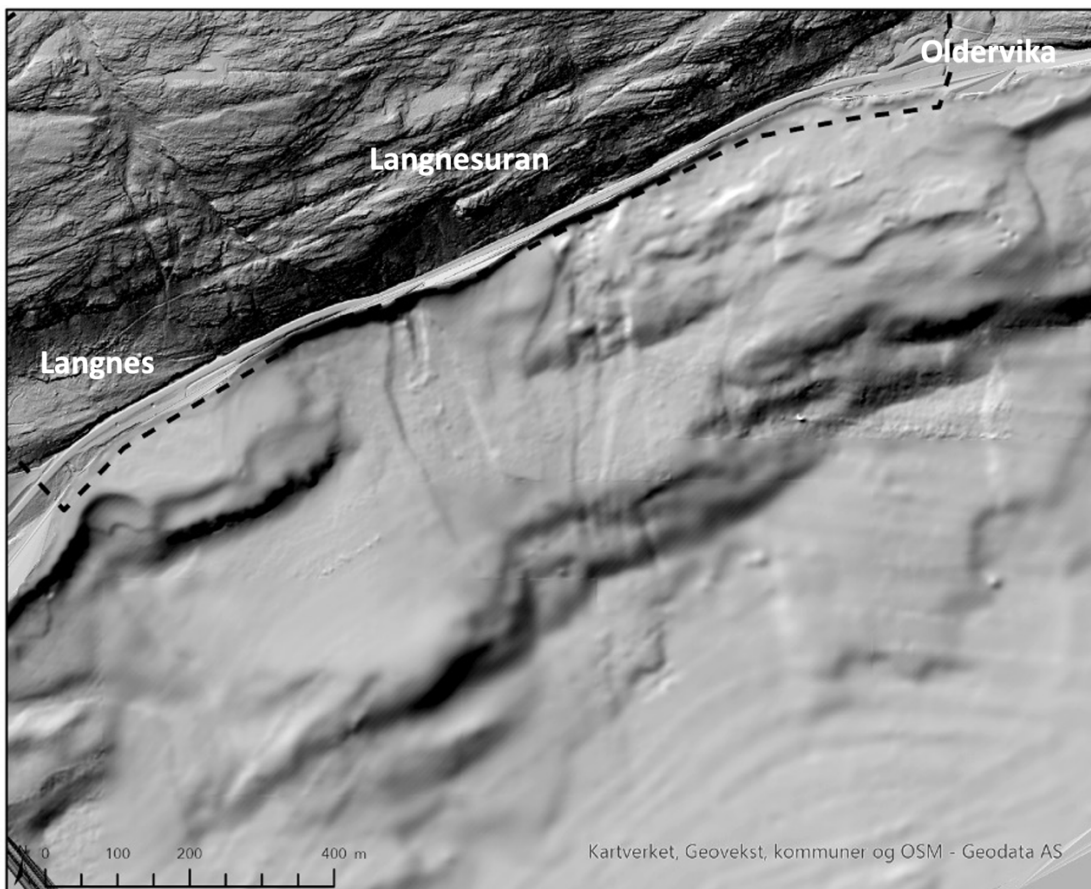
5.8 Batymetri

Batymetri frå 8 april 2022 er vist i Figur 69 og Figur 70. Generelt viser batymetrien nokre flater og mykje kantar ned i Snåsavatnet, spesielt eit parti aust for rasteplassen ved Langnes er det tydelege kantar like under vegfyllinga, i yttersvingen ca. 600 m inn i profilet er det mindre tydelege kantar. Vidare på strekka mot Oldervika er det tydeleg kant ned like ved vegfyllinga. Det er to godt synlege skredbaner på figuren, desse er i samband med tydelege kantar i skyggerelieffet. Skredbana lengst vest er tydelegast og har ei breidde på maksimalt ca. 110 m. Dette skredløpet samsvarar bra med skyggerelieff frå land, der det er tydeleg at noko av bergmassen manglar. Skredløpet lengst aust er mindre tydeleg, det er meir utglatta overgangar og dermed meir diffust. Skredløpet vert anslått å ha ei maksimal breidde på ca. 90 m.

Det er ikkje mogleg å sjå avsetningar av steinsprangblokker i samband med skredbanene. På sidene av skredbanene er det mogleg å identifisere terrasseformer.



Figur 69: Batymetri frå 8. april 2022 vist i 3D. Svarte piler viser to tydelege skredbaner i Snåsavatnet.



☐ Kartleggingsområde

Figur 70: Batymetri frå 8. april 2022 vist som skyggerelieff. To eldre skredløp kjem tydeleg fram.

6 Diskusjon

6.1 Losnemekanismer

6.1.1 Svakheitssoner

I kartleggingsområdet er det kartlagt svært mange svakheitssoner, totalt to ulike sett er observert i felt. I tillegg er det på skyggrelieff observert eitt sett med storskala strukturar som vert tolka som eit sett til. Dette er områder med svært dårleg bergmasse.

Oppsprekingsgraden i svakheitssonene skil seg frå resten av bergmassen, ved at dei har tettare oppsprekking og ofte svært låg Q-verdi (Tabell 13). Dette gjer at ein i nokre tilfelle kan samanlikne eigenskapane til bergmassen i mindre områder med eigenskapane til jordartar (Nielsen, 2016). Oppsprekkinga gjer at bergmassen i svakheitssonene har lågare stabilitet enn bergmassen elles i området.

Svake bergartar har låg trykkstyrke og raskare forvitring, noko som fører til at skjermotstanden mot utgliding vert låg i svakheitssonene. Desse sonene kan fungere som glideplan, massar ovanfor glir ut over. Svakheitssonene som har stor breidde kan gi større skredhendingar ved brot i sjølve sona. Smale soner kan også gi større skredhendingar dersom sonene ligg tett og bergmassen mellom er oppsprokken, då kan ei mindre utgliding i ei sone eller to soner forplante seg vidare i den dårlege bergmassen avhengig av uthaldet til strukturane.

Orienteringa til svakheitssonene varierer, ei oversikt over orienteringa til sprekkesetta og svakheitssonene er vist i Tabell 17. Eitt sett med gjennomsettande storskala svakheitssoner har orientering sørvest-nordøst. Dette er soner som kjem tydeleg fram på skyggerelieff, og som formar terrenget med berghyller og mindre vatn. Desse tydelege strukturane har same orientering som Hitra-Snåsa forkastinga og Verran forkastinga, som også har orientering sørvest-nordøst i området (Heim, 1997). Det er tydeleg at desse strukturane har stor innverknad på terrenget, sidan alle hamrelag ned mot E6 har orientering etter desse svakheitssonene. Svakheitssonene kan fungere som bakvegg/avgrensing for framtidige skredhendingar, sik dei har gjort i historiske hendingar. Dei andre setta med svakheitssoner går meir nord-sør, med strøk/fall 329/86 og 044/85. Sonene med strøk/fall 044/85 stemmer bra overeins med sekundærstrukturane i området, skildra av Heim (1997) i avsnitt 3.2.3.

Svakheitssona med strøk/fall 329/86 har tilnærma lik orientering som sprekkesett 1. Dette sprekkesettet følger orienteringa til svakheitssona, men omtrent identisk strøk og fall. Den identiske orienteringa tyder på at svakheitssonene og sprekkesettet har oppstått samtidig på grunn av dei same geologiske forholda (NGU, 2000). Det er ikkje nokon tydeleg samanheng mellom dei andre svakheitssonene og sprekkesetta.

Tabell 17: Sprekkesett og svakheitssoner definert ut i frå data frå Statens Vegvesen (SVV) og egne data.

	SVV SINE MÅLINGAR		EIGNE MÅLINGAR	
SPREKKESETT	Strøk	Fall	Strøk	Fall
1	342	89	333	85
2	252	27	243	37
3			069	57
SVAKHEITSSONER				
1			329	86
2			044	85
3			280	-

Regionalgeologien har stor påverknad på geologien i området, og dei storskala forkastingane kan vere årsaka til svakheitssoner og graden av oppsprekking i området. Nærheita til slike strukturar gjer at bergmassen er påverka og har lågare stabilitet. Orienteringa til svakheitssonene i området samsvarar med orienteringa til regionale strukturar vist i Figur 16.

6.1.2 Oppsprekking

Uthaldet til sprekkene er langt, det er mange gjennomsettande sprekker, i følge Nielsen (2016) påver dette stabiliteten i stor grad. Når sprekkene strekk seg over større område og det er lite bergkontakt mellom dei, er det færre krefter som motverkar utglidinga. Sidan ruheita på sprekkene også er låg, gjev det liten motstand mot utgliding. Skjerstyrken til glideplanet er låg i områda med gjennomsettande plane sprekker.

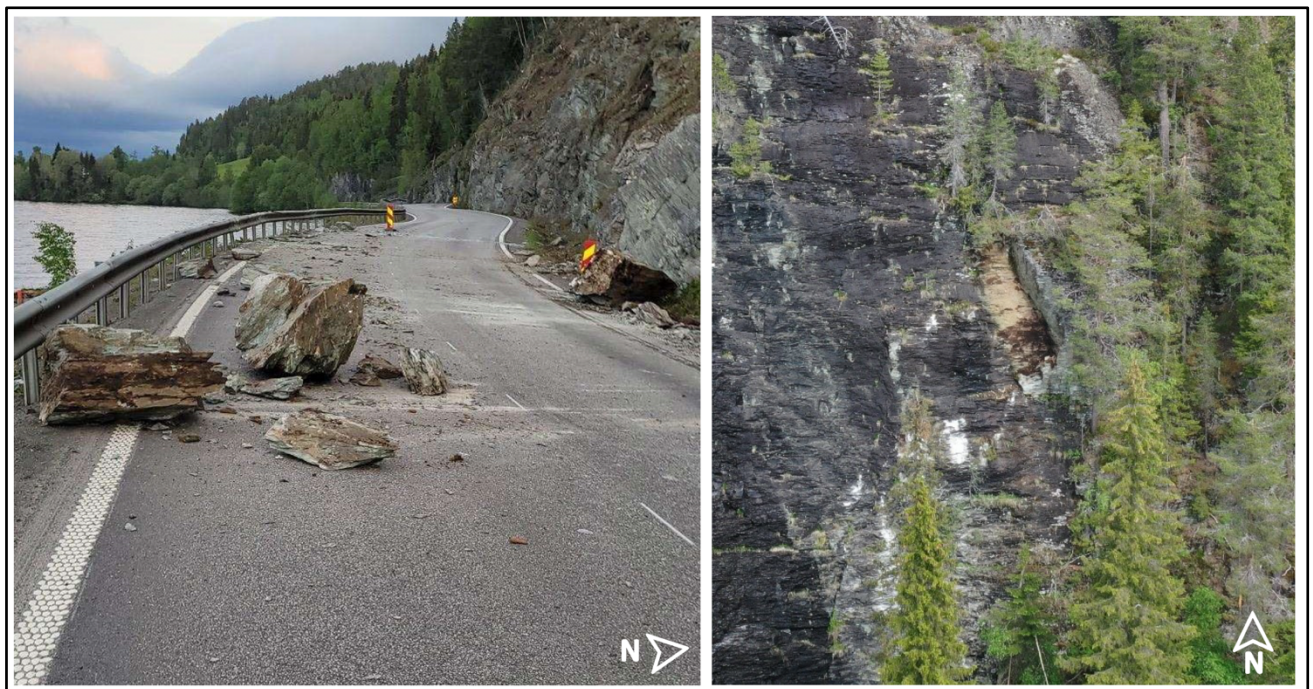
I svake bergartar er det låg trykkstyrke og raskare forvitring, noko som fører til at skjerstyrken mot utgliding vert låg (Domaas og Grimstad, 2014). Dette kan auke sannsynet for at det oppstår brot i områder med svakare bergmasse.

