



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2018 30 stp

Fakultet for realfag og teknologi

Håvard Tveite

Regionale aktsomhetskart for steinsprang: Konstruksjon av beregningsmetodikk for mer inklusive aktsomhetskart, ved bruk av alfa-beta-modellen og terrengmodeller.

Regional susceptibility maps for rockfall:

Creation of a calculation method, producing more inclusive susceptibility maps through terrain models and the alfa-beta-model.

Trym Norløv Teigene

Geomatikk

Fakultet for realfag og teknologi

Forord

Denne gradsoppgaven markerer slutten på fem års utdannelse innen studieretningen geomatikk med spesialisering i GIS på NMBU i Ås. Oppgaven er diskutert og valgt i møter med Plan- og bygningsetaten (PBE) i Oslo og skrevet over våren 2018 ved Institutt for matematiske realfag og teknologi.

Først vil jeg takke mine veiledere førsteamanuensis Håvard Tveite, og Webjørn Finsland hos PBE. Tusen takk Håvard Tveite for åpen dør og mailboks, hyggelige samtaler, og gode tilbakemeldinger. Takk Webjørn Finsland for all hodekløying og grubling som mental sparringspartner når jeg har sittet hos PBE.

Under arbeidet med oppgaven har jeg også fått hjelp og mye støtte fra resten av den lille og svært hyggelige gjengen på plan- og temakartenheten i PBE. Takk så mye for hjelp med spørsmål når enn det skulle være, samt programvare, data og mer kakespising enn jeg har godt av. Takk til Ramez Rafat hos Asker kommune for all hjelp med ArcGis og andre teknisk-orienterte problemer jeg støtet borti under utarbeiding av beregningsmetodikken.

Jeg vil også takke Herumveien 25B som tok seg tid til å høre på både bekymringer og resultater selv om alle var like opptatt med sin egen gradsoppgave. Sist men ikke minst vil jeg takke min familie, og spesielt min søster Juni Teigene for hjelp med figurer, og mye støtte og kjærlighet under skrivingen av gradsoppgaven.

Ås, 6.mai 2018

Trym Norløv Teigene

Sammendrag

For befolkningen i Norge er steinsprang en høyst aktuell skredhendelse som kan forekomme daglig og føre til store skader på eiendom og helse. Norges vassdrags- og energidirektorat har per dags dato publisert regionale aktsomhetskart over hvor denne typen skred kan forekomme. De publiserte kartene er derimot grove i oppløsning og inkluderer ikke mindre skråninger hvor steinsprang kan starte. Med dette eksisterer det et behov for å inkludere flere steinsprang for å heve fullstendigheten til aktsomhetskartene. Denne oppgaven vil forsøke å svare på hvordan man kan konstruere en beregningsmetode for mer inklusive aktsomhetskart.

For konstruksjon av beregningsmetodikken er alfa-beta-modellen, og andre referanseprosjekter benyttet som utgangspunkt for beregning. Terrengmodeller med oppløsning ned til rundt en meter er valgt for å utforske hvordan oppdagelsen av rasområder utvikler seg ved forskjellig oppløsninger på terrengmodellen.

Aktsomhetskart produsert av konstruert beregningsmetodikk ble produsert med en oppløsning på fem meter, og viste seg å være mer inklusive enn aktsomhetskart produsert med grovere oppløsning. Disse aktsomhetskartene ble også produsert innen akseptabel tidsbruk, og viser potensiale til å kunne brukes til beregning av aktsomhet over store områder. På den andre siden viste beregning av aktsomhetskart med oppløsning over fem meter å ta vesentlig lengre tid og ikke egnet for produksjon av regionale aktsomhetskart med konstruerte beregningsmetodikk. Nye potensielle skredområder funnet i terrengmodeller med høyere oppløsning enn fem meter er vurdert som vesentlige og bør også inkluderes i nye aktsomhetskart. Av denne årsaken bør oppgavens beregningsmetode forbedres, så alle vesentlige små skredområder for steinsprang blir inkludert, for å konstruere ytterligere inkluderende aktsomhetskart.

Videre arbeid vil bestå i å redusere tidsbruken ved beregning av utløpsområdene for potensielle steinsprang, og finne ut forholdet mellom små viktige steinsprang og støy.

