

Thale Dalbu

Jord- og flomskredfare i Øyer

En skredfarevurdering basert på feltundersøkelser, GIS-analyser, RAMMS-modelleringer og bruk og diskusjon av NVEs veileder

Masteroppgave i Geografi
Veileder: Anders Romundset
Mai 2022

Thale Dalbu

Jord- og flomskredfare i Øyer

En skredfarevurdering basert på feltundersøkelser, GIS-analyser, RAMMS-modelleringer og bruk og diskusjon av NVEs veileder

Masteroppgave i Geografi
Veileder: Anders Romundset
Mai 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for samfunns- og utdanningsvitenskap
Institutt for geografi



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

Flere av de bratte dalsidene i Gudbrandsdalen er preget av ulike typer skred og i perioder med kraftig nedbør har området hatt en historikk med stor aktivitet av jord- og flomskred som har ført til store ødeleggelser. Flere av disse ødeleggende hendelsene har også preget Øyer kommune, og for å minimere sannsynligheten for konsekvensene av slike hendelser er skredfarevurderinger et svært viktig bidrag. Spesielt når det er sannsynlig at frekvensen av jord- og flomskred vil øke med de fremtidige klimaendringene. I flere skråninger er skog en viktig stabiliserende faktor som også hjelper med å dempe påvirkningen av ekstremnedbør, men i flere skråninger kan skogen raskt forsvinne og endre stabilitetsforholdene.

Med utgangspunkt i NVEs veileder for skred i bratt terreng ble fastsetting av faresoner utført på bakgrunn av GIS-analyser, feltundersøkelser og modelleringer i RAMMS. Resultatene ble sammenliknet med tidligere utførte skredfarevurderinger i deler av studieområdet, som dannet grunnlaget for en diskusjon rundt bruken og tolkningene av NVEs veileder. Dette dannet basen for en videre diskusjon rundt om det er realistisk å kun inkludere dagens forhold i en skredfarevurdering, spesielt i forhold til endringer i klima og skog i studieområdet.

Resultatene viste at det var flere faresoner innenfor studieområdet, der det er funnet faresoner for jord- og flomskred i nærheten av eksisterende bebyggelse ved Glotten, Vika, Sletten og Øygarden. Det ble funnet flere avvik sammenliknet med tidligere utførte skredfarevurderinger i forhold til faregrad og utbredelse. Grunnene til disse avvikene er sannsynlig på grunn av ulik erfaring, befaring og tolkning av NVEs veileder i forhold til løsesannsynlighet og fastsetting av faresoner. Det ble funnet ut at det ikke er mulig å modellere skog i jord- og flomskred på en realistisk måte i RAMMS, men det antas på bakgrunn av andre faktorer at den eksisterende skogen i studieområdet er viktig for stabiliteten i skråningen. Denne masteroppgaven konkluderer med at det ikke er realistisk å kun inkludere dagens forhold, men at det kreves mer forskning på hvordan endringer av ulike faktorer som skog og klima bør håndteres og inkluderes i en skredfarevurdering.

Abstract

A variation of landslides characterizes steep hillsides in Gudbrandsdalen. Heavy precipitation has given the area a history of landslides and debris flow that have caused tremendous destruction. Hillsides located within the municipality, Øyer, have been subject to these destructions, which have caused the need to take measures to decrease the probability of consequences like these. Since the frequency of landslides and debris flow is likely to increase due to climate change, the municipality is more reliant on using tools to identify the potential hazardous landslides. In many hillsides the vegetation is an important stability factor which also reduces the effect of heavy precipitation, however forest can quickly change or vanish which changes the stability.

NVEs directions about landslides located in steep terrain were used to determine hazard zones when utilizing GIS- analysis, field studies, and modeling in RAMMS. The results have further been compared with previously conducted evaluations of hazardous landslides in the area and used in the discussion about the use and interpretation of NVEs guide. Furthermore, the discussion has raised the question of whether it is realistic to include the current conditions and probability of landslides in a hazardous landslide evaluation when considering climate change and the forest.

The results from this study show that there are several hazardous zones within the area where this study was conducted. The areas where hazardous zones have been identified close to buildings are Glotten, Vika, Sletten, and Øyarden. Moreover, there have been discovered deviations from the previously conducted evaluations of hazardous landslides in terms of the level/probability of danger and prevalence. The probable cause of these deviations is the difference in experience and interpretation of the NVEs directions regarding release probability and the identification of hazard zones. It was discovered that it was impossible to accurately model forest in landslide and debris flow runout in RAMMS. However, other factors indicate that the existing forest in the area in which the study was conducted is essential for the stability of the slope. This master thesis concludes with it not being realistic only to include the current conditions and that there is a need for more research on how changes in climate and vegetation should be handled and included when determining hazard zones.

Forord

Fem år som student ved geografisk institutt ved NTNU avsluttes med denne masteroppgaven. Arbeidet med denne masteroppgaven har vært svært lærerik, da jeg har lært meg nye metoder og programmer. Det har også vært veldig interessant å lære mer om prosessen bak et farekart. Jeg tar med meg mange nye erfaringer videre ut i arbeidslivet.

Tiden som student i Trondheim har vært spesiell, og jeg er takknemlig for alle opplevelser, inntrykk og bekjentskaper denne byen og studiemiljøet har gitt meg.

En stor takk til min veileder Anders Romundset for tilbakemeldinger på oppgaven og støtte under lærerik feltbefaring i fjor høst.

Jeg vil også takke Jan Ketil Rød for gode tips ved problemer med GIS, og god undervisning gjennom alle årene. Takk til Andrea Taurisano og Noel Francois som har vært svært hjelpelige med å svare på spørsmål da jeg møtte på utfordringer i RAMMS.

En stor takk til Mari og Maia for deling av gode råd, frustrasjoner, støtte og gode opplevelser gjennom studiet. Det hadde ikke vært det samme uten dere!

Til slutt vil jeg takke Even for å alltid ha troen på meg og for all støtte gjennom alle årene som student.

Innhold

Figurer.....	xv
Tabeller	xvi
Forkortelser	xvii
1 Innledning.....	1
1.1 Problemstillinger	2
2 Områdebeskrivelse	3
2.1 Berggrunnsgeologi.....	5
2.2 Kwartærgeologi	6
2.3 Klima	8
2.3.1 Forventet fremtidig klima.....	9
2.4 Historiske hendelser	9
2.5 Tidligere skredfareutredninger i området.....	10
2.5.1 Glotten.....	10
2.5.2 Vika	11
3 Teori.....	13
3.1 Ulike karttyper	13
3.1.1 Aktsomhetskart.....	13
3.1.2 Faresonekart	13
3.1.3 Risikokart	14
3.2 Ekstremnedbør.....	14
3.3 Skred.....	15
3.4 Løsmasser	16
3.4.1 Løsmasser i Norge.....	17
3.4.2 Morene	17
3.4.3 Glasifluviale avsetninger.....	18
3.4.4 Fluviale avsetninger	18
3.4.5 Bresjø- og innsjøavsetninger.....	18
3.4.6 Forvittringsmateriale	19
3.5 Jordskred.....	19
3.5.1 Utløsende faktorer	20
3.5.2 Klassifisering.....	22
3.5.3 Løsneområde	23

3.6	Flomskred	24
3.7	Steinsprang	26
3.8	Vegetasjon	26
4	Metode	29
4.1	Skredfarekartlegging	30
4.2	Bruk av grunnlagsdata til skredfarevurdering	33
4.2.1	Aktsomhetskart.....	33
4.2.2	Geologiske kart	34
4.2.3	Ortofoto	34
4.2.4	Historiske hendelser	35
4.2.5	Markfuktighetskart	35
4.2.6	Eksisterende sikringstiltak.....	36
4.2.7	Høydemodell	36
4.3	Terrengparametere.....	39
4.3.1	Fjellskygge	39
4.3.2	Identifisering av tidligere spor av skred.....	40
4.3.3	Terrenghelning	41
4.4	Hydrologisk modellering.....	43
4.4.1	Fill	43
4.4.2	Flow Direction.....	44
4.4.3	Flow Accumulation	44
4.5	Feltarbeid.....	45
4.5.1	Befaring.....	45
4.6	Modellering i RAMMS	46
4.6.1	Forberedelse av inngangsdata	47
4.6.2	Testmodelleringer.....	48
4.6.3	Modelleringsparametere.....	49
4.6.4	Skogspolygoner.....	50
4.7	Fastsetting av faresoner	52
5	Resultater.....	53
5.1	Klopphauglykkja	53
5.1.1	Løsneområde 1	53
5.1.2	Løsneområde 2	54

5.1.3	Løsneområde 3	54
5.1.4	Løsneområde 4	55
5.1.5	Løsneområde 5	55
5.1.6	Løsneområde 6	55
5.1.7	Tidligere løsneområde.....	57
5.2	Glotten	58
5.2.1	Testløp.....	58
5.2.2	Tidligere skredløp	60
5.3	Vika	62
5.3.1	Løsneområde 7	62
5.3.2	Løsneområde 7 større	62
5.3.3	Løsneområde 8	63
5.3.4	Løsneområde 9	63
5.3.5	Tidligere skredløp	65
5.4	Viksvea	67
5.4.1	Tidligere skredløp	67
5.5	Mellom Vika og Svea	68
5.5.1	Løsneområde 10	68
5.5.2	Løsneområde 11	69
5.5.3	Løsneområde 12	69
5.6	Sletta og Svea	69
5.6.1	Løsneområde 13	70
5.6.2	Løsneområde 14	70
5.6.3	Løsneområde 15	71
5.6.4	Tidligere skredløp	72
5.7	Flatstulen og Bortmillom.....	74
5.7.1	Løsneområde 16	74
5.8	Øygarden	74
5.8.1	Løsneområde 17	75
5.8.2	Tidligere skredløp	76
6	Diskusjon.....	78
6.1	Farekartlegging.....	78
6.1.1	Grunnlagsdata.....	81

6.2	Utfordringer med RAMMS DF programvaren.....	82
6.2.1	Modelleringenes skredutløp	83
6.3	Sammenlikning med tidligere kartlegging	85
6.4	Effekten av skog	89
6.4.1	Sørlig del av studieområdet.....	89
6.4.2	Nordlig del av studieområdet	90
6.4.3	Modellering av skog.....	90
6.4.4	Skog og farekartlegging	91
6.5	Påvirkning av endring i klima	92
6.5.1	Jord- og flomskred	92
6.5.2	Farekartlegging.....	93
6.5.3	Steinsprang	93
6.5.4	Tidligere klimatiske forhold.....	94
6.6	Forslag til videre arbeid	95
7	Konklusjon.....	97
8	Referanser.....	99

Figurer

Figur 1: Fakkelmanen.....	3
Figur 2: Kart som viser plassering av studieområde.....	4
Figur 3: Helningskart over hele studieområdet.....	4
Figur 4: Berggrunnskart over studieområdet.....	6
Figur 5: Løsmassekart over studieområdet.....	8
Figur 6: Årsnedbør for værstasjonene Ovrehagen og Sætherengen fra 2012-2021, samt middeltemperatur for Sætherengen.....	9
Figur 7: Vurdert område for Glotten og resultater av farekartlegging utført av Skred AS (Lome et al., 2021).....	11
Figur 8: Vurderingsområde av Vika og resultater av farekartlegging utført av Skred AS (Lunde, 2021).....	12
Figur 9: Eksempler på jordskred (NVE, 2020b).....	20
Figur 10: Rotasjonsskred (Highland & Bobrowsky, 2008).....	22
Figur 11: Translasjonsskred (Highland & Bobrowsky, 2008).....	22
Figur 12: Typiske eksempler på flomskred (NVE, 2020b).....	25
Figur 13: Utsnitt fra aktsomhetskart som viser deler av studieområdet (NVE, 2014).....	34
Figur 14: Utsnitt fra markfuktighetskartet i en del av studieområdet (NIBIO, 2018).....	36
Figur 15: Sikringsvoll mot steinsprang og skred i Lom (NVE, 2020a).....	36
Figur 16: Eksempler på feil på høydemodell etter endring av koordinatsystem (Francois, N. Personlig kommunikasjon, 16.02.22).....	38
Figur 17: Visuell oversikt over prosessen for å forberede høydemodell til bruk i Arcgis Pro gjort i Model Builder.....	38
Figur 18: Visualisering av nordlig asimut (ESRI, u.å.-a).....	39
Figur 19: Fjellskygge med ulike asimut A) 0 B) 45 C) 150 D) 315 i den nordlige delen av studieområdet.....	40
Figur 20: Kartlagte landformer A) skredavsetninger B) Løsneområde for jord- og flomskred C) Talus fra steinsprang.....	41
Figur 21: Helningskart A) viser den originale utgangsdataen før videre symbolisering (ESRI, u.å.-g), B) viser kun helning over 25 grader og C) viser helning med symbologi i flere klasser.	42
Figur 22: Hvordan verktøyet "Fill" fyller opp forsenkninger i datasettet (ESRI, u.å.-d).....	43
Figur 23: Kodingen av retningen ved bruk av D8 modell (ESRI, u.å.-f).....	44
Figur 24: Visuell oversikt over prosessen med å utføre hydrologisk analyse.....	44
Figur 25: Det tidligere skredutløpet nord for Glotten som er brukt som testløp vist med fjellskygge.....	49
Figur 26: Potensielle løsneområder ovenfor Klopphauglykkja, Glotten og sørlig del av Vika.	53
Figur 27: Tidligere løsneområde ovenfor Klopphauglykkja der A) viser det tidligere skredet med fjellskygge og B) viser løsneområdet sett ovenfra.....	57
Figur 28: Helningskart for områdene ovenfor Klopphauglykkja, Glotten og Vika.....	58

Figur 29: Modelleringer fra løsneområde 1, 4, 6 og testløp ovenfor Glotten og Klopphauglykkja uten vurdering av skog.	59
Figur 30: Område ved Glotten modellert med skog. Kun utløpene som nådde bebyggelse uten skog ble modellert med skog, da kun disse vil ha praktisk betydning i vurderingene.	60
Figur 31: Skredavsetninger nord for Glotten vist med fjellskygge.	60
Figur 32: Fra området med avsetninger nord for Glotten vises A) Steiner i levéene som er stablet oppå hverandre, B) Skredavsetningen der den slutter nederst mot jordet, C) En side av levéen lenger oppe i skråningen, D) Fjellvegg.	61
Figur 33: Faresoner i området nært Glotten.	61
Figur 34: Viser potensielle løsneområder ovenfor Vika.	62
Figur 35: Modelleringer fra løsneområde 7 og 9 ved Vika.	64
Figur 36: Modellering av løsneområde 7 større.	64
Figur 37: Modellering av løsneområde 7 større med skog.	65
Figur 38: Tidlige skredløp og skredavsetninger ved Vika.	65
Figur 39: Fra sørlige tidligere skredløpet ved Vika vises A) Eksempel på levé i denne skredbanen B) Blokk som delvis sperrer for kanalen C) Blokk som har remobilisert seg fra opprinnelig levé.	66
Figur 40: Tidligere skredløp nord for Vika hvor det vises A) Levé B) Blokk og mur i kanalen C) Kanalen med levéer på sidene.	66
Figur 41: Faresoner i området nært Vika.	67
Figur 42: Potensielle løsneområder fra området mellom Vika og Svea.	68
Figur 43: Potensielle løsneområder ovenfor Sletta og Svea.	70
Figur 44: Modelleringer av utløp ved Svea og Sletta.	71
Figur 45: Modelleringer av utløp som traff bebyggelse med skog ved Sletta og Svea.	72
Figur 46: Helningskart ved Svea, Sletta og Flatstulen.	73
Figur 47: Faresoner ved Sletta og Svea.	73
Figur 48: Potensielle løsneområder ovenfor Flatstulen.	74
Figur 49: Potensielle løsneområder ovenfor Øygarden vist med fjellskygge.	75
Figur 50: Tidligere flomskredvifte sett fra et lite stykke opp i kanalen.	76
Figur 51: Faresoner for området ved Øygarden.	77
Figur 52: Helningskart i området ved Flatstulen og Øygarden.	77
Figur 53: Erosjon ved potensielt løsneområde 4.	79

Tabeller

Tabell 1: Anbefalte parametere for modellering av jordskred med RAMMS Debris Flow (Taurisano, 2020).	50
Tabell 2: Veiledende tabell brukt til å vurdere og fastsette faresoner (NVE, 2020b).	52
Tabell 3: Viser alle de potensielle løsneområdene med viktige forhold innenfor dem samt målinger fra modelleringsresultater.	56
Tabell 4: Sammenlikning av faresoner fra Skred AS rapporter og funn i denne masteroppgaven.	85

Forkortelser

NVE	Norges vassdrags- og energidirektorat
NGU	Norges geologiske undersøkelse
NIBIO	Norsk Institutt for Bioøkonomi
Esri	Environmental Systems Research Institute
WSL	Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research
SLF	Institute for Snow and Avalanche Research
RAMMS	Rapid Mass Movements
DTM	Digital terrengmodell
GIS	Geografiske informasjonssystemer
2D	To-dimensjonal
LIDAR	Light detection and ranging
ETRS 1989	European Terrestrial Reference System 1989
UTM	Universal Transverse Mercator

1 Innledning

Gudbrandsdalen er et område med mange bratte dalsider som er dekt av tykke og til dels ustabil morenejord. Flere av disse dalsidene er preget av ulike typer skred. Dalen er en av stedene i Norge hvor flest jord- og flomskred har blitt registrert. Spesielt i perioder med kraftig nedbør som har ført til flom har området hatt en historikk med stor aktivitet av jord- og flomskred hvilket har ført til skade for liv, bygg og infrastruktur. Under Storofsen i 1789 ble dalen hardt rammet hvor flere titalls personer omkom og mange hundre gårdsbruk ble ødelagt, der skredene sto for de største ødeleggelsene. Senere har Gudbrandsdalen blitt rammet av ødeleggende hendelser i 1995, 2008, 2011, 2013 og 2014 hvor dette er noen eksempler (Walberg & Devoli, 2014).

Flere av disse ødeleggende hendelsene har også preget Øyer kommune. Bratte dalsider og varierende morenedekke gjør området utsatt for jord- og flomskred. For å øke sikkerheten og minimere sannsynligheten for ødeleggelse i utsatte områder er skredfarevurderinger et svært viktig bidrag. Skredfarevurderinger gir også et beslutningsgrunnlag på hvor det er tillatt å anlegge ny bebyggelse av ulike slag ifølge Plan og bygningsloven. NVE har utarbeidet en veileder for fareutredning av skred i bratt terreng som skal bidra med at alle de viktigste vurderingsgrunnlagene blir evaluert, dette åpner likevel for stor grad av subjektive tolkninger og vurderinger som kan ha påvirkning på kvaliteten til vurderingene. I gjennomførelsen av skredfarevurderinger er modelleringer av potensielle skred viktige for å gi et realistisk innblikk i hvordan det potensielle skredet vil utarte seg. Ifølge NVE (2020b) er RAMMS et eksempel på et modelleringsprogram som er vist å fungere godt til dette formålet, og programmet har ulike versjoner tilpasset ulike skredtyper. Informasjonen fra slike modelleringer kan gi informasjon om fremtidige skred kan treffe bebyggelse, infrastruktur eller fremtidige områder for boligbygging. Med de forventede fremtidige klimaendringene vil det bli mer nedbør og ekstremnedbør som følge av økte globale temperaturer, noe som fører til at det er sannsynlig at frekvensen av jord- og flomskred øker (Masson-Delmotte et al., 2021). Vegetasjon og skog er også faktorer som kan endre seg over tid som påvirker sannsynligheten for skred i stor grad. På bakgrunn av dette er farevurderinger av jord- og flomskred viktigere enn noen gang, da disse skredtypene kan være vanskelig å forutse hvor og når de utløses.

1.1 Problemstillinger

Baksida i Øyer er preget av skredaktivitet og vil også i fremtiden være utsatt for skred. Denne masteroppgaven omfatter derfor en vurdering av faren for jord- og flomskred i dette området, og belyser hvordan veilederen til NVE kan brukes i denne sammenheng. De viktigste problemstillingene i denne sammenhengen er:

- 1) *Med utgangspunkt i NVEs veileder for skredfarevurdering, hvilke faresoner for jord- og flomskred vil befinne seg i nærheten av bebyggelse innenfor studieområdet og hvordan skiller disse sonene seg fra tidligere arbeid? Hvorfor kan avvik mellom ulike skredfarevurderinger oppstå, selv om de tilsynelatende er basert på de samme retningslinjene?*
- 2) *Hvilken betydning kan endring av skog og klima ha på faresonene? Vil det være realistisk å kun vurdere dagens forhold i en farevurdering av jord- og flomskred?*

En fullstendig skredfarevurdering inkluderer vurdering av alle potensielle skredtyper i et område. For å begrense omfanget på oppgaven er det valgt å kun fokusere på jord- og flomskred, da det har vært lite fokus på disse prosessene i dette området tidligere og at de vil være svært aktuelle i forbindelse med de forventede klimaendringene. Det er nylig gjort en skredfarevurdering ved et par tomter i studieområdet, og en sammenlikning opp mot disse vil stå sentralt i denne masteroppgaven.

2 Områdebeskrivelse

Dalsiden for studieområdet ligger i Øyer kommune, helt sør i Gudbrandsdalen som ligger i Innlandet fylke, sør-øst i Norge. Beliggenheten til studieområdet kan ses i Figur 2. I 2021 har Øyer kommune 5119 innbyggere og et totalt areal på 616km² (Svendsen, 2021).

Gudbrandsdalslågen renner igjennom dalføret i kommunen og ligger i østkanten av studieområdet, dette kan også ses i Figur 2. I sør grenser studieområdet til Lillehammer kommune, i vest til Gausdal

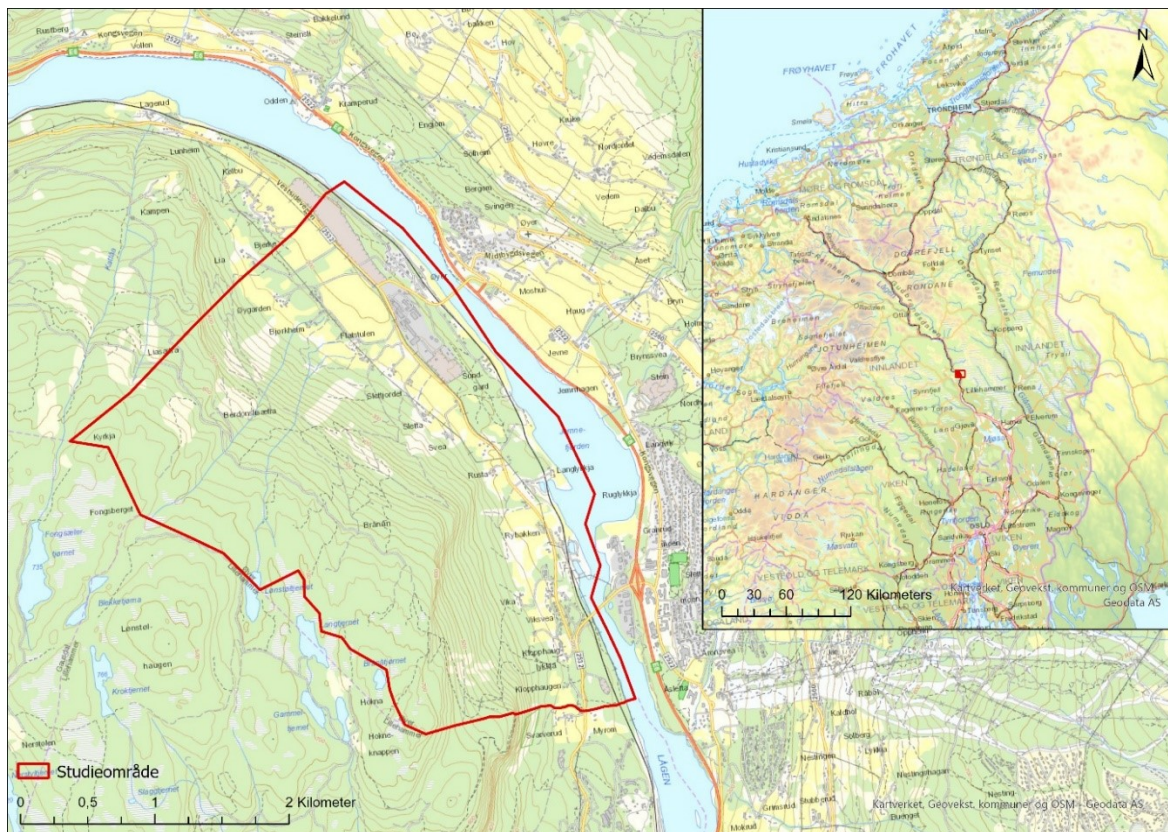
kommune. Studieområdet inkluderer flere gårder, boligfelt og industriområder inkludert grustak. Parallelt med Gudbrandsdalslågen går også jernbanen som er del av Dovrebanen. Høyeste punkt i studieområdet er på 760 meter over havet i nord-vest på grensen til Gausdal, og det laveste punktet er sørlig del av Gudbrandsdalslågen på



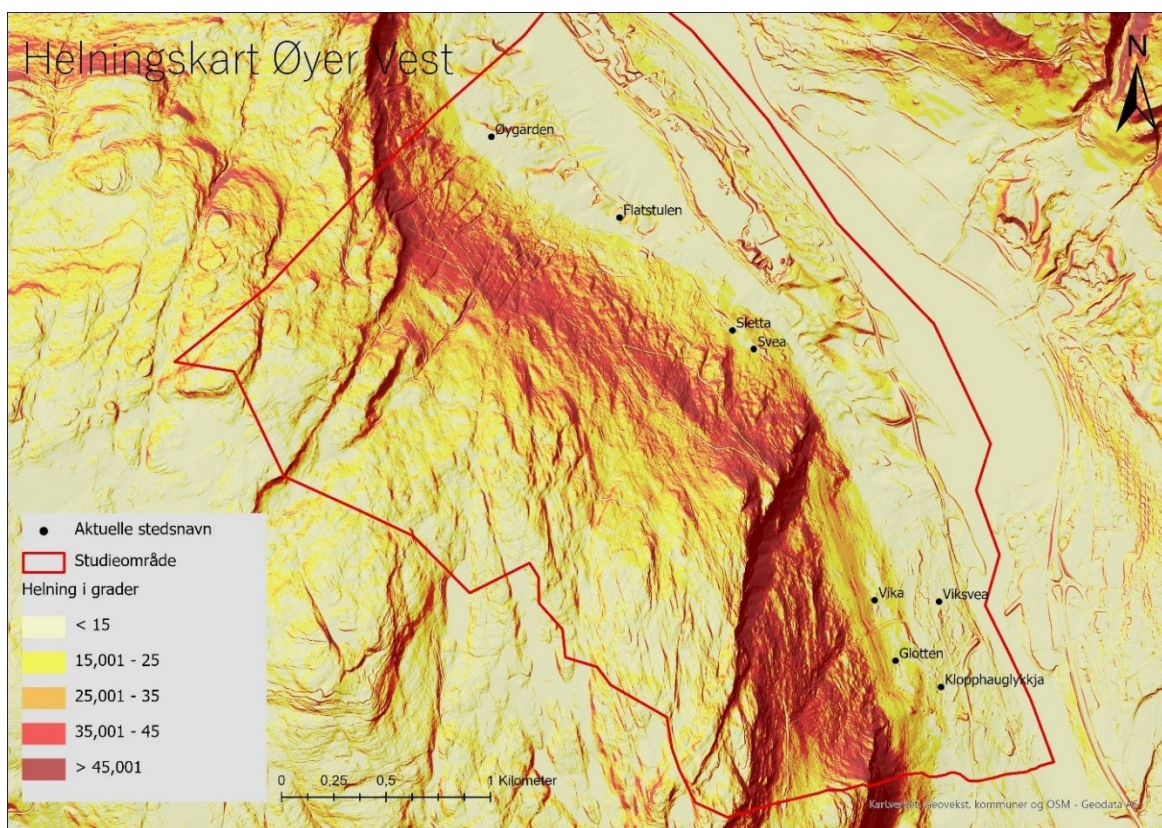
Figur 1: Fakkelmanen.

172 meter over havet. Hele studieområdet har en størrelse på omtrent 9 km². Studieområdet er valgt på bakgrunn av mangel på tidligere utførte farekartlegginger i kommunen, spor etter tidligere skred, bratt helning på dalsiden og naturlig avgrensning i forhold til topologi.

Helningen innenfor studieområdet kan ses i Figur 3. Strekningen av studieområdet som ligger nede i dalbunnen er på omtrent 4,4 kilometer. Typisk for skråningene i denne dalsiden er at de i hovedsak er dekket av relativt gammel granskog, og er flere steder preget av velte trær. I den sørlige delen av studieområdet er figuren Fakkelmanen som kan ses i Figur 1 og er laget ved at skogen har blitt hugget i dette området.



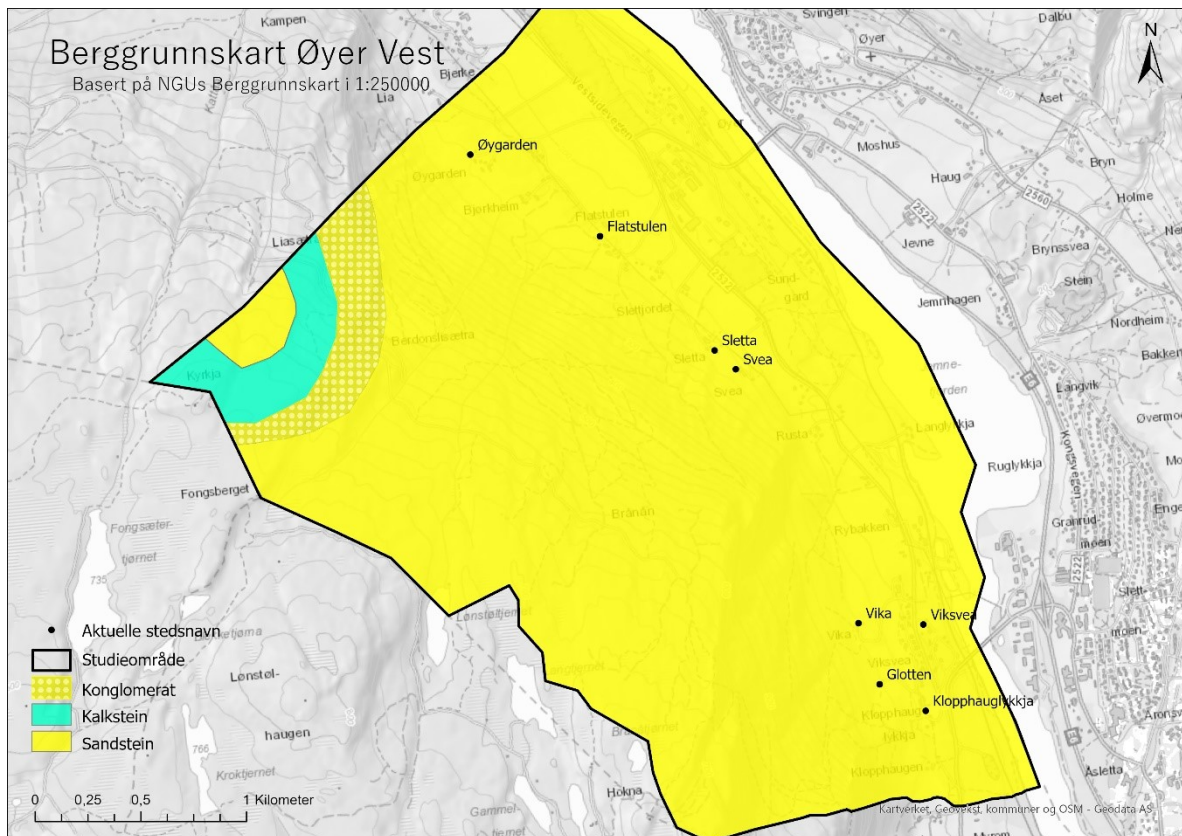
Figur 2: Kart som viser plassering av studieområde.



Figur 3: Helningskart over hele studieområdet.

2.1 Berggrunnsgeologi

Innlandet og det tidligere fylket Oppland er preget av den kaledonske fjellkjedefoldningen som går fra SV-NØ geologien i området. Deler av Gudbrandsdalen og områdene sørover består berggrunnen av senprekambrisk sandstein og konglomerat ligger som et skyvedekke over fyllitten som ligger under. Skyvedekket ble skøvet over yngre lag av leirskifer under dannelsen av fjellkjeden, og noen steder ble leirskiferen omdannet til fyllitt (Mæhlum & Thorsnæs, 2021). Permeabiliteten kontrollerer i hvilken grad vann kan sive inn i bergarten, og en av faktorene som påvirker permeabiliteten er oppsprekningsgraden lokalt (Selby, 1982). Sandstein har ofte god permeabilitet, mens fyllitt varierer avhengig av graden av metamorfose (Walberg & Devoli, 2014). Permeabiliteten sammen med graden av sedimentasjon, mineralogi og hardheten av bergarten påvirker i hvilken grad forvitring kan redusere steinen til mindre partikler (Selby, 1982). Sandstein har lav forvitringsevne, mens fyllitt og kalkstein har en høy forvitringsevne som vil si at bergarten forvitrer relativt lett (Sulebakk, 2007). Dette er med på å bygge opp det lokale jordsmonnet, og gir ulik permeabilitet ut ifra typen forvittringsmateriale og gir ulike jordarter. Forvittringsjord fra fyllitt og skifer vil i stor grad inneholde leirpartikler, noe som bidrar til en lav permeabilitet (Walberg & Devoli, 2014). Store deler av studieområdet består av sandstein, med innslag av dolomittstein og konglomerat i nord-vest noe som kan ses i Figur 4 (NGU, 2020).



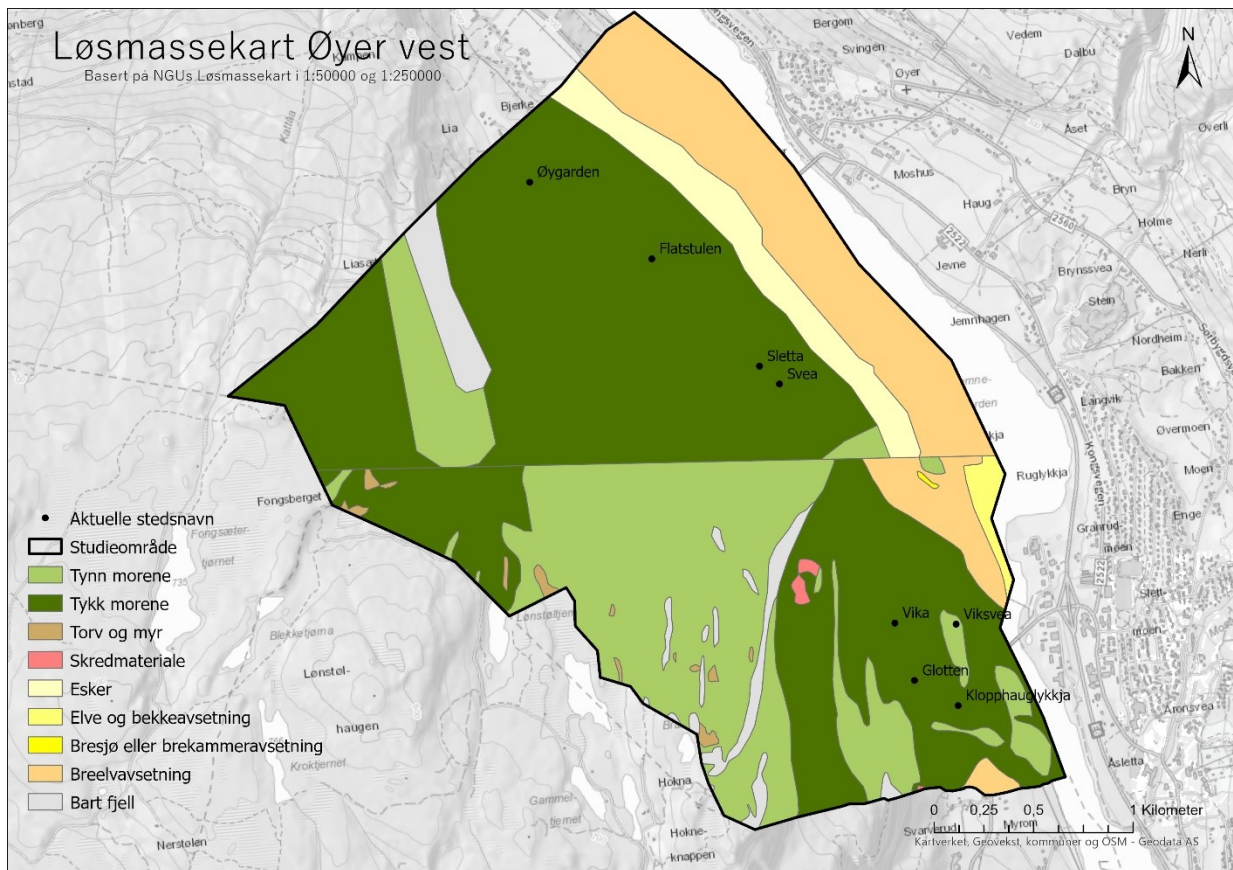
Figur 4: Berggrunnskart over studieområdet.

2.2 Kvartærgeologi

Dalsiden dekkes i stor grad av morenemateriale. Dette er materiale som isbreer har blitt tilført gjennom breens erosjon langs kantene og bunnen og tilførsel fra fjellsidene. Det materialet som er ved bresålen vil gradvis slipes ned og avrundes i kantene under transporten som følger strømningsmønsteret til breen. Materialet i breen vil bli avsatt når breen ikke lenger har kraft til å transportere dette videre. Det finnes flere ulike moreneformer som har ulike visuelle karakterer og kan ha ulik grad av konsolidasjon. For eksempel bunnmorene er materiale som er avsatt under bresålen og først kommer frem når breen smelter, og kan inneholde store deler finmateriale men også grovere blokkmateriale avhengig av berggrunn og erosjon.