Den generelle oppsprekkinga er høg, med tett spreккеavstand, tre sprekkesett og fleire tilfeldige sprekker. Den tette oppsprekkinga og stor variasjon i orientering kan føre til at utfall kan skje langs fleire plan, ein er ikkje avhengig av eitt eller to plan som dannar ei kinematisk mogleg brotmekanisme. I svært oppsprokne områder kan bergmassen gå meir over til å stabilitetsmessig oppføre seg som jordartar. Ved komplekse utglidingar er det ut frå Nielsen (2016) vanlegvis utgliding langs det slakaste sprekkesettet, som i dette tilfellet er sprekkesett tre med strøk fall 69/57. Tilfeldige sprekker og variasjonar innanfor sprekkesetta kan gi andre utglidingsplan som vert slakare.

Brot langs fleire samansette plan kan gi større skredhendingar slik som steinskredet 13. mars 2022, omtala i kapittel 3.5.1. Det er mest truleg at slike større hendingar kjem av ei slik brotmekansime, sidan oppsprekkinga i området generelt er svært høg og orienteringa til ulike sprekker varierer noko. Ved større losneområde har ein dermed ofte fleire ulike sprekkesett og tilfeldige sprekker som medverkar. Ut i frå observasjonar i felt og fotografi av steinskredet i avsnitt 3.5.1 avheng utglidinga si orientering i hovudsak av sprekkesett tre si orientering.

Observasjonar i felt viser også at det kan vere kompakte bergmassar som kan gli ut på grunn av brot i svært oppsprokke svake bergmassar rundt. Også i desse tilfella kan det vere aktuelt med brotmekansimar som inkluderer fleire plan, då hovudsakleg i den svake bergmassen

Mindre steinspranghendingar er meir aktuelt ut i frå enkeltsprekker og vanlege brotmekansimar. I område der bergmassen er svært oppsprokken vil dette ofte berre gi mindre blokkutfall. Der bergmassen er mindre oppsprokken kan dei vanlege brotmekansimane gi større hendingar, ved at ei eller eit fåtals store blokker fell ut som steinsprang. Eit eksempel på dette er ei steinspranghending natt til 03.06.2022, vist i Figur 71 (Jakobsen, 2022b). Bergmassen rundt losneområdet er generelt lite oppsprokken. Den avløyste blokka har glidd ut langs eitt glideplan, med ei sidevegs avgrensing av ei sprekk tilnærma vinkelrett på glideplanet. Orienteringa til glideplanet i hendinga samsvarar med sprekkesett tre, og den sidevegs avgrensinga samsvarar med sprekkesett ein (Tabell 17 i Avsnitt 6.1.1).



Figur 71: Bilete frå steinsprang juni 2022. Venstre: Nedfall på vegen. Høgre: Losneområde med lys brun farge. Ørvig berg rundt losneområdet står fram som lite oppsprokke. Bileta er henta frå Jakobsen (2022b)

Den generelt svært oppsprukne bergmassen i området gjer brotmekansimane komplekse, og det kan oppstå skred i områder ein ikkje forventar. Ein kan gå ut i frå at områda som er svært oppsprukne og har terrenghelling bratt nok til å vere ustabile kan generere skred. I tillegg er det fleire område der det er kinematisk mogleg med utglidingar, eller der ein ser tydelege glideplan eller moglegheit for utvelting. Summen av dette er at det er moglege brotmekansimar langsmed heile den undersøkte strekninga. Det er derfor viktig å kombinere kunnskapen om oppsprekking og moglege brotmekansimar med anna informasjon frå området slik som tidlegare hendingar og lengda på eventuelle utløp.

6.1.3 Kinematisk analyse av felldata

Prosessering av Statens Vegvesen sine sprekkemålingar i programvara Dips viser to sprekkesett. Det store talet sprekkemålingar gjer desse dataa svært gode, men ulempa er at det kan vere sprekkesett som forsvinn i mengda. Dette avheng av mengda målingar gjort av kvart sprekkesett under feltarbeidet. Det kan vere nokre sett som er meir eksponert enn andre, og som kan vere lettare å ta målingar av. Dersom ein tek svært mange målingar utan å ta omsyn til ei jamn fordeling av målingar frå dei ulike setta kan ein få ei overvekt av målingar frå nokon sprekkesett (Marrett og Allmendinger, 1990). Dette kan gjere at «countur plot» av polane i Dips ikkje oppdagar det tredje settet. Alle sprekkemålingane er likevel registrert i Dips, vert nytta under analyse av moglege utglidingstypar.

Sprekkedata samla inn av Statens Vegvesen kan ut i frå kinematisk analyse i Dips gi planutgliding, kileutgliding, bøyeleg utvelting og blokkutvelting. Dette viser at sjølv om sprekkesetta som er definert ut i frå polplottet ikkje vil gi alle brotmekanismane aleine, er det mogleg sett i samanheng med andre sprekkplan målt i området. Ut i frå sprekkesetta definert er utvelting den mest aktuelle situasjonen, der utveltinga skjer langs sprekkesett to, og sprekkesett ein avgrensar. Likevel er sprekkesett to noko slakt til å gi utvelting, men variasjonar innafor sprekkesettet kan gi moglegheiter for utvelting.

Sprekkemålingane gjort under feltarbeidet til denne oppgåva består berre av 67 målingar. Dette gjer at det vert knytt store usikkerheiter til målingane og sprekkesetta definert ut i frå målingane. Variasjonar innan sprekkesetta kan få store konsekvensar, og ei feilmåling kan påverke resultatata i stor grad. Dette gjer resultatata frå desse målingane meir usikre, og orienteringa til sprekkesetta definert ut i frå desse data har større feilmargen enn sprekkesetta ut i frå dataa til Statens Vegvesen.

Eigne sprekkemålingar viser derimot tre sprekkesett, noko som gjer at ein får fram alle sprekkesetta observert under feltarbeidet. Derfor er det stor verdi i desse dataa. Det tredje sprekkesettet er målt til å ha strøk ca. 69° og fall ca. 57° . Ei oversikt over alle sprekkesetta diskutert er vist i Tabell 17. Ut i frå sprekkesettet oppdaga i eigne data vert det meir forståeleg at planutgliding og kileutgliding er mogleg. Dette tredje settet heller i omtrent same retning som vegskjeringa med ei slakare helling. I tillegg kryssar det plan ein og dannar kileutgliding. Plan ein fungera i tillegg både som avgrensing for planutgliding langs plan tre og som avgrensing ved utvelting langs plan to.

Begge innsamla datasett viser eit sprekkesett som kan gi utvelting, og eit avgrensande sprekkesett. Strøk på sprekkesett ein er 342° og fall 89° ut i frå Statens Vegvesen sine data, og strøk 333° og fall 85° ut i frå eigne innsamla data. Dette er tolka å vere same sett, då eigne innsamla data kan vere påverka av eit lite tal målingar. Variasjon mellom datasetta har ikkje stor innverknad på brotmekanismane som er mogleg ut i frå dette sprekkesettet. Dette datasettet vil uansett fungere som ei avgrensing

Sprekkesett to har strøk 252° og fall 27° ut i frå Statens Vegvesen sitt datasett, og strøk 242° og fall 37° ut i frå eige innsamla datasett. Variasjon i strøk er ikkje avgjerande, men variasjon i fall kan påverke moglegheita for utvelting. Ingen av datasetta har dette sprekkesettet steilt nok til å fungere godt som eit sprekkesett for utvelting. Men ut i frå analysane skal enten steile sprekker frå dette sprekkesettet eller andre tilfeldige sprekker gi stor moglegheit for utvelting.

Den største forskjellen på kinematisk analyse av egne sprekkedata og Statens Vegvesen sine sprekkedata er moglegheita for planutgliding. Statens Vegvesen sine målingar viser at 2,6% av plana er kritiske, og kan gi planutgliding. Eigne innsamla data viser derimot at 16,4% av plana er kritiske for planutgliding. Dette viser at ein jamnare fordeling av sprekkemålingane får tydelegare fram moglegheita for planutgliding. Sprekkesett tre er like framtrudande i området som sprekkesett ein og to, og moglegheita for planutgliding er absolutt til stade.

Dette tredje sprekkesettet påverkar også moglegheita for kileutgliding. Det kjem fram av at Statens Vegvesen sine data viser at 21,4% av skjeringslinjene er kritiske skjeringslinjer som kan gi kileutgliding, medan egne data gjev 35,2% skjeringslinjer som kan gi kileutgliding. Kileutgliding er dermed svært sannsynleg ut i frå begge dei kinematiske analysane.

Sannsynet for bøyeleg utvelting er også større ut i frå egne innsamla data. Statens Vegvesen sine data viser at 5,6% av plana er kritiske plan, medan egne innsamla data viser at 14,9% av plana er kritiske. Årsaka til dette kan vere tal sprekkemålingar, som gjer at det i egne data er ei overvekt av målingar som gjev moglegheit for bøyeleg utvelting, medan dette er mindre aktuelt dersom ein tek fleire målingar då det kan vere store variasjonar.

Skrå blokkutvelting er lite aktuelt ut i frå begge datasetta. Statens Vegvesen sitt datasett viser at 7,1% av skjeringslinjene er kritiske og kan gi skrå blokkutvelting, medan egne data viser at 0,9% av skjeringslinjene er kritiske. Denne variasjonen kan også vere på grunn av tal sprekkemålingar, der ein liten variasjon i egne målingar har stor innverknad.