Abstract

Inhabitants of Norway are, up to a daily basis, subject to the possibility of rockfall damaging their property, or worse, physical health. The Norwegian Water Resources and Energy Directorate are to this date accountable for the publicly available maps depicting where rockfall may occur. Even though useful, the maps remain coarse in nature, only describing relatively large rockfall areas. This thesis attempts the creation of a simple tool for constructing more inclusive regional susceptibility maps for rockfall.

The tool is constructed based on the alfa-beta method and other attempts at creating similar tools. Terrain models with a spatial resolution of around one meter was also downloaded for use in the investigation of how new release-areas will become visible in terrain models with higher resolution.

Susceptibility maps for rockfall, created from terrain models with a spatial resolution of five meters, was shown to be more inclusive than similar maps created from terrain models with lower spatial resolutions. The maps were also constructed in a relatively small amount of time, which makes the construction method seem viable for large areas. It was, however, discovered that calculation of susceptibility maps with higher resolution than five meters, using the constructed calculation method, would increase the calculation time drastically. The increase in time usage makes the calculation method developed in this thesis appear unsuited for regional calculations based on terrain-models with higher resolutions than five meters. New potential release areas are, unfortunately, found in these terrain models with higher spatial resolution, and should be included in the new susceptibility maps. The constructed calculation method is therefore deemed too time consuming to include all relevant rockfall susceptibility areas and should be improved to further the inclusion of possible rockfall areas.

Future improvements will mainly consist of reducing time consumption during the evaluation of runout areas, as well as deducing the spatial relationship between small significant rockfalls and noise present in the terrain model.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	iii
Sammendrag.....	iv
Abstract.....	v
Figurliste	viii
Begrepsliste.....	xi
1 Innledning.....	1
1.1 Introduksjon	1
2. Teori.....	3
2.1 Steinsprang.....	3
2.1.1 Skred	3
2.1.2 Steinsprang	3
2.2 Aktsomhetskart for skred.....	3
2.3 Alfa-beta-modellen	5
2.4 Oppløsning	6
2.5 Referanseprosjekter	7
2.6 Andre metoder	10
2.6.1 Flow-R.....	10
2.6.2 Conefall.....	11
2.6.3 Enkel empirisk modell.....	11
2.6.4 Valg av metodikk	12
3 Metode.....	15
3.1 Data	15
3.2 Verktøy	15
3.3 Beregningsmetodikk – fra terrengmodell til aktsomhetskart	15
3.3.1 Bestemmelse av løsneområder og bremseområder.....	15
3.3.2 Vasking av DEM	16
3.3.3 Potensielle løsne-(A) og bremseområder(B)	16
3.3.4 Koble sammen løsne-(A) og bremseområder(B)	17
3.3.5 Filtrering av raspunkter.....	18
3.3.6 Beregning av utfallsområde	19
3.3.7 Ferdigstilling av aktsomhetskart.....	21
4 Resultater	23
4.1 Sammenligning mellom egenproduserte og eksisterende aktsomhetskart	23

4.2	Innvirkningen terrengmodellens oppløsning har på produsert aktsomhetskart	25
4.3	Tidskompleksitet ved beregning av aktsomhetsområder	26
4.3.1	Total bruk av tid ved beregning av aktsomhetskart	26
4.3.2	Mengde beregningstid benyttet av «Visibility» i metoden	26
4.4	Effekt ved bruk av «Filter 1» og «Filter 2»	27
5	Diskusjon	29
5.1	Sammenligning mellom egenproduserte og eksisterende aktsomhetskart	29
5.2	Aktsomhetskart produsert ved terrengmodeller med forskjellig oppløsning	29
5.3	Inkludering av høyere oppløsning	30
5.3.1	Tidskompleksitet	30
5.3.2	Filtrering	31
5.3	Kritikk av metode og valgte parametere	34
5.3.1	Passing av gausskurver i et høyoppløselig DEM sitt helningshistogram for bestemmelse av løsneområder	34
5.3.2	Valg av terrengmodellens GSD	35
5.3.3	Valg av filtre	36
5.3.4	Valg av kjeglesnitt og «Visibility» for markering av utfallsområder for steinsprang	37
5.4	Videre arbeid	38
5.4.1	Bestemmelse av terskelverdi for steinsprangs rasområde	38
5.4.2	Kombinering av oppløsninger	38
5.4.3	Sparing av tid ved begrensning eller endring av «Visibility»	38
5.4.4	Resampling av høyoppløselige data	40
6	Konklusjon	41

Figurliste

Alle figurer som ikke etterfølges av kilde er selvillustrert.