Bunnmorenen er ofte konsolidert, altså sammenpresset og hard som følge av vekten av ismassene noe som gjør at materialet blant annet kan ha en høyere helningsvinkel før det oppstår et høy skjærstress (Sulebakk, 2007). Basert på feltarbeid i studieområdet er det trolig lite bunnmorene i overflaten i områdene som er befart. Morene kan inneholde alt fra leire til stein og blokker, og er som oftest usortert og hardt pakket sammen (Walberg & Devoli, 2014). I følge NGUs kvartærgeologiske kart (NGU, 2017) som Figur 5 baseres på, består studieområdet i hovedsak av vekslende av tynt og tykt morenemateriale med variasjon av

tykkelse. Nederst i dalbunnen er det breelavsetninger øst for Viksvea og nordover gjennom hele studieområdet. Det er et lite område ovenfor Vika som er kategorisert som skredmateriale. Den sørlige delen av studieområdet er kartlagt i 1:50000, mens det nordlige området er kartlagt i 1:250000, noe som gir ulik detaljnivå gjennom studieområdet. I den sørlige delen av området er det også noen områder som er kartlagt som bart fjell, samt noe torv og myr høyere opp i studieområdet (NGU, 2017). Befaring bekreftet at det i hovedsak er morene i dette området, men også mye steinblokker de fleste fra steinsprang. Det er også mulig at det er en del blokker fra morene i området. Det ble antatt at blokker med skarpe kanter stammet fra steinsprang mens blokker med noe avrundede kanter stammet fra morene da disse ofte i større grad har vært utsatt for erosjon. I skredavsetningene fra jordskred er det mye blokker og store steiner, noe som kan indikere at flere av disse skredene har blitt utløst av steinsprang eller ved/under steinsprangtallus. Mange bratte dalsider i Norge er dekket av morenemateriale og er flere steder også dekket av talus. Her er det ofte at løsmassene inneholder mellom 10% - 30% silt og leire (Sandersen et al., 1996). Områder som består av kambro-silurske bergarter som er lett eroderbare, har ofte et morenedekke som har en større andel leirpartikler og er tykkere. Sandstein er et eksempel på en kambro-silursk bergart som kan være lett eroderbar, samt fyllitt. Morene med høyt innhold av leirpartikler kan føre til større overflateavrenning og økt fare for jord- og flomskred under langvarige eller intensive nedbørsperioder. Dette kan skje ved at leirpartiklene kan redusere infiltrasjonskapasiteten i jorda (Walberg & Devoli, 2014). Observasjon av ortofoto samt befaring ute i felt viser at det er større områder som er dekket av skredmateriale fra steinsprang enn det som er tegnet i løsmassekartet til NGU. Grunnen til dette er at løsmassekartene til NGU er i relativt store målestokker som gjør at kun landformer og avsetninger av en viss størrelse synes i kartet.



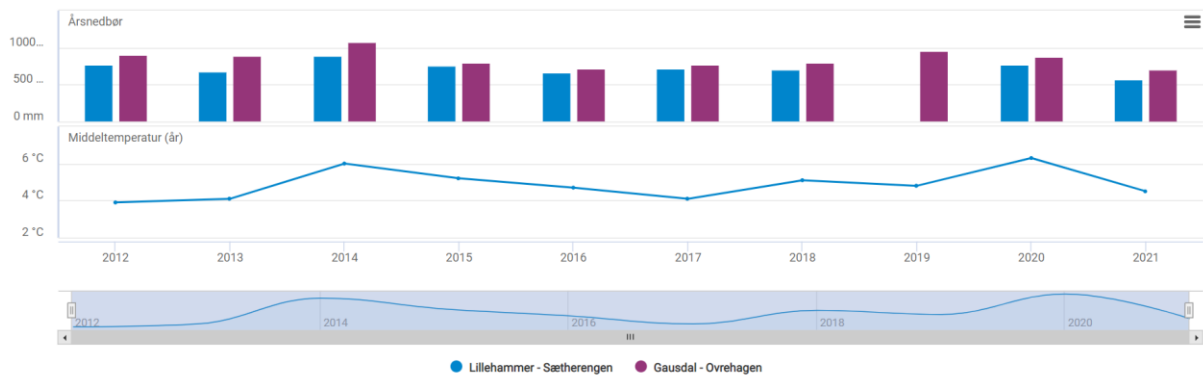
Figur 5: Løsmassekart over studieområdet.

2.3 Klima

Øyer kommune har varme somre og kalde vintre, noe som er et typisk kontinentalt klima (Norsk klimaservicesenter, 2021). Nedbøren i løpet av året kan kategoriseres som relativ lav, og i løpet av sommermånedene kommer størsteparten av nedbøren (Sulebakk, 2007). Om vinteren har området normalt sett et stabilt snødekke (Walberg & Devoli, 2014). Lokalt vil nedbør, snømengde og temperatur variere, blant annet på grunn av høydeforskjellen på dalen (Sulebakk, 2007). Den gjennomsnittlige årsnedbøren for Øyer ligger mellom 724-849 mm, basert på målinger fra 2012 til i dag ved de to nærmeste værstasjonene, noe som kan ses i Figur 6. Disse værstasjonene er Sætherengen i Lillehammer og Ovrehagen i Gausdal.

Perioden 1991-2021 er den årlige gjennomsnittsnedbøren ved værstasjonen Sætherengen på 723mm, hvor det er registrerte nedbørsverdier for 23 år (Norsk Klimaservicesenter, 2022).

Dette er imidlertid ikke nok verdier for å kunne beregne en klimanormal (World Meteorological Organization, 2017). Middelttemperaturen registrert på Sætherengen i Lillehammer de siste ti årene ligger på mellom fire og seks grader (Norsk Klimaservicesenter, 2022).



Figur 6: Årsnedbør for værstationene Øvrehagen og Sætherengen fra 2012-2021, samt middeltemperatur for Sætherengen.

2.3.1 Forventet fremtidig klima

I slutten av dette århundret er det sannsynlig med en økning i temperatur og av episoder med kraftig nedbør. Disse episodene er forventet å øke vesentlig både i hyppighet og intensitet. Årsnedbøren i tidligere Oppland fylke er beregnet å øke med omtrent 20%, og det samme gjelder nedbørsmengden for døgn med kraftig nedbør. Det er også forventet en sannsynlig økning i flomvannføringen, spesielt i mindre bekker og elver. Økte nedbørsmengder vil også føre med seg en sannsynlig økt fare for jord-, flom- og sørpeskred (Norsk klimaservicesenter, 2021).

2.4 Historiske hendelser

Den største kjente hendelsen i vår tid som naturkatastrofe er Storofsen 21.-23 juni 1789 som var en stor flom. Denne flommen oppsto på grunn av blant annet de store nedbørsmengdene som følge av et van Bebbler lavtrykk som gjorde at et nedbørsområde ble liggende i ro over Østlandet i omtrent tre dager etter flere uker med sol og varmt vær. Det oppsto nye bekker og innsjøer i dalbunnen, samtidig som mange jord- og flomskred rammet dalsidene. Denne hendelsen tok med seg mye løsmateriale fra dalsidene. Mange gårder og småbruk ble skadet eller tatt av massene med jord og vann, og flere var tapt for godt. I Øyer ble 53 bruk tatt skade av i flommen, og 20 av dem hadde skader fra skred (Roald, 2013).

Det er skrevet om to store jordskred som har gått i Baksida i Øyer, og begge skrevet ned etter folkeminnet av sokneprest Ole Ulsteen som var i embetet i Øyer mellom 1890 og 1899. Det er beskrevet et skred som gikk ved Glotten (Evenrud) og Vika (Viken) som gikk ned mot Viksvea og ett ved Sletta. Viksvea har i etterkant av dette blitt kalt for Skriua. Gården Glotten ble bygd av Even og Mari, og Even var født i 1787, noe som viser at skredet her gikk etter

Storofsen, mulig rundt 1820-1830. I følge beretningene så delte skredet seg på oversiden av gården, og gikk i to løp, ett på nordsiden og ett på sørsiden av gården. Delen av skredet som gikk sør for Vika gikk nedover den gamle fegutua og mot Viksvea som ligger rundt 300-400 meter fra Vika i retning Lågen.

Skredet ved Sletta beskrives som mye mindre enn skredet ved Vika, men det endte med store skader på dyrka mark. Ulsteen skriver at samtlige hus og et stort stykke innmark ble revet bort av skredet og la seg i en haug nedenfor gården. En tidligere gardbruker på Sletta forteller i ettertid at han og andre hadde hørt fra eldre folk at det kun var låven som ble tatt, ikke samtlige hus. Det ble også fortalt at tømmerlåven ble kastet rett til værs når det ble truffet av skredet. Det skrives at det er lite sannsynlig at dette skredet gikk under Storofsen da Sletta ikke er nevnt i skadetaksten sammen med de andre gårdene som fikk ødeleggelser. Så det er usikkert når dette skredet gikk, men det spekuleres i om det mulig gikk rundt samme tid som skredet i Vika. Det skrives at på denne tiden var hele lia oppover godt som nedhogd for skog samtidig som området ble brukt som beite. En som jobbet som gårdskar på Sletta på starten av 1900-tallet forteller at han var med på å rydde vekk noe langs de gamle skredmassene som lå på jordet. Han beskriver at det var mye stein og lite jord i skredavsetningene. Etter rydding var det mulig å se gammel åkerstubb, noe som tydet på at skredet gikk etter innhøstinga på høsten eller tidlig på våren, altså ikke i juli (under Storofsen) da siste onna ikke var unnagjort. Skredavsetningene dekte et område på rundt 40 meter i bredde og 150 meter i lengde, og avsetningene lå på jordet i flere generasjoner. Dette frem til landbruket ble motorisert og det ble ny dyrka mark der de gamle skredavsetningene lå (Rybakken & Kraabøl, 1989).

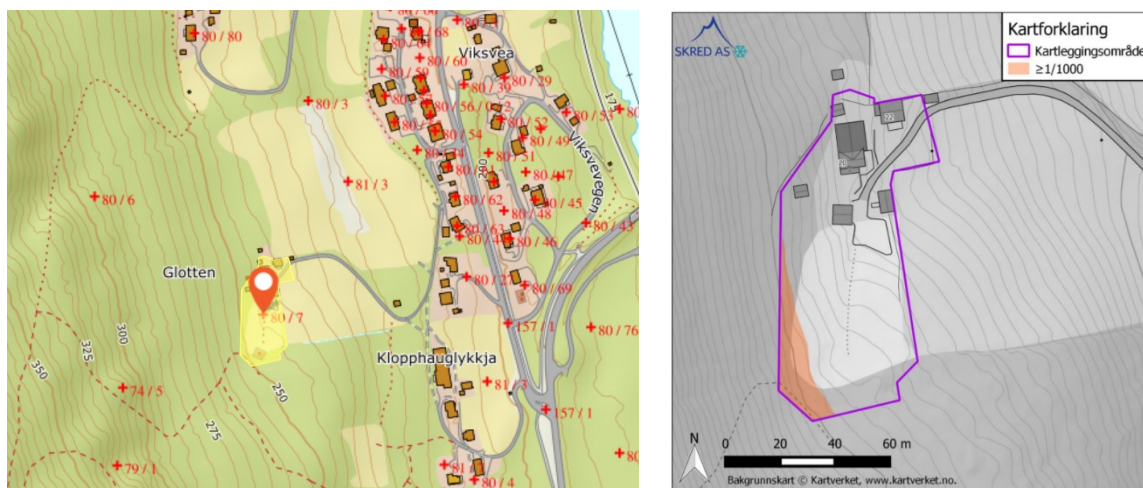
2.5 Tidligere skredfareutredninger i området

Det er gjort skredfarevurderinger av eiendommene 80/2 ved Vika og 80/7 ved Glotten. Begge utført av Skred AS og ferdig utført sommeren 2021. Videre vil disse eiendommene bli omtalt som Vika og Glotten. Ved Vika ble det utført skredfarevurdering i forbindelse med regulering av boligtomter (Lunde, 2021), mens ved Glotten ble dette utført på grunn av søknad om tilbygg på bolighus samt bygging av ny garasje/redskapshus (Lome et al., 2021).

2.5.1 Glotten

For eiendommen 80/7 ved Glotten ble det konkludert med at den årlige sannsynligheten for skred er høyere enn 1/1000 i den vestlige delen av området som ble undersøkt, og det er ikke en sannsynlighet på $>1/100$ på tomte. Dette kan ses i Figur 7. Det ble også konkludert med at

løsmasseskred vil være den mest aktuelle skredtypen ovenfor undersøkelsesområdet. NVE hadde innsigelse til kommunen om at skogens skreddempende funksjon må avklares og eventuelt sikres før byggetillatelse gis. Skred AS påpekte at faresonene kan øke om deler av eller hele vegetasjonen forsvinner, og påpekte at det i NVEs veileder står at skredfarens skal vurderes ut fra dagens forhold og syntes derfor det var underlig at NVE hadde innsigelser mot dette. I forbindelse med denne skredfarevurderingen ble det ikke utført befaring da de mente de hadde nok observasjoner fra befaringen ved utredningen ved Vika i kombinasjon med bilder av overliggende fjellside og tomt sendt fra oppdragsgiver. Det kommer frem i rapporten av om vegetasjon eller terreng endres betydelig, anbefales det en ny utførelse av skredfarevurdering da slike endringer kan ha betydning for skredforholdene. De historiske skredhendelsene som nevnes i rapporten nevner kun hendelser som er registrert i NVE Atlas, hvor den nærmeste registrerte skredhendelsen er omtrent 800 meter sør for tomten (Lome et al., 2021).

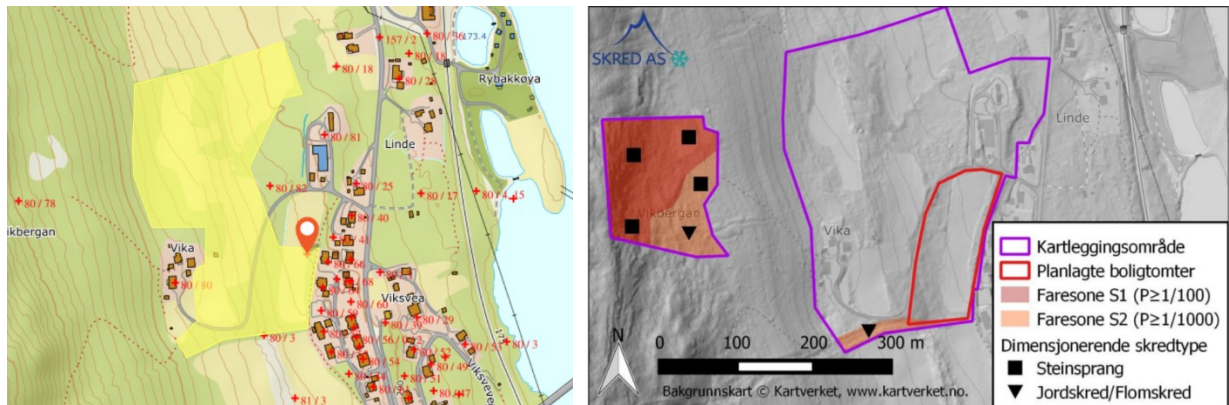


Figur 7: Vurdert område for Glotten og resultater av farekartlegging utført av Skred AS (Lome et al., 2021)

2.5.2 Vika

For Vika er det konkludert med en årlig sannsynlighet for skred i to områder. Det ble besluttet med en sannsynlighet høyere enn 1/100 og 1/1000 i det øvre vurderingsområdet, og høyere enn 1/1000 i det nederste vurderingsområdet. I disse faresonene er det steinsprang og løsmasseskred det er dimensjonert for og kan ses i Figur 8. Det konkluderes med at om skogen i overkant skulle forsvinne vil faren for skred øke, spesielt for jordskred og noe snøskred, og at skredutbredelsen blir lengre. Som følge av innsigelse fra NVE krevde kommunen også å få en skredfarevurdering uten skog i dalsiden, selv om NVEs veileder sier at det er dagens forhold som skal vurderes. Rapporten påpeker at de anbefaler en ny vurdering

om vegetasjon eller terreng endres i større grad. Befaringen ble utført 21.10.2020 med et tynt lag snø på bakken samt lavt skydekke, det påpekes at det ikke var optimale observasjonsforhold. Det er ikke registrert tidligere hendelser her i NVE atlas, men det påpekes at i geomorfologien er det tegn til tidligere jordskred og steinskred/steinsprang (Lunde, 2021).



Figur 8: Vurderingsområde av Vika og resultater av farekartlegging utført av Skred AS (Lunde, 2021).

3 Teori

I dette kapitlet blir teorier angående relevante temaer som karttyper, ekstremnedbør, løsmasser, jordskred, flomskred, steinsprang og vegetasjon presentert. Dette danner et grunnlag for det videre arbeidet i denne masteroppgaven.

3.1 Ulike karttyper

Det eksisterer ulike typer kart som viser fare for skred. Disse baserer seg på ulike detaljnivå og ulike nivåer av individuelle vurderinger fra sted til sted. Kartene har ulike formål og bruksområder.

3.1.1 Aktsomhetskart

Aktsomhetskart er et enklere faresonekart som kan utarbeides gjennom bruk av geografiske informasjonssystemer sammen med teoretiske beregningsmodeller for skredfare (Lied et al., 2014). Generelle regler for å identifisere utløp og løsneområder for skred er også ett av grunnlagene. Aktsomhetskart gir en oversikt over potensielt skredfarlige områder, og om det planlegges bygging innenfor sonen som dekkes av kartet må det utføres en skredfarevurdering som avklarer den reelle faren (NVE, 2021c). Slike kart kan være svært effektive, men de er ikke kontrollert ute i felt og fareområdene kan være upresise og misvisende (Lied et al., 2014).

3.1.2 Faresonekart

Et faresonekart kan bestå av skredområder som viser fra skredfaglige beregninger og vurderinger at skred kan forekomme og historiske kjente skred. Et detaljert faresonekart utarbeides gjennom å utføre vurderinger av lokalklima, feltarbeid, geomorfologiske og geotekniske undersøkelser (Lied et al., 2014). Kartet skal vise den reelle faren for skred ved kvantifisering og vises ved nominell sannsynlighet, noe som også viser til om et område dekker sikkerhetskravene til Byggeteknisk forskrift TEK17§7-3 (NVE, 2021c).

3.1.3 Risikokart

Risikokart er et faresonekart som er utvidet hvor den samlede risikoen for skred er vist, den viser altså kombinasjonen av konsekvens og sannsynlighet (Lied et al., 2014).

3.2 Ekstremnedbør

Sensitiviteten til nedbørsfeltet, altså nedbørsfeltets evne til å motstå endringer av en ekstern hendelse påvirker i stor grad hvordan nedbøren påvirker nedbørsfeltet. En slik endring av en ekstern hendelse kan for eksempel være regn og flom. Spesielt langtidseffektene av ekstremnedbør i bratte vassdrag avhenger av sensitiviteten (Brunsdén & Thornes, 1979). Et sensitivt nedbørsfelt vil kunne komme ut av likevekt og reagere lett på eksterne hendelser. Erosjon og skred ved elvebredder kan føre til at sedimenttilgangen økes og endringer i elveløpet, for eksempel ved at et større elveløp deler seg i flere mindre løp. En tilstand som dette kan tilbakevendes til det originale løpet om sedimenttilgangen avtar. Tiden som elvesystemene bruker på å tilbakevende til den opprinnelige likevekten kalles for avspenningstid (Bye et al., 2013). I fremtiden vil en økende frekvens av ekstreme hendelser føre til at nedbørsfeltenes sensitivitet endres. Mer robuste systemer har kortere avspenningstid enn sensitive systemer (Milan, 2012).

Styrtflom dannes i små vassdrag, defineres som oftest som mindre enn 400 km², og oppstår maksimalt seks timer etter den utløsende værhendelsen. Konvektive og kortvarige nedbørshendelser ved svært høy nedbørsintensitet hvilket bare rammer et begrenset område er forbundet med styrtflommer. Definisjonen på kortvarige nedbørshendelser er at de kan vare fra noen timer til flere døgn. Vannføringen under styrtflommer kjennetegnes ved en uvanlig rask stigning og har ofte høyere vannføring enn andre flommer med andre årsaker i vassdraget. Det er vanlig at bare deler av et nedbørsfelt vil bli rammet av styrtregn hvis det er et større vassdrag. Dette fører til at de er de bratte, små sidevassdragene som får styrtflom (Bye et al., 2013). Typisk har vassdragene som opplever styrtflom et variert og stort relieff. Et stort relieff kan potensielt bremse og delvis stoppe nedbørscellene, og dermed blir nedbøren konsentrert på et lite område. På en annen side kan også et stort relieff forsterke nedbøren ved heving og avkjøling av luft, slik at mer fuktighet avgis. For at en styrtflom skal oppstå må store deler av dreneringen foregå på overflaten, dette gir en raskere avrenningsrespons enn ved drenering i grunnen. Løsmassenes mektighet og evnen til å drenere og ta opp vann samt fuktighetsforholdene i jorda, har betydning for overflateavrenningen og da hurtigheten på vannstigningen. I nedbørsfelt som har lite vann i de øverste jordlagene og har lavt

grunnvannsspeil vil avrenningen reagere senere og mindre enn i nedbørsfelt hvor løsmassene er fylt opp av vann før nedbøren (Marchi et al., 2010).

Overflatevann kan følge kanaliserte avløp eller flateavløp som er når vannet strømmer uten å følge et bestemt, varig og avgrenset løp. Avrenningen bestemmes også av arealbruken, vegetasjonen inkludert type, dekningsgrad og sammensetning, jordtype og helningen og lengden på skråningen. Overflateavløpet vil normalt øke når jorddekket blir tynnere og terrenget brattere, og avta når jordlaget blir tykkere og mer porøst samt om vegetasjonen tykner. Ved skogsmark vil mye mindre av nedbøren renne av på bakken enn ved dyrket mark eller i bystrøk med mye hus og asfalt, dette på grunn av at en større andel av vannet blir enklere infiltrert i skog. Kanaliserte avløp er bekker og elveløp, men disse fører ikke nødvendigvis vann hele tiden. Noen fører vann bare rett etter nedbørsfall, mens andre fører vann bare i visse perioder av året. Det er vanlig å finne trekkene av alle disse typene i alle elvesystemer (Sulebakk, 2007).

Jordskred blir ofte utløst av styrtregn, og dette kan potensielt forsterke indirekte og direkte skadeeffekten av styrtflommer ved at skred vil tilføre bekker og elver med sedimenter (Bye et al., 2013).

3.3 Skred

Skred er definert som en massebevegelse som beveger seg hurtig og vil utløses når en masses drivkraft overgår styrken til den aktuelle massen og hva den kan mobilisere. Tyngden til massen som virker langs skråningen er kalt for skjærstresset. Om skråningen ytterligere belastes vil skjærstresset øke, slike belastninger kan være maskiner, mennesker som går, bygninger eller liknende.

Styrken i massene, kalt skjærstyrken defineres av tyngdekraften slik at komponenten av massens tyngde vil virke normalt på skråningen og skaper dermed friksjon. Finkornede kohesive materialer vil få en tilleggsstyrke mellom de enkelte mineralkornene ved at det oppstår svake kjemiske bindinger mellom disse. Dersom porevolumet ikke er fylt opp med vann, som vil si at det atmosfæriske trykket er høyere enn porevannstrykket, kan det bidra til kohesjon. Om vannmengdene øker og porevolumet mettes ved vann er det et positivt porevannstrykk i massene. Dette bidrar til å presse alt fra enkeltkorn til store fjellpartier fra hverandre, og dette er årsaken til sammenhengen mellom nedbør og mange typer skred. Det er en sikkerhetsfaktor som kan si noe for sannsynligheten for skred, hvilket uttrykkes som $F = T_f$

/ T (skjærstyrken/ skjærstresset). Skråningen er stabil om $F > 1$, mens $F < 1$ gir en høyere sannsynlighet for skred. Dette prinsippet gjelder for stabilitet i løsmasser, snø eller fjellpartier (Bye et al., 2013). Stabiliteten i en skråning vil også ha en positiv effekt av tele i bakken, men dette effekten blir borte når telen tiner (Lied et al., 2014).

Det er vanlig at skred oppstår under spesielle værforhold. Hvor stor rolle de meteorologiske faktorene har vil være ulikt ut ifra typen skred. Noen vil respondere relativt raskt innen et par timer fra været inntreffer, mens andre har lengre responstid helt opp til flere måneder.

Flomskred er vanligvis utløst under perioder med mye nedbør, og/eller under snøsmelting.

Det tyder på at innholdet av vann i jorda fra før er viktig for terskelverdier for nedbørsintensitet og intensiteten ved snøsmelting, ved at det trengs mindre tilførsel av vann i løsmassene for å oppnå ustabilitet og utgliding hvis det er høyt vanninnhold i massene fra før (Sandersen et al., 1996).

3.4 Løsmasser

Avsetninger som ligger på toppen av fast fjell kalles for løsmateriale. Løsmateriale klassifiseres ofte etter opphav og kornstørrelse, hvilket er en viktig egenskap. Egenskapene til løsmaterialet kan være forskjellige som følge av kornform, kornstørrelse, porevolum, sortering og porøsitet. Disse faktorene er essensielle for om et skred kan utløses og hvordan bevegelsen til et utløst skred vil arte seg. Forvitring er også en prosess som vil endre materialeegenskapene i en skråning over tid og dermed påvirke sannsynligheten for utløsning av skred. Et eksempel på hvordan ulike faktorer påvirker skred er jordskred som ofte ikke beveger seg lenger enn til foten av skråningen, mens et flomskred kan ha stor utløpsdistanse på grunn av flytende masse (Bye et al., 2013). I et flomskred vil bevegelsen involvere interaksjoner og krefter mellom de mineralske partiklene og vannet i massen. Dette er ulikt fra bevegelsen i et jordskred (Iverson, 1997). Der vil bevegelsen domineres kun av interaksjon mellom de mineralske partiklene. (Bye et al., 2013).

Løsmasser deles inn i kohesjonsjordarter eller friksjonsjordarter etter som hvilke fysiske egenskaper de innehar, noe som i stor grad er avhengig av innholdet av silt og leire. Jordarter av silt og leire kan ha kohesjon, en type sementering mellom jordpartiklene i tillegg til friksjon. Kohesjonen virker som en bindende kraft og bidrar til å øke styrken. I motsetning til masser av sand og grus som betegnes som friksjonsjordarter. Masser med silt og leire har lav permeabilitet, noe som gjør at porevannstrykk kan bygge seg opp og svekke stabiliteten. Skråninger med et stort innhold av silt og leire vil vanligvis være mer skredutsatt enn

tilsvarende skråninger med grovere masser. Grunnen til dette er at grovere masser har høy permeabilitet som gjør at det sjeldent bygges opp vanntrykk i disse massene. Jordarter som dette vil også vanligvis stå stabilt om helningsvinkelen er mindre enn omtrent 37 grader. Om ekstremnedbør eller jordskjelvrystelser oppstår vil denne stabiliteten påvirkes. Det er vanlig at et løsmassedekke vil ha lag med forskjellig sammensetning og styrkeegenskaper. Dette vil påvirke transport av vann og er avgjørende for hvor kritiske porevannstrykk kan bygge seg opp (Lied et al., 2014).

I jordprofilen vil det kontinuerlig være endringer som følge av utvasking hvor det er tilgang på oksygen i det øverste laget, og utfelling vil skje lengre ned hvor oksygen er mindre tilgjengelig. Dette utfellingslaget vil ha lav permeabilitet fordi det er tett. Uttørring, frostpåvirkning, biologisk aktivitet og røtter vil gi det øverste laget en struktur som er porøs og som har stor vanngjennomtrengelighet. Derfor vil positive porevannstrykk kunne bygge seg opp ved stor vanninfiltrasjon i overgangen mot utfellingslaget (Lied et al., 2014).

3.4.1 Løsmasser i Norge

Det er et tydelig skille mellom fast fjell og løsmasser i Norge, i kontrast til sydligere strøk hvor det er en overgang med forvitret fjell til fast fjell. I Norge ble dette laget fjernet med istidene, og løsmassene i landet i dag stammer i hovedsak fra den siste istiden og tiden etterpå. Naturlig vil de fleste løsmasser bestå av flere ulike kornfraksjoner, for eksempel vil morenemateriale normalt være sortert dårlig og inneholde alt fra silt og leire til store blokker. Løsmassedekket i Norge er i et geologisk perspektivt ungt, og derfor har mange skråninger en relativt lav sikkerhetsmargin. Disse massene har tilpasset seg de rådene klimatiske forhold, og ved værforhold utenom det vanlige kan det oppstå kritiske forhold (Lied et al., 2014). Klimaprognoser for fremtiden indikerer oftere situasjoner med kraftig nedbør, og derfor er det grunn til å tro at stabiliteten i skråninger vil svekkes hvis prognosene inntreffer (Masson-Delmotte et al., 2021).

3.4.2 Morene

Morene er som oftest avsatt rett på berggrunnen eller over andre løsmasser av en isbre (Lied et al., 2014). En stor del av løsmassedekket i Norge over marin grense er morene, spesielt i dalsider (Eilertsen et al., 2021). I Norge er det meste av morenematerialet transportert over avstander på mindre enn 5 km. Dette vil si at morenen er erodert og transportert fra den lokale berggrunnen. Dermed kan morenemateriale ha ulike egenskaper utfra hvilken berggrunn den

kommer fra og hvor morenen ligger i dag (Opsal, 2017). Morenematerialet kan være alt fra noen meter til å ha stor mektighet. Dette materialet er typisk dårlig sortert med et silt- og leire innhold på 5-15%. Morenen er også overkonsolidert som følge å ha vært påvirket av isen, noe som fører til høy lagringsfasthet og skjærstyrke i morenen. I innlandet er det flere steder et relativt jevnt dekke med bunnmorene som er dannet under isen. Over denne kan det ligge ablasjonsmorene som er masser som lå oppå eller inni isen, dette kan for eksempel være store blokker. Det er sannsynlig at det var svært stor skredaktivitet i perioden etter avsmeltingen før etablering av vegetasjon, og en stor del av gamle skredavsetninger vi ser i dag er sannsynlig fra denne tiden (Lied et al., 2014).

3.4.3 Glasifluviale avsetninger

Avsetninger om er glasifluviale er ofte lagdelte og består av sand, grus og i noen tilfeller siltlag. Disse avsetningene har blitt transportert av breelver, altså smeltevann fra breer (Lied et al., 2014).

3.4.4 Fluviale avsetninger

Fluviale avsetninger består i hovedsak av sand og grus og er ofte lagdelte. Avsetningene består av sedimenter fra bekker og elver som er avsatt etter siste istid. Avsetningene arter seg som oftest som vifter eller dekke områder langs flate dalbunner og elvesletter. Disse kan ofte ligge som et lag over andre sedimenter, og er ofte stabile i seg selv, men dette gjelder nødvendigvis ikke de underliggende sedimentene (Lied et al., 2014).

3.4.5 Bresjø- og innsjøavsetninger

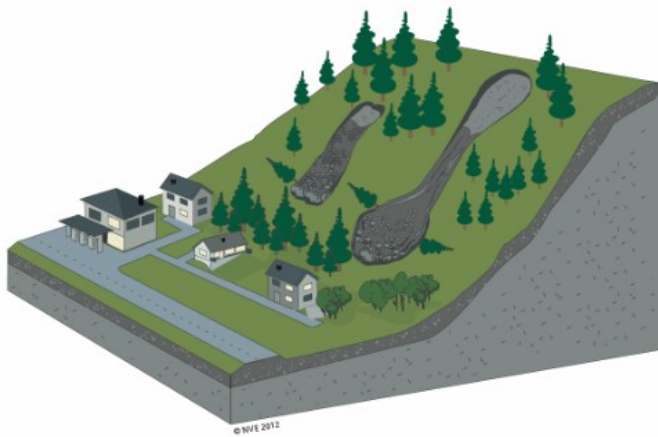
Slike avsetninger stammer fra deltaer som bygges opp som følge av elveutløp i innsjøer. Her vil de groveste sedimentene være avsatt nærmest elveutløpet med finere sedimenter som silt og leire lenger ut i innsjøene. Leira her vil ha en skjærstyrke som er lav. Bresjøavsetninger stammer fra slutten av siste istid da mange store innsjøer var demmet opp av innlandsisen. Slike innsjøer fikk avsatt mengder med sedimenter, og etter at demningen av is braste ble sedimentene liggende igjen på land. I dette materialet kan utglidinger lett forekomme i skråninger og vil være utsatt for erosjon (Lied et al., 2014).

3.4.6 Forvittringsmateriale

Dette materialet dannes ved at berg forvittrer slik at nytt løsmateriale dannes. Den største forvitringen skjer som følge av frostsprengning i oppsprukket berg ved at vannet utvider seg når det fryser, såkalt mekanisk forvitring. Forvitring kan også skje som følge av at kjemiske reaksjoner oppløser berget, såkalt kjemisk forvitring. Dette er oftere en viktigere faktor i varmere strøk enn i Norge. Forvitring kan føre til utløsning av for eksempel steinsprang, og talusen som følge av gjentagende aktivitet kan få stabilitetsproblemer ved inngrep i foten av massene. Forvitring av myke bergarter kan gi opphav til dannelse av løsmasser med leire (Lied et al., 2014).

3.5 Jordskred

Jordskred defineres ifølge NVE som en rask massebevegelse som består av noe vann og grov- og/eller finkornede løsmasser som også kan inneholde noe vegetasjon. Et jordskred kan være en grunn utgliding eller strekke seg over lengre soner i en brattere skråning (Bargel et al., 2011). Jordskred vil ofte ha en bevegelse som er mer glidene enn et flomskred som vil være mer strømmende i bevegelsen (Lied et al., 2014). Volumet i skredet påvirkes av mengden materialet som rives med underveis i skredet og hvor løsnepunktet ligger i skråningen (Bye et al., 2013). Jordskred som strekker seg over lengre soner løsner ofte i et punkt, og ettersom løsmassene beveger seg nedover skråningen vil skredet bli bredere og bredere på grunn av at masser blir gjenstand for medrivning. Slike skredbaner kan ha en form som likner på en trekant (Bargel et al., 2011). Det er normalt å dele skredbanen inn i tre hoveddeler. Utløsningsområdet som typisk har en helning på 30-40 grader, skredløpet som typisk har en helning på 20-30 grader og utløpsområdet som har en typisk helning på >15 – 20 grader. Det kan i flere tilfeller være vanskelig å skille mellom jordskred og flomskred dersom skredmassene til et jordskred beveger seg ned i forsenkninger med mye vann (Lied et al., 2014). Figur 9 viser et par eksempler på hvordan jordskred kan utarte seg.



Figur 9: Eksempler på jordskred (NVE, 2020b).

3.5.1 Utløsende faktorer

Høyt porevannstrykk som følge av nedbør og/eller snøsmelting er den viktigste utløsende faktoren. Områdene i Norge som har et mer kontinentalt klima er det vanlig med skred på våren under snøsmeltingen i tillegg til oktober-januar hvor det ofte er mye nedbør. En terskelverdi for nedbør er vanskelig å definere, da det også er andre forhold ved skråningen som påvirker sannsynligheten (Bye et al., 2013). Det er lokale geomorfologiske, geologiske og hydrologiske forhold og endringer av disse som følge av naturlige fysiske, biologiske og kjemiske prosesser som kan være utløsningsmekanismer som fører til skred (Lied et al., 2014). I følge Bargel et al. (2011) må prinsipielt fire betingelser være oppfylt for utløsning av jordskred:

- Skråningshelningen må være bratt nok, og jordskred utløses typisk i terreng som er brattere enn 30 grader. Hvis de rette forholdene er tilstede kan jordskred utløses ned til omtrent 25 grader. Slike forhold kan være skråninger uten vegetasjon, tynne løsmasser oppå relativt glatte fjell eller uheldige menneskelige inngrep.
- Løsmasser må være tilstede i skråningen. Morenemateriale er den løsmassetypen som er mest skredutsatt i Norge fordi den er vanlig i dalsider, men jordskred kan også gå i forvittringsmateriale, marin leire og i tidligere skredavsetninger.
- Løsmassene må ha dårlig/liten stabilitet. Stabiliteten er relatert til friksjons- og kohesjonskreftene i løsmassene (mellomkornbindinger) og tyngdekraften.

Mellombindingene bestemmes av kornform, kornstørrelse og vanninnholdet i jorda, som avtar når vanninnholdet øker.

- Det er nødt til å være en utløsende faktor. Det er vanlig at vann vil være den utløsende faktoren for jordskred, dette kan skje som følge av store nedbørmengder og/eller snøsmelting, eller ved elve- og bekkeerosjon. Steinsprang og fjellskred kan også være utløsende faktor, samt menneskelige inngrep som for eksempel bygging av skogsbilveier.

De utløsende faktorene nevnt i punktet ovenfor er hovedkategoriene for utløsende faktorer. Grunnen til at regn og snøsmelting er en utløsende faktor er at vann vil svekke stabiliteten i jorda enten ved at det kapillære suget reduseres eller ved oppbygging av porevannsovertrykk. Økt tilførsel av vann vil også føre til økning av vannføring og sedimenttransport i bekkeløp, hvilket bidrar til økning av skredfare. Elve- og bekkeerosjon som utløsende faktor vil arte seg som undergraving av skråningsfot da dette reduserer stabiliteten. Yttersvinger i elveløp er særlig utsatte og finkornede sedimenter som silt og sand er i større grad utsatt for erosjon enn masser som er grovere.

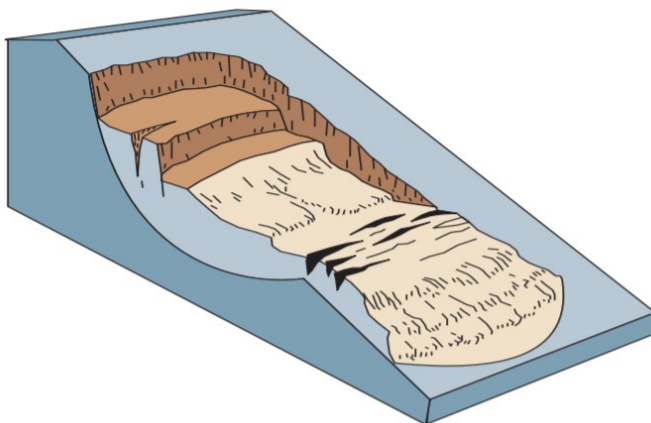
Menneskelige inngrep kan også føre til undergraving av skråningsfot som for eksempel ved graving i forbindelse med byggetomter. Ytre påvirkning fra steinsprang og steinskred kan være utløsende om underlaget er vannmettet. Som følge av den dynamiske belastningen kan poretrykket overstige en kritisk grense. Kraftige jordskjelv kan utløse jordskred, men i Norge i dag er dette sjeldent. Menneskelige inngrep som endrer dreneringsforhold er også en utløsende årsak, og de vanligste inngrepene er bygging av skogsbilveier og hogst.