Direkte blokkutvelting er svært aktuelt i begge datasetta. Statens Vegvesen sitt datasett viser at 26,1% av skjeringslinjene er kritiske skjeringslinjer som kan gi direkte blokkutvelting. Ut i frå dette datasettet er dette den mest aktuelle brotmekansimen. Eigne innsamla datasett viser at 26,6% av skjeringslinjene er kritiske for direkte blokkutvelting. Dette er omtrent likt sannsyn for direkte blokkutvelting, og den brotmekansimen der analysane stemmer best overeins.

6.1.4 Kinematisk analyse av høgdedata

Som i den kinematiske analysen ut frå feltdata viser også kinematisk analyse ved bruk av høgdedata at planutgliding, kileutgliding og utvelting er potensielle losnemekansimar i skråninga. Kileutgliding er ut ifrå programvara den mest aktuelle losnemekansimen. Dette stemmer bra overeins med resultatata i den kinematiske analysen av feltdata. Utvelting er svært lite aktuelt ut i frå høgdedata, sidan programvara truleg slit med å oppdage sprekker som favoriserer utvelting. Desse sprekkene vert truleg liggande i skuggen ved produksjon av digitale terrengmodellar frå lufta rett ovanfor. Kinematisk analyse av feltdata ved bruk av Dips er meir spesifikk, og deler utvelting inn i fleire ulike utveltingsmekanismar, medan kinematisk analyse av høgdedata ved bruk av StnParabel berre tek føre seg utvelting som ein losnemekanisme.

Kinematisk analyse av høgdedata ved bruk av StnParabel tek omsyn til endringar i terrenget langs strekninga (Noël, 2021). Ved å legge inn ein digital terrengmodell og utføre kinematiske analysar på det faktiske terrenget slepp ein å generalisere terrenget på same måte som ved kinematisk analyse av feltdata i Dips. I programvara Dips vert terrenget skildra av eitt plan, og variasjonane langs strekninga kjem ikkje fram i analysen på same måte. Spesielt langs ei lengre strekning forenkler kinematisk analyse av høgdedata lokaliseringa av potensielle losneområder. Områda som har potensiale for å gi brot ut i frå kinematiske analysar vert markert direkte på terrengmodellen. På denne måten kan ein raskt lokalisere teoretisk moglege losneområder og eventuelt undersøke desse områda nærare i felt, for å bekrefte eller avkrefte at strukturane er tilstades i det aktuelle området. Det er ikkje gjort feltarbeid etter analysane ut i frå høgdedata i denne oppgåva, men strukturane i bergmassen var generelt tilstades langs heile strekninga.

Ulempa med kinematisk analyse i programvara StnParabel er at programvara tek utgangspunkt i gjennomsnittsmålingane av sprekkesetta i området, og dermed ikkje får med variasjon i orienteringa til sprekkene på same måte som ved kinematisk analyse i programvara Dips, der alle sprekkemålingar vert inkludert i analysane. Dette er ein faktor som kan påverke resultatane, spesielt i områder der det er stor variasjon innanfor dei ulike sprekkesetta.

Ein kombinasjon av kinematisk analyse ved bruk av høgdedata (StnParabel) og feltdata (Dips) gjev ei god og variert skildring av sprekkesystem og moglege brotmekanismar i området. Ved å presentere resultatane i begge programvarene får ein fram variasjon i sprekkesetta i Dips, samtidig som ein får inkludert variasjon i terrenget i StnParabel. Dersom ein vidare ynskjer å sjå på moglege utløp frå losneområda er dette også enkelt å gjennomføre i StnParabel. Ein kombinasjon av programvarene gir dermed svært mykje teoretisk informasjon om losnemekanismar og utløp.

StnParabel skil utløp frå ulike losnemekansimar frå kvarandre, det gjer at ein kan velje å fokusere på utløp frå den losnemekanismen ein trur er mest aktuell i området. Dette er spesielt aktuelt i område der ein ser at dei fleste tidlegare skredhendingane har ein bestemt losnemekanisme. Svakheita til programmet er at det ikkje tek omsyn til at losnemekansimen kan vere ei samansetning av ulike plan og losnemekansimar. Dette har vore tilfellet under fleire av dei større tidlegare skredhendingane i kartleggingsområdet, slik som under steinskredet 13. mars 2022. StnParabel fungera derfor godt til å sortere ut losneområde der losnemekansimane er enkle og bergmassen ikkje er svært oppsprokken, men kan ha svakheiter i område der bergmassen er svært oppsprokken og losnemekansimane er meir komplekse.

6.1.5 Klima

Årsnedbør med ein aukande trend (Figur 17) og klimaendringar som fører til at ein forventar fleire episodar med nedbør med kraftig intensitet og førekomst gjer at det i framtida vert meir vatn i fjellsida. Dette påverkar stabiliteten til skråninga negativt, i form av auka vasstrykk. Når vatnet trenger inn i sprekkene i området kan det bygge seg opp eit trykk som pressar bergmassen utover (Loew *et al.*, 2022). Likevel er bergmassen svært oppsprokken i området og trykket kan verte noko lågare enn i ein mindre oppsprokken bergmasse, sidan vatnet truleg har fleire vegar å strøyme i ein meir oppsprokken bergmasse. Samla sett vil uansett auka vassmengd auke trykket vatnet utfører på bergmassen.

Den auka vassmengda kjem også til å auke erosjon, den kjemiske forvitringa og vekta til massane. Vatn som strøymer kan erodere bort massar som støttar oppunder bergmassen eller ei enkeltstående blokk. Ved større mengder vatn vert erosjonen kraftigare, og ein kan truleg forvente at erosjon i samband med mindre dreneringsvegar vil føre til lågare stabilitet i skråninga i området. Når massane får tilført større mengder vatn vert vekta til massane auka, den auka vekta aukar dei mobiliserande kreftene. Det er derfor forventat at dei stabiliserande faktorane vert svekka, medan dei mobiliserande kreftene aukar (Loew *et al.*, 2022). Dette vil truleg føre til fleire skredhendingar i området i framtida.

Om våren og hausten svingar temperaturen rundt frysepunktet, 0° (Figur 17), dette gjer at vatnet i bergmassen fryser til is og tinar att fleire gonger. Dette kan gi omfattande frostsprenging (Lutgens og Tarbuck, 2015). Ein ser at svært mange av skreda som har gått tidlegare har gått på vår og haust (Tabell 2). Dette kan også verte påverka av andre faktorar som auka nedbør og snøsmelting. Uavhengig av direkte årsak ser ein ei auke i steinsprangaktiviteten under tine- og fryseprosessar og auka vassmengd i skråninga.

Vindrosene frå Langnesfjellet (Figur 18) viser mange dagar med sterk vind frå vest og nordvest. Vindstyrke opp i 14-17,6 m/s har potensiale til å påverke området kraftig. Retninga vinden kjem frå gjer at nokre områder kan vere delvis i le. Sterk vind kan føre til mindre rystingar i bakken, spesielt sidan område hovudsakleg er dekkja av skog. Når trea vaiar i vinden påverkar røtene massane dei står i. I kartleggingsområdet står trea i urar og gjerne midt i bergskjeringar. Mindre rørsler frå vind i trea kan dermed vere nok til å gi skredhendingar (Nielsen, 2016). Under feltarbeidet vart det observert fleire rotvelter (Figur 33), desse kan mellom anna kome av sterk vind. Rotveltene har i tillegg til å generere vibrasjonar i bakken potensiale til å rive ut eller remobilisere blokker. Feltarbeidet avdekkja fleire stadar der rotvelter hadde remobilisert mindre blokker.

6.2 Skredutløp

6.2.1 Tidlegare hendingar

Registrerte hendingar langs strekninga er hovudsakleg mindre nedfall, der ei eller eit fåtal mindre blokker fell ned i grøft eller på vegskulder, og vegen ikkje vert stengt (Tabell 2). Likevel er det også nokon få større hendingar, som steinskredhendinga 13. mars 2022 nemnd i avsnitt 3.5.1. I tillegg viser batymetriske data at det kan ha vore større hendingar som har tydelege skredbaner i innsjøen (Figur 69). Dette viser at det kan vere stor variasjon i skredhendiane i området. Likevel er det mest frekvente mindre steinspranghendingar. Tidlegare registreringar viser at det har vore fleire nedfall med totalt volum $< 10 \text{ m}^3$ og $< 100 \text{ m}^3$. Desse registreringane er lagt inn ved hjelp av ferdige inndelte klassar, og det kan sjå ut som om inndelingane i mindre klassar har vorte tatt i bruk dei seinare åra. Det er derfor truleg fleire av registreringane $< 100 \text{ m}^3$ som kan vere $< 10 \text{ m}^3$ og $< 1 \text{ m}^3$.

Batymetriske undersøkingar viser tydeleg to større skredbaner, og det er ikkje mogleg å sjå teikn til blokker på kartlegginga. Terrasseformene på sidene av skredbanene kan vere marine leireavsetningar, dermed kan det vere kvikkleire i området. Dette gjer at skredbanene observert på dei batymetriske dataa ikkje treng å vere frå store skredhendingar frå berget over E6. Skredbanene kan vere eit resultat av at mindre steinsprangblokker har treft sjøbotnen og utløyst eit sekundærskred i ustabil kvikkleire. Det kan vere sår frå slike lausmasseskred som er observert på dei batymetriske dataa.

Noko som forsterkar denne teorien er mangelen på observerte blokker i dei batymetriske dataa. Mangelen på store blokker kan også vere eit resultat av at eit stort steinskred frå over E6 kan ha gått lengre ut enn dei batymetriske målingane er utført, og dermed er ikkje blokkene synlege. På grunn av dei marine avsetningane er det derfor vanskeleg å fastslå størrelsen på skredmassane som har losna over E6 ut i frå skredbanene observert i Snåsavatnet.

Langs strekninga har veggrøfta på oppsida av E6, mot skjeringa, god breidde dei fleste stadar. Den nedre skjeringa er generelt låg, og grøfta er brei. Det er derfor forventat at mykje av blokkene som har låg starthøgde, og dermed energi og spretthøgde ikkje får utløp ut i vegbana. Under feltarbeidet vart det observert fleire blokker i grøfta, noko som i tillegg til tidlegare registreringar underbygger tanken om at mindre blokker med låg starthøgde, energi og spretthøgde ikkje vil ha utløp ut i vegbana. Blokker med høgare starthøgde og dermed høgare energi og spretthøgde kan ha potensiale til å sprette over grøfta og ut i vegbana. I tillegg vil større skredhendingar, slik som steinskredet 13. mars 2022 og steinskred mars 2020 (Figur 72), fyller opp grøfta og bevege seg vidare ut i vegbana. Figur 72 viser korleis grøfta vert fylt opp av massar og at dei resterande massane går over og ut i vegen, sjølv om starthøgda til massane er låg. Skredet vist i Figur 72 hendte på eit punkt der grøfta er smalare enn fleire andre stadar langs strekninga, dersom grøfta hadde vore breiare hadde det vorte mindre skredmassar i vegbana.