Figur 1 - Eksempel på produsert aktsomhetskart fra NVE. Her vises Skaugumsåsen i Asker kommune, med GSD = 25m (Nve, 2011)	4
Figur 2 - Alfa-Beta modellen. Figuren viser en terrengprofil med bestemt løsnepunkt (A), bremsepunkt (B), og tilhørende alfa- og betavinkel. Den røde vektoren viser skredets predikerte utløpslengde. (Derron, Stalsberg og Sletten, 2016).....	6
Figur 3 - Forskjeller i representert terreng basert på oppløsning. For hver DEM representeres hver piksel gjennom en søyle med høyde og farge tilsvarende pikselverdi. GSD benyttet er fra venstre 25m, 5m, og 0.5m	6
Figur 4 - Effekten terrengmodellens oppløsning har på helningsberegninger: Enkel illustrasjon av forholdet mellom synlig helning λ (grader) i terrengmodell og terrengmodellens GSD(meter), for forskjellige vertikale klipper med høyde Δh	7
Figur 5 - Ras- og bremseområde identifisert i terreng. Figuren viser en simplifisert skråning hvor kun punktene i ytterkanten av rasområde (oval i skråningsflate) og bremseområde (oval på horisontalflate) er tatt ut for videre analyse.	17
Figur 6 - Drensområder for bremsepunkt Figuren viser drensområdene for fire bremsepunkter i forskjellige farger. Hvert raspunkt ligger i et drensområde som til slutt drenerer til sitt individuelle bremsepunkt.....	18
Figur 7 - Kjeglesnitt mellom en rett sirkulær kjegle og et terreng.	19
Figur 8 - Avgrensning av «Visibility» sin siktanalyse I horisontal og vertikal retning. Gråskravert område representerer gjenværende område for siktanalyse, og er begrenset av skyggevinkel α og spredningsvinkel δ	20
Figur 9 - Usynlige utfallsområder i siktanalyse. Grått område ligger under skyggevinkel α og er utfallsområde for steinsprang. Mørkegrått område er ikke synlig fra A. Siktlinjen mellom A og vurderte røde piksel skjærer terrenget like ved A og pikselen blir vurdert som ikke synlig.	21
Figur 10 - Synliggjøring av ellers usynlige utfallsområder i siktanalyse. Raspunkt A og vurderte piksel forskyves fra terrenget med en høyde Δh og blir dermed vurdert uavhengig av terrenget.....	21
Figur 11 - Eksempel på egenprodusert aktsomhetskart for steinsprang. Kartet er produsert på bakgrunn av en terrengmodell med GSD på fem meter over Skaugumsåsen i Asker uten benyttelse av Filter 1. Aktsomhetsområdet vises som stiplet område med sort kantlinje. .(Kartet er proddusert og fremstilt i ArcGIS Pro og bruker deres bakgrunnskart (Esri, 2018)).....	22
Figur 12 – Forklart tap av aktsomhetsområde. Aktsomhetsområde i Oslo hvor forskjell mellom aktsomhetskartene kan forklares av nyoppdagede rasområder i terrengmodeller med GSD på en meter. Venstre figur viser landskapets høydekurver med egenproduserte aktsomhetsområder (blått) (produsert fra terrengmodeller med GSD på fem meter, uten bruk av Filter 1), mot aktsomhetsområder produsert etter synfaring av eksperter innen fagfeltet (hvit kantlinje). Høyre figur viser synlig bratthet mot de to aktsomhetsområdene, hvor grønt er bremseområde, gult er uklassifisert, og rødt er potensielle rasområder.(Kartene er proddusert og fremstilt i ArcGIS Pro og bruker deres bakgrunnskart (Esri, 2018))	24
Figur 13 – Uforklart tap av aktsomhetsområde. Aktsomhetsområde i Oslo hvor forskjell mellom aktsomhetskartene ikke bare kan forklares av nyoppdagede rasområder i terrengmodeller med GSD på en meter. Venstre figur viser landskapets høydekurver med egenproduserte aktsomhetsområder (blått) (produsert fra terrengmodeller med GSD på fem meter, uten bruk av Filter 1), mot aktsomhetsområder produsert etter synfaring av eksperter innen fagfeltet (hvit kantlinje). Høyre figur viser synlig bratthet mot de to aktsomhetsområdene, hvor grønt er bremseområde, gult er	