Skogsbilveier vil ofte samle opp alt av overflatevann som drenerer den retningen, og om gjentetting av kulverter og stikkrenner oppstår kan grøftene ved veien bli fulle og vann kan ukontrollert renne ut i skråningen som fører til erosjon og muligens skredutløsning. Slik gjentetting kan føre til liknende problemer i alle skråninger hvor det er kulverter og stikkrenner. I forbindelse med hogst vil den bindende effekten til røtter bli borte samtidig som fravær av vegetasjon vil gi økning av vann til jorda som følge av at vannforbruket til vegetasjonen er borte. Bruken av anleggsmaskiner etterlater seg spor i terrenget, hvilket kan gi endringer til avløpsmønsteret og føre til mer erosjon. Det er vanskelig å definere hvilken enkeltfaktor som førte til ustabilitet når det utløses et skred. Vanskeligheten av å peke ut en enkeltfaktor for utløsning understreker viktigheten av å vurdere alle potensielle årsaker (Lied et al., 2014).

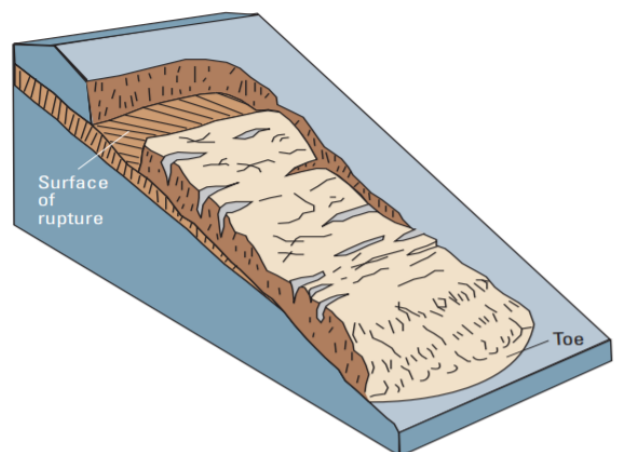
En studie utført på sørøstlandet høsten 2000 ble det konkludert med at nedbørssummen over en 50-dagers periode korrelerte bedre med skredutløsningene enn kraftig nedbør dagene i forkant av skredene. Den langsiktige infiltrasjonen i grunnen var viktig her, og de fleste skredene ble utløst i masser med silt og leire hvor overflateavrenning fort vil oppstå ved nedbør (Jaedicke & Kleven, 2008). Dette viser at lokale forhold er viktig å ta i betraktning ved vurdering av nedbørsterskler. Terskelverdier er vanskelig å angi, men det antas at det i innlandet i Norge må komme 40-80 mm nedbør i løpet av 2-4 timer for å utløse skred (Lied et al., 2014).

3.5.2 Klassifisering

Det er også mulig å klassifisere jordskred ut i fra bevegelsen til skredet. Et rotasjonsskred har bevegelse langs et konkavt plan og et translasjonsskred har bevegelse langs en plan flate (Highland & Bobrowsky, 2008; Lied et al., 2014). Rotasjonsskred utløses oftest i skrånninger med en helning på 20-40 grader i homogent materiale. Det kurvede glideplanet vil gi skredmassene en roterende bevegelse noe som kan ses i Figur 10. Translasjonsskred er vist i Figur 11 og vil ofte utløses langs geologiske brudd slik som forkastninger, i laget mellom fjell og sedimenter eller langs permafrostlaget. Slike skred vil vanligvis være grunnere og ha lengre utløpsdistanse enn rotasjonsskred. Translasjonsskred kan også variere stort i størrelse (Highland & Bobrowsky, 2008). Lied et al. (2014) påpeker imidlertid at de fleste jordskred vil gli ut på en mer eller mindre parallell glideflate. I morene er glideflaten ofte mot utfellingslaget, overgangen mellom uforvitret og forvitret morene (Lied et al., 2014).



Figur 10: Rotasjonsskred (Highland & Bobrowsky, 2008)



Figur 11: Translasjonsskred (Highland & Bobrowsky, 2008).

3.5.3 Løsneområde

En studie utført av Opsal (2017) viser at skjærstyrken til morene vil variere ut i fra hvor den opprinnelig stammer fra, og det spekuleres i om friksjonsvinkelen varierer etter mineralogisk sammensetning og kornstørrelse. Dette arbeidet er en start på å potensielt kunne svare på hvorfor løsneområder for jordskred oppfører seg slik de gjør. I studien utført av Eilertsen et al. (2021) ble løsneområdene for 488 jordskred i åpen skråning undersøkt i ulike deler av Norge, og mesteparten av disse befant seg i morene, forvitningsmateriale og skredavsetninger. Dette har også sammenheng med at morene er den løsmassen som dekker mest områder i Norge og dekker et vidt terreng med ulike skråningshelninger. Det var flest utglidinger i sammenhengende dekke av morenemateriale. Av løsneområder i skredavsetninger var det flest utglidinger i materiale fra steinsprang, disse avsetningene er ofte i bratt terreng og utglidingene skjedde typisk i avsetninger som var usammenhengende og tynne. Det påpekes at dette kan antyde at det er de underliggende sedimentenes egenskaper eller distansen til grunnfjellet er avgjørende for hvor lett utglidingene i de overliggende skredavsetningene vil skje.

Minimumsgradient for utløsning i morenemateriale var på 17 grader og maksimum på 44 grader av totalt 388 løsneområder. For steinsprangavsetninger var dette 29 grader og 42 på det meste av totalt 18 løsneområder. Totalt i studien var helningen på skråningene hvor omtrent 68% av alle registrerte løsneområder mindre enn 30 grader, med en hovedvekt mellom 25-30 grader med 42%. Det er registrert at 5% av løsneområdene er i skråninger slakere enn 20 grader, og det er få skred som har løsnet i skråninger brattere enn 40 grader. Det konkluderes med at løsmasstype og helning ikke direkte kan identifisere kildeområder for jordskred, og at det er andre egenskaper som styrer denne prosessen (Eilertsen et al., 2021).

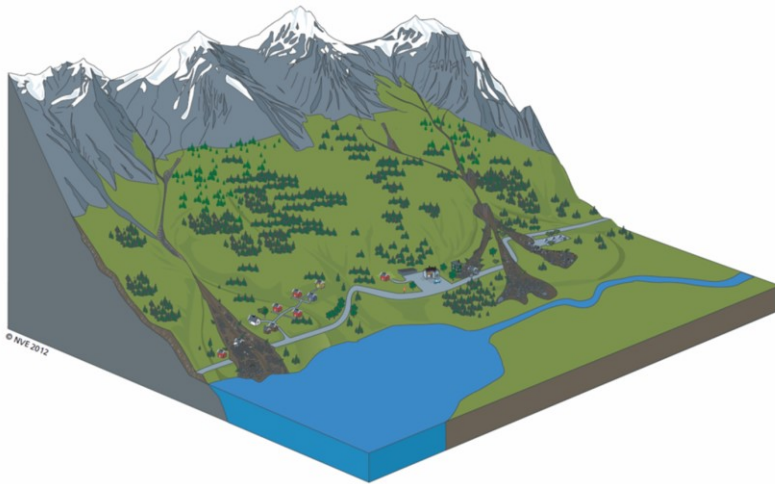
Denne studien har også sett på sammenhengen mellom dreneringsområde og skråningsgradient ved bruk av «Flow Accumulation» og 10x10 m DTM i ArcGIS. Det viste seg at løsmasser i bratte skråninger trenger mindre dreneringsområde for å utgliding enn løsmasser på skråninger med slakere helning. Vanntilførselen og poretrykket i løsmassene vil øke med et større dreneringsområde og dermed redusere intern friksjon noe som kan føre til utgliding. Her er det ikke funnet en trend i morenemateriale, men en ganske klar trend i skredmateriale (Eilertsen et al., 2021).

I Sør-Fron var løsneområdene med slakere helning relatert til dyrket mark, mens skred utløst i brattere terreng enn 35 grader var relatert til skogkledte skråninger. Her var det imidlertid

usikkerhet på skredenes alder og hvordan vegetasjonen var da skredet gikk. Det er observert en todelt stratigrafi i moreneavsetningene der det overliggende laget er mindre konsolidert og grovere enn det nederste delen som er konsolidert og inneholder en del finkornet materiale som silt. Ofte virker det som at glideplanet til skredene ligger mellom disse lagene, trolig på grunn av at den nederste delen blir som en barriere for infiltrasjonen av vann, og i det øverste laget blir det oppbygging av poretrykk. Det er mange grunne løsneområder, og disse er på rundt en halv meter. Dette viser til det øverste lagets tykkelse (Eilertsen et al., 2021).

3.6 Flomskred

Flomskred er et løsmasseskred med flytende bevegelse, som er hurtig og vannrikt som vil oppstå i definerte bekke- og elveløp og i gjel eller raviner hvor det ikke er permanent vannføring (Bargel et al., 2011; Highland & Bobrowsky, 2008). Det er vanlig at et slikt skred kan rive med seg og transportere tilgjengelig løsmasser, steinblokker og vegetasjon langs løpet (Bargel et al., 2011). Oftest starter et flomskred med en utgliding med redusert bevegelse, men dersom skredmassene blir brutt ned og mister skjærstyrke og fasthet, vil glidelegemet omdannes gradvis til en strømmende masse. Det er typisk at store blokker holder seg flytende på skredstrømmen, og blokker kan holde seg her utover et relativt flatt terreng (Lied et al., 2014). Skredavsetningene etter et slikt skred er ofte levéer som er rygger som går langsgående på siden av skredløpet og en stor vifte i bunnen. I vifter som dette vil det groveste materialet ligge nærmest roten til vifta og finere og finere materiale lenger ut. Figur 12 viser typiske eksempler på hvordan flomskred utarter. I et flomskred kan massene som transporteres komme fra jordskred lenger opp i flomløpet, som følge av erosjon av skråninger fra vannet eller sørpeskred. Flomskred kan også opptre i «bølger» som kommer av at løpet blir blokkert av sedimenter og vegetasjon, og når denne demningen bryter vil det strømme en bølge av vann og masser raskt nedover løpet (Bargel et al., 2011).



Figur 12: Typiske eksempler på flomskred (NVE, 2020b).

Utløsningsårsakene vil være de samme i et flomskred som i jordskred som er beskrevet tidligere, og det er under flomvannføring flomskred ofte blir utløst (Lied et al., 2014). De meteorologiske faktorene som påvirker utløsning av flomskred er nedbør og faktorer som påvirker snøsmelting. De meteorologiske faktorene som påvirker stabiliteten i skråninger er luftfuktighet, lufttemperatur og vindhastighet. Albedoeffekten til eventuell snø vil også ha en viktig rolle. Studien til Sandersen et al. (1996) fant tre mønstre for vær-situasjoner som kan trigge flomskred; Solinnstråling om våren som gir intens snøsmelting med vanligvis en ukes varighet, sterk nedbør med en varighet på typisk en dag med høyest konsentrasjon av nedbør mellom 1-4 timer i løpet av stormen, og nedbør i kombinasjon med snøsmelting med en typisk varighet på tre til sju dager (Sandersen et al., 1996).

Flomskred vil ofte på grunn av det høye vanninnholdet kunne bli utløst i et slakere terreng enn jordskred (Bargel et al., 2011). Ved ekstreme mengder nedbør kan flomskred bli utløst i skråninger som har en helning helt ned til 10 grader (Lied et al., 2014). I et flomskred begynner utløsningen ofte som et jordskred der jordstrukturen kolliderer og fører til at porevolumet synker og porevannstrykket stiger. Flomskred kan ofte oppnå høy hastighet, noe som gir partiklene et stort moment ved at partiklene spretter fra hverandre etter kollisjon med hverandre. Dette er med på å holde skredets totale friksjon i gang så lenge det er bevegelse i skredet. Overflatevann kan også blandes inn i skredmassene og bidra til et høyt porevannstrykk. Det er typisk med lite konsoliderte løsmasser der hvor flomskred oppstår, samt et terreng hvor vann og løsmasser samles lett. Et eksempel på et slikt terreng er raviner i dalsider (Bye et al., 2013). Vann er ofte den utløsende faktoren for flomskred, ofte i form av intense overflateavrenning som følge av kraftig nedbør og/eller snøsmelting vil erodere og mobilisere sedimenter eller stein i bratte skråninger. Massene i flomskred kan være alt fra

tynne og fulle av vann til tykke sedimenter med vann. Skredene er ofte relativt grunne og skredløpet er ofte langt og smalt (Highland & Bobrowsky, 2008).

Begrepet flomskred er et eget begrep i Norge og definisjonene av «debris flow» og «debris flood» vil falle innenfor det norske begrepet (Bargel et al., 2011).

3.7 Steinsprang

Enkeltsteiner og blokker i periodevis fritt fall kalles for steinsprang. Avsetningene fra steinsprang kalles for talus og ligger nedenfor skråningen materialet har løsnet fra (Selby, 1982). Disse enkeltsteinene og blokkene kan opptre i steinmasser med en størrelse på opptil 100 m³ for å kalles steinsprang. Større masser enn det kalles steinskred eller fjellskred avhengig av størrelsen (Lied et al., 2014; Sulebakk, 2007). For at steinblokkene skal ha fritt fall må det en helning på mer enn 40-45 grader til i en fjellvegg. Fallhøyden bestemmer hvor langt steinblokkene faller fra fjellsiden, og det vil være en naturlig styrtgradering hvor de største blokkene beveger seg lengst (Sulebakk, 2007). Steinsprang er vanligst på våren og høsten når temperaturen beveger seg rundt frysepunktet og frostsprengningen er størst. Steinsprang kan forekomme på sommeren og er ofte forbundet med sterk nedbør (Sandersen et al., 1996). Skred i fjell kan forekomme etter kraftig nedbør da dette kan føre til høyt vanntrykk i spalter og sprekker noe som kan gi en rasutløsende virkning. Talus som er dekket av vegetasjon og mose uten fersk stein viser i dag en liten steinsprangfrekvens (Sulebakk, 2007).

3.8 Vegetasjon

En viktig påvirkning på skråningsstabilitet er endring i vegetasjon. Røtter fra vegetasjon gir ekstra binding av jorddekket, hvilket er positivt for stabiliteten (Lied et al., 2014). Denne påvirkningen viktig spesielt i områder hvor skog blir hugget ned til fordel for utvidelse av landbruk eller som del av en syklus av hogst for å så plante skråningen på nytt. Det kan identifiseres minst fire effekter hvor trær påvirker skråningsstabilitet:

1. Røtter som kilder seg inn i sprekker i stein og trær som blir veltet av sterk vind eller tungt snøfall. Dette kan best ses i veldig bratte skråninger i tidligere islagte daler hvor sedimentlagene er tynne. Likevel er effekten av vind i de fleste skoger liten og tilføyer mindre enn 1kPa til skjærstresset, selv med en vind på 90 km/t.

2. Trær øker skjærstresset i en skråning ved å tilføye ekstra vekt. I skråninger som har mindre enn 34 grader i helning vil trær øke stabiliteten, men i brattere skråninger kan trærne ha en ødeleggende effekt på stabiliteten. Tett plasserte store trær i skråninger med slak helning kan øke det normale stresset med 5kPa og bidrar til lavere skjærstress med omtrent 2,5 kPa.
3. Nettverk av røtter gir mekaniske forsterkninger av sedimentene. Noen røtter vil vokse ned igjennom den potensielle sviktsonen og inn i de underliggende sedimentene eller fjellet. I tynne sedimenter er det vanlig at trær har et grunt nettverk av røtter som sprer seg i større grad lateralt og gir en kohesjon i sedimentene som vanligvis vil falle mellom 1 til 12 kPa. Lateral forsterkning er spesielt viktig for perimeteren for potensiell svikt.
4. Trær regulerer fuktigheten i jorda ved å senke grunnvannsspeilet som et resultat av transpirasjon og intersepsjon. Dette kan forhindre eller utsette metning av sedimentene. Transpirasjon er at treet tar til seg vann igjennom røttene og skaper derfor en type sugeseffekt i jorda.

Trær bidrar også med å dekke jorda med blader, noe som også kan forhindre jorda under i å tørke ut i tørre perioder. På en annen side vil trær også gi rask infiltrasjon langs røtter og sprekker i jorda (Selby, 1982). I vekstsesonen vil vegetasjon forbruke vann og fører til at mindre av nedbøren bidrar til oppbygging av porevannstrykk i grunnen (Lied et al., 2014).

Ved avskoging vil mange av de gunstige effektene på skråningsstabilitet vedvare noen år før trerøttene gradvis råtner. Mellom to til fem år vil omtrent halve styrken til røttene være borte. Råtning av røtter fører vanligvis til mange rotkanaler og jorda vil være mer gjennomtrengelig. Dette gjør også at grunnvannsspeilet kan reagere raskere ved stormer. Drenering av jord utført av menneskelig aktivitet, som avrenning av skogsbilveier eller deponere sedimenter i forsenkninger vil sannsynlig skape ustabilitet i skråningen. Ofte vil det mellom to til ti år etter avskoging utløses grunne skred i mange høytliggende områder. Det er også observasjoner som viser at skred er mindre vanlig i skråninger med skog enn skråninger med dyrket mark eller gress (Selby, 1982). En annen konsekvens av avskoging kan være økt avløp, myrdannelse og høyere grunnvann. Dette er på grunn av mindre intersepsjon (når vannet fanges opp av bladverket) og redusert evapotranspirasjon (fordamping og transpirasjon fra vegetasjonen) (Sulebakk, 2007).

Selv om det er utført omfattende forskning, er det fortsatt svært vanskelig å forutse når og hvor jordskred vil utløses. Rickli og Graf (2009) sin studie i Sveits fant at skråninger med skog for det meste er mer stabile sammenliknet med bratte skråninger uten vegetasjon. Det påpekes at flere andre studier konkluderer med det samme. Grunnen til denne tendensen er trolig den stabiliserende effekten av rotsystemene til trærne og skogsvegetasjonen.

En studie av Rickli (2001), utført i Sachseln var graden av skred i skråninger med skog i dårlig forfatning høyere enn i åpne områder. Med skog i dårlig forfatning menes områder som er mindre tette med trær som er ødelagte av tidligere sterke vindkast eller er utsatt for barkebiller. I områder hvor skogen var jevn med få åpninger med tresorter som hadde tilpasset seg godt og med mangfoldig stammestruktur var det svært få skred som oppsto.

Rickli og Graf (2009) konkluderer med at både distribusjonen av skog, områder uten vegetasjon innenfor et spesifikt område og tilstanden til skogen der bør tas med i betraktingen ved utarbeiding av farekart.

4 Metode

I dette kapitlet vil generelle prinsipper ved en skredfarevurdering belyses og arbeidsflyten beskrives for hvordan faresoner for jord- og flomskred ble vurdert og definert. Dette tar for seg bruken av ulike eksisterende grunnlagsdata, bruken av en digital terrengmodell som kombineres med flere verktøy samt hydrologisk analyse av dreneringsveier. Modellering av potensielle utløp for jord- og flomskred er også beskrevet. Til slutt beskrives hvordan disse dataene vurderes i ulike faresoner i studieområdet.

Farekartleggingene som gjøres i denne oppgaven bygger på retningslinjene og veilederen til NVE for utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng (NVE, 2020b). For at en skredfareutredning skal være utført i henhold til byggeteknisk forskrift TEK17, må det utredes en årlig nominell sannsynlighet for skade, og dette skal dekke alle skredtyper i bratt terreng. Fare for skade kan være skader på konstruksjoner eller tap av liv i løpet av det gjentaksintervall. Denne nominelle sannsynligheten for fare baseres på teoretiske beregningsmetoder og faglig skjønn. I følge veilederen skal alle skredtyper i bratt terreng som er aktuelle i området farevurderes for å tilfredsstille sikkerhetskravene i TEK17 § 7-3 (NVE, 2020b). I TEK 17 er det fastsatt ulike sikkerhetsklasser for skred for byggverk i skredfareområder, der S1 maksimalt kan ha en nominell årlig sannsynlighet på 1/100, S2 maksimalt 1/1000 og S3 maksimalt 1/5000. Sikkerhetsklassene representerer dermed ulike konsekvenser om en skredhendelse skulle inntreffe. Den nominelle årlige sannsynligheten omtales ofte som gjentaksintervall når det gjelder skred som gjentar seg. Noe som vil si at et skred med en nominell årlig sannsynlighet på for eksempel 1/1000 vil i gjennomsnitt over en lang tidsperiode opptre hvert 1000 år (Direktoratet for byggkvalitet, 2021).

Som nevnt tidligere avgrenses oppgaven slik at bare farekartlegging av jord- og flomskred blir gjennomført.

GIS programvare er et nyttig verktøy i arbeidet med farekartlegging av skred. Grunnen til dette er blant annet GIS programvarens evne til å lagre, lage og håndtere romlig referert data som vektor data (punkter, linjer og polygoner) og raster data (sammenhengende data). En annen stor fordel er at programvaren kan presentere resultater fra analyser og annen data i et kart. GIS programvare kan også importere og konstruere digitale terrengmodeller (DTM) noe som kan være nyttig data i flere analyser som for eksempel helning og dreneringsanalyser

(Rød, 2015; Xie, 2014). Informasjon fra slike analyser er vanskelig å vurdere korrekt uten bruk av GIS programvare i en kartlegging. I farekartleggingssammenheng er det spesielt noen aspekter ved GIS programvaren som er spesielt nyttige, dette er data håndtering, data analyser/modeller og fremstilling av data og/eller analyse resultater. Noen spesifikke eksempler på dette er muligheten til å lage skyggekart, helningskart, hydrologiske analyser, registrere tidligere løseområder, skredavsetninger og feltregistreringer som vektordata og kunne se alle disse faktorene i ett samlet kart. Gjennom visualisering av data og resultater kan også kritiske områder identifiseres slik det kan gjennomføres mer nøyaktigere analyser her (Xie, 2014). På bakgrunn av dette er GIS programvaren ArcGIS Pro brukt der det er mulig i denne oppgaven.

4.1 Skredfarekartlegging

Det er flere forskjellige faktorer som skal vurderes og kartlegges for å gi en fullstendig skredfarevurdering. For å oppfylle kravene til Byggeteknisk forskrift TEK17§7-3 er det enkelte faktorer som må gjennomføres og beskrives, og kravene som NVE har i sin veileder er minimumskravene (NVE, 2020b). Disse kravene er noe forenklet presentert under:

1. Det skal gjøres en terrengeanalyse med grunnlag fra en digital terrengemodell som har så god oppløsning som mulig. Denne kan brukes til å lage skyggekart, helningskart, grunnlag for skredmodeller og andre terrengeanalyser (NVE, 2020b). Terrengeforhold har stor betydning, skråningshelning er viktig samt terrengeform. Forsenkninger i terrenget er utsatt i større grad enn ryggformer. Retningen dalsiden vender mot kan også ha betydning. På Østlandet i Norge er det størst fare for skred i østvendte dalsider på grunn av fuktigere forhold som følge av blant annet flere tine-fryse sykluser og mindre sollys (Lied et al., 2014).
2. Tidligere skredfareutredninger skal benyttes om disse er tilgjengelige.
3. Aktsomhetskart kan brukes som første tilnærming for definisjon og identifisering av mulige løse- og utløpsområder.
4. Eksisterende sikringstiltak skal utforskes, igjennom skyggekart, i felt om nødvendig og registrerte sikringstiltak på NVEs nettsider. Effekten av disse må vurderes.
5. Tidligere skredaktivitet er et viktig element i vurdering av skredfare, og det bør alltid gjøres kartlegging av landformer som kan gi indikasjon på tidligere skred. Innhenting

av skredforhold og tidligere skred fra kjentfolk og skriftlige kilder som bygdebøker og kirkebøker bør gjøres da dette gir et nyttig grunnlag i skredfarevurderinger (Lied et al., 2014; NVE, 2020b). Det kan også være nyttig å utføre graving av prøvegroper som kan gi informasjon om historiske skred samt hvilke typer skred som har gått. Det er viktig å huske på at i et historisk perspektiv har klimaforholdene også endret seg, og mange slike avsetninger ikke vil være representative for dagens klima (Lied et al., 2014).

6. Undersøkelse av geologiske kart som berggrunnskart og løsmassekart. Kartene må være mer detaljerte enn 1:250 000 for å kunne brukes som datagrunnlag i en skredfarevurdering (NVE, 2020b). Typen løsmassedekket er av betydning, og jordarter som kan holde på vann har den største faren for løsmasseskred. Hvor stort et skred kan bli avhenger blant annet av tykkelsen på løsmassedekket. I tykke moreneavsetninger med helning på større enn 30 grader ligger forholdene til rette for at det kan oppstå store jord- og flomskred. Løsmasser med god drenering vil ikke ha et problem med oppbygging av porevannstrykk, men kan utløses av andre årsaker som erosjon i skråningsfoten (Lied et al., 2014).
7. Dagens flyfoto og historiske foto skal gås igjennom for å gi informasjon om tidligere skredhendelser.
8. Analyse av klimadata må gjennomføres som skal inkludere returverdier av nedbør med ulike gjentaksintervaller. Det er også viktig å være bevisst på antatte klimaendringer.
9. Det skal tas utgangspunkt i skog slik den står på utredningens tidspunkt, volum, dimensjoner og tetthet bør foreligge samt den spesifikke funksjonen til skogen.
10. I de aller fleste tilfeller kreves det feltarbeid og befaring i området som utredes, og befaring er hovedregelen. For sikkerhetsklasse S3 i TEK17§7-3 kan det ikke gjøres unntak for befaring. For S2 og S1 kan det gjøres unntak om det er tilstrekkelig med observasjoner fra påvirkningsområdet, bilder som er oversendt fra oppdragsgiver vil ikke være tilstrekkelig. Om det er blant annet er kjent skredhistorikk, synlige skredbaner og/eller skredavsetninger, dårlig datagrunnlag eller uoversiktlige forhold må befaring gjennomføres.

11. Fare for hver skredtype skal utredes for å gi en fullverdig skredfarevurdering; steinskred, steinsprang, snøskred, jordskred, flomskred og sørpeskred. Her er det ulike prosedyrer for de ulike skredtypene, men utløpsdistanse er en viktig faktor i alle skredtypene (NVE, 2020b). Utløpsdistansen påvirkes av flere faktorer, vanninnhold og volum, helningsforhold i skredbanen og graden av kanalisering i skredbanen. Skredene med lengst utløpsdistanse er store med et høyt innhold av vann. Det er utviklet flere dynamiske modeller som kan beregne utløpsdistansen og hastigheten til skredmassene. Det mest benyttede beregningsverktøyet for jord- og flomskred er RAMMS som også kan animere og visualisere skredforløpet i en terrengmodell. Dette programmet kan bregne strømningshøyde, hastighet og trykk langs utvalgte lengde- og tverrsnitt samt et estimat på utløpslengde (Lied et al., 2014). Lied et al. (2014) påpeker at slike modeller krever at brukeren har forståelse av de fysiske prosessene i et skredforløp samt erfaring med skred. Det er det subjektive skjønnet som er basert på erfaring som i en vurdering vil være det viktigste grunnlaget. Slike modeller brukes ofte til å bekrefte og justere disse skjønsmessige vurderingene (Lied et al., 2014).
12. Utredning av samlet skredfare fra vurderingen av fare for alle skred som potensielt kan oppstå i området.
13. Sammenlikne den vurderte skredfaren opp mot tidligere skredfareutredninger.

Selv om veilederen til NVE er standarden for gjennomføring av skredfarevurderinger i Norge, kan også perspektiver fra andre kilder være nyttige å vurdere. For eksempel Van Westen et al. (2008) nevner ulike faktorer som er viktig i skredfarevurderinger på et høyt detaljnivå.

Bruken av DTM til å utforme skråningshelning, retning og lengde/form gir et godt grunnlag sammen med «flow direction» og «flow accumulation». Geologiske perspektiver som type berggrunn, forvitring, sprekker og liknende i berg er vil også fungere godt som en del av grunnlaget i en slik vurdering sammen med typen løsmasser, tykkelse, og geotekniske og hydrologiske egenskapene til disse. Informasjon om grunnvannsspeil, markfuktighet og andre hydrologiske komponenter som infiltrasjon, transpirasjon, overvannsdrenering osv. er også nyttig. Det samme med arealbrukskart og arealbruksendringer, vegetasjons karakteristikk som type, dybden på røtter, dekning, vekt osv. og informasjon om veier og bygninger.

Det nevnes i hovedsak fire prinsipper som er grunnleggende for skredfarevurdering av Aleotti og Chowdhury (1999):

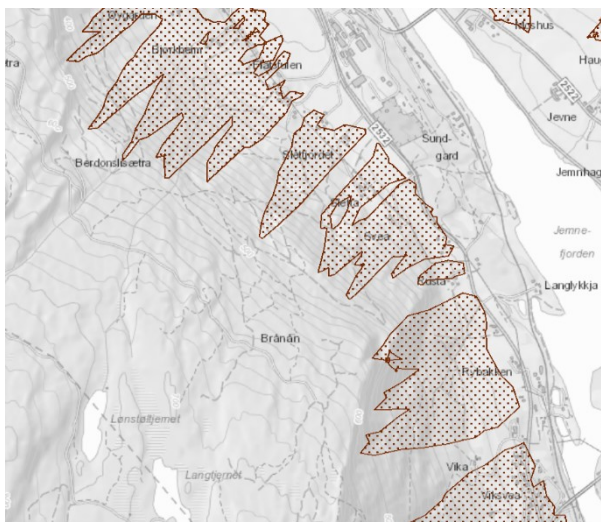
- Skred vil alltid oppstå under de samme geomorfologiske, geologiske, hydrologiske og klimatiske forhold som tidligere
- Hovedfaktoren som utløser skred, er kontrollert av identifiserbare fysiske faktorer
- Graden av fare kan alltid bli evaluert
- Alle typer skred og utglidinger kan bli identifisert og klassifisert

Det vil være nødvendig å undersøke hvor, hvordan og typen skred som vil oppstå. For en fullstendig skredfarevurdering må frekvensen på skredene over tid defineres, og når de vil oppstå. I forbindelse med dette er det flere vanskelige elementer som må evalueres, blant annet uregelmessighetene ved skredutløsning, identifikasjonen av trigger og mangler i historiske data over frekvensen av skred og utglidinger. Sannsynlighetsberegningen i skredvurderinger er en vanskelig oppgave, da det kreves forståelse og vurdering av mange usikkerhetsmomenter. Den største faren er generelt knyttet til kjente områder som tidligere har hatt ustabile skråninger (Aleotti & Chowdhury, 1999).

4.2 Bruk av grunnlagsdata til skredfarevurdering

4.2.1 Aktsomhetskart

Som nevnt tidligere i teorikapittelet er et aktsomhetskart enklere enn typiske faresonekart baseres på generelle regler for å identifisere utløp og løsneområder for skred (Lied et al., 2014). Aktsomhetskartet til NVE for jord og flomskred viser hvor det er potensiell skredfare og dermed hvor det kan være behov for en mer detaljert skredfarekartlegging. Kartet i seg selv viser mulige løsne- og utløpsområder for jord- og flomskred. Kartet er også forholdsvis grovt og er basert på DTM data på 10x10 meter, derfor vil det være flere aspekter modellen ikke har fanget opp (NVE, 2021a). I denne masteroppgaven er dette kartet er brukt som en første tilnærming for identifiseringen av mulige løsneområder i studieområdet. Figur 13 viser et utsnitt av aktsomhetskartet som er brukt i deler av studieområdet.



Figur 13: Utsnitt fra aktsomhetskart som viser deler av studieområdet (NVE, 2014).

4.2.2 Geologiske kart

Geologiske kart inkludert løsmassekart kan gi informasjon om mulig medrivning av løsmasser i skredbaner samt hvilke løsmasser som befinner seg i løsneområder. Dette gir informasjon om det er løsmasser som er spesielt utsatt for vannmetning i området og tykkelsen på dekket da dette har betydning for stabiliteten i en skråning. Berggrunnskart gir informasjon om typen bergarter, og egenskapene til bergartene spesielt permeabilitet og forvitringsevnen kan ha betydning for utløsning av skred (Walberg & Devoli, 2014). For å undersøke dette i denne masteroppgaven ble berggrunnskartet til NGU i målestokk 1:250000 (NGU, 2020) studert. For å få et overblikk over løsmassene i området ble to løsmassekart fra NGU undersøkt for å dekke hele området (NGU, 2017). Disse var i målestokken 1:250000 og 1:50000.

4.2.3 Ortofoto

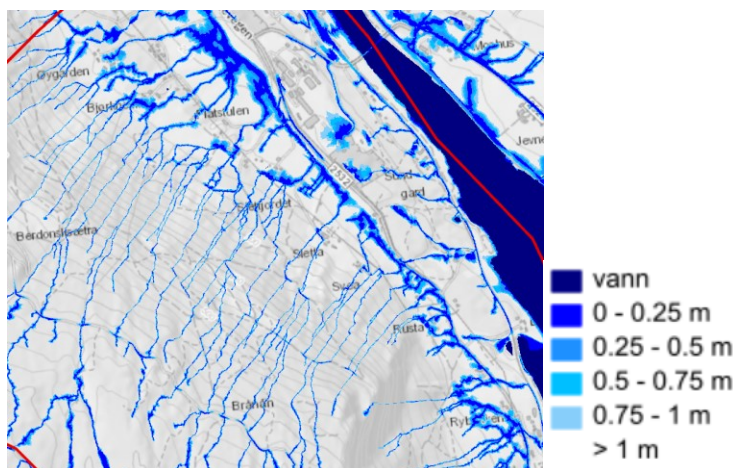
Ortofoto av området tilbake i tid ble undersøkt fra “Norge i bilder” for å få en oversikt over dalsidens utvikling som spor etter tidligere skredaktivitet, erosjon, utbygging av skogsbilveier, hogst og vegetasjon. Ortofoto er flybilder som har like geometriske egenskaper som kart, altså flybilder som er målestokkriktige (Mæhlum, 2021). Dette er viktige faktorer som kan gi en pekepinn på frekvens, sensitiviteten i forhold til hogst og endrede dreneringsforhold som er del av en helhetlig farevurdering (NVE, 2020b).

4.2.4 Historiske hendelser

Historiske hendelser kan også si noe om hyppighet, tidligere værforhold som har ført til skred, hvor i dalsiden potensielt nye skred kan gå og hvordan skredet artet seg. Dette inkluderer for eksempel typen løsmasser, størrelse og utløp (NVE, 2020b). Informasjon om tidligere skredhendelser ble undersøkt ble hentet fra boken «I Gamle Fotefar 1989» utgitt av Øyer og Tretten historielag (Rybakken & Kraabøl, 1989), lokal kontakt og gjennom et skyggekart i ArcGIS. «I Gamle Fotefar» har blitt gitt ut årlig siden 1988, hvor det blir fortalt om historiske beretninger og historier fra kommunen og hvordan ting var før i tiden i Øyer. Den lokale kontakten som er brukt bor innenfor studieområdet, og det var igjennom denne kontakten det kom frem informasjon om at det tidligere utført skredfarevurderinger i noen av områdene innenfor studieområdet, da kommunen ikke opplyste om dette da de anbefalte områder for farekartlegging. For å undersøke tidligere hendelser i skyggekart ble det sett etter landformer som liknet på lober, vifter og levéer, samt kanaler og nedsynkninger i skråningen som potensielt kan være løsneområder. Tidligere løsneområder og skredavsetninger ble tegnet i ulike vektortema delvis på bakgrunn av dette, hvilket beskrives videre under delkapittelet «Høydemodell».

4.2.5 Markfuktighetskart

Markfuktighetskart fra NIBIO ble brukt for å få en grov oversikt over områder med høy sannsynlighet for økt fuktighetsinnhold i jorda, uten vurdering av typen løsmasser (NIBIO, 2018). Dette ble gjort da slike områder vil ha høyere sannsynlighet for å få høyt porevannstrykk, noe som øker sannsynligheten for utløsning av skred (Bye et al., 2013). Dette kartet ble brukt som en oversikt før det ble gjennomført en mer nøyaktig hydrologisk modellering. Figur 14 viser et utsnitt av markfuktighetskartet som er brukt.



Figur 14: Utsnitt fra markfuktighetskartet i en del av studieområdet (NIBIO, 2018) .

4.2.6 Eksisterende sikringstiltak

Det ble også undersøkt om det fantes eksisterende sikringstiltak i området, og ifølge NVEs kartdatabase (NVE, 2021b) er det ingen registrerte tiltak i området. I et skyggekart over området ble det også undersøkt om det var mulig å se antydninger til sikringsvoller.

Eventuelle sikringstiltak vil minimere utbredelsen av et potensielt skred slik at sannsynligheten er lavere for at bebyggelse treffes, men den enkeltes tiltak kapasitet og effekt må alltid vurderes (NVE, 2020b). Figur 15 viser et eksempel på hvordan en sikringsvoll mot skred kan se ut, og i et skyggekart ville dette sett ut som en rygg som går på tvers av deler av skråningen.



Figur 15: Sikringsvoll mot steinsprang og skred i Lom (NVE, 2020a) .