Figur 72: Skredhending mars 2020 viser korleis grøfta vert fylt opp og skredmassane går ut i E6. dersom det er større mengder med skredmassar. Foto er tatt mot aust av Jakobsen (2020).

Skredhendingar er registrert langs heile strekninga, men det er ei strekning som har høgare frekvens og fleire registrerte hendingar enn resten av området (sjå Figur 19). Det same området utpeikar seg som særleg aktivt i modelleringane frå Rockyfor3D, men ikkje like tydeleg i RAMMS og StnParabel. Plasseringane til skredhendingane i NVE-atlas kan også vere noko tilfeldig, då Statens Vegvesen ofte registrera hendingane langs ei strekning, medan NVE-atlas presentera dei som punktdata. Skredhendingane kan dermed vere noko feilplassert, og ei direkte samanlikning vert vanskeleg. Det er likevel tydeleg at det er høgare skredaktivitet langs eit parti der terrenget er svært bratt på oppsida.

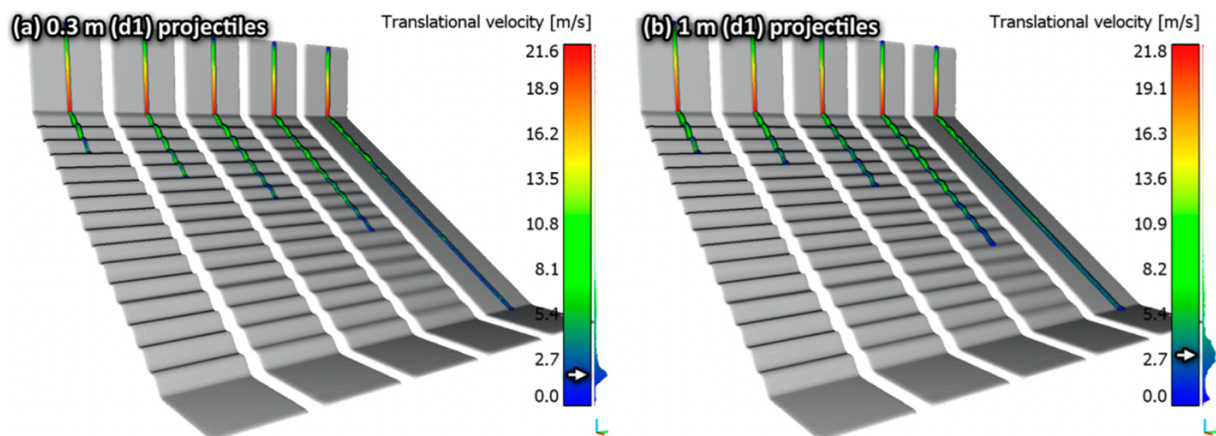
Under feltarbeidet vart det observert at store delar av terrenget på oppsida av E6, som ikkje er bergskrentar, består av mosekleddede urmassar. Ur er tydeleg teikn på at steinsprang og steinskred er aktuelle prosessar i området, men det tjukke heildekkande mosedekket er eit teikn på at urmassane ikkje er ferske (Turner og Schuster, 2012). Mosekleddede urmassar kan vere eit teikn på høgare aktivitet tidlegare. Det kan også vise noko om utløp, men sidan den mest skredutsette strekninga ligg rett ved innsjøen vil utløp som har gått over vegen vere vanskeleg å kartlegge, med mindre det har vore store skred som lagar skredsår. Det er derfor vanskeleg å seie noko om historiske utløp og hyppigheit langs denne strekninga. Historiske data som er samla inn er berre samla inn over dei siste åra, hovudsakleg sidan 2006.

Det er tydeleg at registreringane ved E6 som ligg inne i NVE-atlas er lagt inn ved hjelp av eit skjema med førehandsvalde valalternativ. Denne generaliseringa gjer det er vanskeleg å skilje dei ulike hendingane, og dei fleste hamnar i same kategori. Antatt losnehøgde har vanlegvis vore 0-50 m og antatt skredvolum på veg er enten $< 1\text{ m}^3$ eller $< 10\text{ m}^3$. Dette, i tillegg til den unøyaktige plasseringa gjer det vanskeleg å hente ut detaljert informasjon om dei registrerte skredhendingane. Likevel gjev registreringane nyttig informasjon om frekvens og omtrentleg størrelse på nedfalla. Auken i tal registreringar dei siste åra kan vere eit resultat av auka nedfall, men det kan også vere eit resultat av auka fokus på strekninga og at alle nedfall vert registrert uavhengig av størrelse. Tidlegare registreringar har generelt høgare inndeling på volum, noko som kan tyde på at mindre hendingar ikkje vart registrert. Dei siste åra har små blokker som fell ned på vegskulder eller grøft vorte registrert. Auken i registrerte skredhendingar treng derfor ikkje vere synonymt med auka skredhendingar, men heller eit resultat av at eit større tal nedfall vert registrert.

6.2.2 Samanlikning av modelleringsresultat for utløp

Modelleringsresultata i programvara StnParabel er vist som hastigheit, og kan dermed ikkje samanliknast direkte med resultata i programvarene RAMMS::Rockfall og Rockyfor3D. Utløpslengd og korleis blokker spreier seg nedover fjellsida er likevel samanliknbart, derfor er utløpslengd og korleis utløpa breier seg nedover som er vurdert ut av resultata i StnParabel. Modelleringane går ikkje i same detalj på terrengparameterar i StnParabel som modelleringane i Rockyfor3D og RAMMS, men losneområda er betre teoretisk argumentert for. Mindre losneområder som ikkje vert oppdaga under den manuelle kartlegginga og utveljinga av losneområder, kan verte inkludert her. Samtidig kan områder som skil seg frå den typiske geologien i området, eller som har samansette losnemekanismar berre verte oppdaga under den manuelle utveljinga.

Utløp av blokker i StnParabel, med volum 1 m^3 , frå skrentar over ca. 150 moh. ser ut til å bremse opp på eit flatare parti ved ca. 150 moh., og mesteparten av utløpa frå høge skrentar når ikkje E6. Dette viser at det flatare partiet ved ca. 150 moh. bremisar eventuelle utløp ovanfrå, og at det dermed er steinsprang frå skrentar lågare enn 150 moh. som har størst potensiale til å nå E6. Flatare parti, og stor ruheit kan bremse og stoppe blokker avhengig av blokkstørrelse og hastigheit (Figur 73). Svært store skredhendingar, som ikkje er modellert, kan gå over det flate området. Lange utløp er mest aktuelt i områda der det er mindre ruheit. Dei manuelt utvalde losneområda i RAMMS og Rockyfor3D ligg i hovudsak på nedsida av dette flatare partiet.



Figur 73: Senterlinja til simulerte steinsprangutløp til blokker med ulik størrelse. Hastigheita til blokkene, vist med farge, aukar med auka blokkstorleik. Utløpslengda avheng av hastigheita og ruheita til terrenget (Noël et al., 2021).

Hastigheita er vist i figurane for StnParabel sjå korleis blokker bremisar og aukar hastigheit, noko som gjev ei forståing av blokkene si ferd nedover skråninga. Hastigheita til blokkene er ikkje vurdert noko vidare ut i frå det. Ein ser at blokker bremisar ved flatare område av ein viss størrelse, og akselerer ved bratte skrentar. Ingen av blokkene er i nærleiken av å bremse nok opp til å stoppe nedanfor det flate området ved ca. 150 moh. før dei når E6.

Modelleringsresultata i StnParabel, med blokkstorleik på 1 m^3 , viser at skredhendingar som går ned til E6 er aktuelt langs heile den undersøkte strekninga. Kileutgliding er den losnemekanismen som gir utløp over mesteparten av den undersøkte vegstrekninga, men planutgliding og utvelting gjev også utløp som kan nå vegen fleire stadar. Det undersøkte området i StnParabel er noko mindre enn sjølve kartleggingsområdet, og fokuset er på det midtarste området der terrenghellinga er brattast og ein dermed forventar størst påverknad på E6 frå nedfall.