uklassifisert, og rødt er potensielle rasområder.(Kartene er proddusert og fremstilt i ArcGIS Pro og bruker deres bakgrunnskart (Esri, 2018))	24
Figur 14 - Profiler av en skråning ved Skaugumsåsen. Per figur er høyden (moh) plottet mot tilbakelagt avstand fra det høyeste, inkluderte punktet i profilen. Terrengmodeller med forskjellig GSD (0.5m, 1m, 2m, 5m, og 25m), og resulterende helning og utfallsområder for samme profil. (Profilen valgt for denne fremstillingen representerer ikke hele Skaugumsåsen, men er et utsnitt lagt i samme retning som drenering for terrengmodellen (GSD = 0.5m)).....	25
Figur 15 - Tidsbruk ved beregning av aktsomhetskart. Venstre figur viser oppløsning (0.5m, 1m, 2m, 5m, 10m, 25m, og 50m) mot totalt benyttet beregningstid. Høyre figur viser identiske tall, men plottet med logaritmisk y-akse. For produksjon av disse tallene ble aktsomhetskart beregnet for et 211 750 m ² stort område, uten bruk av Filter 1.	26
Figur 16 - Andel beregningstid benyttet av «Visibility» i metoden. Benyttet oppløsning (0.5m, 1m, 2m, 5m, 10m, 25m, og 50m) mot andel beregningstid benyttet av «Visibility» i metoden. Området beregnet er det samme som ved beregning av tidskompleksitet	26
Figur 17 - Effekter ved bruk av Filter 1 og Filter 2. Venstre graf viser mengde tapt aktsomhetsareal i prosent mot størrelsen på «små drensområder» ved bruk av Filter 1 og 2. Høyre graf viser tilvarende prosent ignorerte raspunkter som blir ekskludert fra videre analyse.	27
Figur 18 - Ignorert aktsomhet ved bruk av Filter 2. Filtrede løsnepunkter for videre analyse (A) gir overlappende utfallsområder. Ignorerte løsnepunkter og deres utløpsområder (stiplet) blir ikke inkludert i videre analyse.....	32
Figur 19 - Profil av kjeglesnitt	37

Begrepsliste

Tabell 1 - Oversikt over ofte brukt terminologi

Begrep	Forklaring
D8 flyt-modell	8-retnings (D8) flyt modellen bestemmer hvilken retning noe vil renne for hver piksel i en terrengmodell. Retningen blir bestemt etter laveste nabopiksel, og vil være 1 av 8 retninger. (Esri, 2010b)
Dreneringsnettverk	Et nettverk av linjer som viser hvilken vei noe vil renne i en terrengmodell. Dreneringsnettverk er vanligvis benyttet for å finne ut hvor vann renner, og kan vise hvilke områder i en terrengmodell som ender opp med å renne inn i en hvilken som helst annet område i samme terrengmodell. Et slikt nettverk er vanligvis konstruert basert på en D8 flyt-modell for bestemmelse av dreneringsretning. Nettverket kan ikke traverseres mot flyt-retning, og vil for et hvert punkt i terrenget til slutt lede ut av terrengmodellen. (Esri, 2010d)
Drensområde	Et drensområde beregnes for et punkt i terrenget og omfatter alle områder i terrengmodellen hvor en kan nå punktet ved å følge dreneringsnettverket nedover for samme terrengmodell.
Åpningsvinkel δ	Beskriver hvilken spredning et steinsprang vil kunne ha, avvikende fra minste motstands vei ned skredbanen.
Ur (Blokkmærk)	«Ved bunnen av skråningen samler materialet fra skredet seg i urer (også kalt løsmateriale eller løsmasser)» (Devoli <i>mfl.</i> , 2011, s. 10)
Terrengmodell	En modell som forsøker å gjengi et terreng så nøyaktig som mulig basert på innsamlet data. I denne oppgaven er terrengmodellene benyttet utelukkende av typen DEM
DEM	«Digital elevation model» (DEM) er en terrengmodell som kun gjengir terrenget (bare bakken, uten trær, bygninger, og eller andre objekter) i form av et raster med høydeverdier.
Sliver polygon	Et sliver-polygon er smale små områder som kan følge av overlappoperasjoner mellom to eller flere geografiske datasett. Polygone med slikt utseende indikerer enten problemer med topologien til benyttede datasett, men kan også være et faktisk resultat av overlappoperasjonen. (Esri, 2004)