4.2.7 Høydemodell

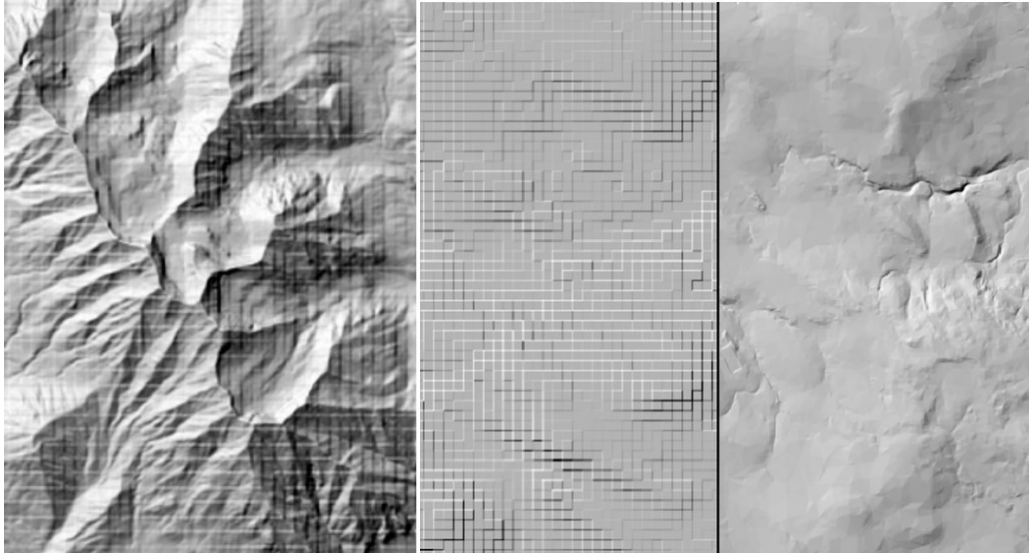
En digital høydemodell er et kontinuerlig raster hvor pikselverdiene ofte er flyttallsverdier og blir vanligvis samlet inn ved bruk av LIDAR (Light Detection and Ranging). En digital

høydemodell gir en representasjon av terrengoverflaten og finnes i ulike oppløsninger for ulike områder noe som gir ulik nøyaktighet på dataene. Ved bruk av fjernmålingsteknikken LIDAR som sender ut laserpulser mot terrenget kan det lages en terrengmodell fra signalene fra bakken og en overflatemodell fra signalene fra overflaten på vegetasjonen. Fra en digital terrengmodell (DTM) er det mulig å lage mange type datasett som for eksempel helningsretning, terrenghelning, kurvatur og skyggekart. En digital terrengmodell kan dermed gi informasjon om flere faktorer som er viktige i en skredfarevurdering og som kan være krevende å få korrekt informasjon om på andre måter (Rød, 2015).

Oppløsningen på terrengmodellen har stor påvirkning på graden av detaljer som kommer frem og resultatene for analyser. Det er vanlig at finere pikselstørrelser hører sammen med mindre studieområder og grovere pikselstørrelser hører sammen med større studieområder. Hvis pikselstørrelsen er fin nok kan en ha mulighet til å få frem områder med veldig bratt helning i et område som ser ut til å være så godt som flatt. Jo grovere oppløsningen er vil de gjennomsnittlige verdiene for helning reduseres. Et problem som kan oppstå ved valg av pikselstørrelse er at det kan være en viktig forskjell mellom den faktiske landoverflaten og den interpolerte overflatehelningen, noe som kan føre til at enkelte forhøyninger og forsenkninger som en kanal kan forsvinne i en grovt oppløst DTM. Oppløsningen bør reflektere terrengets kompleksitet og kunne representere majoriteten av landformer (Hengl & Evans, 2009). NVEs veileder poengterer at ved gjennomføring av en skredfarevurdering bør en detaljert terrengmodell på minst 1x1 meter brukes for at skyggekartene skal være tilstrekkelig detaljerte (NVE, 2020b). Det er mulig å laste ned høydedata som en punktsky med oppløsning på en halv meter med en punkttetthet på 2 pkt/m² for området, dette fører til et høyere detaljnivå, men også lenger prosesseringstid. På bakgrunn av Hengl og Evans (2009) og NVE (2020b) vurderes det at en terrengmodell med en oppløsning på 1x1 meter vil være godt nok for å få frem landformer som ulike typer skredavsetninger og løseområder for jord- og flomskred.

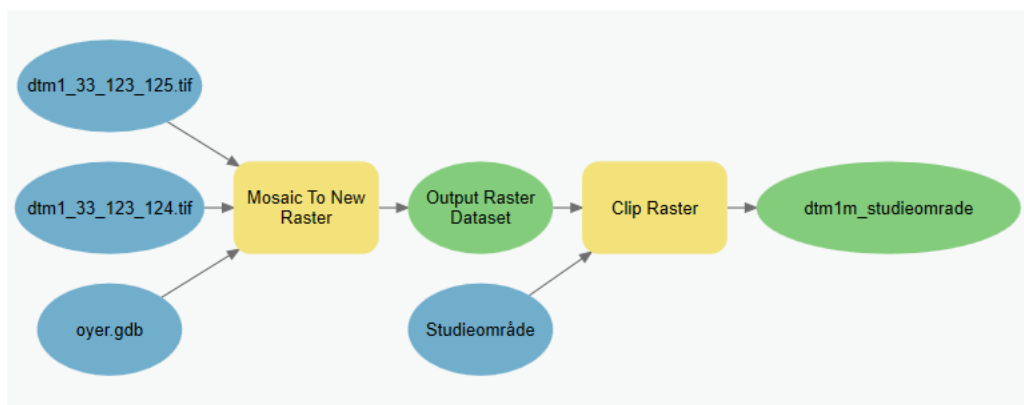
En digital terrengmodell (DTM) med oppløsning 1x1 meter ble dermed lastet ned fra høydedata.no som er del av nasjonal detaljert høydemodell i koordinatsystemet ETRS 1989 UTM Zone 33N. Dette er det originale koordinatsystemet terrengmodellen hadde ved nedlastning. UTM sone 33 er vanligvis brukt på kart som dekker hele fastlandet i Norge, mens UTM sone 32 vanligvis brukes i delen av Norge hvor studieområdet i denne masteroppgaven ligger (Geonorge, u.å.). Da terrengmodellen også skal brukes som grunnlag i modellering av skredutløp, ble det tatt en beslutning om å beholde det originale

koordinatsystemet på datasettet. Denne beslutningen er basert på at prosessen med å endre koordinatsystem kan føre til større unøyaktighet, feil og en dårligere visuell fremstilling (Geonorge, u.å.)(Francois, N. Personlig kommunikasjon, 16.02.22). Figur 16 viser eksempler på feil som kan forekomme ved konvertering til et nytt koordinatsystem.



Figur 16: Eksempler på feil på høydemodell etter endring av koordinatsystem (Francois, N. Personlig kommunikasjon, 16.02.22).

Den nedlastede DTM ble levert i tif format som vil si at den består av en eller flere bildefiler, så derfor ble alle filene ble lagt inn og det ble laget ett helt lag av DTM dataen i ArcGIS Pro. Deretter ble rasteret klippet til størrelsen av studieområdet for å minske fremtidig prosesseringstid. Figur 17 viser en visualisering i Model Builder i ArcGIS Pro av denne prosessen med å lage et DTM datasett som kan brukes som input i analyser. I Model Builder blir inngangsdata symbolisert med mørkeblå farge, verktøy i gul farge og utgangsdata/resultatet av verktøyet i grønn farge.



Figur 17: Visuell oversikt over prosessen for å forberede høydemodell til bruk i Arcgis Pro gjort i Model Builder.

4.3 Terrengparametere

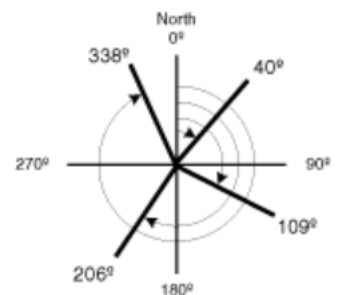
Ulike terrengparametere er utarbeidet av geomorfologer for å beskrive landformer.

Terrengparametere er viktige for å kunne analysere skred, erosjon og andre prosesser som danner landformer. Det finnes flere typer terrengparametere, men de vanligste er helningsretning, helningsgrad og kurvatur. De fleste GIS programvarer har verktøy for å bestemme terrengparametere, men en viss innsikt er nødvendig for å tolke dem og bruke de analytisk i forbindelse med formdannende prosesser (Rød, 2015).

4.3.1 Fjellskygge

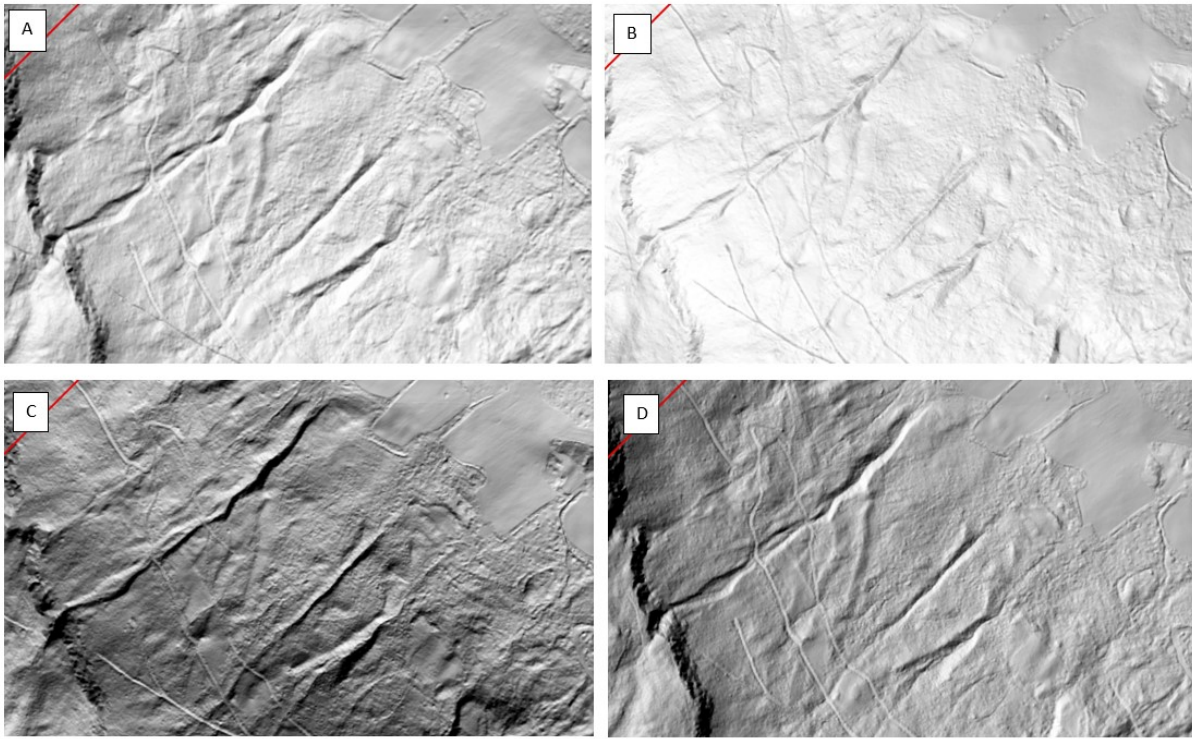
Den kartografiske teknikken fjellskygge fremhever terrengformasjoner og forbedrer de visuelle kvalitetene til kartet. Denne teknikken brukes for å lage skyggekart. Et skyggekart lages ved at en digital høydemodell blir belyst av hypotetisk lyskilde, og plasseringen av lyskilden bestemmes av parameterne asimut og solhøyde (Rød, 2015). Skyggekart brukes for å få innblikk i overflaten i terrenget, dette inkluderer for eksempel bekkeløp, raviner, rygger, steinblokker, terrasser, skredavsetninger osv. Enkelte terrengformasjoner kan være vanskelig å få øye på ute i felt hvis for eksempel høydeforskjellen fra området rundt er liten eller formasjonen er dekt av vegetasjon. Bruken av skyggekart er derfor veldig nyttig i en farekartlegging da det mulig å kartlegge og få oversikt tidligere skredløp, avsetninger og bruddkanter som ellers kan være vanskelige å fange opp (NVE, 2020b). Det er slik skyggekartet er brukt i denne masteroppgaven.

Et skyggekart ble laget av høydemodellen for å identifisere tidligere skredavsetninger, mulige løснеområder samt tidligere løснеområder og landformer i terrenget. Det ble laget flere skyggekart med ulike sollysvinkler da det er anbefalt å ha minst to ulike innlysningsvinkler for å fange opp morfologiske elementer ved farekartlegging av skred (NVE, 2020b). Fire ulike skyggekart ble laget i ArcGIS Pro med en asimut på 0, 45, 150 og 315 og en solhøyde på 45 på alle kartene. Asimut angir solens innlysningsvinkel horisontalt, mens solhøyde angir vinkelen på solens høyde på himmelen vertikalt. En nordlig asimut angir at 0 grader starter i nord og øker med klokka, noe som brukes her for å angi fjellskygge og kan ses i Figur 18 (ESRI, u.å.-c). Siden dalsiden i studieområdet i hovedsak er østvendt i den sørlige delen og vendt nordøst i den nordlige delen, vil innlysningsvinkler direkte fra vest og sørvest gi liten skyggeeffekt og ikke være optimale vinkler for å få en



Figur 18: Visualisering av nordlig asimut (ESRI, u.å.-a).

god fjellskygge i dette studieområdet. Valget av horisontale innlysningsvinkler ble tatt etter vurdering av dalsidens vending. Figur 19 viser hvordan de ulike valgte innlysningsvinklene arter seg på et utsnitt som ligger på den nordlige delen av studieområdet.



Figur 19: Fjellskygge med ulike asimut A) 0 B) 45 C) 150 D) 315 i den nordlige delen av studieområdet.

Z faktor ble satt til 1,5 i denne masteroppgaven da denne parameteren kan brukes til å skape en vertikal overdimensjonering slik at for eksempel at små landformer skal fremheves bedre (ESRI, u.å.-c). Det at små landformer fremheves bedre er en fordel i denne masteroppgaven da dette minimerer faren for at landformer overses.

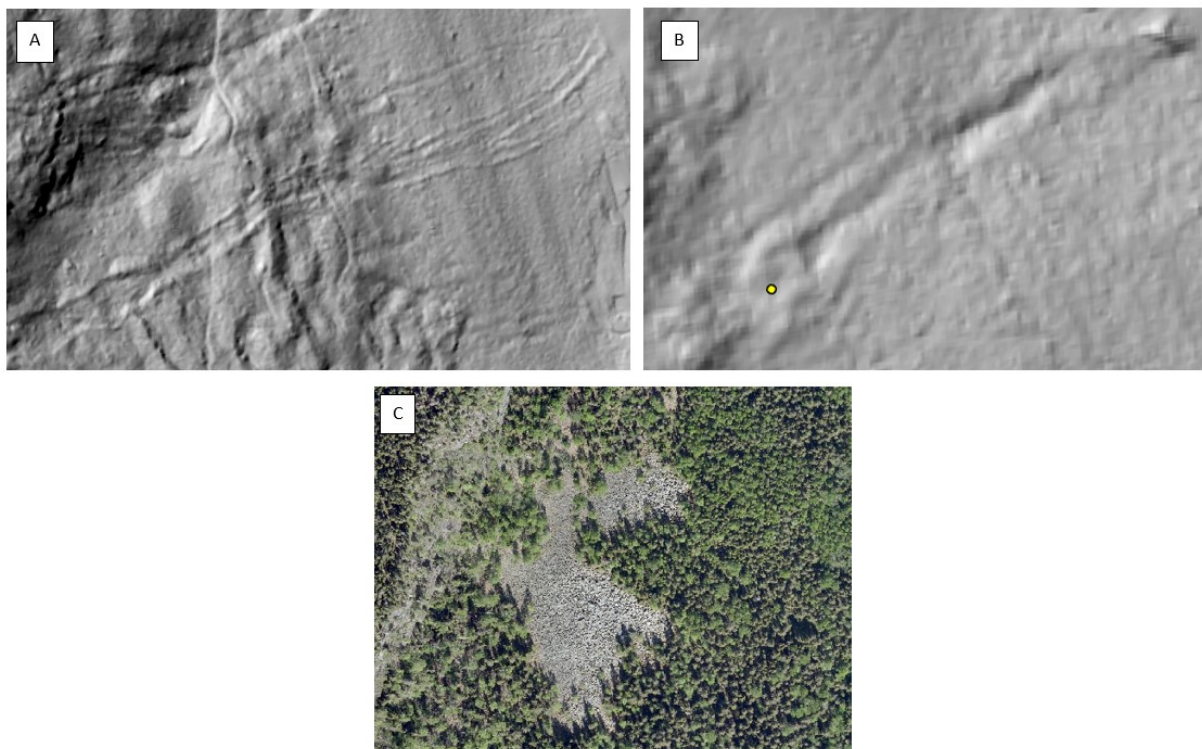
4.3.2 Identifisering av tidligere spor av skred

Deretter ble det gjennomført manuell kartlegging av tidligere løснеområder, skredavsetninger fra jord og flomskred og synlig tallus fra steinsprang utført. Dette ble utført i hovedsak ved bruk av skyggekartene og ortofoto fra «Norge i bilder». Tidligere løснеområder ble kartlagt som punkttema, skredavsetninger som linjetema, og talus fra steinsprang som polygoner. I kartleggingen for skredavsetninger ble det sett etter løsmasserygger, vifteformer og masse i bunnen av raviner eller kanaler på skyggekart, og det ble sett etter skredsår og menneskelige inngrep i ortofoto. Ved tegning av løснеområder ble det sett etter følgende:

- U-formet løснеområde

- Skredavsetninger på siden av løpet eller i bunnen av skredløpet
- Mulig å se at det er løsmasser i det antatte løsneområdet og ikke fjell
- Det vises i ortofoto at morfologien ikke er menneskeskapt

Dersom det ikke var mulig å se et tydelig løsneområde men skredavsetninger var tilstede, ble avsetningene fulgt oppover skråningen og løsneområde ble markert om det var antydning til mindre masse enn området rundt. Tegning av talus ble i hovedsak gjort basert på ortofoto der det er mulig å se et område tett med forekomst av stein. Ved større forekomster kan det være mulig å se ujevnheter på skyggekart, men oppløsningen brukt i denne oppgaven er ikke god nok til å se slike avsetninger tydelig. Figur 20 viser eksempler på hva som er kartlagt som skredavsetninger, løsneområder og talus.



Figur 20: Kartlagte landformer A) skredavsetninger B) Løsneområde for jord- og flomskred C) Talus fra steinsprang

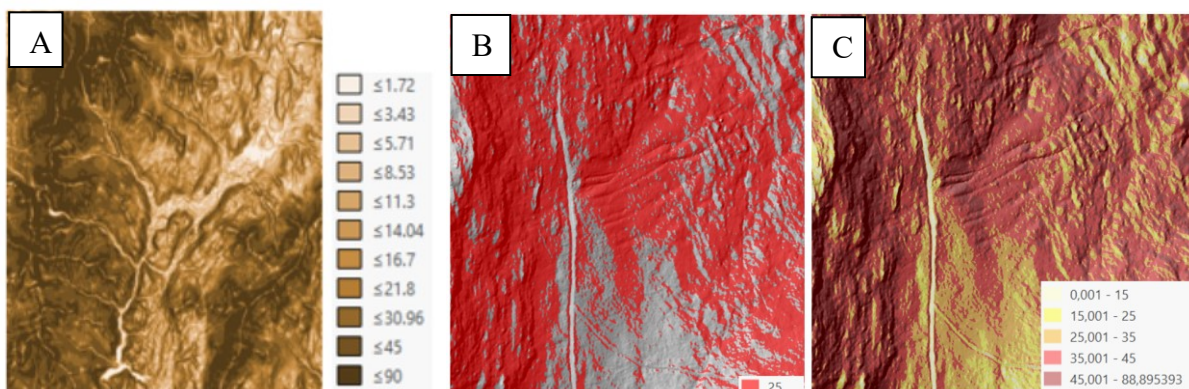
4.3.3 Terrenghelning

Et terrenghelningsraster har pikselverdier som angir brattheten i terrenget, og bruker enten prosent eller grader som enhet (Rød, 2015). I ArcGIS Pro lages et terrenghelningsraster ved å kalkulere den største endringen i høyde mellom cellen i senter og dens åtte naboer, som et vindu på 3x3 celler. Dette gjør at innflytelsen til høydeverdien for individuelle celler blir mindre (ESRI, u.å.-i). Faren for ulike typer skred avhenger av helningen i en

skråning/fjellside og tilgjengelig masse, derfor vil terrenghelning være essensielt i å vurdere hvor jord og flomskred vil være en aktuell prosess i en skredfarevurdering (NVE, 2020b). Helningen påvirker også hastigheten til overflateavrenning og grunnvannsdrenering, samt løsneområder for skred, og det er i hovedsak dette helningskartet er brukt til i denne masteroppgaven.

For å finne helningen i skråningene ble det laget et helningskart i ArcGIS Pro. Resultatet ble kategorisert i følgende fem klasser; 0-15, 15-25, 25-35, 35-45 og >45 grader. Inndelingen er basert på ulike helningsgrader som kan gi ulik fare og sannsynlighet for skred og skredutløp nevnt i NVEs veileder (NVE, 2020b). Det nevnes ulike grader for ulike vurderinger, både 15, 20, 25, 30, 35, 40 og 45 grader, men åtte klasser ble vurdert å være så mange klasser at det ville vært vanskelig å skille klassene fra hverandre i et oversiktskart. For å undersøke spesifikke helningsgrader ble det laget et eget kartlag for helningsgraden eller så ble klassene endret på.

Et eget kartlag ble blant annet laget for områder med helning på mer enn 25 grader som brukes senere i blant annet tegning av potensielle løsneområder for jordskred. Dette ble gjort ved å klassifisere kartlaget på nytt hvor antall klasser ble satt til to. Den første klassen sluttet på 25 grader og ble satt til ingen data i datasettet. Den andre klassen starter på 25 grader og ble satt til verdien en i datasettet. Dette gir en god oversikt over hvor det er mulig at jordskred kan utløses, og er nyttig når flere kartlag skal vurderes sammen. Figur 21 viser eksempler på helningskart som original utgangndata, kun med helning over 25 grader og helning inndelt i klasser over hele studieområdet.



Figur 21: Helningskart A) viser den originale utgangndataen før videre symbolisering (ESRI, u.å.-g), B) viser kun helning over 25 grader og C) viser helning med symbolologi i flere klasser.

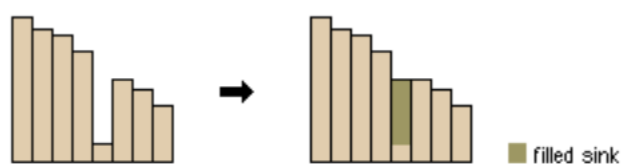
4.4 Hydrologisk modellering

Hydrologisk modellering er en metode for å bestemme sannsynlige løp for overflatevann og andre overflatestrømminger. Dette kan gjøres i de fleste GIS programvare basert på en høydemodell. En hydrologisk modellering utføres innenfor et eller flere nedbørsfelt, der et nedbørsfelt er definert som en region på land hvor vann flyter mot et felles punkt (Rød, 2015). Drenering inn i et område kan gi økt sannsynlighet for jordskred og kan være en mulig årsak til utløsning, derfor er dette en nyttig faktor å ta med i vurderingen i en skredfarekartlegging (NVE, 2020b).

Den hydrologiske modelleringen ble utført i ArcGIS Pro. Nedbørsfelt fra NVE ble lastet ned, og nedbørsfeltet som dekte studieområdet ble selektert ut. Deretter ble det originale DTM datasettet klippet til det aktuelle nedbørsfeltet.

4.4.1 Fill

Verktøyet «Fill» ble brukt for å fylle forsenkninger i DEM datasettet, da slike forsenkninger kan føre til store feil under kjøringen av verktøyet «flow direction». Når en piksel ikke har andre piksler rundt som ligger lavere, er pikselen en forsenkning som ikke har en definert dreneringsretning (ESRI, u.å.-d). Slike forsenkninger i terrenget kan enten være naturlige eller som oppstå som følge av avrunding av høydeverdier eller dårlig oppløsning av grunndataene. Forsenkninger som dette kan utsettes for intern drenering, og vil ved bruk av modelleringsverktøy hindre vann i å strømme videre (ESRI, u.å.-b). Figur 22 viser hvordan en forsenkning blir fylt opp ved bruk av «Fill» verktøyet.



Figur 22: Hvordan verktøyet "Fill" fyller opp forsenkninger i datasettet (ESRI, u.å.-d).

Det er også mulig å definere en høydeverdi for å bestemme hvilke forsenkninger som skal fylles. I denne masteroppgaven ble det ikke definert en høydeverdi, og da det var ønskelig at alle forsenkninger uansett dybde fylt.

4.4.2 Flow Direction

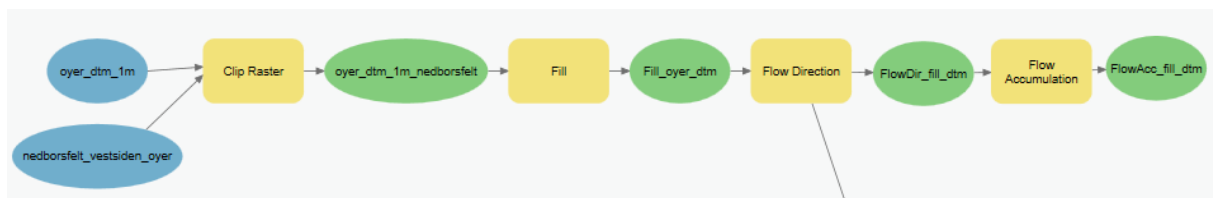
Flow direction lager et raster som viser dreneringsretningen fra hver celle, og retningen defineres ut fra høydeforskjellen mellom cellen og nabocellene rundt. Dreneringsretningen vil være i retningen hvor den bratteste helningen befinner seg (ESRI, u.å.-f). Verktøyet har tre ulike modeller for hvordan beregne dreneringsretningen, og dette er D8, «Multiple Flow Direction» og «D-Infinity». I denne masteroppgaven er det valgt å bruke D8 modellen da denne er mest anvendelig. D8 modellen baserer seg på at det er 8 naboceller og dermed 8 mulige retninger. Tallene 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 eller 128 er kodingen for hver sin retning i denne modellen og vises i Figur 23 (ESRI, u.å.-f).



Figur 23: Kodingen av retningen ved bruk av D8 modell (ESRI, u.å.-f).

4.4.3 Flow Accumulation

Dette verktøyet regner ut hvor mange celler vann vil drenerer gjennom før vannet når en av cellene, og dette regnes ut for hele rasteret. For å finne hvor det potensielle vannet vil akkumulere brukes rasteret som dreneringsretningen inn i verktøyet “Flow accumulation”. I denne masteroppgaven ble D8 også brukt som metode for å korrelere med inngangsdataen da denne dataen ble laget med D8 metoden. Dette resulterte i et raster som viser den akkumulerte avrenningen til hver celle med utgangspunkt i antallet celler som drenerer nedstrøms til hver celle (ESRI, u.å.-e). Figur 24 viser en visuell oversikt over arbeidsflyten for å lage en hydrologisk modell.



Figur 24: Visuell oversikt over prosessen med å utføre hydrologisk analyse.

4.5 Feltarbeid

Det er flere aspekter i en skredfarevurdering der digitale analyser og ulike kartlag ikke vil være tilstrekkelig. Befaring i felt er i de fleste tilfeller nødvendig både for å bekrefte vurderinger gjort basert på kartdata og analyser og for å få tilgang på annen informasjon som ikke er mulig å få gjennom digitale verktøy. Feltarbeid er en viktig del av vurderingen av løsneområder og skredutløp i en skredfarevurdering (NVE, 2020b).

4.5.1 Befaring

Studieområdet ble befart i løpet av en fire-dagers periode i slutten av oktober 2021. Hele studieområdet ble ikke undersøkt i felt, da flere områder var vanskelige å komme til. Områder hvor det var tydelige spor etter tidligere jord- og flomskred i skyggekartet i ArcGIS Pro ble hovedprioriteringen for undersøkelsene. Målet med befaringen var å få et bedre overblikk over området, bekrefte funn av kartleggingen og få mer informasjon om området som ikke var mulig å oppdage gjennom digitale verktøy.

Med utgangspunkt i NVEs veileder (NVE, 2020b) ble følgende punkter undersøkt:

- Finnes det løsmasseskjæringer i området? Hva slags type løsmasser er det her, og i potensielle løsneområder?
- Er det mulig å identifisere tidligere løsneområder?
- Er det vegetasjon i dalsiden? Hvilken type vegetasjon/skog er det her?
- Er det vann i skråningen, fuktighet eller kildehorisonter?
- Er erosjon mulig i bunnen av skråningen?
- Er det grøfter eller andre menneskelige inngrep ovenfor/i området som endrer drenering?
- Kan skredavsteneringer identifiseres? Finnes det avsetningsformer i utløpsområdet som for eksempel levéer? Beskrivelse av disse samt størrelse og sedimenter.
- Er det punkt hvor skredmasser kan ta nye løp? Er det løsmasser som kan bli gjenstand for erosjon og transport i skredbanen?
- Er det mulighet for at blokker fra fjellsider kan falle ned og potensielt utløse et jordskred i et løsneområde?

- Hva slags type løsmasser ser det ut til å være i dette området? Stemmer dette overens med det tegnede løsmassekart for området?

Det ble tatt notater, bilder og registrert GPS koordinater med mobil for relevante områder som ble undersøkt. Punktene ble i ettertid ført over i ArcGIS Pro.

4.6 Modellering i RAMMS

I følge veilederen fra NVE (2020b) skal modellering av utløp være en del av vurderingen av utløpet for jordskred. Bruken av modelleringsverktøy kan gi et innblikk i hvordan et potensielt jordskred kan arte seg, og om utløpet vil treffe bebyggelse og liknende. Det er dette formålet modelleringen er brukt til i denne oppgaven. NVE foreslår «Rapid Mass Movements Debris Flow» (RAMMS DF) da dette modelleringsverktøyet kan gi gode resultater ved modellering av tidligere registrerte jordskred i skråninger med morene i Norge.

RAMMS er et dynamisk numerisk modelleringsprogram som er utviklet av eksperter hos «Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research» (WSL) og «Institute for Snow and Avalanche Research» (SLF). Den originale modellen var først kun brukt til å modellere snøskred, men i senere tid har flere ulike verktøy blitt inkludert slik at modellen også kan brukes på andre typer skred (Christen et al., 2012). Programmet baserer seg på en 2-D modell for å vurdere strømningshastigheten, strømningshøyde og andre faktorer, både to og tredimensjonalt. «Debris flow» modellen er laget for å modellere både kanaliserte og ikke kanaliserte prosesser av jord- og flomskred. En to-parameters Voellmy modell brukes i modellen hvilket beskriver friksjonen av strømningsprosessen og kontrollerer strømningshastighet og utløpsdistanse. Voellmy modellen gir ofte et brukbart resultat etter noe kalibrering. For å sette friksjonsparameterne i RAMMS er det friksjonsparameteren ξ som representerer den kvadrerte motstandskoeffisienten for hastighet (m/s^2) og friksjonsparameteren μ som representerer tørr (Coulombs lov) friksjonskoeffisient (-) i Voellmy modellen (SLF/WSL, 2013).

Studien utført av Taurisano (2020) trekkes frem som et eksempel i NVEs veileder og foreslår en fremgangsmåte som resulterer i resultater som er gode for de fleste skredbaner. Denne casestudien er gjort på vegne av Skred AS for NVE hvor det er forsøkt å finne en relativt enkel fremgangsmåte med en metodikk som i hovedsak bygger på observasjoner og prosessforståelse som gir tilfredsstillende resultater på ulike jordskredbaner. Modelleringen i denne oppgaven tar tatt utgangspunkt i anbefalingene denne rapporten.

4.6.1 Forberedelse av inngangsdata

Før modelleringen kunne startes, ble dataen som skal brukes i RAMMS forberedt. For å bruke DTM data i RAMMS ble denne dataen endret format i Arcgis Pro. Det ble jobbet videre med det samme DTM laget som er nevnt tidligere. DTM dataen ble omgjort til ESRI ASCII grid formatet for å støttes i RAMMS.

Det ble besluttet at modelleringene skulle kjøres med DTM i oppløsningen 5x5 meter da Taurisano (2020) sin studie konkluderer med at denne oppløsningen vil fungere godt i de fleste situasjoner og gir en lavere prosesseringstid enn en meter. Denne DTM dataen ble laget ved å bruke verktøyet «Resample» i Arcgis Pro da hoydedata.no kun tilbyr oppløsning i en meter eller ti meter. For å endre pikseltettheten ble parameteren «bilinear» brukt da denne utfører en biliær interpolasjon og bestemmer nye verdier basert på en vektet gjennomsnittlig avstand av de fire nærmeste input celle senterne (ESRI, u.å.-h).

I ArcGIS Pro ble potensielle fremtidige løsneområder tegnet som polygoner som senere skal brukes i RAMMS. Løsneområdene ble definert basert på kriterier som (NVE, 2020b) og Taurisano (2020) har beskrevet:

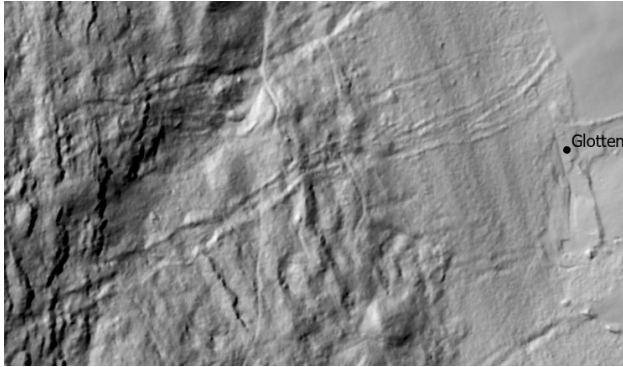
- Terrenghelning over 25 grader, jo brattere jo større sannsynlighet
- Tynt løsmassedekke
- Dreneringsforhold
- Vegetasjon
- Konkav terrengform
- Om steinsprang kan utløse skred
- Hvor tidligere jordskred har løsnet
- Testmodelleringer av utløpsdistanse av tidligere skred

Det antas at det ikke er tilfeldig at jordskred i en skråning ofte starter i omtrent samme høyde, og at dette kan ha sammenheng med hydrogeologiske og geologiske forhold (Taurisano, 2020). Derfor tas dette med i vurderingen når løsneområdene ble tegnet, og dette ble undersøkt ved hjelp av skredhistorikk, skyggekart og ortofoto. Løsneområdene ble så importert i RAMMS som en shape fil.

I følge studien utført av Taurisano (2020) konkluderes det med at resultatene i stimuleringene ikke kan modelleres på en tilfredsstillende måte uten å inkludere erosjon av masser i skredbanen. Det foreslås å tegne erosjonspolygonene hvor øvre grense er rett i underkant av løsneområdene, og nedre grense på bakgrunn av tegn hvordan skrederosjonen generelt i skråningen ser ut med hjelp av skyggekartanalyse. I studien til Taurisano (2020) dekte erosjonspolygonene 40-60% av skråningen der mulige skredbaner ikke har en høydeforskjell på mer enn 300 meter. I skråningen i studieområdet har de mulige skredbanene en høydeforskjell på omtrent 300 meter eller mindre, og derfor ble denne tilnærmingen brukt. Disse vurderingene gjort av Taurisano (2020) er brukt som grunnlag for tegning av erosjonspolygoner i denne oppgaven, og det er etterprøvd å tegne liknende polygoner som i modelleringene i studien. Erosjonspolygonene ble tegnet i Arcgis Pro for å så importeres inn i RAMMS som en shape fil.

4.6.2 Testmodelleringer

Det ble kjørt flere testmodelleringer for et tidligere skredløp hvor det er mulig å se omtrent hvor skredet sluttet. Det tidligere skredløpet nord for Glotten vist i Figur 25 ble brukt for testmodelleringene. Her ble løsneområdet satt noen meter høyere i dalsiden enn det som trolig er det tidligere løsneområde, da det går en skogsbilvei ovenfor som kan øke sannsynligheten for skred. Den første testmodelleringen ble prøvd utført med en DTM oppløsning på en meter og to meter, men her ble prosesseringstiden for lang til å være akseptabel å jobbe med, noe som støttet oppunder beslutningen om å bruke fem meter DTM isteden. Alle testmodelleringene ble kjørt med de samme parameterne som nevnt i Tabell 1 da det har vist seg å fungere godt på de fleste skredbaner og på grunn av personlig lite erfaring om dette fra før. Testmodelleringene ble dermed utført for å definere størrelsen på løsneområdet samt størrelse og plassering av erosjonsområde for å få omtrent samme utløpsdistanse som tidligere skred. Det ble prøvd ut ti forskjellige størrelser på løsneområdet, og fem ulike tegnede erosjonsområder. Utløpsdistansen stemte godt med tidligere skredavsetninger med et løsneområde på 240,2 m², i kombinasjon med en erosjonspolygon som er omtrent 262 meter langt. På bakgrunn av dette ble andre løsneområder i dalsiden tegnet til omtrent samme størrelse, med en vurdering og tilpasning ut ifra de lokale forholdene der. Erosjonspolygonene ble tegnet på liknende måte som den beste testmodelleringen, med omtrent samme lengde på polygonet i forhold til potensiell utløpsdistanse.



Figur 25: Det tidligere skredutløpet nord for Glotten som er brukt som testløp vist med fjellskygge.

I Taurisano (2020) studie ble det gjort endringer av erosjonsrate fra normalt lagrede sedimenter (0,025 m/s) til fast lagrede sedimenter (0,013 m/s) når resultatene viste for store skredutløp. Grunnen til denne endringen er fordi norske jordskred ofte går i overkonsoliderte morenemasser og er mye fastere enn for eksempel løse sedimenter som i bratte bekkeløp mobiliseres av flomskred. Det ble vurdert til akseptable resultater for både større og mindre skred som vil være gode i en reell skredfarekartleggingssituasjon ved standard friksjonsparametere og erosjon med erosjonsrate for fast lagrede sedimenter. Dette menes som godt nok når det trengs et modellert utløp som er bra nok når det sammenliknes med observerte skredavsetninger og utløp som kan hjelpe ved tegning av faresoner. Denne studien konkluderer med at det ved tegning av 1000 års-faresone hvor det legges stor vekt på modellresultater vil det foretrekkes at resultatene kanskje gir et litt overestimert skredutløp enn et understimulert skredutløp (Taurisano, 2020).

4.6.3 Modelleringsparametere

På bakgrunn av studien av Taurisano (2020) som er anbefalt av NVEs veileder er alle modelleringene utført med parameterne $X_i = 200 \text{ m/s}^2$ og $\mu = 0,2$. Blokkhøyden er satt til en meter, erosjonsraten er satt til tett lagret løsmasse med verdien 0,013 og potensiell erosjonsdybde er satt til 0,05 kilopascal per meter (kPa) som er en måleenhet for trykk. Tabell 1 viser alle de anbefalte parameterne som er brukt i denne masteroppgaven.

Tabell 1: Anbefalte parametere for modellering av jordskred med RAMMS Debris Flow (Taurisano, 2020).