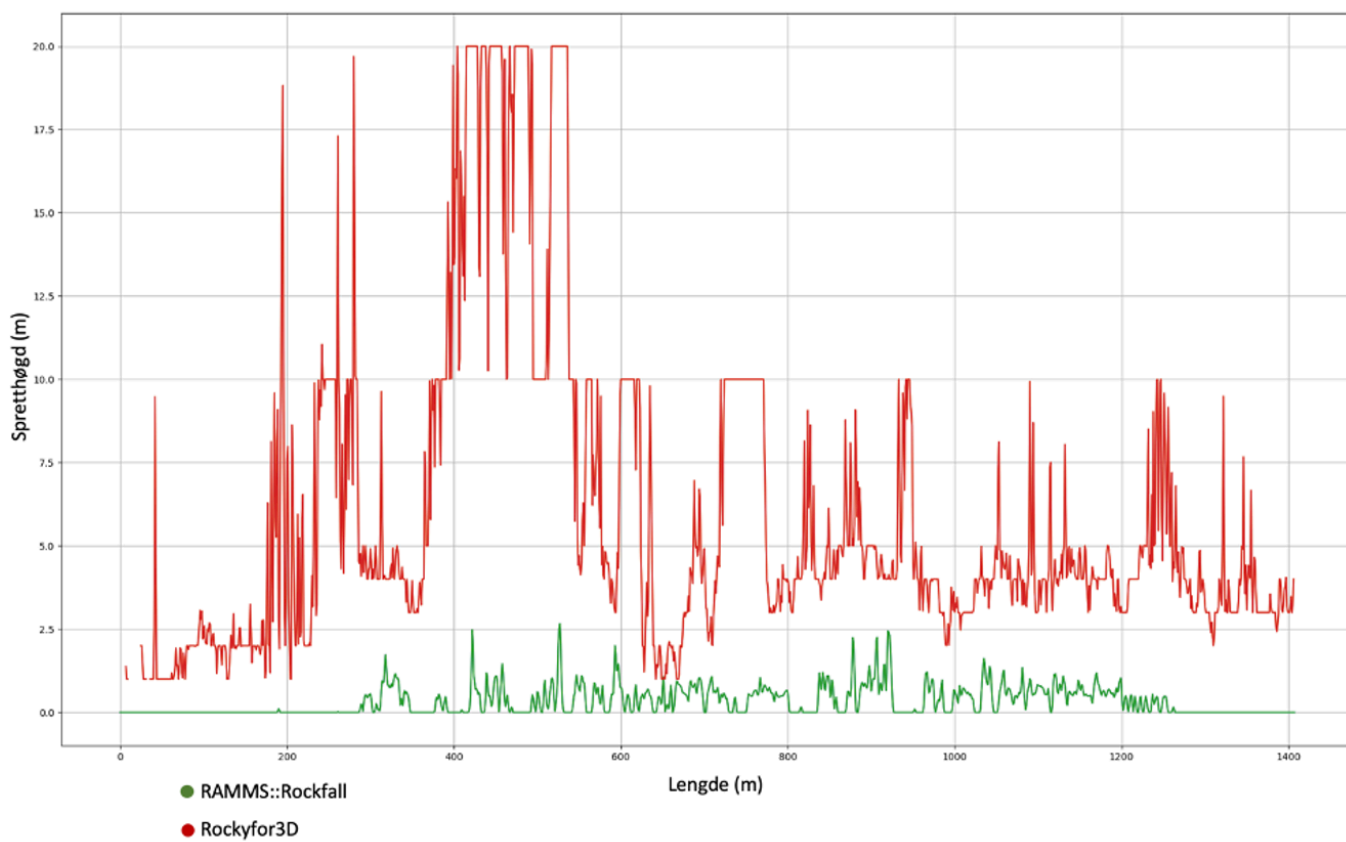
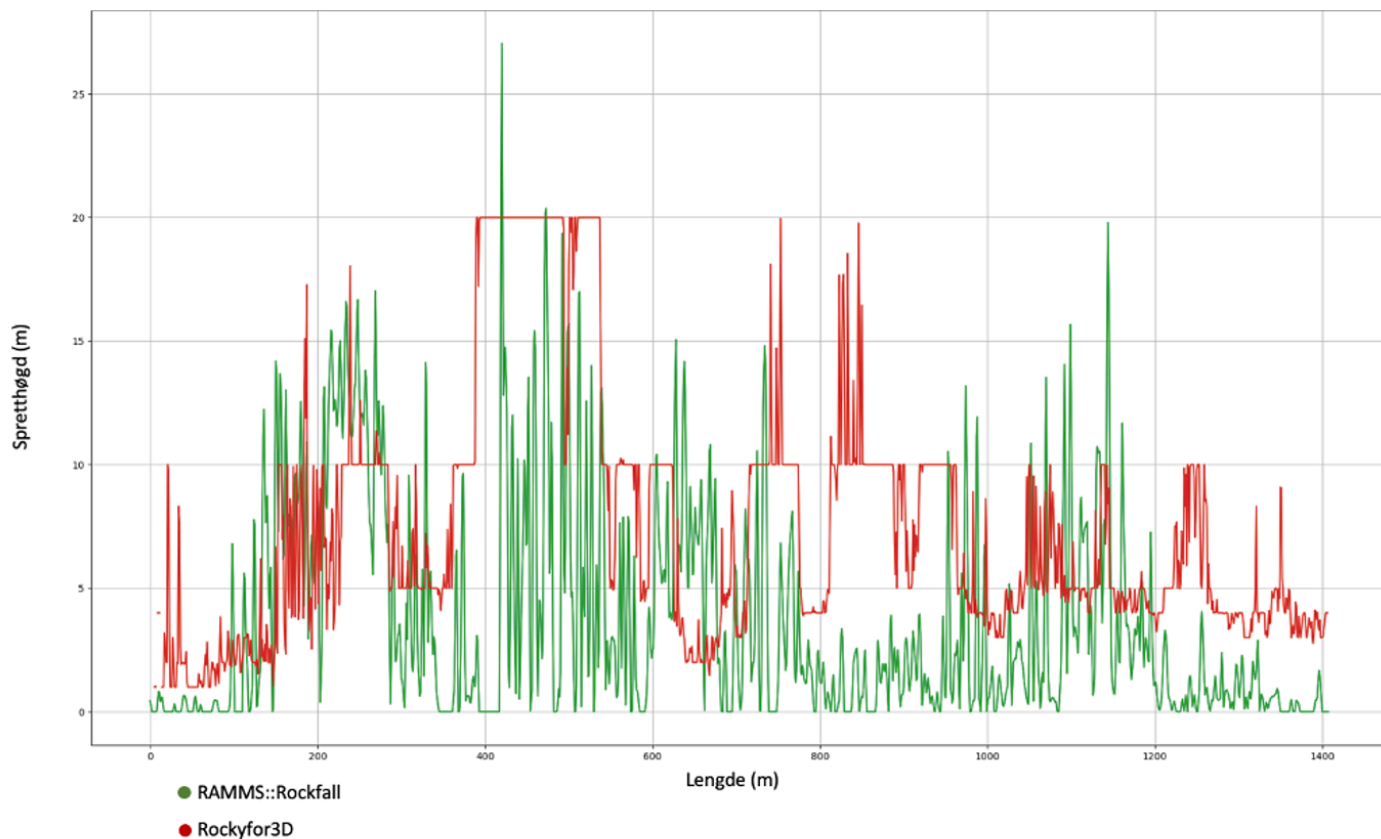
Sidan StnParabel definerer mesteparten av vegskjeringa som losneområde vert utløp frå vegskjeringa inkludert i modelleringsresultata. Delar av vegskjeringa er også definert som losneområde i Rockyfor3D. Vegskjeringa er derimot ikkje inkludert i steinsprangmodelleringa i RAMMS::Rockfall, noko som fører til at utløpa her ikkje tek omsyn til utfall i sjølve skjeringa. Utfall frå skjeringa er sannsynleg, men låg høgde gjer at grøfta samlar opp mindre utfall, meir om dette i avsnitt 6.2.1. Ei samanlikning av modelleringane i Rockyfor3D og RAMMS langs E6, ut i frå resultata vist i avsnitt 5.6 og 5.7, er dermed noko vanskeleg då berre den eine modellen inkludera steinsprang frå skjeringa. Likevel gjev modelleringsverktøya ei forståing av utløpa til steinsprang i skrånninga. Og ut i frå andre faktorar som breidda til grøfta og størrelsen på tidlegare steinspranghendingar blir det vurdert at nedfall frå sjølve skjeringa skjeldan når ut i veggen.

Skrånninga ovanfor E6 er bratt nok til at utløp nedanfor 150 moh. ikkje bremsar og stoppar før dei når E6, dette gjer at losneområda ved vegskjeringa ikkje påverkar utløpslengda. Utløpslengda vil uansett nå ned til E6 eller Snåsavatnet, uavhengig av om vegskjeringa er inkludert som losneområde. Hastigheit, spretthøgde og energi kan verte påverka, sidan dette avheng av massane som fell ned og starthastigheita til massane.

Det er vanskeleg å samanlikne utløp i StnParabel med utløp i Rockyfor3D og RAMMS::Rockfall, då alle viser utløp ned til Snåsavatnet langs det brattaste partiet. StnParabel har ikkje resultat med spretthøgde og energi, og dette kan dermed ikkje samanliknast opp mot resultata i RAMMS::Rockfall og Rockyfor3D

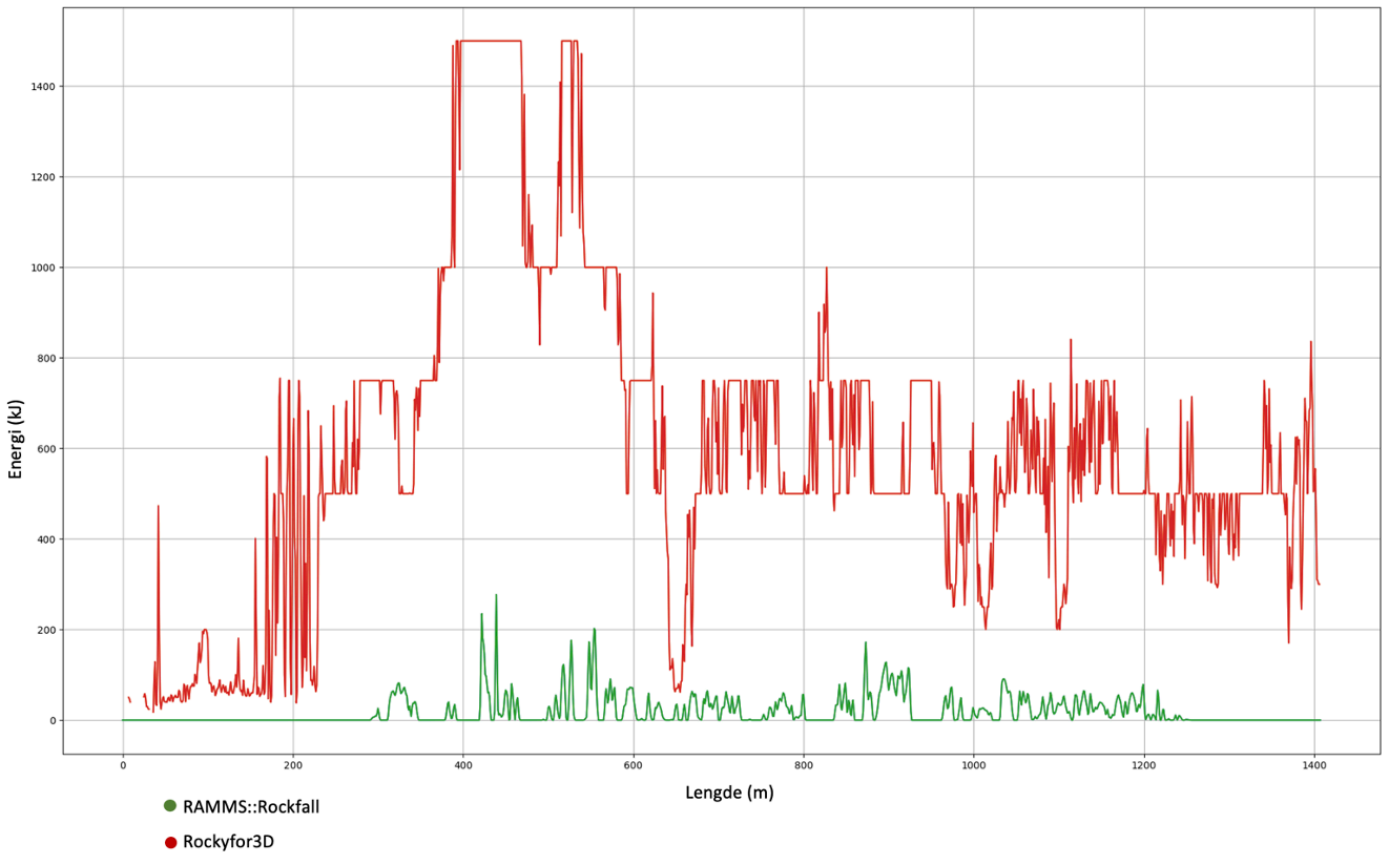
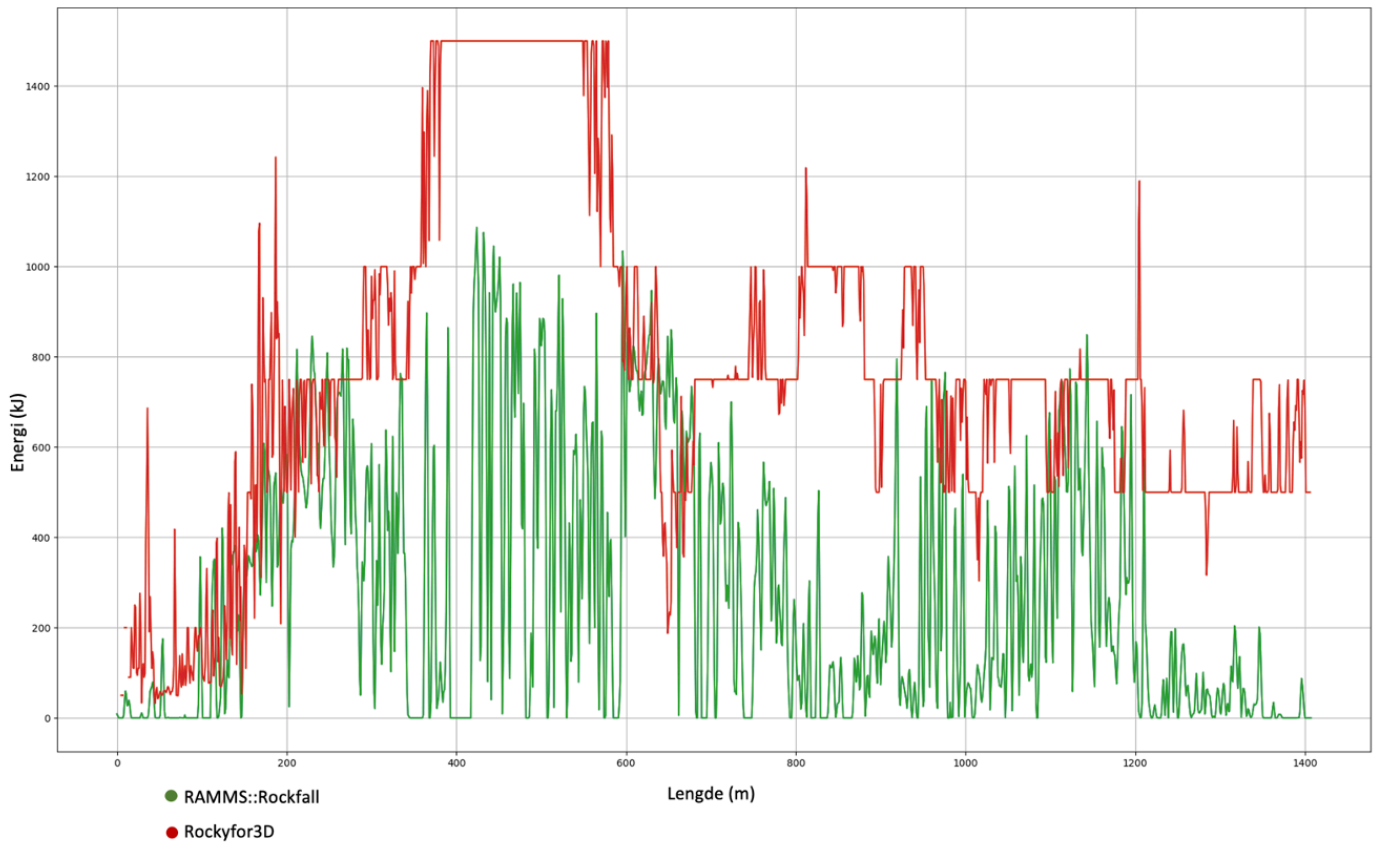
Spretthøgda til simulerte steinsprangblokker i RAMMS::Rockfall og Rockyfor3D er samanlikna i Figur 74. Utan å inkludere skogen er spretthøgda i programma relativt lik, opp mot 20 meter spretthøgde på det høgste. Ved å inkludere påverknaden skogen har på steinspranga vert det større forskjell på resultata. Spretthøgda i Rockyfor3D vert ikkje nemneverdig påverka av skog, medan spretthøgda i RAMMS vert betydeleg redusert ved å legge til effekten av skogen. Spretthøgdene i RAMMS er hovudsakleg < 2 meter når ein tek omsyn til skogen.

Energien, med og utan å inkludere effekten av skogen, til simulerte steinsprangblokker i RAMMS::Rockfall og Rockyfor3D er samanlikna i Figur 75. Utan å inkludere effekten av skogen gjev RAMMS noko lågare energiar enn Rockyfor3D, men simuleringane viser lågare og høgare energiar på dei same områda langs profilet. Rockyfor3D viser energiar opp mot 1500 kJ, medan RAMMS viser energiar opp mot 1 100 kJ. Ved å inkludere skogen vert derimot differansen mellom programvarene større. Energiane i Rockyfor3D er tilnærma uendra, med berre nokon mindre endringar. I RAMMS derimot vert energien til potensielle steinsprangblokker kraftig redusert ved å ta omsyn til skogen.



Figur 74: Samanlikning av sprethøgde i RAMMS og Rockyfor3D.

Øvst: for simuleringar utan skog. Nedst: for simuleringar med skog.



Figur 75: Samanlikning av kinetisk energi i RAMMS og Rockyfor3D.

Øvst: for simuleringar utan skog. Nedst: for simuleringar med skog.

Generelt viser modelleringane i Rockyfor3D og RAMMS::Rockfall høg spretthøgda ved E6. Årsaka til høg spretthøgda ved vegen kan vere høgt relieff på vegskjeringa. Noko som fører til at når blokkene i modellane sprett eller rullar utanfor skrentane over vegen får dei stor høgde i forhold til terrenget, sjølv om dei ikkje hadde noko spretthøgda frå før.

Energien og spretthøgda til potensielle blokker avheng av størrelsen og hastigheita til blokkene. Mindre blokker gjev mindre energi. Blokkstørrelsen kan påverke energien programvarene gjev i resultatata. Dette må dermed takast omsyn til ved tolking av resultatata. I områder der ein ut i frå oppsprekking forventar mindre blokker enn modelleringane er køyrde med kan ein også dermed forvente lågare energi. Ut i frå oppsprekking observert under feltarbeidet og tidlegare registrerte hendingar er det lite sannsyn for at blokker vert større enn modelleringane tek omsyn til, og dermed er det lite sannsyn for større energiar. Likevel kan det i nokre tilfelle falle ned større blokker eller eit fleirtal av blokker i form at eit steinskred. Dette kan gi større energiar enn oppgjeve. Det er valt å fokusere på dei små hyppige hendingane, då det er mest interessant å vite energien og spretthøgda til desse i samband med sikring i skråningsa

Modelleringar av utløp i Rockyfor3D og RAMMS::Rockfall med og utan omsyn til skogen gjev noko ulike resultat. Energien og spretthøgda blokkene har når dei treff E6 vert generelt lågare ved å inkludere skogen. Skogen si utbreiing, tettheit og stammediameter gjer at den har potensiale til å stoppe og bremse mindre steinsprangblokker, sjå samanheng i Figur 76 (NVE, 2020). Differansen er størst i RAMMS::Rockfall, dette kan skuldast måten programvara tek omsyn til skogen eller kva skogparameterar som er valt. Dersom modelleringane vert gjennomført med større blokkdimensjonar kan resultatata med og utan skog verte meir like i begge programvarene. Trea har mindre effekt på oppbremsinga dess større blokkene vert (NVE, 2020).

Blokkstørrelse (m ³)	DBH (cm)	Tetthet (trær/ha)	Stammeareal per hektar (m ² /ha)
< 0.05	12-20	>600	>15
0.05-0.2	20-35	>400	>15
>0.2	>35	>200	>25
1	40	>350	>40
<2	50	>300	>60
>2	Særskilt vurdering		
>5	Ingen effekt		

Figur 76: Oversikt over kva stammediameter og skogtetthet som har effekt på ulike blokkstorleikar, henta frå NVE (2020) sin veileiar for skred i bratt terreng.

6.2.3 Usikkerheiter knytt til modelleringsresultata

Modelleringsresultata avheng av parameterane som er valt for modelleringane. Dersom nokon av parameterane ikkje stemmer overeins med verkelegheita resultera dette i at modelleringane vert mindre korrekte. Ei nøyaktig gjengiving av verkelegheita er vanskeleg, og det er derfor noko usikkerheit rundt resultatane. Ved inndeling i ulike terrengetypar må terrenget generaliserast og forenklast for å vere praktisk mogleg. Dette gjer at terrenget modellen går ut i frå er ei forenkla versjon av verkelegheita, og modelleringa vert påverka av dette. Likevel er det vist at modelleringar ut i frå forenkla versjonar av terrenget har god treffsikkerheit dersom ein følgjer retningslinjer for dei ulike modelleringane.

Den tette oppsprekkinga i bergmassen, omtala i avsnitt 6.1.2, fører til at modellering med mindre blokkstørrelser der skogen kan ha ein positiv effekt på utløpslengd, energi og spretthøgde er vurdert til å vere mest aktuell. Større hendingar kan førekomme, men desse er truleg så store at energien vert for stor for ei eventuell sikring. Derfor er det berre utført modelleringar for mindre steinsprangblokker $\leq 1 \text{ m}^3$. Dette gjev lite kunnskap og informasjon om korleis større hendingar i skråningsforplantar seg og kva utløp, energi og spretthøgde dei kan ha.

Modelleringa i RAMMS::Rockfall er gjort ved å definere ei linje med losneområde og sende ut eit bestemt tal blokker langs linja, i nokre områder klarar ikkje RAMMS å generere skredbaner frå det definerte punktet, og det vert dermed færre punkt definert som losneområde. Programvara hadde problem med å generere utløp i skrentar over ca. 400 m inn i profilet langs E6, i same område som Rockyfor3D og tidlegare hendingar viser stort sannsyn for skredhendingar. Dette gjer at RAMMS genererar få resultat i dette området. Likevel ser ein at dei skredbanene som er generert gjev lange utløp og høg energi, noko som samsvarar med Rockyfor3D og tidlegare skredhendingar.