	Oppløsning DTM (m)	Friksjonspar. ξ μ	Løsneomr. høydeforskjell	Høyde blokk (m)	Erosjonsrate (m/s)	Potens. erosjons- dybde (m/kPa)
Fjellsider med tegn på / potensial for større jordskred med over 300 – 400m fallhøyde	5	$\xi = 200 \text{ m/s}^2$ $\mu = 0,2$	25 m	1	0,013 (std. verdi for tett lagret løsmasse)	0,1
Skråninger med tegn på / potensial for jordskred med 50 - 300 m fallhøyde	2 - 5	$\xi = 200 \text{ m/s}^2$ $\mu = 0,2$	10 -15 m	1	0,013 (std. verdi for tett lagret løsmasse)	0,05 eller 0,01

4.6.4 Skogspolygoner

De vanlige modelleringene tar ikke skog eller liknende vegetasjon inn i beregningen, og derfor var det ønskelig å inkludere dette aspektet spesielt i potensielle utsatte skredløp da dette sannsynlig vil ha påvirkning på skredutløpet. I RAMMS Avalanche som er beregnet for snøskred er det mulig å laste inn polygoner for skog som kan automatisk kan gis nye friksjonsparametere ved å legge inn blant annet skredstørrelse og gjentaksintervall (Bartelt, Bühler, et al., 2017). Denne metoden gir trolig gode nok resultater for gran og furuskog, men det er ikke nok forskning for å vite hvilke friksjonsparametere ulike typer skog bør ha for å bli riktig beskrevet i RAMMS, inkludert RAMMS Debris Flow (Taurisano, A, personlig kommunikasjon, 30.03.2022). I RAMMS Debris Flow finnes ikke den samme funksjonen for å legge til skog som i RAMMS Avalanche, dermed er det ikke mulig å automatisk kalkulere friksjonsparameterne. Det er mulig å legge inn en polygon som representerer skog og manuelt endre friksjonsparameterne i dette området.

4.6.4.1 Tidligere studier

Schraml et al. (2015) modellerte utløpet til flomskred på to alpine vifter med forskjellige dynamiske modeller, den ene beskrevet med tett skog. RAMMS DF ble brukt, og friksjonsparameteren som passet best for områdene med skog her var $\mu=0,23$, ξ verdien for skog er ikke nevnt. Parameterne som passet best i de forskjellige løpene i modellen lå for

Mu mellom 0,07 og 0,11, og for parameteren Xi mellom 200-400m/s². Gjennom sensitivitetsanalyser ble det funnet ut at resultatet av modelleringen er i hovedsak sensitiv for variasjoner i parameteren Mu innenfor skogen, enn variasjoner av Mu i løpet.

Shrestha (2020) skrev en masteroppgave som omhandlet effekten av skog på «debris flows», hvor det også ble utført modelleringer i RAMMS DF med inkludering av skogspolygoner. Det ble konkludert med at når parameteren Mu har en høy verdi vil utløpsdistansen være kort, og omvendt. Dette er i tråd med hva manualen Bartelt, Bieler, et al. (2017) beskriver.

Parameteren Mu ble økt mellom 50-300% og Xi redusert til 200 m/s² og 400 m/s². Verdiene brukt for løpet ellers var Mu = 0,07 og Xi = 1000 m/s². Resultatene viste at både strømningshastigheten og strømningshøyden i skogsområder i stor grad er påvirket av parameteren Xi enn Mu. Jo lenger skogsområdet er i størrelse, vil gi mer reduksjon av strømningshastighet. Det nevnes imidlertid ikke hva slags type skog de ulike friksjonsparameterne vil representere eller tykkelse på skogen som skal representeres.

4.6.4.2 Modellering med skog

På bakgrunn av disse studiene ble det testet ulike verdier for Mu og Xi for å se hvor mye dette vil påvirke resultatet. Det ble valgt ut ett løseområde/løp for å teste ulike friksjonsverdier, dette ble løseområde 4 liggende i fakkelmanen da dette har en god del skog i utløpsområdet og potensielt kan nå bygninger uten skog. Første modellering med skog ble kjørt med friksjonsparameterne Mu = 0,30, da dette tilsvarer en økning på 50% noe som er innenfor det studiene nevnt tidligere har gjort. Xi står uendret på 200m/s² i denne kjøringen. Deretter ble det gjort en modellering med friksjonsparameterne Mu = 0,20, likt som resten av løpet, men Xi ble redusert til 100 m/s².

Mu=0,30 ble også brukt på andre utsatte skredløp med skog da denne ga minst forkorting av skredutløpet i skredløpet som ble brukt som test. Dette ble gjort fordi det kan være risikabelt å forkorte skredutløpet når det er usikkert hvordan skogen tilsvarer med parameterne. Det er bedre å vurdere litt i overkant enn i underkant som nevnt tidligere av Taurisano (2020).

Alle resultatene av modelleringene ble ført inn i et kart i ArcGIS Pro, hvor de ulike faktorene som påvirker skredsannsynligheten ble vurdert sammen.

4.7 Fastsetting av faresoner

I følge NVE (2020b) vil alle områder i løsmasse med en helning på over 30 grader ha en løsnings sannsynlighet på 1/1000. I Figur 3 vises helningen på studieområdet og viser at dette da vil gjelde for store deler av studieområdet. Løsnings sannsynlighet vurderes derfor for hvert av de potensielle løsneområdene da disse representerer områder hvor flere forhold som er fordelaktige for utløsning av skred er til stede.

Fastsetting av faresoner med nominell sannsynlighet for jord- og flomskred ble gjort på bakgrunn av Tabell 2 som er presentert i NVEs veileder (NVE, 2020b). Her tas løsnings sannsynligheten til hver av de potensielle løsneområdene med i vurderingen av faresonene. Faresonenes utbredelse ble tegnet etter vurdering av modellert utløpsområde og tidligere skredavsetninger der dette finnes.

Tabell 2: Veiledende tabell brukt til å vurdere og fastsette faresoner (NVE, 2020b).

Faresone med årlig nominell sannsynlighet	Forhold som må være tilstede (minst ett)	Eksempel
1/5000	<ul style="list-style-type: none">• Kvartærgeologiske/geomorfologiske indikasjoner på tidligere hendelser i området generelt. Disse trenger ikke være like tydelige som under 1/1000.• Løsneområder for jordskred uten tydelige avsetningsformer nedenfor.	En svak antydning til vifte- eller lobeformet avsetning som antas å stamme fra jordskred, gir faresone 1/5000 ut over denne avsetningen.
1/1000	I tillegg til informasjon i 1/5000: <ul style="list-style-type: none">• Tegn til hyppigere hendelser siden siste istid.	Tydelig vifte-/lobeform, flere sett med levéer, eller tykke skredavsetninger i foten av en dalside, antakelig bestående av masser avsatt fra flere skredhendelser, gir faresone 1/1000 utover området med spor.
1/100	I tillegg til informasjon i 1/1000 og 1/5000: <ul style="list-style-type: none">• Historiske hendelser i den aktuelle skredbanen eller i «like» skredbaner i området generelt.• Tegn på nylig aktivitet i erosjons- og skredsår, sprekker i jorda, skredløp og skredvifter registrert ved kvartærgeologiske/geomorfologiske analyser.	Tegn på ustabilitet. Faresone 1/100 bør ta utgangspunkt i området med fersk aktivitet eller hvor en kan se tegn på ustabilitet. Nærliggende skredbaner eller skrånninger hvor forutsetningene er tilsvarende bør vurderes på samme måte.

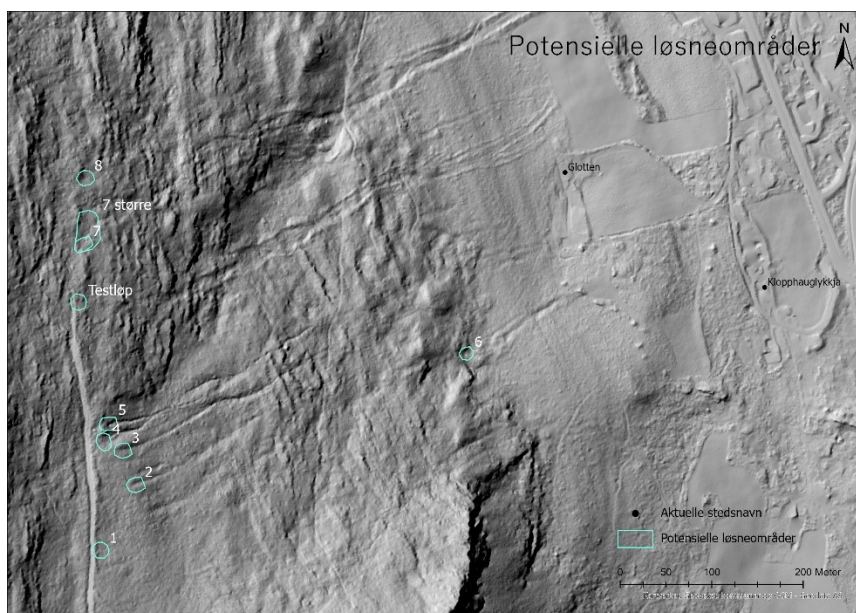
Disse forholdene i tabellen er ikke fullstendige krav da subjektivt skjønn er involvert i å fastsette faresonene, men gir pekepinn på hva som generelt skal gjelde for hvilke faresoner som skal være aktuelle. Disse forholdene er basert på TEK17, hvor skred som kan være ødeleggende og gi skader er i ulik grad vil være gjeldene for å fastsette faresoner. Alle data, observasjoner og resultater av modelleringer er grunnlag for vurderingene av faresoner.

5 Resultater

Det presenteres kun resultater for områder hvor jord- og flomskred potensielt kan gå i nærheten av nåværende bebyggelse og områder satt av til fremtidig boligbygging i arealplanen og kommunedelplanen som dekker studieområdet. Dette inkluderer også resultater som er en viktig del av vurderingen og fastsettingen av faresonene.

5.1 Klopphauglykkja

Det er definert seks potensielle løsneområder i overkant av gården, og flere av disse er også potensielle løsneområder ovenfor Glotten. Figur 26 viser hvor disse potensielle løsneområdene befinner seg. De potensielle løsneområdene ovenfor Klopphauglykkja blir beskrevet kort videre.



Figur 26: Potensielle løsneområder ovenfor Klopphauglykkja, Glotten og sørlig del av Vika.

5.1.1 Løsneområde 1

Dette potensielle løsneområdet har i hovedsak en helning på over 25 grader, hvor et belte på to til tre meter er på over 45 grader som vist i Tabell 3. Det er en hovedvekt på over 35 grader, men i utkanten av det tegnede løsneområdet er det noen steder en helning på 15-25 grader. Helning på over 30 grader gir i utgangspunkt en løsnesannsynlighet på 1/1000 (NVE, 2020b). Løsneområdet ligger i kanten på nedsiden av skogsbilveien som fører til

fakkelmanen, og det tegnede området er omtrent 2/3 dekket av skog. Dreneringsanalyse viser at vann fra over 25000 m² samler seg og går igjennom løsneområdet. Størrelsen på løsneområdet er tegnet på 246 m², og modelleringer viser at skred med løsneområde på denne størrelsen ikke har et utløp som vil nå bebyggelse eller innmark noe som vises i Figur 29. Disse forholdene samlet gjør at løsneområdet får en løsnestannsynlighet på 1/1000, men faresone er ikke tegnet grunnet at avstanden fra det modellerte utløpet og nærmeste uthus er 65 meter som nevnt i Tabell 3.

5.1.2 Løsneområde 2

Helningen i dette potensielle løsneområdet er over 35 grader for mesteparten av området, og hele løsneområdet er over 25 grader. I midten av løsneområdet er det også et mindre område hvor helningen er på mer enn 45 grader. Som nevnt tidligere gir dette en løsnestannsynlighet på 1/1000. Dette løsneområdet har skog og ligger 34 meter nedenfor skogsbilveien som fører til fakkelmanen, løsneområdets plassering kan ses i Figur 26. Ifølge dreneringsanalysene samler det seg vann fra mer enn 25000 m² her og går igjennom løsneområdet. Størrelsen på det tegnede området er på 249 m², og modelleringene viser at utløpet stopper 105 meter unna nærmeste uthus uten skog. Forholdene samlet går at det anslås en løsnestannsynlighet på 1/1000, men det er ikke tegnet faresoner her på grunn av det modellerte skredutløpets lengde.

5.1.3 Løsneområde 3

Løsneområde 3 er del av tre løsneområder som er plassert relativt tett innenfor fakkelmanen, noe som kan ses i Figur 26. Helningen innenfor området er i hovedsak på over 35 grader, og omtrent halve området har en helning på over 45 grader. Dette gir området en løsnestannsynlighet på 1/1000. Løsneområdet er ikke dekket av skog og ligger 25 meter unna skogsbilveien som går igjennom fakkelmanen. Her er det også en dreneringsoppsamling fra mer enn 25000 m² som går igjennom det tegnede området. Størrelsen er på 245 m² noe som er omtrent likt som løsneområde 1 og 2. Modellering viser at det potensielle skredutløpet stopper 55 meter unna nærmeste uthus. Disse forholdene gjør at løsneområdet får en løsnestannsynlighet på 1/1000, og det er ikke tegnet faresone for dette utløpet på grunn av dets lengde.

5.1.4 Løsneområde 4

I Tabell 3 vises det at helningen i hele dette løsneområdet er på over 25 grader, og store deler av det er på over 35 grader. Derav er omtrent 1/4 på over 45 grader. Dette løsneområdet er heller ikke dekket av skog, og det er bare seks meter til skogsbilveien som går igjennom fakkelmannen. Dreneringsanalyser viser at det er en gjennomstrømning fra mindre enn 5000 m², men ortofoto viser at det er tegn til erosjon her. Tabell 3 viser at størrelsen til løsneområdet er tegnet til 248 m², og modelleringer viser at det potensielle skredutløpet treffer både uthus og bolighus som vist i Figur 29. Modelleringer med hensyn til skog vises i Figur 30 og viser at utløpet treffer uthus, men stopper 30 meter fra nærmeste bolighus. Disse forholdene gjør at løsnensannsynligheten er satt til 1/100, og det er tegnet en faresone på 1/100 som strekker seg noe utover utløpet kalkulert med skog i hovedsak på grunn av ustabilitet da det ikke er tydelige tegn på historiske hendelser. Denne faresonen kan ses i Figur 33.

5.1.5 Løsneområde 5

Dette løsneområdet har også i hovedsak en helning på over 35 grader hvor omtrent 2/3 av området er på over 45 grader. I Figur 26 vises løsneområdet og at dette ligger relativt tett på løsneområde 3 og 4. Her er det heller ikke skog i løsneområdet og det er sju meter til skogsbilveien i overkant. Dreneringsanalyser viser at vann fra mer enn 25000 m² kan strømme igjennom løsneområdet, og det er også tydelige tegn på erosjon fra vann. Som vist i Tabell 3 er størrelsen satt til 235 m² og det modellerte potensielle skredutløpet stopper 28 meter fra nærmeste uthus. Løsnensannsynligheten er vurdert til 1/100, og faresonen for løsneområde 4 dekker utløpet til løsneområde 5 i stor grad. Derfor var det ikke nødvendig å tegne en ny faresone.

5.1.6 Løsneområde 6

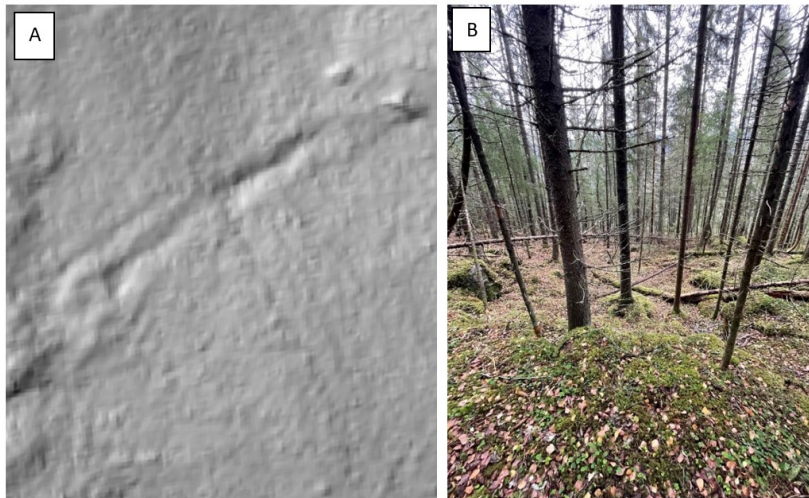
Løsneområde 6 har en helning hvor øverste del av området er på over 45 grader og dekker omtrent en tredjedel av området. Helningen blir noe slakere lenger ned, og størsteparten av helningen ligger på over 25 grader. I dette løsneområdet er det skog, og det er 49 meter til en gåsti i overkant. Dreneringsanalyser viser av vann fra mer enn 25000 m² kan gå gjennom løsneområdet, og det ble observert oppkomme av vann omtrent 20 meter nedenfor det tegnede potensielle løsneområdet. Tabell 3 viser at størrelsen er på 164 m² og modelleringene resulterte i et utløp som stanset 20 meter fra nærmeste uthus. På bakgrunn av dette ble det

vurdert at løsneområdet har en løsnesannsynlighet på 1/1000, og utløpet som gikk nærmest uthus gikk inn i faresonen for løsneområde 4. På grunn av dette, og lengden på det modellerte utløpet er det ikke tegnet ny faresone.

Tabell 3: Viser alle de potensielle løsneområdene med viktige forhold innenfor dem samt målinger fra modelleringsresultater.

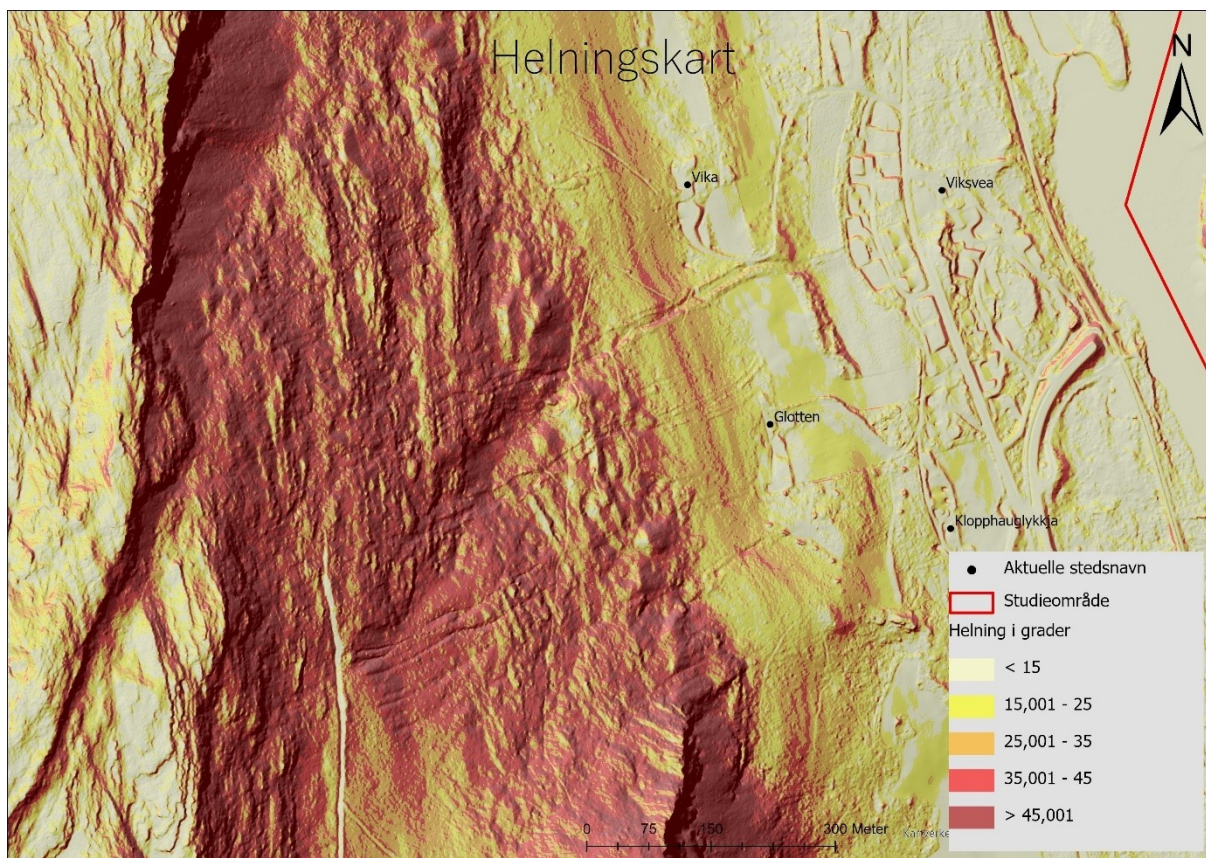
Løsneområde	Helning over 25 grader	Helning over 35 grader	Helning over 45 grader	Skog	Avstand til skogsbilvei (m)	Dreneringsoppsamling (m ²)	Størrelse (m ²)	Modelleringsutløps avstand til nærmeste bebyggelse uten skog	Modelleringsutløps avstand til bebyggelse med skog
1	Ja	Ja	Ja, belte på 2-3 m	Ja 2/3	0	>25 000	246	65m til uthus, 132 m til bolighus	Ikke utført
2	Ja	Ja	Ja, i midten av løsneområdet	Ja	34	>25 000	249	105m til uthus, 160 m til bolighus	Ikke utført
3	Ja	Ja	Ja, ca. 1/2	Nei	25	>25 000	245	55m til uthus, 115m bolighus	Ikke utført
4	Ja	Ja	Ja, ca. 1/4	Nei	6	<5000, tegn til erosjon	248	0m uthus, 0m bolighus	0m uthus, 30m bolighus
5	Ja	Ja	Ja, ca. 2/3	Nei	7	>25 000, tegn til erosjon	235	28m uthus, 70m bolighus	Ikke utført
6	Ja	Ja	Ja, ca. 1/3	Ja	49 til gåsti	>25 000	164	20m uthus, 96m bolighus	Ikke utført
Testløp	Ja	Ja	Ja, ca. 1/4	Ja, 3/4	0	5000 - 10 000	240	0m uthus, 0m bolighus	9m uthus, 19m bolighus
7	Ja	Ja	Ja, belte på 2-3m	Ja	78 til gåsti	2 dreneringsstrømmer, >25 000 og 15 000-25 000	241	0m uthus, 32m bolighus	Ikke utført
7 større	Ja	Ja	Ja, belte på 2-3m	Ja, men noe veltet	78 til gåsti	2 dreneringsstrømmer, >25 000 og 15 000-25 000	1002	0m uthus, 0m bolighus	0m uthus, 13m bolighus Ikke utført, tar samme løp som løsneområde 7 og 7 større.
8	Ja	Ja	Ja, ca. 1/2	Noe skog, noe veltet	130 til gåsti	5000-10 000	239	0m uthus, 33m bolighus	
9	Ja	Ja	Ja, nesten hele	Skog men varierende tetthet		2 dreneringsstrømmer, 5000-10 000 og 10 000-15 000	239	60m uthus, 72m bolig	Ikke utført
10	Ja	Ja	Ja, ca. 1/4	Ja	11 til gåsti	>25 000	242	230m til område for fremtidig boligbygging, 294 til uthus	Ikke utført
11	Ja	Ja	Ja, ca.1/2	Ja	20 til gåsti	5000-10 000	184	237m til område for fremtidig boligbygging	Ikke utført
12	Ja	Ja	Ja, ca. hele	Ja		15 000-25 000	249	0m uthus, 128m bolig	Ikke utført
13	Ja	Ja	Ja ca. 1/4	Ja	5	>25 000	238	24m uthus, 65m bolig	Ikke utført
14	Ja	Ja	Ja, nesten hele	Ja	70	10 000-15 000	241	1m uthus, 37m bolig	Ikke utført
15	Ja	Ja	Ja, ca. 1/2	Ja	68	>25 000	232	0m uthus og låve, 50m bolig	0m uthus og låve, 48m bolighus
16	Ja	Ja	Ja, nesten hele	Lett vegetasjon, små trær	32	>25 000	240	240m uthus, 265m bolig	Ikke utført
17	Ja	Ja	Ja, hele	Ja		>25 000 i bunnen	139	75m uthus, 75m bolig	Ikke utført

5.1.7 Tidligere løснеområde



Figur 27: Tidligere løснеområde ovenfor Klopphauglykkja der A) viser det tidligere skredet med fjellskygge og B) viser løснеområdet sett ovenfra.

Et lite stykke ovenfor gården Klopphauglykkja og den tilhørende innmarka er det tydelig et løснеområde for jordskred uten synlige avsetningsformer nedenfor, noe som kan ses i Figur 27. Noen meter ovenfor løснеområdet er det tydelig et oppkomme av vann, og dreneringsanalyser bekrefter at vann fra mellom 15000-25000 m² vil gå igjennom dette området. Det tidligere løснеområdet ligger 35 meter nedenfor det potensielle løснеområdet 6, som vist i Figur 26. Dette er det eneste stedet i studieområdet hvor løснеområdet er tydelig og har en typisk u-form, og det er et tydelig søkk i terrenget ned mot innmarka. Dette er også det tidligere skredløpet som ser ut til og har hatt kortest utløpsdistanse fra løснеområdet. Helt nederst i det tidligere løснеområdet er gradienten i dag på mer enn 45 grader, og ellers er det vekslende gradienter noe som kan ses på helningskartet i Figur 28. Nederst i det tidligere løснеområdet er det i dag en steinblokk, og forekomsten av stein ellers i området kan tyde på at en mulig årsak til utløsning kan være steinsprang.



Figur 28: Helningskart for områdene ovenfor Klopphauglykkja, Glotten og Vika.

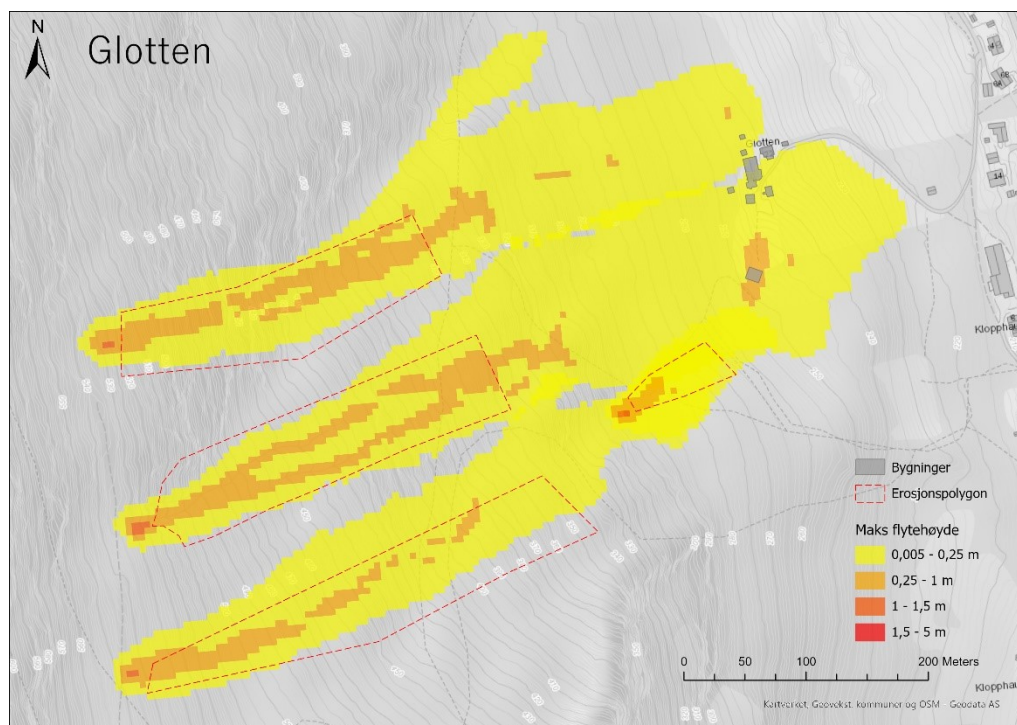
5.2 Glotten

Det er definert fire løsneområder ovenfor Glotten, dette er løsneområde 3, 4 og 5 som er nevnt under Klopphauglykkja samt testløpet som kan ses i Figur 26. Testløpet ble brukt i kalibrering under modelleringene, men den er også aktuell som et potensielt løsneområde og vil bli beskrevet kort.

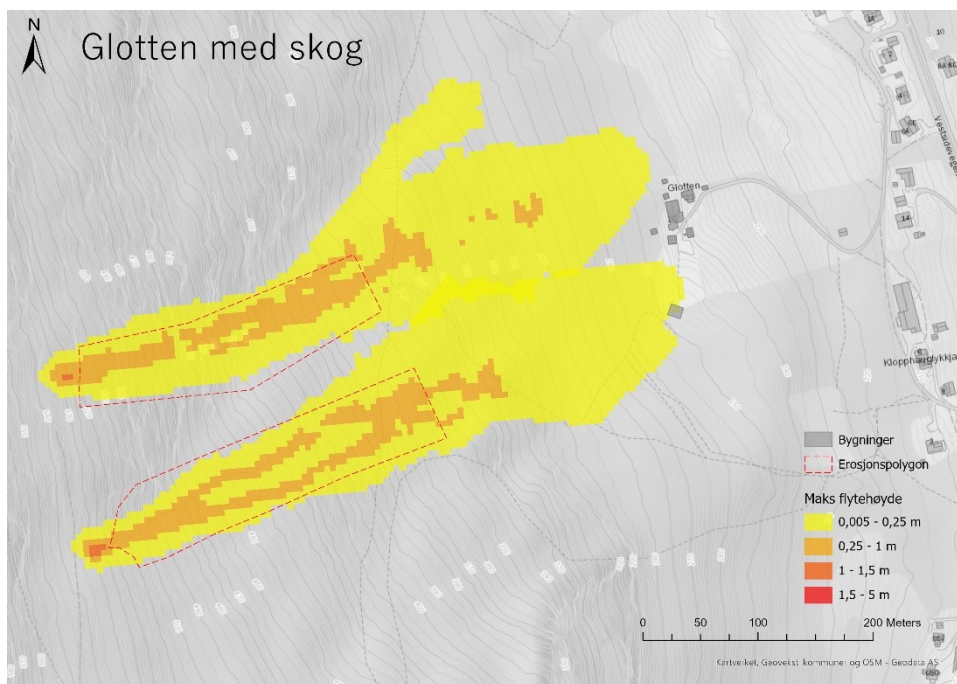
5.2.1 Testløp

Dette potensielle løsneområdet er satt noe høyere enn det som antas å være tidligere løsneområde for skred og brukt som testløp ved modelleringene i RAMMS nevnt i metodekapittelet. Helningen innenfor det tegnede løsneområdet har en helning på over 25 grader, og deler av området har høyere helning som at omtrent en fjerdedel har en helning på over 45 grader. Løsneområdet ligger i enden av skogsbilveien som er laget for å få tilgang til fakkelmanen, altså null meter til denne. Tabell 3 viser at drenering fra mellom 5000 og 10 000m² vil strømme gjennom løsneområdet. Det tegnede løsneområdet har en størrelse på

240 m², og skog dekker omtrent 3/4. Modellering av utløp viser at skredmasser når både uthus og bolighus ved Glotten som kan ses i Figur 29. I Figur 30 vises modelleringer med skog og her stanser utløpet 9 meter unna nærmeste uthus og 19 meter unna nærmeste bolighus ved Glotten. Løsnensannsynligheten anslås å være 1/1000 totalt på bakgrunn av forholdene her, og det ble tegnet faresone 1/1000 mellom modelleringsutløpet med og uten skog.

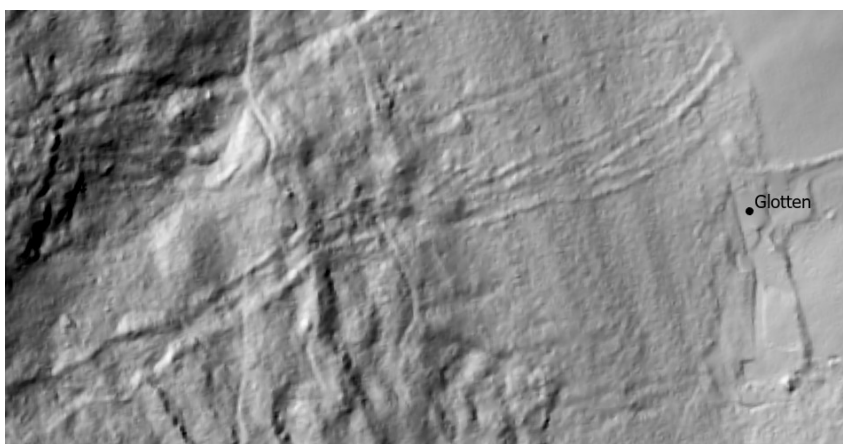


Figur 29: Modelleringer fra løsneområde 1, 4, 6 og testløp ovenfor Glotten og Klopphauglykkja uten vurdering av skog.



Figur 30: Område ved Glotten modellert med skog. Kun utløpene som nådde bebyggelse uten skog ble modellert med skog, da kun disse vil ha praktisk betydning i vurderingene.

5.2.2 Tidligere skredløp



Figur 31: Skredavsetninger nord for Glotten vist med fjellskygge.

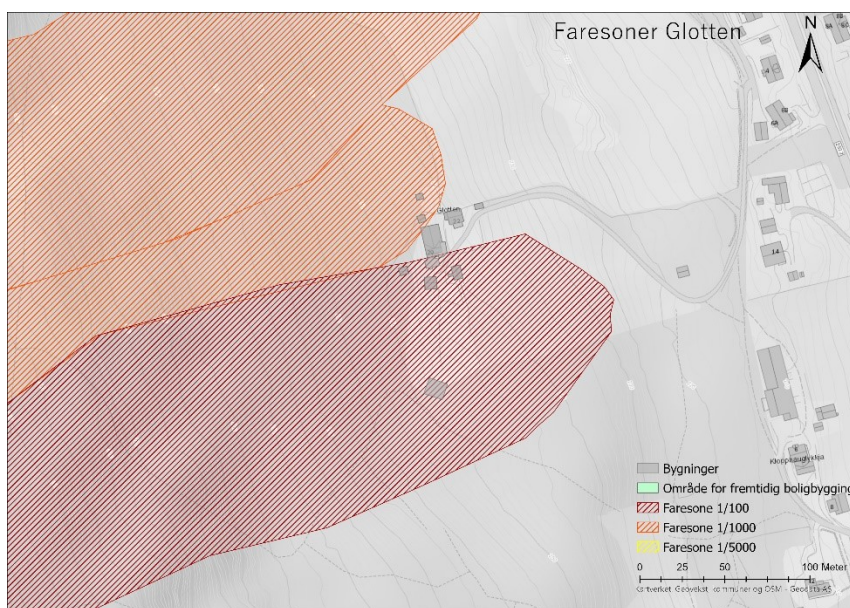
Både rett nord for tomten er det geomorfologiske indikasjoner på tidligere hendelser i form mulig lobeformet avsetning og levéer, dette kan ses tydelig i Figur 31. I overkant av den antatte lobeformen som antas å ha gått over et jorde (Figur 32B) er det flere sett med levéer, det er noe usikkert om disse stammer fra flere ulike hendelser eller en hendelse hvor løpet i en periode har delt seg. Det er mulig å se minst fire levéer på samme terreng høyde, på Figur 32C vises hvordan en av disse levéene ser ut. Her er det også en historisk beretning om skred som trolig gikk på starten av 1800-tallet, som nevnes tidligere i områdebeskrivelsen (Rybakken & Kraabøl, 1989). Skredavsetningene indikerer at området det nå står bygninger på tomte ikke

ble påvirket den gang. Steinene og blokkene i levéene er tydelig stablet oppå hverandre noe som vises i Figur 32A, samt at det er større blokker i levéene lenger opp i dalsiden. Det er også en mindre steinvegg noe sør for skredløpet som vises i Figur 32D, denne ser ut til å fore området nedenfor med kildemateriale, noe som ikke kommer frem i NGUs løsmassekart.



Figur 32: Fra området med avsetninger nord for Glotten vises A) Steiner i levéene som er stablet oppå hverandre, B) Skredavsetningen der den slutter nederst mot jordet, C) En side av levéen lenger opp i skråningen, D) Fjellvegg.

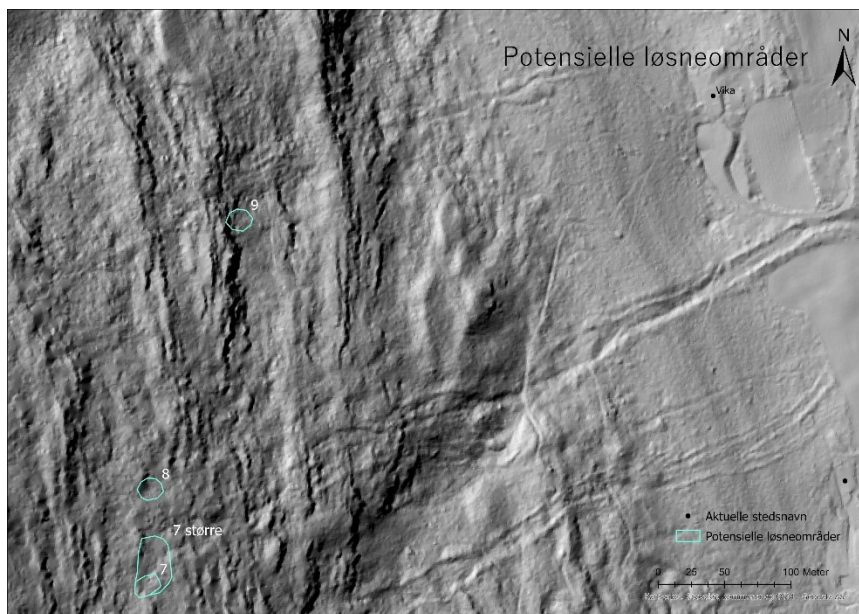
Lengre opp i dalsiden er det en skogsbilvei, og i fakkelmannen er det tydelige tegn etter erosjon ved denne skogsbilveien, som ligger hvor løsneområdene 4 og 5 er plassert i Figur 26. Dreneringsanalyser viser en strømming av vann fra mer enn 25000 m² i det tidligere skredløpet. På grunn av at det er tydelige skredavsetninger som levéer og lober, samt flere sett med levéer vurderes det at faregraden på 1/1000 beholdes i området. Området kvalifiserer ikke til en faregrad på 1/100 da det ikke er tegn på ustabilitet eller fersk aktivitet her. Den tegnede faresonen kan ses i Figur 33.



Figur 33: Faresoner i området nært Glotten.

5.3 Vika

Fire potensielle løsneområder er definert ovenfor Vika, der løsneområde 7, 7 større og 8 kan ses i Figur 26, mens løsneområde 9 kan ses i Figur 34. De potensielle løsneområdene vil bli beskrevet kort videre.