Inndelingar i skogtypar har også stor usikkerheit då den baserer seg i stor grad på data henta frå NIBIO (2022), i kombinasjon med eigne data samla inn i felt. Denne metoden kan gje større feilkjelder enn ved å hente informasjon om tre ut i frå laserdata. Den vart likevel nytta, for å ha moglegheit til å ta omsyn til registreringane gjort i felt.

6.2.4 Bruk av modelleringsresultat til sikring

Modelleringsresultata viser at blokkene får auka spretthøgde og energi når dei fell utfor nye skrentar, men bremsar opp att mellom skrentane. Når blokkene i modellane sprett eller rullar utanfor skrentane over vegen får dei stor høgde i forhold til terrenget, sjølv om dei ikkje hadde noko spretthøgde frå før. Dette er viktig å ta omsyn til ved ei eventuell sikring med steinsprangnett av området, dersom sikringa vert plassert ovanfor skjeringa er behovet for høgde og energikapasitet lågare enn nede ved vegen. Grafane vist i avsnitt 5.6, 5.7 og 6.2.2 må tolkast ut i frå dette og kan derfor ikkje nyttast direkte ved eventuell sikring.

Ved etablering av sikringstiltak i form av steinsprangnett for å hindre utløpa å nå vegen må ein derfor ta omsyn til spretthøgda og energien til blokkene der ein vel å plassere sikringstiltaket. Det er viktig å legge til grunn at modelleringsresultata viser energi og spretthøgde for små blokker $\leq 1 \text{ m}^3$, og at det er desse ein kan sikre mot ved å nytte oppgitte spretthøgder og energiar.

Ut i frå dette er det anbefalt å plassere sikringstiltak over vegskjeringa.

7 Konklusjon

7.1 Skredfare

7.1.1 Samla vurdering av losnemekanismar

Nærheita kartleggingsområdet har til større forkastingar og skyvedekker gjer at bergmassen har dårleg kvalitet med høg oppsprekking. Dette gjer at det vert fleire moglege losnemekanismar. I område med meir intakt berg kan ein forvente at sprekkemålingar og kinematiske analysar gjev truverdige resultat, og at ein har typiske losnemekansimar. Direkte utvelting er mest aktuelt ut i frå kinematisk analyse av felldata ved bruk av programvara Dips og kileutgliding ut i frå kinematisk analyse av høgdedata i programvara StnParabel. Alle losnemekansimane er moglege langs strekninga ut i frå både StnParabel og Dips. Eigne innsamla data gjev eitt sprekkesett meir en Statens Vegvesen sine sprekkedata, dette gjev større losnesannsyn for fleire losnemekanismar. Sprekkesetta definert er vist i Tabell 17. Den mest vanlege losnemekanismen på små steinsprang i skjeringa, der gjerne berre ei eller to mindre steinar/blokker fell ut, er vanlege brotmekansimar definert i dei kinematiske analysane. I svakheitssoner og meir oppsprokken bergmasse har dei tradisjonelle losnemekansimane truleg mindre påverknad, og utgliding kan skje langs fleire ulike plan som saman dannar eit glideplan. Dette er mellom anna skildra i avsnitt 3.5.1, som omhandlar eit steinskred som gjekk 13. mars 2022.

I tillegg til bergmassen sin kvalitet påverkar også klima og vegetasjon i området losnemekansimane. Nedbør, vind og skogdekke kan ha ein negativ effekt på stabiliteten. Vind som påverkar skogen kan gi rystelsar og rotvelte, noko som kan føre til mindre steinspranghendingar. Det same kan rystelsar frå sprenging, til dømes ved driving av tunell i området.

Dette gjer at det er vanskeleg å definere områder langs strekninga som er meir eller mindre aktuelle for framtidige skredhendingar. Heile kartleggingsområdet har moglege losneområde som kan ha utløp ned mot E6.

7.1.2 Samla vurdering av skredutløp

Ut i frå modelleringar i StnParabel, RAMMS::Rockfall og Rockyfor3D når utløp frå steinsprang og steinskred E6 langs store delar av kartleggingsområdet. Dei minst utsette områda er lengst vest og lengst aust i kartleggingsområdet. Rockyfor3D viser større sannsyn til utløp i same område som det er registrert eit høgt tal med tidlegare hendingar, ved ca. 400 – 600 m i profilet vist i Figur 12. Usikkerheiter rundt nøyaktig plassering av tidlegare hendingar kan verte noko redusert av at modellering samsvarar med registreringa.

Utløp frå vegskjeringa rett ved E6 er vurdert å ikkje påverke E6 i stor grad, då mesteparten av utløpa truleg vert stoppa av brei grøft. Dette gjer at modelleringar frå skjeringa kan påverke modelleringsresultata noko negativt, dette gjeld StnParabel og Rockyfor3D som har inkludert losneområde i vegskjeringa. Som diskutert i avsnitt 6.2 påverkar ikkje dette om utløpa når E6 eller ikkje, men kan påverke hastigheit, energi og eventuelt spretthøgde. Utløp har potensiale til å nå E6 langs store delar av strekninga uavhengig av modelleringsverktøy og definering av losneområde.

Modellering viser at dei utløpa som når vegen hovudsakleg har losneområde lågare enn det flate partiet ca. 150 moh. Det flate partiet er langt nok og har stor nok ruheit til å stoppe mindre blokker og skredhendingar ovanfrå. Dette samsvarar med registrerte steinspranghendingar, der dei fleste er registrert med losneområde ≤ 50 m over vegbana. Registreringane viser ei auke i hyppigheita til skredhendingar langs strekninga, men dette er truleg eit resultat av betre registreringar dei siste åra. Det er ikkje noko som tyder på at skredhendingane vert hyppigare. Større skredhendingar langs strekninga er mindre vanleg, medan det vanlegaste er mindre blokker som fell ned i grøft eller på vegskulder.

7.2 Vidare arbeid

Ei forståing av bergmassens sin kvalitet er viktig, i tillegg til kunnskap om sprekkesett og orientering. Morales, Panthi og Botsialas (2017) konkluderte med at sjølv om kinematisk analyse viser at utgliding er mogleg avheng stabiliteten også av friksjonsparameterane til glideplana. Ein burde derfor nytte klassifikasjonssystem, som RMR (rock mass rating), GSI (Geological Strength Index), Q-systemet og SMR (Slope Mass Rating) i tillegg til kinematisk analyse. I denne oppgåva er det berre svakheitssonene som har vorte klassifisert ut i frå Q-systemet. Ei bergmasseklassifisering langs heile strekninga kan gi verdifull informasjon om korleis bergmassekvaliteten variera langs strekninga.

I tillegg spelar stabiliteten til vegfyllinga og grunnen E6 går på ei stor rolle for den totale usikkerheita og faren langs strekninga. Aal og Eriksen (2015) konkluderte med at vegen har svært låg stabilitet mot utgliding. Ei undersøking av kor store påverknadar grunnen toler, og samanlikne resultata med forventta skredstørrelse, kan gi viktig informasjon om konsekvensane skred i kartleggingsområdet kan ha. Spesielt viktig langs det mest utsette området 400-600 m inn i profilet. Kunnskapen om bergmassekvalitet og grunnforhold er også relevant dersom det med tida vert bygging av tunell langs strekninga. Rystelsane frå ei eventuell anleggsdrift og sprenging kan påverke kvikkleire i grunnen nok til at den kollapsar og sklir ut, og i tillegg kan rystelsane gi auka steinsprangaktivitet.

7.2.1 Sikring

Dersom ein ynskjer å redusere skredfaren til eit akseptabelt nivå i forhold til Vegnormal N200 må ein sikre skråninga mot steinsprang. Årleg trafikkmengd er ut i frå vegkart 2419 (Statens Vegvesen, 2023), noko som ut i frå Vegnormal N200, vist i Tabell 18, tillèt samla skredsannsyn på 1/50 per km per år (Statens Vegvesen, 2022).

Tabell 18: Sikkerheitskrav for skredsannsyn på veg (Statens Vegvesen, 2022).

Dimensjonerende trafikkmengde	Samlet skredsannsynlighet per km og år
< 500	1/20
500 – 3999	1/50
4000 – 5999	1/100
6000-11 999	1/300
≥ 12 000	1/1000

Mest aktuelle sikringstiltak i skråninga er reinsk eller bolting av lause blokker for å hindre utløysing, og etablering av fanggjerde for å stoppe eventuelle nedfall før dei når vegbana (Statens Vegvesen, 2011). Bolting og reinsk er mest aktuelt der oppsprekkinga er låg.

Potensielle fanggjerde for steinsprang frå skrentar over vegskjeringa vil ha ei mest gunstig plassering på oppsida av vegskjeringa. Dette kjem av at det er kort avstand frå vegskjeringa til vegbana, noko som gjev for lite plass til etablering av sikringstiltak. I tillegg er det konkludert med at grøfta samlar opp mesteparten av nedfalla frå skjeringa. Modelleringsresultat kan nyttast ved dimensjonering av fanggjerde, men det må takast omsyn til plassering av tiltaket ved avlesing av energiar og spretthøgde. Fanggjerdar vil hindre mindre steinsprangblokker å nå vegen, og vil dermed føre til færre skredhendingar på strekninga.

Ei alternativ sikringsmetode er overvaking og varsling. Hovudhensikta med ei slik sikring er å få eit så tidleg varsel at vegen kan stengast før skredet treff vegen (Statens Vegvesen, 2011). På denne måten unngår ein at menneskeliv går tapt, men ikkje stengingar og skadane på vegen.

Dersom ein ynskjer å sikre vegen mot både store og små skredhendingar, og unngå stengingar av E6 er tunell einaste alternativ. Ved å bygge tunell unngår ein også problemet med kvikkleire i grunnen under vegskjeringa. Dette alternativet unngår tap av menneskeliv og stenging av viktig infrastruktur. Likevel kan steinsprangnett og eventuell overvaking og varsling senke risikoen til eit akseptabelt nivå.

8 Referansar

Bergstrøm, B. (1991) Grong. Kvartærgeologisk kart; Grong; 18234; 1:50 000; trykt i farger: Norges geologiske undersøkelse. Tilgjengeleg frå: <https://www.ngu.no/FileArchive/198/K18234.pdf> (Henta: 12. desember 2022).

Braathen, A. *et al.* (2000) Devonian, orogen-parallel, opposed extension in the Central Norwegian Caledonides, *Geology*, 28(7), s. 615-618. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2000\)28<615:Dooeit>2.0.Co;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2000)28<615:Dooeit>2.0.Co;2)

Domaas, U. og Grimstad, E. (2014) *Skred skredfare og sikringstiltak*. NGI og Universitetsforlaget.

Dorren, D. L. (2016) *Rockyfor3D (v5.2) revealed: Transparent description of the complete 3D rockfall model*. Tilgjengeleg frå: https://www.ecorisq.org/docs/Rockyfor3D_v5_2_EN.pdf (Henta: 10.09.2022).

Hampton, M. A., Lee, H. J. og Locat, J. (1996) Submarine landslides, *Reviews of Geophysics*, 34(1), s. 33-59. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/95RG03287>

Hansen, L. *et al.* (2013) *Forebyggende kartlegging mot skred langs strandsonen i Norge Oppsummering av erfaring og anbefalinger*. (22/2013). Oslo. Tilgjengeleg frå: https://publikasjoner.nve.no/rapport/2013/rapport2013_22.pdf (Henta: 19.10.2022).

Hantz, D., Vengeon, J. M. og Peisser, C. (2003) An historical, geomechanical and probabilistic approach to rock-fall hazard assessment, *Natural Hazards and Earth System Sciences - NAT HAZARDS EARTH SYST SCI*, 3, s. 693-701. <https://doi.org/10.5194/nhess-3-693-2003>

Heim, M. (1997) *Geologiske observasjoner langs Hitra-Snåsaforkastningen mellom Verran og Snåsavatnet*. (97.182): NGU. Tilgjengeleg frå: https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/1997/97_182.pdf (Henta: 14.09.2022).

Hoek, E. og Bray, J. D. (2014) *Graphical presentation of geological data, Rock Slope Engineering*. 3. utgåve. London: Institute of Mining and Metallurgy.

Jakobsen, V. U. (2020) *Notat E6 Vegset - Stabilitetsvurdering av bergskjæring etter utrasning S94D1 km 9,600-9,760*. (Vd705A-GEOL-N01).

Jakobsen, V. U. (2022a) *Notat E6 Langnesberga, S94D1 km 8,140 Vurdering av skredfare etter mulig steinsprang*. (C13572-SKRED-04). Tilgjengeleg frå: <https://dokument.vegvesen.no/dokument/basis/fil/21916852> (Henta: 27.09.2022).

Jakobsen, V. U. (2022b) *Notat E6 Langnesberga, S94D1 km 8,400 Vurdering av skredfare etter steinsprang*. (C13572-SKRED-08).

Jakobsen, V. U. (2022c) *Notat E6 Langnesberga, SD94D1 km 8,140 Håndtering etter steinskred*. (C13572-SKRED-05). Tilgjengeleg frå:
<https://dokument.vegvesen.no/dokument/basis/fil/22435094> (Henta: 27.09.2022).

Kliche, C. A. (2018) *Rock Slope Stability*. 2 utgåve. Englewood, Colorado, USA: Society for Mining, Metallurgy & Exploration.

L'Heureux, J.-S. *et al.* (2013) Landslides Along Norwegian Fjords: Causes and Hazard Assessment, i Margottini, C., Canuti, P. og Sassa, K. (red.) *Landslide Science and Practice: Volume 5: Complex Environment*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, s. 81-87.

Lee, S. og Dan, N. T. (2005) Probabilistic landslide susceptibility mapping in the Lai Chau province of Vietnam: focus on the relationship between tectonic fractures and landslides, *Environmental Geology*, 48(6), s. 778-787. <https://doi.org/10.1007/s00254-005-0019-x>

Loew, S. *et al.* (2022) *Rockfall Causes and Transport Mechanisms - A Review*. 2nd. San Diego :.

Lussana, J. (2018) *SeNorge2 daily precipitation, an observational gridded dataset over Norway from 1957 to the present day*.

Lutgens, F. K. og Tarbuck, E. J. (2015) *Essentials of Geology*. Essex, England: Pearson.

Marrett, R. og Allmendinger, R. W. (1990) Kinematic analysis of fault-slip data, *Journal of Structural Geology*, 12(8), s. 973-986. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0191-8141\(90\)90093-E](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0191-8141(90)90093-E)

Morales, M., Panthi, K. K. og Botsialas, K. (2017) Slope stability assessment of an open pit mine using three-dimensional rock mass modeling, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78. <https://doi.org/10.1007/s10064-017-1175-4>

NGI (2022) *Bruk av Q-systemet - håndbok*. Tilgjengeleg frå:
<https://www.ngi.no/Tjenester/Fagekspertise/Ingenioergeologi-og-bergteknikk/Q-systemet> (Henta: 6.10.2022).

NGU (2000) *Bruddsoner i fjell – oppbygning og definisjoner*. Tilgjengeleg frå:
<https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Graasteinen/graastein7.pdf> (Henta: 19. april 2023).

NGU (2008) *Gransker forkastninger etter jordskjelv*. Tilgjengeleg frå:
<https://www.ngu.no/nyheter/gransker-forkastninger-etter-jordskjelv> (Henta: 1. februar 2023).

- NGU (2022a) L ø s m a s s e r - Nasjonal løsmassedatabase. Tilgjengeleg frå: https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/ (Henta: 23.09.2022).
- NGU (2022b) B e r g g r u n n - Nasjonal berggrunnsdatabase. Tilgjengeleg frå: https://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/ (Henta: 23.09.2022).
- NIBIO (2022) Kilden. Tilgjengeleg frå: <https://kilden.nibio.no> (Henta: 23.09.2022).
- Nielsen, B. (2016) *Ingeniørgeologi-berg Grunnkurskompendium*. Trondheim: Akademika.
- Noël, F. (2021) *StnParabel manual*. Tilgjengeleg frå: https://StnParabel.org/guide/en/docs/user_manual/index.html (Henta: 3. januar 2023).
- Noël, F. *et al.* (2021) Impact-Detection Algorithm That Uses Point Clouds as Topographic Inputs for 3D Rockfall Simulations, *Geosciences*, 11(5), s. 188. Tilgjengeleg frå: <https://www.mdpi.com/2076-3263/11/5/188>.
- Norsk Klimaservicesenter (2022) *Klimaprofil Nord-Trøndelag*. Tilgjengeleg frå: <https://klimaservicesenter.no/kss/klimaprofiler/nord-trondelag> (Henta: 26.09.2022).
- NVE (2020) *Veileder - Sikkerhet mot skred i bratt terreng - Kartlegging av skredfare i reguleringsplan og byggesak*. Tilgjengeleg frå: <https://veileder-skredfareutredning-bratt-terreng.nve.no/hvordan-utfore-en-skredfareutredning/?ref=mainmenu> (Henta: 15.09.2022).
- NVE (2022a) NVE Atlas. Tilgjengeleg frå: <https://atlas.nve.no> (Henta: 11. november 2022).
- NVE (2022b) Se Norge. Tilgjengeleg frå: <https://www.senorge.no> (Henta: 26.09.2022).
- Obregon, C. og Mitri, H. (2019) Probabilistic approach for open pit bench slope stability analysis – A mine case study, *International Journal of Mining Science and Technology*, 29(4), s. 629-640. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2019.06.017>
- Pierson, L. A. (2012) *Rockfall – Characterization and Control*. Washington DC, USA: Transportation Research Board.
- Ramberg, I. B. og Norsk geologisk forening (2013) *Landet blir til : Norges geologi*. 2. utg. Trondheim: Norsk geologisk forening.
- Redfield, T. F. *et al.* (2005) Late Mesozoic to Early Cenozoic components of vertical separation across the Møre–Trøndelag Fault complex, Norway, *Tectonophysics*, 395(3-4), s. 233-249. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.09.012>
- Redfield, T. F. og Osmundsen, P. T. (2009) The Tjellefonna fault system of Western Norway: Linking late-Caledonian extension, post-Caledonian normal faulting, and Tertiary rock column uplift with the landslide-generated tsunami event of 1756, *Tectonophysics*, 474(1-2), s. 106-123. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.02.006>

Rocscience (2022) *Dips User Guide*. Tilgjengeleg frå: https://www.rocscience.com/help/dips/overview#t=dips%2FKinematic_Analysis_Ov (Henta: 8. desember 2022).

Sigmond, E. M. O., Bryhni, I. og Jorde, K. (2013) *Norsk geologisk ordbok*. Trondheim: Akademika Forlag.

SLF, W. I. f. S. a. A. R. (2016) *RAMMS::ROCKFALL User Manual*. Tilgjengeleg frå: https://ramms.slf.ch/ramms/downloads/RAMMS_ROCK_Manual.pdf (Henta: 20.09.2022).

Statens Vegvesen (1981) *Skred- og steinsprangsikring samt vurdering av stabilitet i skråninger*. (V229A/3).

Statens Vegvesen (2011) *Sikring av veger mot steinskred*. (VD rapport 32). Tilgjengeleg frå: <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2582754/VD%20rapport%2032.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Henta: 14. mars 2023).

Statens Vegvesen (2022) *N200 Vegbygging*. Tilgjengeleg frå: <https://viewers.vegnorm.vegvesen.no/product/859942/nb> (Henta: 14. mars 2023).

Statens Vegvesen, NIBIO og Statens Kartverk (2022) *Norge i bilder*. Tilgjengeleg frå: <https://norgebilder.no> (Henta: 23.09.2022).

Statens Vegvesen (2023) *Vegkart*. Tilgjengeleg frå: <https://vegkart.atlas.vegvesen.no> (Henta: 14. mars 2023).

Sveian, H. *et al.* (2014) Kvartærgeologisk kart (Quaternary geological map) Overhalla 1723-1 M 1:50 000: Norges geologiske undersøkelse. Tilgjengeleg frå: <https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Kart/KV50/overhalla.pdf> (Henta: 12. Desember 2022).

Turner, A. K. og Schuster, R. L. (2012) *Rockfall: characterization and control*.

Volkwein, A. *et al.* (2011) Rockfall characterisation and structural protection – a review, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11(9), s. 2617-2651. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-2617-2011>

Yan, J. *et al.* (2022) Kinematic-based failure angle analysis for discontinuity-controlled rock slope instabilities: a case study of Ren Yi Peak Cluster in Fusong County, China, *Natural Hazards*, 111(3), s. 2281-2296. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-05137-2>

Øydvin, E. K. *et al.* (2011) *Plan for skredfarekartlegging Status og prioriteringer innen oversiktkartlegging og detaljert skredfarekartlegging i NVEs regi*. (14/2011). Oslo: NVE.

Aal, A. og Eriksen, K. (2015) *Ingeniørgeologisk og geoteknisk vurdering av risikoforhold og ulemper ved alternative veglinjer fra Oldervika til Vegset*. (VD488V1).

9 Vedlegg

Vedlegg 1 Oversiktskart over feltarbeid