Figur 34: Viser potensielle løsneområder ovenfor Vika.

5.3.1 Løsneområde 7

Dette løsneområdet har i hovedsak en helning på over 35 grader, inkludert et belte på omtrent to til tre meter som er over 45 grader. Dette løsneområdet ligger på omtrent samme høyde som løsneområde 2, 3, 4, 5 og testløp, men har ingen nærhet til skogsbilvei i overkant.

Dreneringsanalyser viser at det er to strømmer som går igjennom løsneområdet, den ene fra over 25000 m² og den andre fra mellom 15000 – 25000 m². Størrelsen på løsneområdet er tegnet til 241 m² og er dekket av skog i kanten, men det er områder hvor det er mange meter mellom de synlige trærne. Modellering av utløpet viser at skredet treffer uthus, men går 32 meter unna bolighus som vises i Figur 35. Løsnesannsynligheten i dette løsneområdet anslås å være 1/1000.

5.3.2 Løsneområde 7 større

Dette løsneområdet inkluderer området for løsneområde 7, men strekker seg lenger nordover på skråningen også, dette kan ses i Figur 34. Området inkluderer de samme helningsgradene som løsneområde 7, og beltet på 45 grader går på tvers av dette løsneområdet.

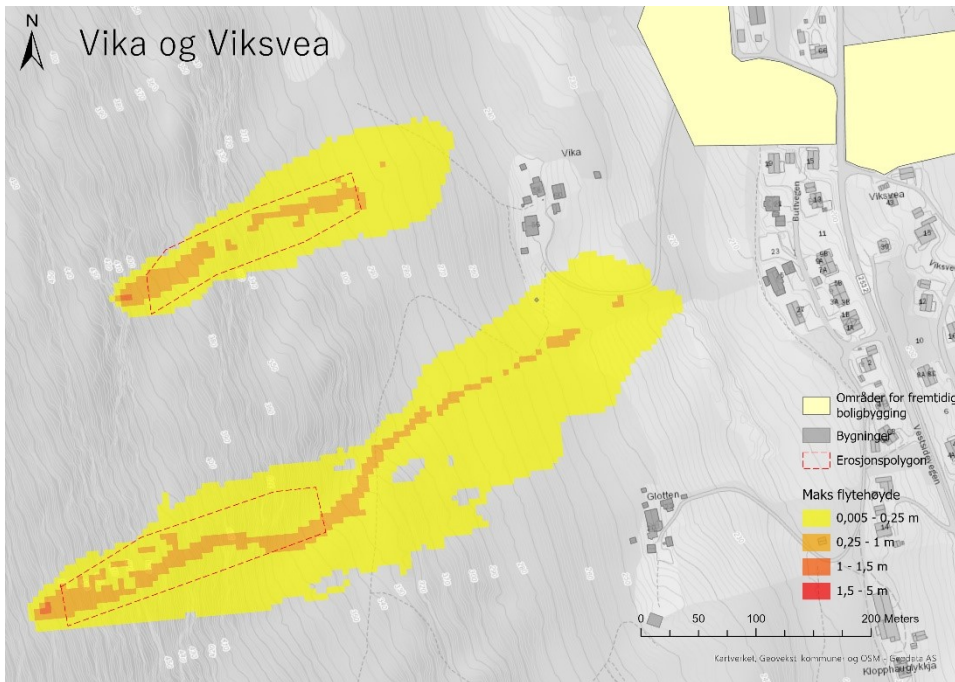
Dreneringsstrømmene er det samme som løsneområde 7, og størrelsen er på 1002 m². Det er skog innenfor løsneområdet, men det ser ut til at noe er veltet, og det er dermed glissent mellom flere av trærne. Modelleringer viser at skredutløpet vil treffe uthus og bolighus noe som vises i Figur 36. Modelleringer med skog viser at utløpet fortsatt vil treffe uthus, men går 13m unna nærmeste bolighus, noe som kan ses i Figur 37. På grunn av disse forholdene er løsnesannsynligheten satt til 1/1000.

5.3.3 Løsneområde 8

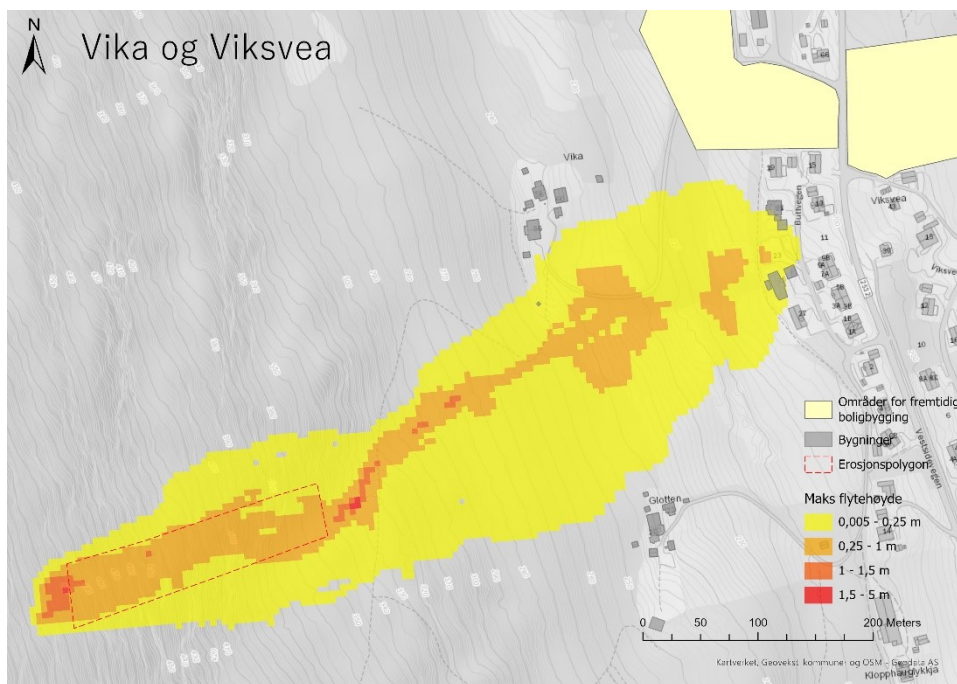
Helningen innenfor dette løsneområdet over 25 grader i hele området, og omtrent halve har en helning på over 45 grader. Det er ikke noen nærhet til skogsbilvei, og dreneringsanalyse viser at vann fra mellom 5000 og 10000 m² går igjennom løsneområdet. Størrelsen er tegnet til 239 kvadratmeter, og det er i utgangspunktet skog på løsneområdet, men her har flere trær veltet noe som gjør at store deler ikke har skog på seg lenger. Modelleringer viser at skredutløpet vil treffe uthus og gå 33 meter unna nærmeste bolighus, og viser at dette potensielle skredet vil ta samme løp som løsneområde 7 og 7 større. Disse forholdene gjør at løsnesannsynligheten er vurdert til 1/1000.

5.3.4 Løsneområde 9

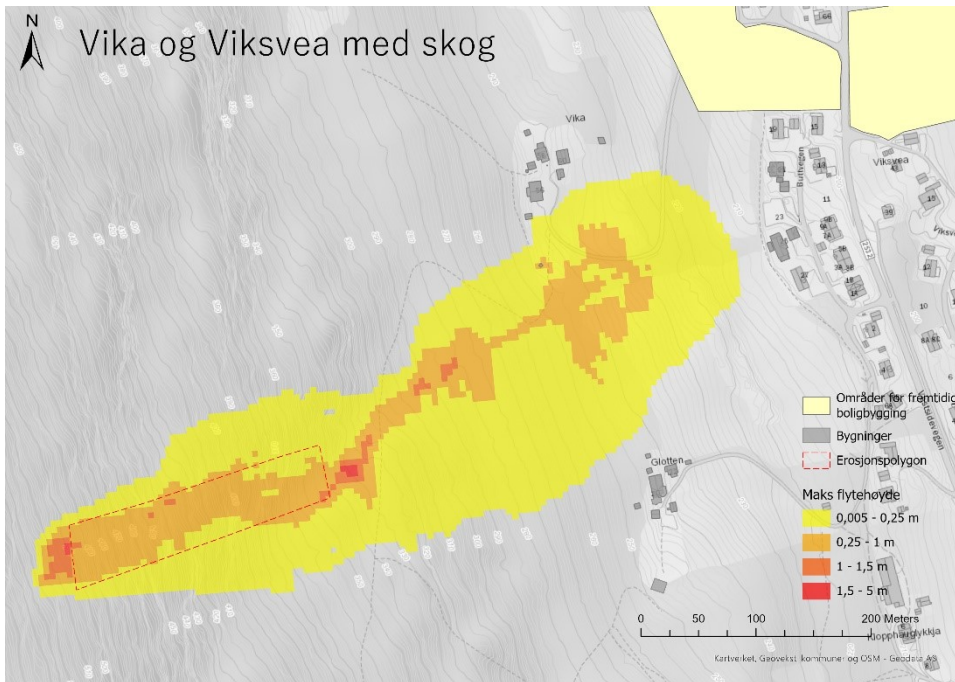
I dette løsneområdet har nesten hele området en helning på over 45 grader. Det er ingen nærhet til skogsbilvei, og det er to dreneringsstrømmer som møtes nederst i løsneområdet, som til sammen danner en total drenering fra mellom 15000 og 25000 m². Det er skog i løsneområdet, men med noe varierende tetthet. Størrelsen er tegnet til 239 m², og modelleringer viser at utløpet av et skred her vil stoppe 60 meter unna nærmeste uthus og 72 meter unna nærmeste bolig, noe som er oppsummert i Tabell 3. Løsnesannsynligheten anslås å være på 1/1000, men det er ikke tegnet faresone her på grunn av utløpets lengde.



Figur 35: Modelleringer fra løsneområde 7 og 9 ved Vika.

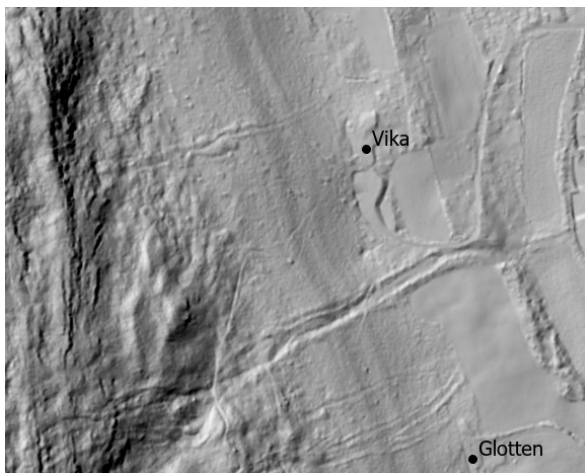


Figur 36: Modellering av løsneområde 7 større.



Figur 37: Modellering av løseområde 7 større med skog.

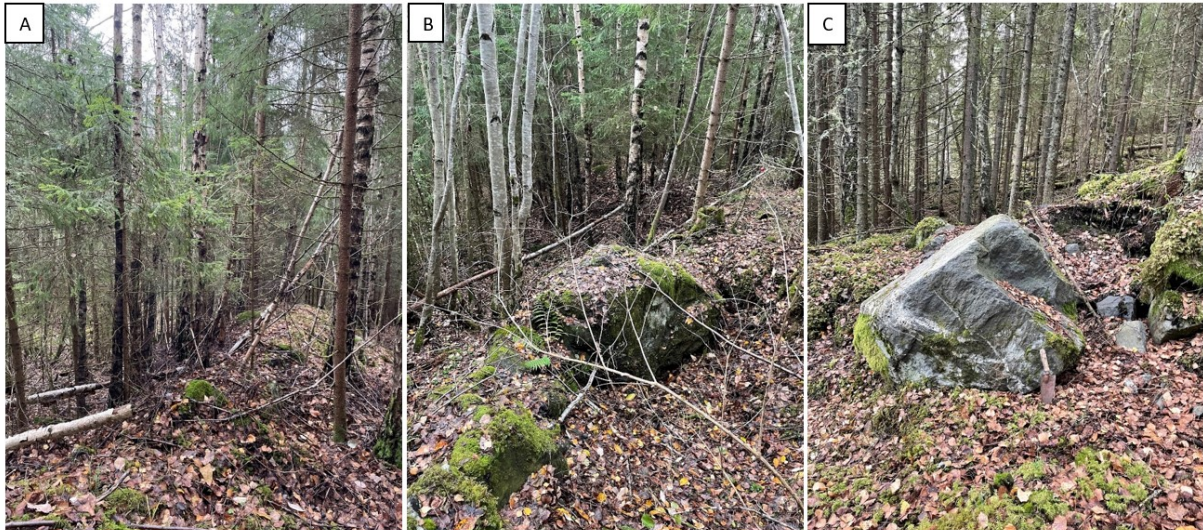
5.3.5 Tidligere skredløp



Figur 38: Tidlige skredløp og skredavsetninger ved Vika.

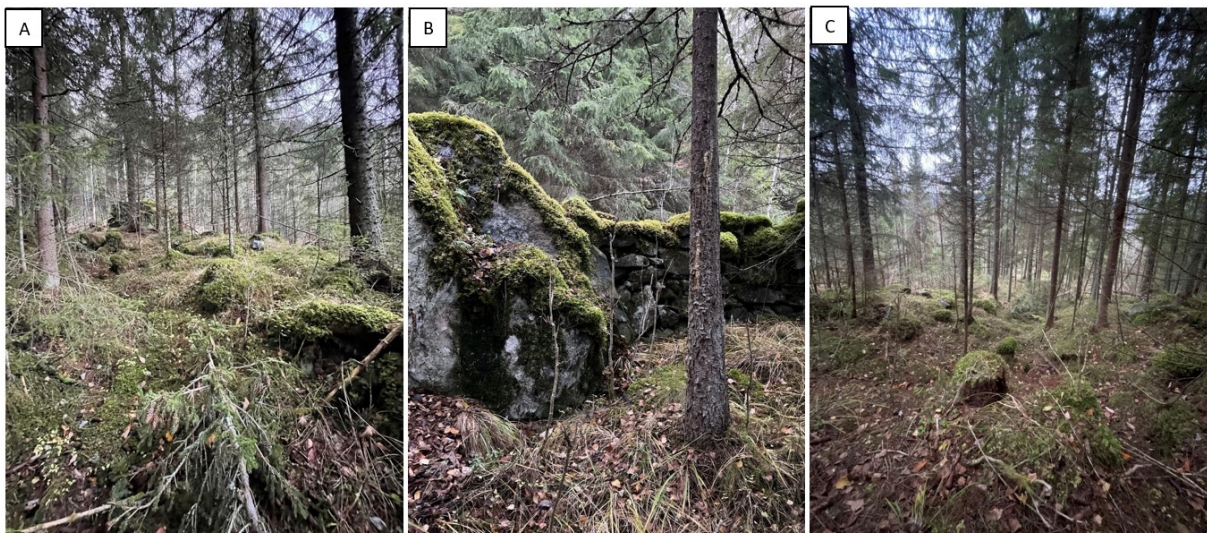
Rett sør og nord for Vika er det tydelige levéer, og nord for tomten er det også lobeavsetninger noe som kan ses i Figur 38. På sørsiden er det flere sett med levéer i øvre del av avsetningene, men bare levéer til ett løp lenger ned, mulig det har vært flere hendelser her. Historiske beretninger har også bekreftet at det har gått skred her, trolig i løpet av første halvdel av 1800-tallet (Rybakken & Kraabøl, 1989). I Figur 39A vises et eksempel på en levé i denne skredbanen. I kanalen på sørsiden er det på ett punkt en stor blokk og avsetninger som blokkerer kanalen noe som ses i Figur 39B. Fra siden fra en av levéene i denne kanalen har en blokk flyttet seg noe på grunn av frostsprengning, noe som kan ses i Figur 39C. I såret hvor

denne blokken tidligere har ligget er det løse steiner uten orientering. Avsetningene går lenger ned mot dalbunnen enn resten av dalsiden, men stanser der det er bygd boligområde som nevnes under overskriften Viksvea.



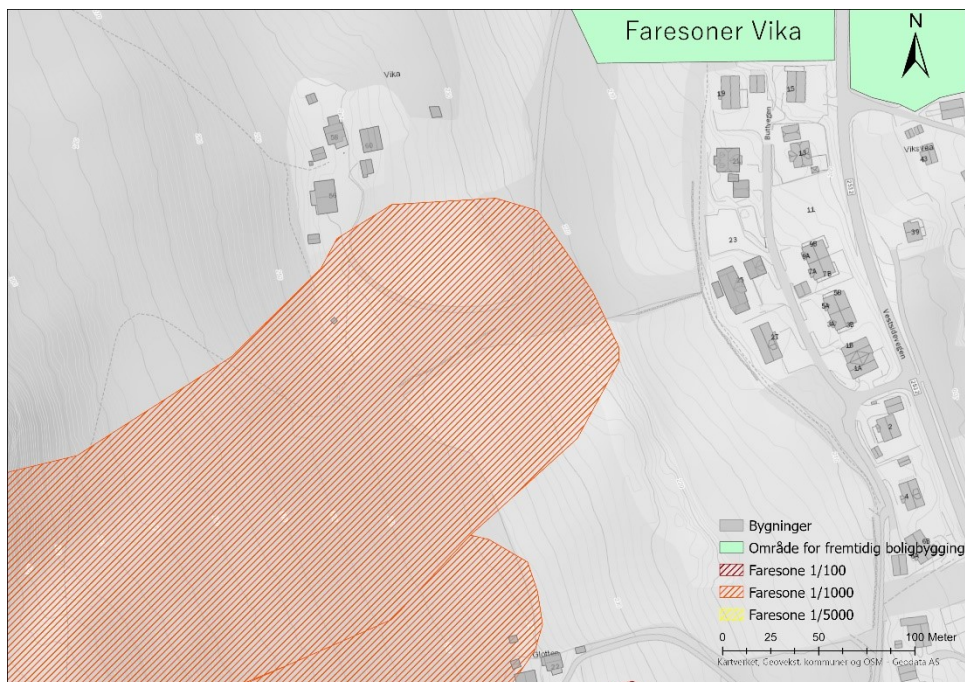
Figur 39: Fra sørlige tidligere skredløpet ved Vika viser A) Eksempel på levé i denne skredbanen B) Blokk som delvis sperrer for kanalen C) Blokk som har remobilisert seg fra opprinnelig levé.

I kanalen som er formet av avsetningene på nordsiden av Vika kan ses i Figur 40C der nedre del av kanalen ses. Det også en blokk i kanalen samt en liten mur noe som vises i Figur 40B, men her er selve kanalen mindre tydelig. I nærheten av denne kanalen er det også en steinur med stor steinsprangaktivitet. Levéne her inneholder også store steiner og blokker, hvor Figur 40A viser et eksempel på en levé lenger opp i skredløpet enn kanalen i Figur 40C.



Figur 40: Tidligere skredløp nord for Vika hvor det vises A) Levé B) Blokk og mur i kanalen C) Kanalen med levéer på sidene.

I det nordlige løpet viser dreneringsanalyser at vann fra mer enn 25000 m² strømmer igjennom her dette er det samme dreneringsløpet som går igjennom det potensielle løsneområde 9. Det samme gjelder det sørlige løpet fra 290 meter over havet og ned dalsiden som er det samme løpet som samles fra de potensielle løsneområdene 7 og 8. Modelleringer fra tre ulike løsneområder, samt ett løsneområde kalkulert med ulikt volum viser at et uthus på Vika kan bli truffet av skred. På bakgrunn av dette og løsnesannsynligheten til løsneområdene 7, 7 større og 8 tegnes det en faresone på 1/1000 i området sør for Vika som kan ses i Figur 41.



Figur 41: Faresoner i området nært Vika.

5.4 Viksvea

Løsneområdene som er aktuelle ovenfor Viksvea er løsneområde 7, 7 større og 8, disse er beskrevet tidligere. Utløpet til alle disse løsneområdene ser ut til å samle seg i omtrent samme løp et lite stykke ovenfor noe bebyggelse.

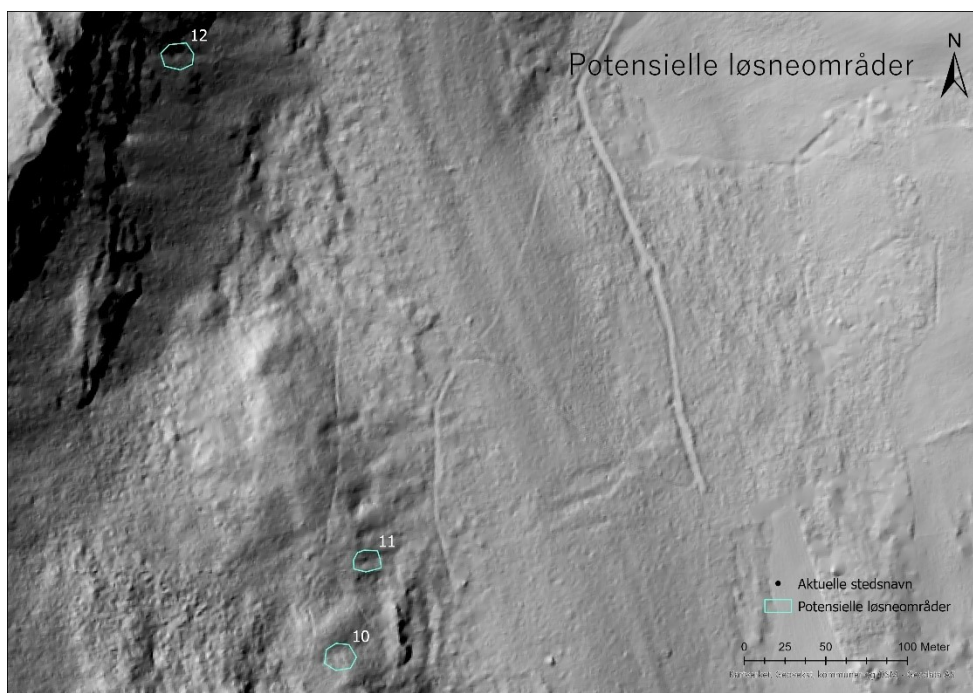
5.4.1 Tidligere skredløp

Ovenfor Viksvea sør for Vika er det tydelige levéer, men det er ikke tegn til andre avsetninger eller hvor skredet stoppet på grunn av boligbygging. Historiske beretninger nevner at skredet ved Vika også gikk ned mot Viksvea, og området er på også kjent under navnet Skriua, som indikerer skredområde (Rybakken & Kraabøl, 1989). Som modelleringene viser i Figur 35 vil

ikke utløpet nå helt ned til Viksvea. Et skred med løsneområde på omtrent 1000 m² uten skog kan treffe boliger i overkant av Viksvea noe som kan ses i Figur 36.

5.5 Mellom Vika og Svea

Mellom Vika og Svea er det i luftlinje en distanse på 1,3 kilometer, og gårdene og bosetningene ligger i hovedsak tett på lokalveien. Der det er bebyggelse i dag er det en helning på mindre enn 15 grader, og områdene rundt er generelt slakere enn ved Klopphauglykkja, Glotten, Vika, Svea, Sletten og Øygarden. Det er ikke synlige tegn etter tidligere jord- og flomskred hendelser her og heller ikke funnet historiske beretninger om slikt. Potensielle løsneområder i overkant av bebyggelse ble undersøkt her også, men modelleringer ble kun utført på enkelte løsneområder da gjennomførte modelleringer viste at utløpene stoppet over hundre meter ovenfor bebyggelse. Det ble dermed antatt at områder med tilsvarende forhold ville ha omtrent samme utløpslengde. Det er totalt tre potensielle løsneområder som er tegnet og utført modelleringer på som vises i Figur 42, og disse blir videre beskrevet kort.



Figur 42: Potensielle løsneområder fra området mellom Vika og Svea.

5.5.1 Løsneområde 10

Dette potensielle løsneområdet ligger 240 meter lenger nord enn løsneområde 9 og ligger 60 høydemeter lenger ned i dalsiden. Helningen er i hovedsak over 35 grader, og omtrent en

fjerdedel er over 45 grader. Det er ikke nærhet til skogsbilvei, men det er en gåsti som går 11 meter ovenfor. Dreneringsanalyser viser at vann fra over 25000 m² kan strømme igjennom løsneområdet. Størrelsen er tegnet til å være 242 m², og det er skog som dekker løsneområdet. Modelleringer viser at det er 294 meter til nærmeste uthus, og at det er 237 meter til område som er satt av til fremtidig boligbygging. På bakgrunn av dette har løsneområdet en løsnensannsynlighet på 1/1000. Det er ikke tegnet faresoner i forbindelse med dette løsneområdet.

5.5.2 Løsneområde 11

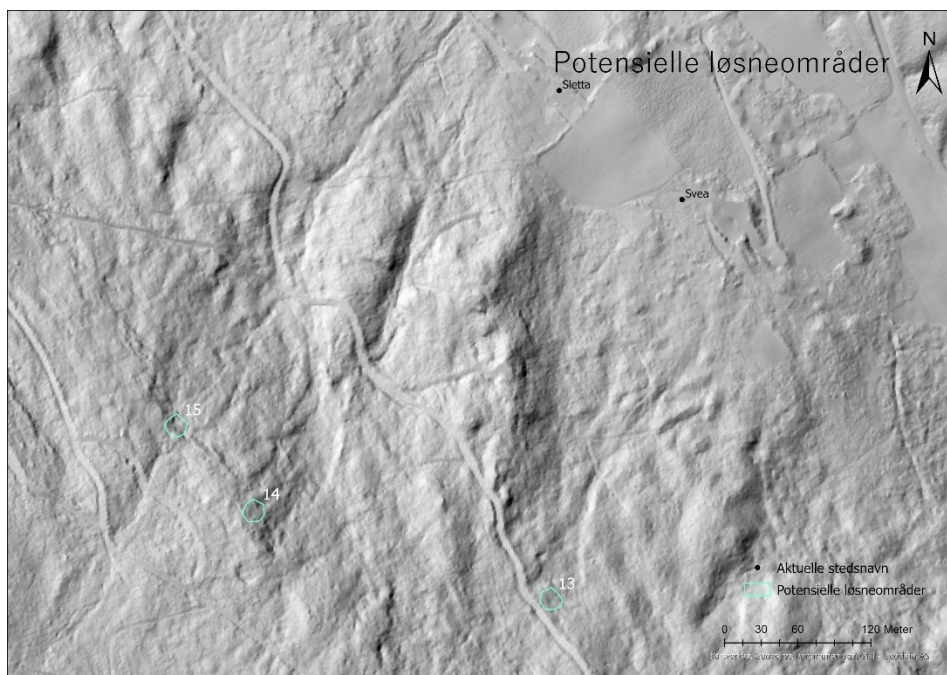
Løsneområde 11 har en helning på over 35 grader og omtrent halve området er på over 45 grader. Dreneringsanalyser viser at vann fra mellom 5000 - 10000 m² kan strømme igjennom området. Størrelsen på løsneområdet er tegnet til å være 184 m², og det er skog som dekker området. Modelleringer viser at utløpet stopper 230 meter unna område som er satt av til fremtidig boligbygging. Løsnensannsynligheten er anslått å være 1/1000, men ingen faresoner er tegnet her da utløpsavstanden er lang fra bebyggelse og fremtidige områder for boliger.

5.5.3 Løsneområde 12

Dette løsneområdet ligger 315 meter lenger nord for løsneområde 11. Dette løsneområdet er tegnet for å vurdere utløpet til et jordskred som potensielt kan bli utløst av steinsprang da det er en fjellvegg i overkant. Omtrent hele området har en helning på over 45 grader, og det er skog med mindre tetthet i området. Det er også mulig dreneringsansamling her fra mellom 15000 – 25000 m². Størrelsen på løsneområdet er satt til 249 meter og vil nå et uthus som ligger et stykke lengre opp i lia enn annen bebyggelse, da utløpet stanser 218 meter fra nærmeste bolighus. Anslått løsnensannsynlighet er 1/1000, men det er ikke tegnet faresone her på grunn av utløpets lengde.

5.6 Sletta og Svea

Ovenfor gårdene Sletta og Svea er det tegnet tre potensielle løsneområder, løsneområde 13, 14 og 15. De potensielle løssområdene vises i Figur 43 og blir videre beskrevet kort. Figur 46 viser den generelle helningen i området.



Figur 43: Potensielle løsneområder ovenfor Sletta og Svea.

5.6.1 Løsneområde 13

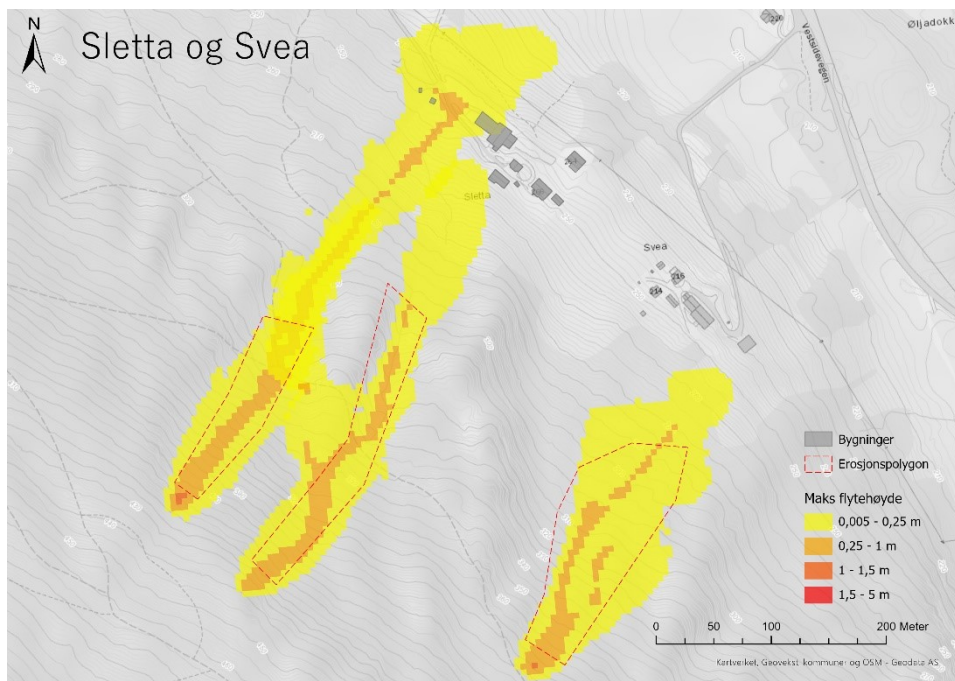
Dette løsneområdet har i hovedsak en helning på over 35 grader, og omtrent $\frac{1}{4}$ er over 45 grader. Løsneområdet er tegnet med en størrelse på 238 m² og ligger dekket av skog fem meter nedenfor en skogsbilvei. Dreneringsanalyser viser at vann fra over 25000 m² kan gå igjennom løsneområdet. Modelleringer viser at utløpet vil stoppe 24 meter unna nærmeste uthus og 65 meter unna nærmeste bolighus ved Svea, noe som kan ses i Figur 44. På grunn av disse forholdene er løsnensannsynligheten anslått å være 1/1000.

5.6.2 Løsneområde 14

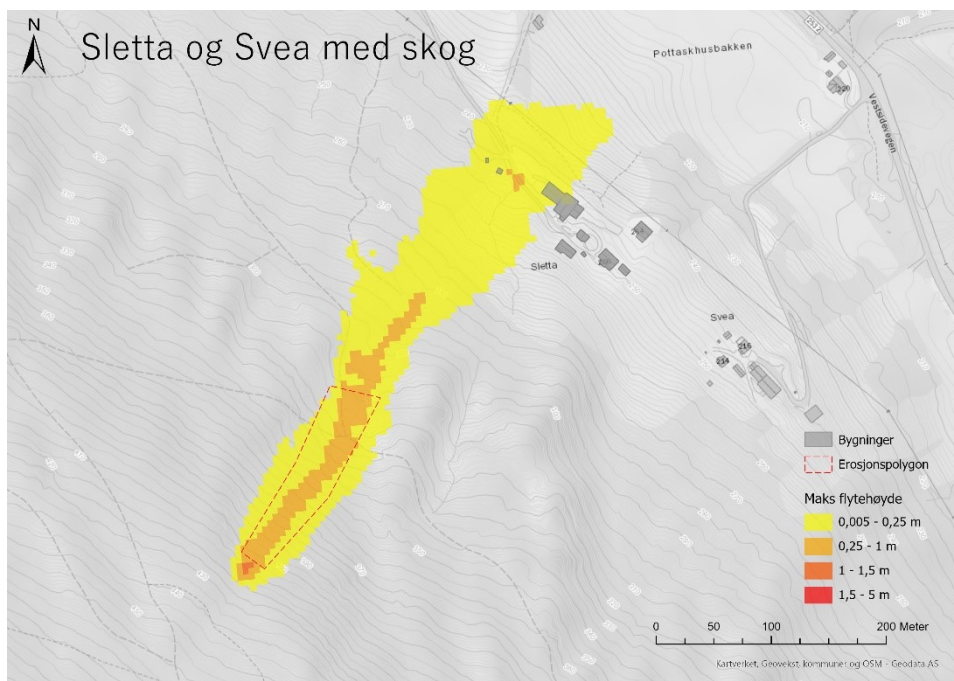
Løsneområdet har i hovedsak bare en helning på over 45 grader, og ifølge dreneringsanalyser er det fra mellom 10 000 – 15 000 m² som vann kan strømme fra. Størrelsen er tegnet til 241 m², og ligger skogdekt omtrent 70 meter nedenfor skogsbilvei. Modelleringer viser at utløpet går en meter unna nærmeste uthus og 37 meter unna nærmeste bolig, dette kan ses i Figur 44. Løsnensannsynligheten anslås derfor å være 1/1000, og det er tegnet faresone noe innenfor dette utløpet.

5.6.3 Løsneområde 15

Dette løsneområdet har en helning på over 25 grader, og omtrent halve området har en helning på over 45 grader. Løsneområdet ligger 68 meter i underkant av en skogsbilvei, og er skogdekt. Dreneringsanalyser viser at vann fra mer enn 25000 m² strømmer igjennom løsneområdet. Størrelsen er tegnet til 232 m² og modelleringer viser at utløpet treffer uthus og låve og går 50 meter unna nærmeste bolig noe som kan ses i Figur 44. I Figur 45 ses modelleringer med skog der det vises at utløpet fortsatt treffer uthus og låve på Sletta, men strekker seg nærmere bolighuset hvor avstanden nå er 48 meter. Det anslås at løsnensannsynligheten er 1/1000, og det er tegnet faresoner her som følger det modellerte utløpet.



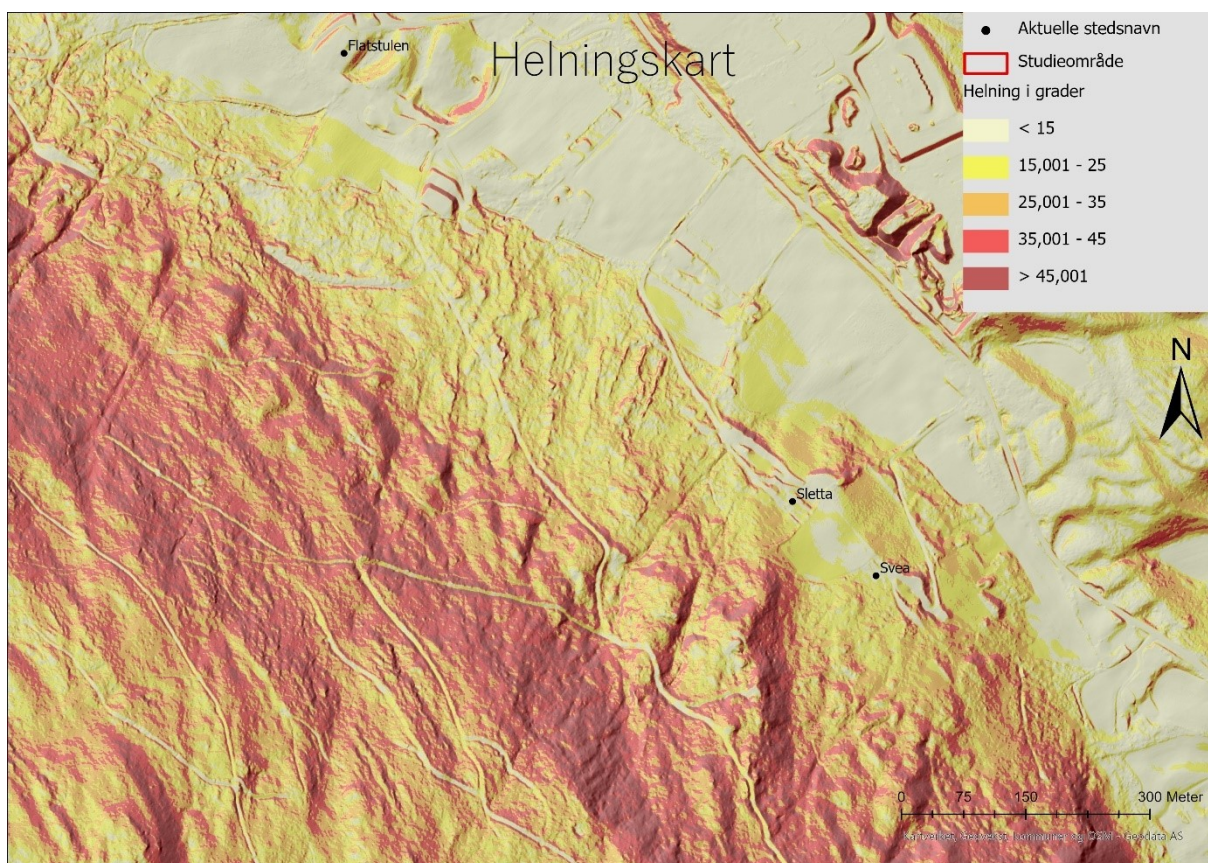
Figur 44: Modelleringer av utløp ved Svea og Sletta.



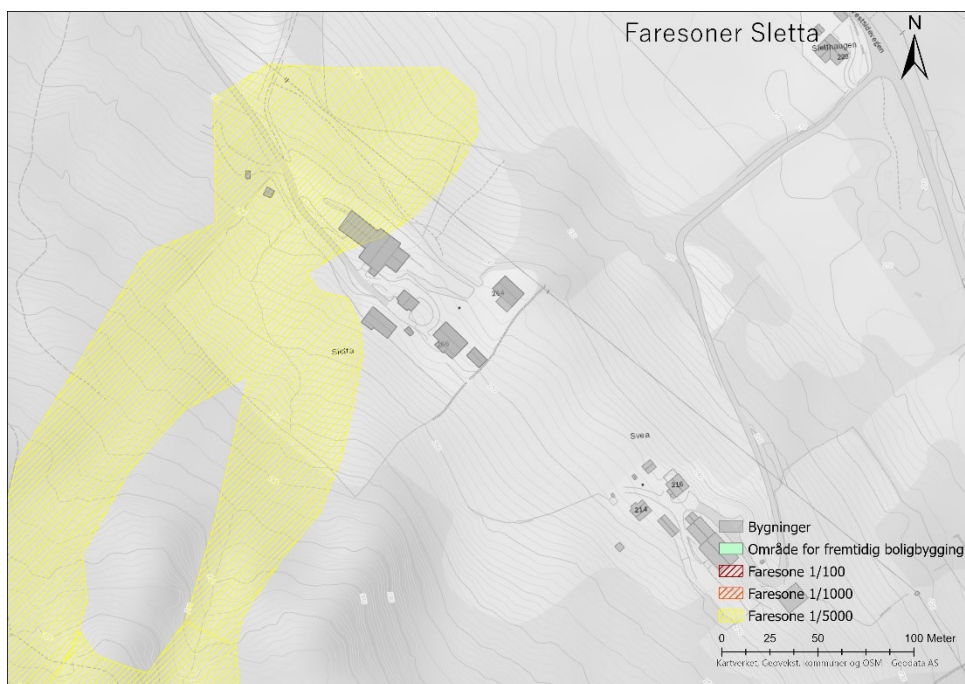
Figur 45: Modelleringer av utløp som traff bebyggelse med skog ved Sletta og Svea.

5.6.4 Tidligere skredløp

I dag er det ingen tegn på skredavsetninger eller løsneområder, men historiske beretninger skriver at det har gått skred her tidligere, trolig på 1800-tallet. Det sies at avsetningene lå på jordet til gården Sletta i lang tid, helt til det moderne landbruket tok over (Rybakken & Kraabøl, 1989). Det er mulig å se antydninger til der skredavsetningene mulig har ligget, men umulig å si noe om formen på disse. Det ble ikke utført befaring i dette området da det ikke var indikasjoner på tidligere skred her på tidspunktet befaringen ble utført. På grunn av at det ikke er tydelige tegn på avsetninger og på flere skredhendelser siden siste istid, er det vurdert til at området får en faregrad på 1/5000 noe som er visualisert i Figur 47.



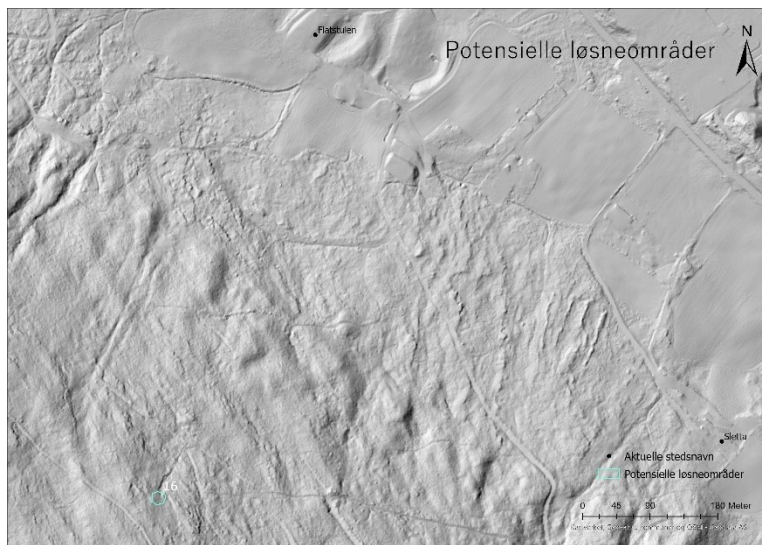
Figur 46: Helningskart ved Svea, Sletta og Flatstulen.



Figur 47: Faresoner ved Sletta og Svea.

5.7 Flatstulen og Bortmillom

I overkant av av disse gårdene ser det i hovedsak ut som bekkenedskjæringer gjennom løsmasse med ulik tykkelse. Dette kan minne om avsetninger liknende levéer, men det er konkludert med at disse landformene ikke har en sterk sammenheng med jord- og flomskred. Det er likevel tegnet et potensielt løsneområde i overkant her på grunn av helningen og at det kan se ut som antydning til en liten tidligere utgliding om dette ikke bare er erosjon fra vann. Dette er løsneområde 16 som kan ses i Figur 48. Dette potensielle løsneområdet blir videre beskrevet kort.



Figur 48: Potensielle løsneområder ovenfor Flatstulen.

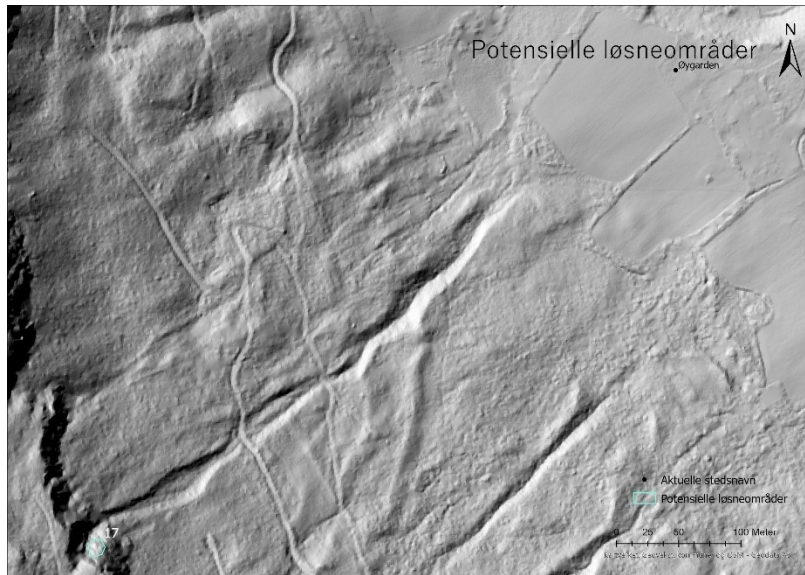
5.7.1 Løsneområde 16

Omtrent hele løsneområdet har en helning på over 45 grader, og en potensiell drenering av vann fra mer enn 25000 m². Nesten hele løsneområdet er dekket av lett vegetasjon med små trær. Løsneområdet er tegnet med en størrelse på 240 m² og modelleringer viser at utløpet stanser 240 meter fra nærmeste uthus. Løsnesannsynligheten er satt til 1/1000, men det ingen faresoner for jord- og flomskred her.

5.8 Øygarden

Ovenfor gården Øygarden er det definert ett potensielt løsneområde, da den aktuelle prosessen i overkant sannsynlig er flomskred eller jordskred som har ført til flomskred. Dette er løsneområde 17 som kan ses i Figur 49, helningen til området ovenfor Øygarden kan ses i Figur 52. Det ble vurdert til at ett løsneområde var godt nok da disse massene vil ha utløp ned

i bekken og utvikle seg til et flomskred. Dette ble gjort da det er usikkert om bekken hadde erodert ned til grunnfjellet. Videre blir det potensielle løsneområdet beskrevet kort.



Figur 49: Potensielle løsneområder ovenfor Øygarden vist med fjellskygge.

5.8.1 Løsneområde 17

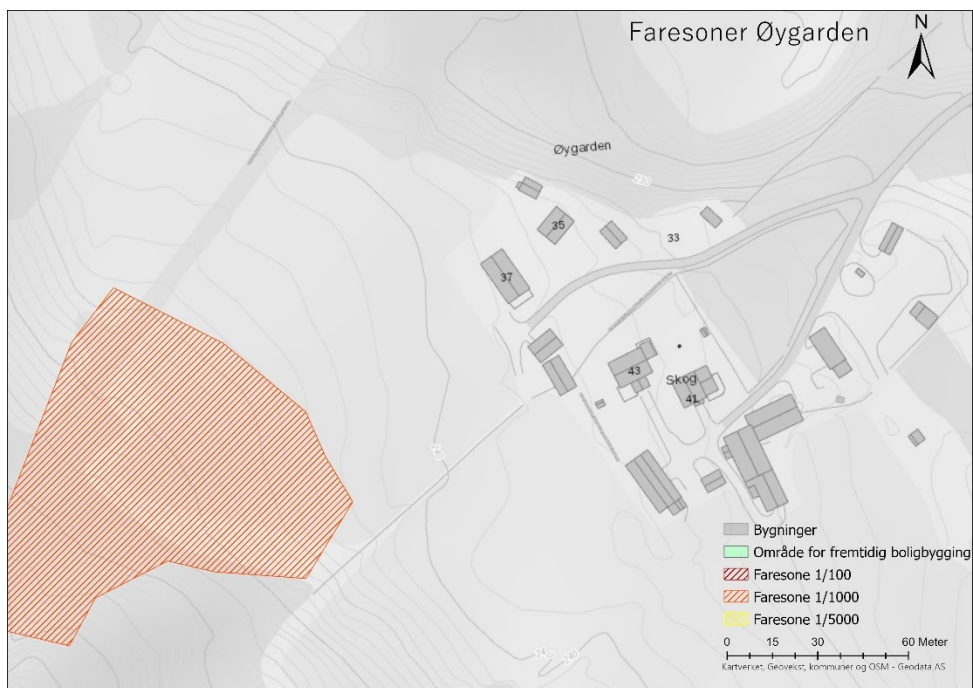
Helningen i løsneområdet er på over 45 grader, og det er tydelige tegn på tidligere utglidinger ned i bekken i området. Det er skog i løsneområdet, og størrelsen er tegnet til 139 m². I bekken nedenfor viser dreneringsanalyser mulig vannstrømning fra mer enn 25000 m², og bekken kan også gi erosjon i skråningsfoten. Modelleringer viser at utløpet stanser 75 meter unna uthus og bolig. Løsnesannsynligheten defineres som 1/1000, men størrelsene på de potensielle utglidningene er usikre på grunn av størrelsen på skråningene på sidene av bekkeløpet.

5.8.2 Tidligere skredløp

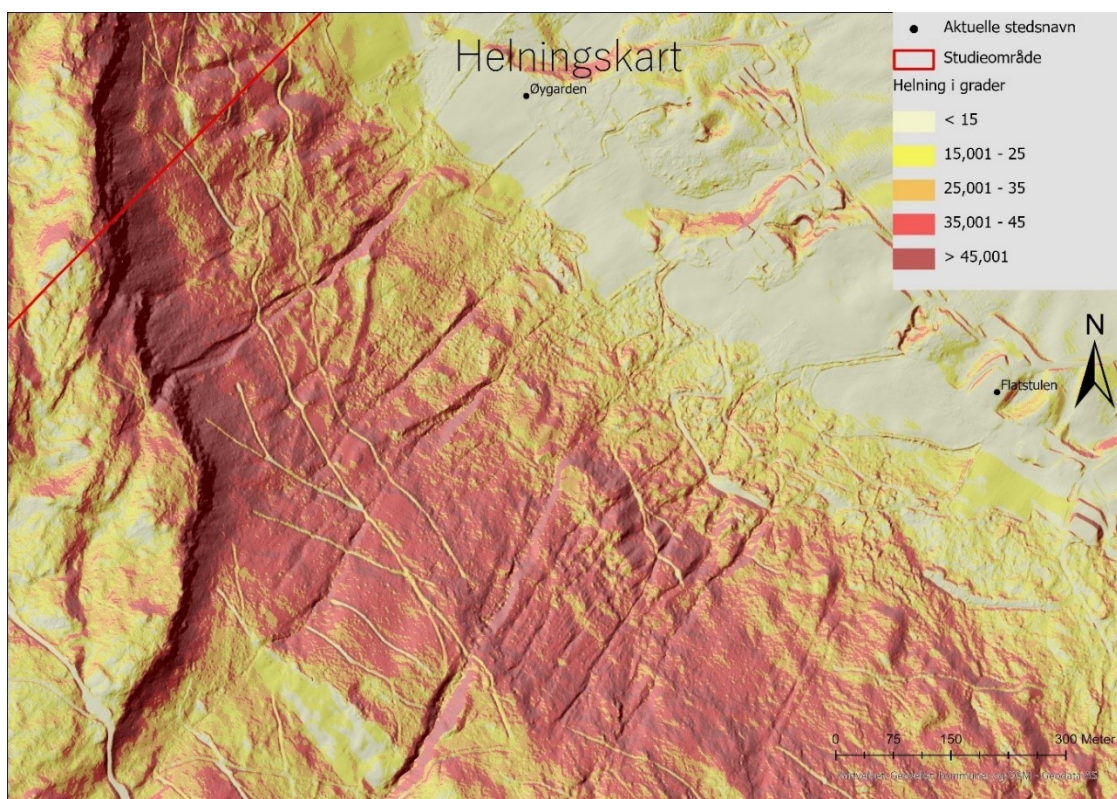


Figur 50: Tidligere flomskredvifte sett fra et lite stykke opp i kanalen.

Ovenfor tomte og noe inn på innmarka er det en tydelig vifte etter tidligere flomskred. Det er ulike deler av vifta har vært aktive til ulik tid, noe som tyder på at det har gått flere flomskred her tidligere. Denne vifta kan ses på avstand i Figur 50. I kanten bekkenedskjæringen er det tydelige tegn på masse som kan skli ut samt masser i løpet som er tilgjengelig for transport, noe som kan gi stor tilgang til materiale ved høy vannføring og dermed utvikle seg til et flomskred. Det er også tilgjengelig materiale fra morenerygger som ligger på tvers av dalsiden noe som kan ses i Figur 49. Bekken har tydelig skjært seg nedover i terrenget da det er tegn etter tidligere nivåer, usikkert om bekken har nådd grunnfjell eller om det er mer løsmasse å erodere. Modelleringene viser at utløpet formes som en vifte og går omtrent like langt ut som tidligere avsetninger selv om det er vanskelig å fastsette nøyaktig hvor disse slutter. Området for vifta får faresone 1/1000 og vises i Figur 51.



Figur 51: Faresoner for området ved Øygarden.



Figur 52: Helningskart i området ved Flatstulen og Øygarden.

6 Diskusjon

I dette kapittelet blir resultatene diskutert samt usikkerhetene rundt disse. Det vil også bli foretatt en sammenlikning mellom tidligere farekartlegginger ovenfor Glotten og Vika og farevurderingene utført i forbindelse med denne masteroppgaven. Grunnen til mulige forskjeller i vurderingene vil også bli diskutert. Som nevnt tidligere i teorikapittelet, er det flere ulike faktorer som kan endre stabiliteten i en skråning eller dalside og dermed endre sannsynligheten for utløsningen av jord- og flomskred. Potensielle endringer i faktorene skog/vegetasjon og klima/vær vil sannsynlig være de de mest aktuelle i studieområdet og hvordan disse forholdene kan påvirke studieområdet vil derfor også bli diskutert.

6.1 Farekartlegging

Farekartleggingen utført i denne oppgaven er basert på NVEs veileder da dette er den nasjonale standarden. Denne veilederen ble utarbeidet for å sikre at vurderingene er av en viss standard og at farekartene baserer seg på samme grunnlag. Det er valgt å ta utgangspunkt i denne da dette sørger for at alle de viktigste faktorene er vurdert og tatt i betraktning og for å gi et sammenlikningsgrunnlag som er så likt som mulig.

Resultatene presentert i denne masteroppgaven representerer områder hvor det helt sikkert er en fare for skred, men hvor det er usikkerheter i graden av fare og utbredelse. Det er flere ulike vurderingskriterier som skal vurderes opp mot hverandre, spesielt fastsetting av løsningsannsynlighet og faresone for utløpet. For eksempel for løsneområde 4 i Fakkelmannen ble det vurdert til en løsningsannsynlighet på 1/100 på bakgrunn av at NVEs veileder skriver at en slik løsningsannsynlighet bør defineres om helningen er på over 35 grader, lite stabiliserende vegetasjon, vått/kildehorisonter og tegn på nylige utglidinger/skred. Som nevnt i resultatkapittelet har det potensielle løsneområdet 4 alle disse forholdene, men om erosjonstegnene her kan klassifiseres som en utgliding kan diskuteres. Det kan ses tydelig i Figur 53 at det har vært periodevis høy vannføring her da vann har erodert seg ned i løsmassene og større steiner er synlige der. Spesielt i det sørlige løpet er det mulig å se antydningen til bruddkanter. Disse bruddkantene er trolig kommet på grunn av den periodevise høye vannføringen her, men det viser at det har vært og potensielt er masser i bevegelse i dette området. Sett i det hele så vil en utgliding være masse som beveger på seg

fra et glideplan, selv om massene skulle gå ned mot bekk eller ikke. Det ble vurdert som utglidinger her, noe som gjør at løснеområdet ble klassifisert som 1/100.



Figur 53: Erosjon ved potensielt løснеområde 4.

For at et område skal få faresonen 1/100 i følge Tabell 2 bør det være tegn til flere hendelser av skred siden siste istid og tegn på ustabilitet/ nylig aktivitet. Problemet er at i området til potensielle løснеområde 4 er det ingen tegn eller avsetninger fra tidligere skredaktivitet. Det samme gjelder for løснеområdene ovenfor Sletta, selv om det er historiske beretninger om dette, har ikke dette området noen tegn til masser i bevegelse i dag. Som nevnt tidligere har NVE påpekt at kravene i Tabell 2 ikke er fullstendige krav, men om denne skulle blitt fulgt slavisk burde det ikke vært tegnet noen faresoner ved løснеområde 4, selv om det åpenbart er aktivitet i massene. Dette leder opp til en annen problemstilling, hva gjør en om løsnesannsynligheten vurderes å ha en høyere sannsynlighet enn faresonen ut i fra den veiledende tabellen? Som i eksemplet nevnt ovenfor er det spor på historiske hendelser det ofte er mangel på, men det påpekes også i veilederen til NVE at skredfare ikke kan utelukkes selv om det ikke er tegn på tidligere aktivitet. Her legges det stor vekt på subjektiv vurdering og erfaring ved fastsetting av denne faresonen, noe som kan føre til at i noen tilfeller vil faregraden bli vurdert lavere enn det den faktisk er om det er tegn på aktivitet. Det er mulig at det burde stått klarere i veilederen om nylige tegn på aktivitet trumfer mangel på spor etter tidligere skredaktivitet. I denne masteroppgaven ble ikke faresonen satt til en mindre sannsynlighet enn løsnesannsynligheten da det ikke er realistisk at en faresone som baserer seg på utløpet fra et løснеområde har lavere frekvens enn utgliding i løснеområdet.

Som nevnt tidligere baserer mye av faresonesettingen seg på tidligere skredspor, og at faresonen da går utover området med spor. Dette bidrar til et dilemma, mellom om en skal

tegne faresonen kun der det er tidligere spor eller om en skal følge de modellerte utløpene for skred her. Resultatene av modelleringene og testmodelleringen viste at de modellerte utløpene flere steder strekte seg utover områdene med tidligere skredavsetninger. På en side viste studiene til Taurisano (2020) at de samme parameterne for modellering som er brukt i denne oppgaven gir akseptable resultater i forhold til de registrerte tidligere skredbanene, noe som indikerer at dette sannsynlig stemmer for de fleste tilfeller i denne masteroppgaven. Studien inkluderer caselokasjoner i Øyer kommune samt andre steder i Gudbrandsdalen hvor det kan antas at grunnforholdene har flere likheter med studieområdet i denne masteroppgaven. På en annen side er det usikkert om for eksempel løsneområde er tegnet realistisk i forhold til hvordan et løsneområde faktisk vil være i et potensielt skred i fremtiden, dette diskuteres også grundigere under delkapittelet «utfordringer med RAMMS DF programvaren».

Testmodelleringene utført i forkant ble lengden på utløpet justert til å passe tidligere skredavsetninger så godt som mulig, men bredden på skredutløpet var mye større enn tidligere avsetninger. Dette kan gi grunn til å tro at modelleringene er noe overmodellerte i forhold til bredden på flere av skredutløpene i dalsiden, og at utløpene nødvendigvis ikke vises realistiske ved modellering.

Det er vanlig at større skred har en lavere frekvens enn mindre skred, og det er derfor vanskelig å forutse den faktiske størrelsen på et mulig fremtidig skred. Tidligere skredavsetninger kan gi en indikasjon på hvilke områder det er sannsynlig at skred vil gå i fremtiden. Konsekvensene ved å tegne faresonene større som følge av modellert utløp vil være at enkelte områder muligens ikke blir bebygd eller at det kan bli brukt unødvendig mye ressurser på sikringstiltak, selv om denne prosessen innebærer flere vurderinger av de aktuelle skredprosessene. Konsekvensene ved å tegne mindre faresoner enn det potensielle reelle utløpet er skader på bygninger, bolighus, infrastruktur eller i verste fall sette liv i fare.

Dette heller mot at det er mer fordelaktig å basere seg på en kombinasjon av utløpsmodelleringer og tidligere skredavsetninger ved tegning av faresonens størrelse.

Usikkerheter ved resultatene av modelleringene diskuteres videre i underkapittelet «Utfordringer med RAMMS DF programvaren». Denne masteroppgaven har i hovedsak brukt modelleringsutløpene med og uten skog i bestemmelsen av utbredelsen av faresonen.

Inkludert en vurdering på hvor langt dette er i fra eventuelle tidligere avsetninger, selv om det å basere seg på modellerte utløp viser seg å ha usikkerhetsmomenter.

Farekartlegging er et viktig internasjonalt tema, og det er ulike metoder og retningslinjer som vil påvirke resultatet av en slik kartlegging. Flere artikler og studier nevner flere av de samme punktene som er viktige som NVE. Ved klassifisering av faresoner legger NVEs veileder i hovedsak til grunn tidligere skredaktivitet i form av løsneområde eller avsetninger, dette til tross for at det påpekes i evalueringsprosessen at mangel på spor på tidligere skredhendelser ikke utelukker faren for skred. Det påpekes likevel at vurderingen av faresoner i hovedsak baseres på subjektivt skjønn, og at punktene for tidligere aktivitet ikke er absolutte krav, da spor av disse kan være usynlige nå av ulike årsaker. Disse «kravene» er utarbeidet på bakgrunn av TEK17 sin definisjon av faresone for jord- og flomskred, hvilket er hvor skredmasser kan gi «skredskader av betydning, det vil si skred med en intensitet som kan medføre fare for liv og helse eller større materielle skader» (NVE, 2020b). Dette kan tolkes som at områder hvor det ikke tidligere har vært skredaktivitet eller er tegn på aktivitet eller erosjon i dag ikke kan tegnes som en faresone. Som nevnt tidligere påpeker Aleotti og Chowdhury (1999) at den største faren vanligvis er knyttet til områder som er kjente for å ha ustabile skråninger, altså hvor det tidligere har vært aktivitet. Etter deres mening må også frekvensene på skred over tid defineres for å gi en fullstendig skredfarevurdering. I denne oppgaven blir faresonene kategorisert i tre forskjellige frekvenser, men dette er uten noen bunn i de reelle frekvensene av skred i dalsiden i studieområdet. De reelle frekvensene hadde vært svært nyttig å inkludere i vurderingen, men det var ikke løsmasseskjæringer i området med skredmasser som kunne gi innblikk i om det har gått skred flere ganger og da eventuelt hvilken frekvens disse har gått i.

6.1.1 Grunnlagsdata

Bruken av grunnlagsdataen inkludert geologiske kart og høydemodell i skredfarevurderingen kan også føre til usikkerheter i resultatene. Det er brukt en digital høydemodell i den hydrologiske analysen som ikke inneholder informasjon om bygninger og vegetasjon, noe som fører til at terrenget er representert mindre ujevnt og med færre hindre enn slik det er i virkeligheten. Dette kan ha ført til at vannet som er modellert finner veier som er blokkerte i realiteten, slik at de hydrologiske modellene viser et resultat som er unøyaktig.

Den samme høydemodellen er brukt i å lage skyggekart, og skyggekartene kan fremheve landformasjoner slik at de kan tolkes større enn det de i realiteten er (ESRI, u.å.-c). Derfor har det vært viktig å sjekke ortofoto og eventuelt observasjoner fra felt om dette er tilgjengelig. Alle antatte tidligere skredhendelser som var synlig på skyggekartet ble bekreftet i felt. Det

ble funnet historiske beretninger om en tidligere skredhendelse ved Sletta i ettertid av feltarbeid. Da det ikke var synlige avsetninger eller løsneområder i skyggekartet ble ikke dette området undersøkt i felt, noe som kan ha ført til tap av viktige observasjoner her.

Geologiske kart ble også brukt som del av grunnlagsdataen, og som vist i områdebeskrivelsen er halve studieområdet kartlagt i målestokken 1:50 000 og andre delen i 1:250 000 for løsmasser. Kart i disse målestokkene begrenser hvilke landformer som kommer frem i kartene. Om befaring hadde blitt utført i denne masteroppgaven ville sannsynligvis ikke andre områder enn steinsprangtalus som var synlig på ortofoto blitt registrert. Befaringen førte til viktig informasjon om den høye steinsprangaktiviteten i den sørlige delen av studieområdet. Her kom det frem informasjon om mindre fjellvegger som gir fra seg materiale, generell høy forekomst av steinblokker i skråningen og høy forekomst av steinblokker i jordskredavsetningene. Dette vitner om at løsmassekart i så store målestokker ikke fanger opp alle viktige løsmasseforhold, og ikke kan stoles helt på når det skal brukes i en skredfarekartlegging. Slike geologiske kart er derimot fint å bruke for å få et overblikk over området som skal befares i felt. Dette problemet poengterer viktigheten av befaring i felt, da viktige forhold kan utebli i farevurderingen om dette ikke gjennomføres.

6.2 Utfordringer med RAMMS DF programvaren

Under prosessen med å sette opp modelleringene for de ulike potensielle løsneområdene oppsto det en rekke problemer som tok mye tid, mye på grunn av at lite forkunnskap og erfaring med programmet på forhånd.

Det er i hovedsak manualen som er laget av utviklerne av programvaren som presenterer ulike steg som må gjøres for å få gjennomført en vellykket modellering. Det er ikke presentert informasjon om mulige årsaker til at steg presentert i manualen ikke fungerer, og det finnes lite informasjon ellers på internett. Dette førte til at når noe stoppet opp eller ikke fungerte som beskrevet i manualen, var det svært tidskrevende å finne en løsning på problemet. Dette inkluderte ofte prøving og feiling i programmet, søking på internett og kontakt med andre som har erfaring med programmet fra før. Det kan også være små forskjeller fra de ulike RAMMS programvarene som gjør at det ikke er mulig å gjøre ting på den samme måten.

I startfasen var det en utfordring å sette riktig koordinatsystem på modelleringene. I manualen poengteres det at programmet ikke støtter alle koordinatsystem, og etter undersøkelser viste det seg at koordinatsystemet høydemodellen opprinnelig kom i ville oppfylle kravene. Om

koordinatsystemet var nødt til å endres kunne dette ført til feil i datasettet slik at overflaten ble representert feil. For at de potensielle løsneområdene og erosjonspolygonene skulle lastes inn i programmet var det viktig at koordinatsystemet var nøyaktig det samme som DTM dataen, og det var forskjeller i dette som skapte en periode med hodebry. Endring av koordinatsystem for polygoner er mindre utsatt for feil i konverteringen, og det var ikke mulig å se visuelle uoverensstemmelser i polygonene etter konverteringen. Det antas derfor at feil i polygonene på grunn av dette kan utelukkes.

Det var utført tidligere studier som nevnt i kapittelet metode på hvilke parametere som er anbefalt og som kan gi et godt nok resultat i de fleste tilfeller, men disse tok ikke hensyn til skog i modelleringene. Det ble ikke funnet forskning på hvilke parametere i RAMMS som ble anbefalt brukt for ulike typer skog. Det ble også funnet svært få studier som har inkludert effekten av skog i modelleringer av jord- og flomskred. Den opprinnelige tanken med oppgaven var å kunne modellere de potensielle skredutløpene med og uten skog der skogens påvirkning faktisk kunne representeres noe realistisk på utløpet. Hvis jeg hadde hatt tidligere kjennskap til programvaren er det mulig jeg hadde vært klar over at parametere skogen representerte ikke kunne kalkuleres automatisk, og at det ikke var retningslinjer eller nok studier om dette. Dette kunne mulig ha ført til at oppgaven i større grad kunne rettet seg mot å utforske realistiske parametere for skog i RAMMS.

6.2.1 Modelleringenes skredutløp

Det er mulig at skredutløpene er modellert noe feil i forhold til hva som faktisk kan være en aktuell hendelse i forhold til parametere da disse er utviklet med tanke på å passe de fleste tilfeller best mulig. Med mer erfaring kunne muligens parametere i større grad vært tilpasset de faktiske lokale forholdene i studieområdet. Det er heller ikke utført en sensitivitetsanalyse for modelleringene, og grunnen til at dette ikke er gjort er at parametere som er brukt er hentet fra en anbefalt studie hvor det er studert hvilke parametere som passer godt i de fleste tilfeller. En sensitivitetsanalyse kunne likevel hentet frem hvilke parametere som påvirker resultatet mest i de spesifikke skråningene i studieområdet. Spesielt for parametere for skogspolygonene kunne en slik sensitivitetsanalyse vært nyttig, men endring i μ og ξ ble gjort i separate kjøringar sånn at det var mulig å se hvilken av parametere som ga størst påvirkning på utløpet til løsneområde 4. Testing av ulike friksjonsparametere for skogen ble altså bare gjort for et løsneområde, og det potensielle skredløpet er nesten helt dekket av skog. Det er mulig at et skredløp vil utarte seg annerledes der det er mindre skog. Et eksempel på

dette er ovenfor Sletta i løsneområde 15 hvor modelleringene vises i Figur 44 og Figur 45. Her viste modelleringene med skog knapt noe forskjell fra modelleringene uten skog, der utløpet ble faktisk beregnet å gå litt nærmere bolighus med skog. Det kan argumenteres at dette faktisk er et reelt tilfelle da det er mye mindre skog her enn i nedenfor de potensielle løsneområdene i den sørlige delen av studieområdet. Samtidig så ble de testede parameterne for skog som ga minst utslag på utløpslengden valgt til å brukes for alle skredløpene i studieområdet. Vurderingen av effekten av skog er i stor grad usikker, da modelleringsparameterne brukt til å estimere dette høyest sannsynlig ikke er riktige for å gi et realistisk resultat. Det er derfor tatt større utgangspunkt i modelleringene uten skog i fastsetting av faresoner, noe som mulig gir noe større faresoner enn hva som sannsynligvis er nødvendig.

Modelleringene er utført i 5 meter oppløsning, noe kan ha ført til at viktige detaljer i den originale høydemodellen har gått tapt og dermed ikke påvirker skredutløpet slik det i virkeligheten er. Som nevnt tidligere ble det prøvd å gjennomføre flere modelleringer i finere oppløsninger, men det ble tatt en beslutning om at det ble for tidskrevende å gjennomføre i forhold til tiden som var til disposisjon. Oppløsningen påvirker også de tegnede løsneområdene og erosjonsområdene, slik at disse områdene kalkuleres større eller mindre i 5 meter oppløsning kontra 1 meter. I testmodelleringene ble det erfart at størrelsen på løsneområde hadde stor betydning for størrelse på utløpsområdet og strømningsvolumet til det modellerte skredet. Som nevnt tidligere i denne masteroppgaven er størrelsen på faresonene i stor grad basert på den modellerte utløpsdistansen, noe som betyr at faresonene kan være tegnet for store eller for små i forhold til det som er realistisk.

Tegningen av potensielle løsnepunkt er en stor feilkilde, da dette er en subjektiv vurdering basert på erfaring av flere elementer som er nevnt tidligere i metodekapittelet. Under testmodelleringene viste det seg at tegningen av disse kunne påvirke utløpet i stor grad under modellering. Derfor er det mulig at løsneområdene kan være plassert andre steder enn hvor et fremtidig skred mulig utløses. Det ligger også en stor feilkilde i vurderingen av størrelsen av løsneområdet, da det er vanskelig å estimere korrekt hvordan og hvor mye et område vil gli ut om dette faktisk skjer.

En del av vurderingen for tegning av løsneområde er hvor tidligere skred i skråningen har blitt utløst, og i hovedsak var flere av de tidligere løsneområdene vanskelige å identifisere med sikkerhet hvor skredet ble utløst. Ute i felt var det ikke mulig å ta seg til de potensielle

løsneområdene lengre opp i skråningen på en forsvarlig måte noe som kan ha gitt mangel på viktige observasjoner. Siden det ikke ble observert noen løsmasseskjæringer eller mulighet for å undersøke løsmassene lenger ned enn det øverste synlige laget førte dette til mangel på sikker informasjon. Dette påvirker vurderingene da en er nødt til å anta basert på informasjonen en har fra før. Det er viktig å påpeke at det også kan være feil i datasettene som enkelte av vurderingene baserer seg på. Under befaringen er det også mulig at viktige observasjoner er oversett eller tolket feil.

6.3 Sammenlikning med tidligere kartlegging

På tomten til Vika og Glotten er det i 2020 utført farekartlegginger av Skred AS. Disse rapportene konkluderer med en faregrad på 1/1000 helt sør på tomten Vika der kanalen etter tidligere skred går, men ikke utover skredavsetningene. Faresonen tegnet i denne oppgaven strekker seg over et større område, og går omtrent 70 meter lenger nordover inn på tomta enn vurderingen gjort av Skred AS men faregraden er vurdert til det samme. Skred AS gjorde også vurderinger på en potensiell tomt nordvest for Vika lengre opp i dalsiden, hvor det ble konkludert med en faregrad 1/1000. Denne masteroppgaven har konkludert med å ikke tegne en faresone i dette området da det potensielle utløpet ikke ser ut til å gå så langt at det skader eksisterende bebyggelse. Tabell 4 viser en grov oversikt over forskjellene mellom Skred AS sine rapporter og denne masteroppgaven.

Tabell 4: Sammenlikning av faresoner fra Skred AS rapporter og funn i denne masteroppgaven.

Vika		Glotten	
Rapport Skred AS	Denne masteroppgaven	Rapport Skred AS	Denne masteroppgaven
1/1000	1/1000	1/1000	1/100
Ikke faresone utover gamle skredavsetninger	Omtrent 70 meter lenger inn på tomta enn gamle skredavsetninger	Helt sørvest på tomten, omtrent 20m fra nærmeste uthus	Streifer hjørnet på nærmeste bolighus/veranda 65m fra det sørligste uthuset
1/1000	Ikke definert faresone i samme område	Ikke definert faresone i samme område	1/1000
Faresone ved tidligere avsetninger nordvest for Vika			Nordlig del av tomta, streifer samme bolighus fra andre siden

På tomten Glotten konkluderte Skred AS med en faresone på 1/1000 helt sørvest på tomten som er beskrevet som kartleggingsområdet. Denne faresonen dekker ikke noen av dagens uthus, og ligger på det nærmeste omtrent 20 meter unna. Denne masteroppgaven konkluderer med en faresone på 1/100 som går over den sørlige delen av tomta på Glotten, og en faresone på 1/1000 som strekker seg delvis over den nordlige delen av tomta. Det er en liten sone midt på tomta som ikke er berørt av faresoner, og det er her bolighusene på tomta står, selv om begge faresonene når bort til hjørnene av det ene bolighuset. Grunnen til at områdene er vurdert såpass forskjellig kan være av flere grunner, der de mest sentrale er sannsynlig ulik erfaring, ulik vurdering av potensielle løsneområder og ulike observasjoner i felt.

I forbindelse med skredvurderingen på tomten Vika utførte Skred AS befaring høsten 2020, men det var ikke optimale observasjonsforhold da det var lavt skydekke og et tynt snødekke. I vurderingen av tomten Glotten ble det ikke utført befaring, da tidligere befaring gjort ved Vika ble vurdert som gode nok. Dette til tross for at det ble påpekt at observasjonsforholdene ikke var optimale, og det er sannsynlig at området ovenfor Glotten ikke ble befart til fots da dette området ikke ville påvirke forholdene ved Vika. I tillegg til dette påpeker NVEs veileder at befaring skal gjennomføres om det er blant annet synlige skredavsetninger og uoversiktlige forhold, så med mindre området ble befart under skredfarevurderingen av Vika er ikke veilederen fulgt på dette punktet. Dette kan ha hatt konsekvenser for vurderinger av løsneområder og størrelsene på disse. Løsneområdene i rapporten er noe like, men har også noe avvik sammenliknet med vurderingene i denne oppgaven. Det kommer ikke frem hvilke vurderinger som er gjort på bakgrunn av befaring eller hvilke forhold som er undersøkt her.

Rapporten til Skred AS går noe grundigere igjennom klimatiske forhold enn denne masteroppgaven da det er utført ekstremverdianalyse og gjentaksintervallet på døgnnedbør på bakgrunn av 8% av den gjennomsnittlige årlige nedbøren. Dette gir i større grad innblikk i hyppigheten nedbør av en slik mengde som potensielt være en utløsende faktor for skred. Dette kan påvirke vurderingen i hvor ofte et skred kan forekomme, noe som ikke er nevnt i begrunnelsen for vurderingene. Det er flere andre faktorer som er viktige for om et skred utløses eller ikke, og dermed vil nedbør være interessant å vurdere om disse andre faktorene også er tilstede. Det kan også virke som at området ikke vil respondere i stor grad på utløsning av skred ved store nedbørsmengder som ved Storofsen, om skråningene er kledd i skog noe som diskuteres nærmere i delkapittelet «effekten av skog».

Skred AS har også brukt RAMMS Debris flow for å modellere skredutløp fra potensielle løsneområder. De har brukt to meter oppløsning i modelleringene, kontra fem meter som er brukt i denne oppgaven. Det er brukt erosjonsparametere, så det regnes med at de må ha brukt erosjonspolygoner, men dette kommer ikke frem, heller ikke utbredelsen av dem.

Erosjonsdybde er satt ulikt fra Glotten og Vika, hvor den er satt til 0,1 og 0,2 kPa. Dette er større enn erosjonsdybden på 0,05 kPa som er brukt i denne oppgaven. Begrunnelsen for valget av verdiene kommer ikke frem, og heller ikke hvorfor disse er ulike da det ikke ble utført befaring ved Glotten. Dette har påvirkning på massene som rives med innenfor erosjonspolygonet, og i rapportene tillater dette større grad av meddriving og økning av strømningsmasse. For modelleringene i rapportene gjort for Glotten er parameterne basert på samme NVE rapport med anbefalinger som denne oppgaven. Rapporten for Vika skriver at de bruker standard friksionsparametere for jordskred, men det fremkommer ikke hvor disse er hentet fra eller hvorfor disse er standard. Det står også at det under parameteren «høyde blokk» er brukt en meter i teksten, men i tabellen i rapporten står det en halv meter.

Resultatene av ulike høydeblokker vil gi store forskjeller, da dette bestemmer hvor mye masse som løsner fra løsneområdet når skredet starter. I rapportene viser modelleringene for Glotten skredvolumer på 280-380 m³, mens for Vika er det tre ulike løsneområder med skredvolumer på henholdsvis 500, 1000 og 1500 m³. De ulike skredvolumene i modelleringene for Vika begrunnes med ulike størrelser på forsenkingene og resultater fra utført dreneringsanalyse. Skredvolumene for Glotten ligger nærmere skredvolumene i denne oppgaven enn skredvolumene ved Vika. Likevel har både Skred AS og denne masteroppgaven vurdert at det er nødvendig å inkludere løsneområder av større størrelse ved Vika, trolig grunnet størrelsen på tidligere skredavsetninger.

Disse rapportene understreker at farevurderingene tar utgangspunkt i forholdene da rapporten ble laget, altså dagens forhold. Skog er likevel ikke inkludert i modelleringene.

Modelleringene er gjort på bakgrunn av bar bakke, og deretter er det gjort subjektive vurderinger om hvordan skogen vil påvirke utløpet og sannsynligheten for utløsning. Grunnen til at ikke skog er inkludert i modelleringene kommer ikke frem, men det er sannsynlig på grunn av at det ikke er nok forskning på hvilke parametere som vil gi realistiske resultater. Som nevnt tidligere er det i vurderinger av snøskred er det vanligere å ta skog i betraktning i modelleringer og det ligger mer forskning om snøskred på dette punktet. Programvaren RAMMS Avalanche kan som nevnt i metodekapittelet brukes til modellering av skog. Det krever mye erfaring å kunne vurdere subjektivt hvordan et skredutløp potensielt vil oppføre

seg og hvor mye skogen korter ned utløpsdistansen og påvirker styrken i massene på en relativt realistisk måte.

Store deler av slike vurderinger er basert på subjektivt faglig skjønn, og dermed vil vurderingene som er gjort fort kunne være ulike. Det gir grunnlag for flere mulige feilkilder i dette arbeidet spesielt siden store deler av arbeidet baseres på subjektive vurderinger og observasjoner. Det påpekes i NVEs veileder (NVE, 2020b) at subjektive vurderinger bør gjøres av noen med erfaring innenfor dette, noe som på flere punkt ikke er tilfellet i denne masteroppgaven. Dette gir fare for at flere deler av oppgaven gir uriktige resultater på grunn av feilaktige eller upresise vurderinger av forhold. Spesielt størrelse og plassering av potensielle løseområder og erosjonspolygoner vil påvirke modelleringsresultatene, og dermed i noe grad farevurderingene. Dette er trolig en av hovedgrunnene til avvikene mellom Skred AS rapportene og vurderingene i denne masteroppgaven.

Rapportene og denne oppgaven har i stor grad faresoner i de samme områdene, men i rapportene er faresonene mindre og noe ulik faresonegrad. De ulike vurderingene gjort i rapportene til Skred AS og denne masteroppgaven viser at faresonene kan bli tegnet ulikt selv om begge i utgangspunktet baserer seg på veilederen til NVE. NVEs veileder presenterer krav for de ulike årlige nominelle sannsynlighetene, og at disse sannsynlighetene bare strekker seg over områdene med tidligere spor etter skred. Det kan se ut som at rapportene fra Skred AS i stor grad baserer seg på dette, selv om kravene åpner for subjektivt skjønn.

I følge veilederen skal det fastsettes løsesannsynlighet for potensielle løseområder, modelleres og vurderes utløp samt fastsette faresoner. Det er dermed ikke klart hvordan NVE mener at en bør vurdere disse opp mot hverandre, og dette kan føre til ulike vurderinger av den nominelle årlige sannsynligheten og utbredelsen av faresonene noe som er tilfellet i denne masteroppgaven. På en side hvis en faresone ikke skal tegnes utenfor tidligere skredavsetninger, kan det argumenteres for at en modellering av potensielle utløp er unødvendig. I denne masteroppgaven viste modelleringer av potensielle utløp bredere enn tidligere skredavsetninger, og om et potensielt skred skulle ha et slikt utløp vil det være uheldig om bygninger er plassert her hvis faresonen kun dekte det tidligere løpet. Tydeligere retningslinjer på hvordan disse faktorene bør vurderes sammen vil føre til at dette ikke kun baseres på skredfareutreders erfaring og subjektive skjønn, da dette kan føre til betydelige forskjeller som vist i denne masteroppgaven. Likevel viser det seg at de viktigste områdene for skredfare er inkludert i begge vurderingene, men det er forskjell i utbredelse av faresonen

og noe ulik vurdering av frekvensen. Dette viser at veilederen bidrar i disse tilfellene til at det oppstår usikkerheter og avvik men at de mest utsatte områdene blir fanget opp noe som er viktig i forhold til samfunnsikkerheten.

6.4 Effekten av skog

Det er tidligere nevnt at dalsiden i studieområdet i denne masteroppgaven med heldingsgrader aktuelle for skred i hovedsak er dekket av eldre granskog. Dette er områder som i mange generasjoner har blitt brukt som hogstfelt og beite, men i dag er det minkende grad av disse virksomhetene her. Gammel skog og observasjoner av flere veltede trær i enkelte områder vitner om at det i hogstsammenheng er på tide å foreta hogst, spesielt i den sørlige delen av studieområdet. Trær og skog kan ha ulik effekt på stabiliteten i en skråning avhengig av tetthet, diversitet, alder og rotsystemer (Rickli & Graf, 2009; Selby, 1982). Hvor stor effekt skogen har på stabiliteten i studieområdet er vanskelig å fastslå, da det er i hovedsak eldre grantrær her.

6.4.1 Sørlig del av studieområdet

Siden den tidligere skredaktiviteten i den sørlige delen av studieområdet og ovenfor Sletta anslås å ha funnet sted da skråningene i hovedsak ble brukt som beite med lite trær, er det grunn til å tro at hugging av store deler av skogen kan kunne bidra til å minske stabiliteten her. For å opprettholde stabiliteten som trærne trolig gir skråningen i dag, vil det anbefales å bevare skogen. Siden skogen allerede begynner å bli gammel, og de fleste med omtrent samme alder, kan dette føre til at sannsynligheten for skred øker hvis mange av trærne velter og ellers er i dårlig forfatning da Rickli (2001) fant en slik trend i sin studie. Et angrep av barkbiller vil mest sannsynlig også ha en negativ effekt på stabiliteten da den generelle forfatningen til skogen svekkes som følge av dette. I tillegg til dette er skogen rundt Fakkelmannen gammel, og vil derfor være ekstra sårbar for barkbiller. Det er flere ulike skogseiere i området rundt Fakkelmannen, og flere av disse ønsker å ta ut tømmer i dette området. Figuren har fått stått frem til i dag da den har en stor symbolsk verdi etter OL i 1994. Skogen her er rundt 100 år og eldre (Sveen & Schinstad, 2012). I midten av fakkelmannen er det tydelige spor etter erosjon et område ved skogsbilveien, noe som viser at det potensielt kan løsne et skred her. På en annen side fant studien til Eilertsen et al. (2021) at jordskred i skråninger på over 35 grader var knyttet til skogdekte områder, noe som kan indikere at skog ikke vil ha en like stabiliserende effekt ved slike helningsgrader.

I den sørlige delen av studieområdet er det derfor et dilemma angående den gamle skogen. På en side bør skogen bestå for å beholde stabiliteten i jorda, men på en annen side kan også stabiliteten svekkes om skogen blir stående så lenge at den blir i dårlig forfatning, spesielt med tanke på den bratte helningen i skråningen. På et punkt er skogen nødt til å bli hugget, og når dette skjer bør dette gjøres uten at nye skogsbilveier blir bygget. Dette på grunn av en ekstra faktor som påvirker stabiliteten negativt på grunn av endring av dreneringen i skråningen (Selby, 1982). Det optimale vil være å anlegge en skog med ulik alder, og ikke hugge alt på en gang, selv om dette fører til økonomiske ulemper for skogeierne. Det bør unngås at store områder står bare som følge av flatehogst, da tidligere skredhendelser i denne skråningen antas å ha skjedd da det var lite vegetasjon her.

6.4.2 Nordlig del av studieområdet

I den nordlige delen av studieområdet har det blitt foretatt hogst i større grad igjennom de siste årene. I områdene dette er gjort observeres det ingen tegn på erosjon eller ustabilitet. Skråningene i den nordlige delen av studieområdet skiller seg fra den sørlige delen ved at området i mindre grad har fjellskrenter hvor steinsprang kan forekomme og har flere tydelige bekkenedskjæringer. Det er også en generell slakere helning, men fortsatt et belte med en helning på over 35 grader. Ovenfor Sletta er det tydelig flere skogsbilveier i forskjellige høyder oppover skråningen, og det er foretatt hogst i enkelte felt ovenfor de siste 20-10 år. I dag er det tydelig vegetasjon og ny ung skog på vei opp. De potensielle løsneområdene i overkant befinner seg i dag fortsatt med skog, og de bratteste områdene er i stor grad unngått under hogsten. Det er sannsynlig at skogen er viktig for å hindre skredutløsning, da det er sannsynlig at området ovenfor var nedhogd da det tidligere skredet gikk.

6.4.3 Modellering av skog

I potensielle løsneområder ble det utført modelleringer i RAMMS DF, og som nevnt i metode kapitlet er det ikke nok forskning for å vite hvilke friksjonsparametere i RAMMS som vil gi en realistisk representasjon av ulike typer skog eller skog generelt. Dette gjør at resultatene av modelleringene med skog må vurderes svært kritisk, da det å minske skredutløpet på slike premisser kan få store konsekvenser i en skredfarevurdering. Om skogen ikke minsker skredutløpet slik modelleringene viser, og det konkluderes med at et skred ikke vil treffe bebyggelse med bakgrunn i modelleringene, vil dette være svært uheldig. Skogens virkning må derfor i hovedsak vurderes ut ifra andre faktorer. Denne problemstillingen er svært

relevant i områdene Glotten og Vika da modelleringen uten skog viser at skred kan treffe bolighus. I og med at NVEs veileder presiserer at det er dagens tilstand som skal ligge til grunn for en farevurdering, vil vurderingen av skogens effekt ha en viktig rolle.

Endring av friksjonsparameterne i RAMMS ved kjøring av modelleringer med skog påvirker utløpsdistansen i stor grad. For at disse skal være realistiske bør det gjennomføres studier som tar utgangspunkt i flere ulike områder hvor skred i skog har foregått, slik at friksjonsparameterne som brukes kan gi et mer korrekt resultat.

6.4.4 Skog og farekartlegging

Som nevnt tidligere er mye av skogen i området gammel, og det er ikke mulig å opprettholde den i samme tilstand i mange år. Dette kan resultere i at et område som er beliggende utenfor faresonen i dag kan ligge innenfor en faresone i fremtiden. Når oppdrag om farekartlegging eller skredfarevurderinger utføres, er det vanlig å poengtere at en ny vurdering bør foretas om det er faktorer som endrer seg. For at faren skal kartlegges så reelt som mulig, vil dette være en god løsning for å få oppdaterte kart og situasjonsbeskrivelser. Problemet ligger i hva som bør gjøres om det er gitt tillatelse til boligbygging i et område beliggende utenfor en faresone, men etter noen år ligger innenfor en faresone likevel. Dette er en veldig aktuell problemstilling, da det også er mange i Norge som bor i faresoner og sannsynlig kommer til å bo i faresoner i fremtiden.

Plan og bygningsloven dekker i dag kun sikkerheten for ny bebyggelse, noe som i praksis vil si at eksisterende bebyggelse kun har krav på den graden av sikkerhet lovverket anga på bygningstidspunktet (Lied et al., 2014). På en side er det forståelig at det ikke er mulig å vite sikkert hvordan endring i enkelte faktorer vil påvirke faren for skred, da observasjoner av hvordan skråningen er i dag muligens ikke vil være den samme som om for eksempel 20 år. Likevel vil flere av grunnforholdene være de samme, og ved hjelp av tilstander ved tidligere historiske hendelser og modelleringer uten skog kan det gis en pekepinn på hvilke områder som kan være mer utsatt i fremtiden. Spesielt siden bebyggelsen ikke har lovlig krav på sikkerhet om kravene var oppfylt da bygget ble ført opp, bør det legges mer vekt på hvordan faresonen mulig kan endre seg som følge av endringer av ulike faktorer som kan ha betydning for utløsning. Det kan oppleves som en stor ansvarsfraskrivning om faresonen endrer seg drastisk, men lovgivningen mener at det er frivillig å bo der når det i utgangspunktet har fastsatt at sikkerheten var god nok noen år tidligere. Derfor bør det i større grad fokuseres på hvordan en skal håndtere slike situasjoner, og inkludering av mulig utbredelse av faresone

med eller uten skog og endring av klima som kan bidra til at færre slike situasjoner oppstår i nærmeste fremtid.

I slike vurderinger er det snakk om sikkerheten til menneskene som bor i utsatte områder, og hvis det er mulig å unngå utbygging i områder hvor bebyggelse kan bli skadet av skred også i fremtiden, øker dette sikkerheten. Det bør også i større grad arbeides med hvordan en skal håndtere det at flere og flere bor i skredutsatte områder.

6.5 Påvirkning av endring i klima

Som nevnt tidligere vil klimaet vil endre seg, og det er forventet mer nedbør også i form av ekstremnedbør som følge av økte globale temperaturer de neste 50-100 årene (Masson-Delmotte et al., 2021; Norsk klimaservicesenter, 2021).

Det er vanskelig å definere en terskelverdi for nedbør for et område (Lied et al., 2014), og i dette studieområdet er det heller ingen spesifikk informasjon om været i forkant av skredhendelsene da konkret dato eller år for hendelsene heller ikke er fastsatt. Som nevnt tidligere er det forhold som tyder på at innholdet av vann i jorda fra før er viktig for terskelverdier (Sandersen et al., 1996), og det er heller ikke mulig å finne ut av hvordan dette har vært tidligere da ingen av skredene i studieområdet trolig har gått i nyere tid. Under befaring i felt var det enkelte steder hvor det muligens var oppkomme av vann som følge av høyt grunnvannsspeil, for eksempel ovenfor løснеområde 6. Dette kan gjøre at porevannstrykket i løsmassene blir høyere raskere ved nedbørsepisoder slik at stabiliteten svekkes og sannsynligheten for skred øker (Bye et al., 2013; Lied et al., 2014).

6.5.1 Jord- og flomskred

Sammenhengen mellom nedbør og jord- og flomskred er godt dokumentert og viser at store mengder nedbør og ekstremnedbør i flere tilfeller har vist seg å være en utløsende faktor for skred (Bargel et al., 2011; Bye et al., 2013; Lied et al., 2014; Sandersen et al., 1996). Det forventes en økning i frekvensen av jord- og flomskred, men om disse klimaendringene vil påvirke skredene på andre måter som større løsnakeområder eller lengre utløp er usikkert. Det er grunn til å tro at de forventede endingene i klima vil påvirke sannsynligheten for jordskred likt for hele studieområdet, men at enkelte områder fra før har en høyere sannsynlighet da det tydeligvis ligger flere forhold til rette her for utløsning av skred. Dette er i hovedsakelig gjeldende for den sørlige delen av studieområdet. Ovenfor Øygarden i den nordlige delen av

studieområdet er det tydelig tegn etter tidligere flomskred, og det er sannsynlig at mer ekstremnedbør fører til periodevis høyere vannføring i bekken på grunn av høyere andel overflatedrenering og dermed ha større kapasitet til å ta med seg materiale. Dette kan føre til flomskred hvor utløpet kan bevege seg lenger og eventuelt ta med seg mer tilgjengelig masse om skredet inneholder høyere andel vann enn under tidligere skred (Lied et al., 2014; Selby, 1982).

6.5.2 Farekartlegging

Norsk klimaservicesenter (2021) konstaterer at det for jord-, flom-, og sørpeskred er særlig grunn til økt aktsomhet da disse skredene kan bli mer skadelige og vanligere. På en annen side konstateres det at det ikke er nødvendig med en ekstra sikkerhetsmargin på aktsomhetskart for jord- og flomskred. Som nevnt tidligere er aktsomhetskart relativt grove kart som viser områder hvor det potensielt kan være fare for disse skredtypene ut i fra ulike generelle analyser (NVE, 2021a). Derfor er det mulig at de markerte områdene i aktsomhetskartet er relativt store i forhold til den faktiske faren i dag. Det nevnes ingenting om hvordan dette kan inkorporeres i en skredfarevurdering, men dette henger nok sammen med at NVE konstaterer at en skredfarevurdering kun tar utgangspunkt i dagens forhold. I og med at det er sannsynlig at skredene også blir mer skadelige, vil det være samfunnsnyttig å vurdere konsekvensene av et skred ved økte nedbørmengder og eventuelt utvide faresonene noe der det er potensiale for økt skade. Hus og bygninger som bygges i dag vil trolig stå på samme plass i fremtiden også da de nevnte forventede klimaendringene sannsynlig trer i kraft, og menneskers sikkerhet i fremtiden bør være like viktig som menneskene i dag. Det bør komme på agendaen i større grad hvordan en skal håndtere det faktum at flere og flere hus og bygninger ender opp med å ligge innenfor faresoner som er tegnet i dag. Det kan spekuleres i at om det hadde vært et tidligere økt fokus på farekartlegginger generelt, men også farekartlegginger som i større grad inkluderer påvirkningen av området i fremtiden så kunne antallet skader forårsaket av skred vært lavere. Det bør også tas i betraktning den psykiske belastningen det har for mennesker som nå bor i områder med høy faregrad for skred.

6.5.3 Steinsprang

Det er noe usikkert hvordan de forventede endringene i klima vil påvirke steinspranghendelser, men det er hovedsakelig mindre steinspranghendelser det er sannsynlig at hyppigheten øker på grunn av økt hyppighet av kraftig nedbør. Dette er fordi steinsprang

ofte kan utløses av at vanntrykket øker i sprekkssystemer som følge av intens nedbør og påvirkes av frost og rotsprenging (Norsk klimaservicesenter, 2021; Sandersen et al., 1996). Endring i fryse og tineprosessen vil også påvirke utløsningen av steinsprang. Spesielt i den sørlige delen av studieområdet er det flere små fjellsider som tydelig forer kildeområder nedenfor med stein, et eksempel på dette er en fjellvegg ovenfor Glotten som er vist i Figur 32D. Skredavsetningene fra jordskred i dette området har i stor grad innhold av steinblokker og større steiner som opprinnelig stammer fra steinsprang, dette vises for eksempel i Figur 32A, Figur 39C og Figur 40A. Tidligere løseområde ovenfor Klopphauglykkja og nord for Glotten kan spekuleres i om de har blitt utløst av steinsprang, men det er også mulig at tidligere avsetninger av steinsprang bare har blitt tatt med av skredmassene. Det at den sørlige delen av studieområdet har mange slike mindre fjellvegger gjør steinsprang en høyt sannsynlig faktor for utløsning av jordskred, og ved forventet grad av nedbør vil løsmassene sannsynlig være vannmettede om steinsprang også er utløst som følge av nedbør.

I dag er det i stor grad tett granskog nedenfor de små fjellveggene, der hvor det ikke er tykk talus. Dette vil trolig bremse rekkevidden til enkelte steinblokker som potensielt kunne beveget seg lenger ned i siden og da rekkevidden for hvor steinsprang kan være den utløsende årsaken til jordskred. Ved remobilisering av blokker som følge av rotvelt eller frostsprengning vil tett skog kunne bidra til at blokkene ikke får nok moment til å bevege seg så mye som den potensielt kunne om det var nok helning til stede. I den nordlige delen av studieområdet er det lite av slike fjellvegger som kan gi mulighet for steinsprang, kun et område i nordvest altså nord for Flatstulen og et stykke ovenfor Øygarden. Derfor vil ikke endringer i klima endre faren i noen stor grad for steinsprang som utløser jordskred i dette området.

6.5.4 Tidligere klimatiske forhold

Under Storofsen ble det utløst mange jord- og flomskred i Gudbrandsdalen og Øyer, men det er ikke registrert noen skader på gårder i studieområdet etter denne hendelsen. Det er heller ingen informasjon å oppdrive om hvordan vegetasjonen var i dalsiden under denne hendelsen, men det er mulig å spekulere i om det var skog her da siden det ikke er registrert skred. Det er likevel mulig at enkelte av skredavsetningene stammer fra denne hendelsen da de nødvendigvis ikke nådde bygninger. I og med at skredene ved Vika og Glotten mest sannsynlig gikk etter Storofsen, bør det være andre forhold enn nedbør som har endret seg for at skred ble utløst. Skredene som gikk her må ha vært større enn eventuelle skred som kan ha gått i samme skredbane under Storofsen da de historiske beretningene nevner at de traff

bygninger på gårdene. Om bygningene ble truffet under Storofsen hadde dette med stor sannsynlighet vært registrert. Det nevnes at gården Glotten først ble ryddet av et par som ikke var født eller som kun var barn under Storofsen, noe som indikerer at det ikke var bygninger eller ryddet vegetasjon her før disse flyttet hit. Dette kan støtte oppunder at det mulig var mer vegetasjon i skråningen ovenfor under Storofsen enn da skredene i beretningene gikk. Det er også nevnt at i forkant av skredene var dalsiden brukt som beiteområde, og dermed mest sannsynlig med lite skog. Derfor er det stor grunn til å tro at om skogen i dette området forsvinner igjen, vil skred utløses på et tidspunkt om de riktige forholdene er tilstede, altså at frekvensen og gjentaksintervallet av skred vil øke.

6.6 Forslag til videre arbeid

Denne masteroppgaven har vist at det er det behov for mer forskning og studier på modellering av skog for jord- og flomskred i RAMMS DF. Spesielt det å finne friksjonsparametere som kan representere ulike typer skred på en realistisk måte i de fleste tilfeller, og hvordan bruke dette mer aktivt i en skredfarevurdering. Dette kan være studier hvor det gjennomføres testmodelleringer for områder hvor det har gått skred med skog, prøve å finne parametere som vil gjengi skogen som engang var der i forhold til type skog, tetthet og alder. Dette kan gi et viktig bidrag til å inkludere mer av skogens påvirkning under blant annet farevurderinger i områder med mye skog i skråningene.

For at den reelle faren for skred i studieområdet for denne masteroppgaven vil det være nødvendig å også vurdere faren for steinsprang og snøskred. Dette fordi det åpenbart har vært en god del steinsprangaktivitet i området tidligere og har flere fjellvegger. Den bratte dalsiden gjør at snøskred også kan utløses her. Det ville også vært nyttig å undersøke den faktiske sammenhengen mellom jord- og flomskred og steinsprang, og om utløsning på grunn av steinsprang er en faktor som bør vurderes nærmere når fare skal utredes.

Det ville også vært nyttig med mer arbeid rundt hvordan en skal håndtere det at et økende antall mennesker bor innenfor en faresone. NVE arbeider med områder som er høyt prioritert for sikringstiltak, men det er mulig at det bør i større grad lages bestemmelser som sikrer at grunneieren for eksempel foretar god nok håndtering av vann og vedlikehold av skog i den grad det vil hjelpe. Det bør også utarbeides bestemmelser fra NVE som kan minske «ansvarsfraskrivelsen» i disse situasjonene, og det kan i fremtiden være nyttig å studere om slike bestemmelser faktisk vil gjøre en forskjell.

Det kan også være nyttig å foreta mer arbeid for å minimere ulik tolkning av NVEs veileder, da denne masteroppgaven har vist at usikkerheter kan oppstå som fører til dette. Spesielt å understreke forholdet mellom løsningsansynlighet og vurdering av faresonene som helhet, da dette ikke kommer tydelig frem.

7 Konklusjon

Denne masteroppgaven har undersøkt jord- og flomskredfaren i studieområdet i Øyer, og hvordan disse skredfarevurderingene skiller seg fra tidligere arbeid og hvorfor avvik an oppstå. Hvilken betydning endringer av faktorer som skog og klima kan ha på faresoner er også belyst, der det også er prøvd å besvare på om det er realistisk å kun inkludere dagens forhold i en skredfarevurdering.

Resultatene viser at det er skredfaresoner med sannsynlighetene 1/100, 1/1000 og 1/5000 som er vurdert å ligge innenfor studieområdet i Øyer i nærheten av eksisterende bebyggelse. Disse faresonene ligger ved Glotten, Vika, Sletta og Øygarden. Hovedforskjellene mellom funnene i denne masteroppgaven og tidligere utførte skredfarevurderinger ved Vika og Glotten er størrelsen på de tegnede faresonene og i noen tilfeller en høyere faregrad vurdert i denne masteroppgaven. Grunnene til disse forskjellene er ulik erfaring med tegning og vurdering av skredfare og mulig ulik vekt/ tolkning av kravene som er presentert i NVEs veileder (for eksempel befarings- og vurderingskriterier for løsnings sannsynlighet kontra faresoner). Dette indikerer at veilederen til NVE kan bli enda tydeligere på hvilke punkter som må være vurdert for at det skal bli en godkjent farevurdering, vurdering i forhold til løsnings sannsynlighet og faresonesetting og om det skulle vært krav til bruken av metode i slike tilfeller.

De forventede endringene i klima er sannsynlig å påvirke studieområdet ved å få en økt frekvens av jord- og flomskred som følge av økte nedbørsmengder. Skogen vil ha en positiv effekt på dempe faren for overvann og styrtflommer, samt ta opp noe fuktighet fra jorda/løsmassene. I tillegg ser skogen ut til å ha en viktig bindende effekt på jorda da det trolig har gått skred i dette området tidligere uten skog tilstede. Dette betyr at det er sannsynlig at skredfaren spesielt i den sørlige delen av studieområdet vil øke betraktelig om store deler av skogen skulle forsvinne eller at skogen blir i en ekstremt dårlig forfatning, og disse tilfellene bør derfor unngås. Denne masteroppgaven har også funnet ut at det ikke er mulig å modellere skogens påvirkning på jord- og flomskred i RAMMS DF på en realistisk måte i dag, og det trengs mer forskning på dette for eksempel gjennom studier av flere områder og tidligere skredtilfeller. En omtrentlig realistisk fremstilling av skog i modellering kan være svært samfunnsnyttig i skredfarevurderingssammenheng da det kan føre til mindre antagelser i graden av påvirkning. I tilfeller der skog dekker store deler av skråningen som

skal farevurderes, bør vurderinger rundt konsekvensene uten skog også inkluderes da skog er en variabel som raskt kan endre seg. På bakgrunn av dette konkluderes det med at det ikke vil være realistisk å kun inkludere dagens forhold i en skredfarevurdering der forholdene er dynamiske og kan endre seg relativt raskt.

8 Referanser

- Aleotti, P. & Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the environment*, 58(1), 21-44.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s100640050066>
- Bargel, T. H., Fergus, Å. T., Devoli, G., Orvedal, K., Peereboom, I., Øydvin, E. K., Stalsberg, K., Sletten, K., Fischer, L., Rubensdotter, L. & Eilertsen, R. (2011). *Plan for skredfarekartlegging - Delrapport jordskred og flomskred* (16/2011). NVE.
https://publikasjoner.nve.no/rapport/2011/rapport2011_16.pdf
- Bartelt, P., Bieler, C., Bühler, Y., Christen, M., Deubelbeiss, Y., Graf, C., McArdell, B., Salz, M. & Schneider, M. (2017). *RAMMS::DEBRISFLOW User Manual* SLF/WSL. Hentet 05.04.22 fra https://ramms.slf.ch/ramms/downloads/RAMMS_DBF_Manual.pdf
- Bartelt, P., Bühler, Y., Christen, M., Deubelbeiss, Y., Salz, M., Schneider, M. & Schumacher, L. (2017). *RAMMS::Avalanche User Manual* SLF/WSL. Hentet 30.03.22 fra https://ramms.slf.ch/ramms/downloads/RAMMS_AVAL_Manual.pdf
- Brunsdon, D. & Thornes, J. (1979). Landscape sensitivity and change. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 463-484.
<https://doi.org/https://doi.org/10.2307/622210>
- Bye, L. M., Lein, H. & Rød, J. K. (2013). *Mot en farligere fremtid*. Akademika forlag.
- Christen, M., Bühler, Y., Bartelt, P., Leine, R., Glover, J., Schweizer, A., Graf, C., McArdell, B. W., Gerber, W. & Deubelbeiss, Y. (2012). Integral hazard management using a unified software environment. 12th Congress Interpraevent,
- Direktoratet for byggkvalitet. (2021). *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*.
<https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/7/7-3/>
- Eilertsen, R. S., Kvam, M. H., Stalsberg, K., Sletten, K., Solberg, I.-L., Pullarello, J. & Rubensdotter, L. (2021). *Identifikasjon av løseområder for jordskred* (2021.022).
<https://www.ngu.no/publikasjon/identifikasjon-av-losneomrader-jordskred>
- ESRI. (u.å.-a). *Direction units for editing*. Hentet 30.04.22 fra <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/editing/direction-formats-for-editing.htm>
- ESRI. (u.å.-b). *Fill (Spatial Analyst)* Hentet 12.01.22 fra <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/fill.htm>
- ESRI. (u.å.-c). *Hillshade function*. Hentet 30.04.22 fra <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/raster-functions/hillshade-function.htm>
- ESRI. (u.å.-d). *How Fill works*. Hentet 30.04.22 fra <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.8/tool-reference/spatial-analyst/how-fill-works.htm>
- ESRI. (u.å.-e). *How Flow Accumulation works*. Hentet 12.01.22 fra <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-accumulation-works.htm>
- ESRI. (u.å.-f). *How Flow Direction works*. Hentet 12.01.22 fra <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-direction-works.htm>
- ESRI. (u.å.-g). *How Slope works*. Hentet 30.04.22 fra <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.8/tool-reference/spatial-analyst/how-slope-works.htm>
- ESRI. (u.å.-h). *Resample (Data Management)*. Hentet 09.03.22 fra <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.8/tool-reference/data-management/resample.htm>

- ESRI. (u.å.-i). *Slope (Spatial Analyst)*. Hentet 30.04.22 fra <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.8/tool-reference/spatial-analyst/slope.htm>
- Geonorge. (u.å.). *Brukerveiledning* Hentet 29.04.22 fra <https://www.geonorge.no/aktuelt/om-geonorge/brukerveiledning/>
- Hengl, T. & Evans, I. S. (2009). Mathematical and digital models of the land surface. *Developments in soil science*, 33, 31-63. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)00002-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00002-0)
- Highland, L. & Bobrowsky, P. T. (2008). *The landslide handbook: a guide to understanding landslides*. US Geological Survey Reston. <https://pubs.usgs.gov/circ/1325/>
- Iverson, R. M. (1997). The physics of debris flows. *Reviews of geophysics*, 35(3), 245-296. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/97RG00426>
- Jaedicke, C. & Kleven, A. (2008). Long-term precipitation and slide activity in south-eastern Norway, autumn 2000. *Hydrological Processes: An International Journal*, 22(4), 495-505. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/hyp.6878>
- Lied, K., Karlsrud, K., Høeg, K., Domaas, U., Grimstad, E., Sandersen, F., Gregersen, O., Kvalstad, T., Harbitz, C. B. & Gauer, P. (2014). *Skred: skredfare og sikringstiltak*. NGI og Universitetsforlaget.
- Lome, K., Lunde, S. & Walberg, N. A. (2021). *Faresoner for skred GBnr 80/7 (211229-01-3)*[Upublisert rapport]. Skred AS.
- Lunde, S. (2021). *Faresoner for skred GBnr.80/2 (20347-01-3)*[Upublisert rapport].
- Marchi, L., Borga, M., Preciso, E. & Gaume, E. (2010). Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. *Journal of Hydrology*, 394(1-2), 118-133. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.017>
- Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A., Pirani, S. L., Connors, C., Péan, S., Berger, N., Caud, Y., Chen, L., Goldfarb, M. I., Gomis, M., Huang, K., Leitzell, E., Lonnoy, J. B. R., Matthews, T. K., Maycock, T., Waterfield, O., Yelekçi, R. Y. & Zhou, B. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. (Sixth Assessment Report). C. U. Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM>
- Milan, D. J. (2012). Geomorphic impact and system recovery following an extreme flood in an upland stream: Thinhope Burn, northern England, UK. *Geomorphology*, 138(1), 319-328. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.09.017>
- Mæhlum, L. (2021). ortofoto. I *Store Norske Leksikon*. Hentet 29.04.22 fra <https://snl.no/ortofoto>
- Mæhlum, L. & Thorsnæs, G. (2021). *Oppland (tidligere fylke)*. Store Norske Leksikon Hentet 21.11.21 fra https://snl.no/Oppland_-_tidligere_fylke
- NGU. (2017). *LØSMASSE N50/N250*. Norges geologiske undersøkelse.Hentet 22.11.21 fra http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/
- NGU. (2020). *Berggrunnskart 1:250000*. Norges geologiske undersøkelse.Hentet 21.11.21 fra <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/>
- NIBIO. (2018). *Markfuktighet*. Hentet 12.01.22 fra <https://www.nibio.no/tema/jord/arealressurser/andre-kart/markfuktighet>
- Norsk klimaservicesenter. (2021). *Klimaprofil Oppland*. Hentet 07.05.22 fra <https://klimaservicesenter.no/kss/klimaprofiler/oppland>
- Norsk Klimaservicesenter. (2022). *Observasjoner og værstatistikk* Hentet 04.02.22 fra <https://seklima.met.no/>
- NVE. (2014). *Aktsomhetskart for jord- og flomskred*. Hentet 15.12.21 fra <https://temakart.nve.no/tema/jordflomskredaktsomhet>

- NVE. (2020a). *NVE har sikra 27 bustadar mot skred i Lom*. Hentet 29.04.22 fra <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/nve-har-sikra-27-bustadar-mot-skred-i-lom?publisherId=89280&releaseId=17879593>
- NVE. (2020b). *Veileder for utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng*. Hentet 30.09.21 fra <https://veileder-skredfareutredning-bratt-terreng.nve.no/>
- NVE. (2021a). *Aktsomhetskart for jord- og flomskred*. Hentet 15.12.21 fra <https://www.nve.no/naturfare/utredning-av-naturfare/om-kart-og-kartlegging-av-naturfare/om-kartlegging-av-skredfare-i-bratt-terreng/aktsomhetskart-for-jord-og-flomskred/>
- NVE. (2021b). *NVE Atlas*. <https://atlas.nve.no/>
- NVE. (2021c). *Om kartlegging av skredfare i bratt terreng* Hentet 20.01.22 fra <https://www.nve.no/naturfare/utredning-av-naturfare/om-kart-og-kartlegging-av-naturfare/om-kartlegging-av-skredfare-i-bratt-terreng/>
- Opsal, Ø. L. (2017). Shear strength of dry tills from the southern half of Norway in relation to bedrock geology. *Norwegian Journal of Geology/Norsk Geologisk Forening*, 97(2), 145-169. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.17850/njg97-2-04>
- Rickli, C. (2001). *Vegetationswirkungen und Rutschungen*. Birmensdorf, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. https://www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl%3A10506/datastream/PDF/Rickli-2001-Vegetationswirkungen_und_Rutschungen._Untersuchung_zum-%28published_version%29.pdf
- Rickli, C. & Graf, F. (2009). Effects of forests on shallow landslides—case studies in Switzerland. *Forest Snow and Landscape Research*, 82(1), 33-44. <https://www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl%3A15351>
- Roald, L. A. (2013). *Flom i Norge*. Tom & Tom.
- Rybakken, O. T. & Kraabøl, J. (1989). *I gamle fotefar*. Øyer og Tretten Historielag
- Rød, J. K. (2015). *GIS Verktøy for å forstå verden*. Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS.
- Sandersen, F., Bakkehøi, S., Hestnes, E. & Lied, K. (1996). *The influence of meteorological factors on the initiation of debris flows, rockfalls, rockslides and rockmass stability* (201). (Norges Geotekniske Institutt, Issue. https://www.researchgate.net/publication/289962522_The_influence_of_meteorological_factors_on_the_initiation_of_debris_flows_rockfalls_rockslides_and_rockmass_stability
- Schraml, K., Thomschitz, B., McArdell, B., Graf, C. & Kaitna, R. (2015). Modeling debris-flow runout patterns on two alpine fans with different dynamic simulation models. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(7), 1483-1492. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/nhess-15-1483-2015>
- Selby, M. J. (1982). *Hillslope materials and processes*. Oxford: Oxford University Press.
- Shrestha, S. (2020). *Effect of forest on debris flows* [Masteroppgave, Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet]. NTNU Open <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2779447>
- SLF/WSL. (2013). *RAMMS::DEBRIS FLOW* Hentet 21.03.22 fra https://ramms.slf.ch/ramms/index.php?option=com_content&view=article&id=61&Itemid=78
- Sulebakk, J. R. (2007). *Landformer og prosesser*. Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS.
- Sveen, K. & Schinstad, S. (2012). Linda reddet Fakkelmannen. *NRK Innlandet* <https://www.nrk.no/innlandet/linda-reddet-fakkelmannen-1.7966064>
- Svendsen, T. O. (2021). *Øyer*. Store Norske Leksikon. Hentet 21.11.21 fra <https://snl.no/%C3%98yer>

- Taurisano, A. (2020). *RAMMS::Debris Flow for beregning av jordskred (20/2020)*. NVE.
https://publikasjoner.nve.no/eksternrapport/2020/eksternrapport2020_20.pdf
- Van Westen, C. J., Castellanos, E. & Kuriakose, S. L. (2008). Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Engineering geology*, 102(3-4), 112-131.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.010>
- Walberg, N. A. K. & Devoli, G. (2014). *Regional varsling av jordskredfare (44 - 2014)*. NVE. <http://hdl.handle.net/11250/2497094>
- World Meteorological Organization. (2017). *WMO Guidelines on the calculation of Climate Normals (1203)*. World Meteorological Organization.
https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4166
- Xie, M. (2014). *Landslide Hazard Assessment Using GIS*. Science Press & Alpha Science International Ltd.