1 Innledning

1.1 Introduksjon

Å vurdere muligheten for steinsprang er en samfunnsnyttig og kostnadsbesparende oppgave, som kan forbedre boforhold og redde liv. Norge er et land hvor steinsprang forårsaker alt fra knuste ruter, til total ødeleggelse av eiendom og i verste fall tap av liv. Hvis skredene kan forutsees er det mulig å gjøre forberedende tiltak for å minske enten faren eller skadeomfanget. Slike tiltak kan være alt fra montering av netting, til forbud om bygging eller bosettelse. På denne måten vil sjansen for at steinsprang utfører noen skade bli mindre, og mennesker vil kunne leve et sikrere liv.

Det finnes oversikt over områder hvor steinskred potensielt kan inntreffe i form av aktsomhetskart, men som per i dag er for lite inklusive og ikke dekker alle områder som egentlig burde vært dekket. Aktsomhetskartene inneholder ikke små steinsprangsområder ettersom kartene er laget i grov oppløsning. Per dags dato distribuerer Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) slike aktsomhetskart for steinsprang med en «ground sample distance» (GSD) på 25m (Figur 1). Denne oppløsningen ansees som grov og tar ikke hensyn til løseområder for steinsprang med mindre høydeforskjell enn 20 meter. Små skrenter, som er mindre enn dette, blir ekskludert sammen med sine potensielle steinsprangsområder i disse kartene. Ettersom Norsk terreng har mange skrenter av denne størrelsen, spesielt på Østlandet, er det aktuelt å forbedre eksisterende aktsomhetskart så de blir mer inklusive, og også omfatter mindre skrenter. Av samme årsak har Plan og bygningsetaten (PBE) i Oslo forsøkt å produsere aktsomhetskart til eget bruk (Finland, 2015), men heller ikke disse inkluderer alle små bratte områder av interesse. Aktsomhetskart bør, i den grad det er mulig, inkludere alle potensielle områder for steinsprang. Eksisterende aktsomhetskart kan forbedres for bedre å oppnå dette målet, noe denne oppgaven skal forsøke å se nærmere på.

Interessen rundt å konstruere nye aktsomhetskart har eksistert en stund, men fått økt oppslutning ettersom terrengmodeller med høy oppløsning (GSD = 1m) stadig blir mer tilgjengelige igjennom Kartverkets nye «Nasjonalt detaljert høydemodell» (NDH) (Kartverket, 2016b). Plan og Bygningsetaten (PBE) i Oslo er også interessert i videreutvikling av aktsomhetskart for steinsprang og uttrykte dette ved å tilby samarbeid om temaet i form av en gradsoppgave. Både PBE, og andre aktører, er nysgjerrige på innvirkningen NDH vil ha på prosesseringstid og kvalitet ved konstruksjon av aktsomhetskart for steinsprang. Norge bruker store summer på å lage den nye nasjonale høydemodellen og det bør undersøkes om den kan brukes til å rette opp svakheter som eksisterer i dagens aktsomhetskart.

Et aktsomhetskart for steinsprang vil gjøre det lettere for kommunen å bestemme samfunnsbesparende tiltak, men bare hvis de beregnes i god nok tid. Kommunene er pålagt å gjøre konsekvensutredning for planer de iverksetter (Plan- og bygningsloven – pbl, 2008, § 14), og utredningene koster penger.

Slike konsekvensutredninger for steinsprang vil omfatte farekartlegging og risikokartlegging, hvilket inkluderer feltarbeid og andre former for dyr datainnsamling. Et aktsomhetskart for steinsprang viser med sikkerhet hvilke områder steinsprang ikke vil påvirke, og vil kunne unnta områder fra å måtte bli vurdert for risiko og fare. Gitt at beregningene ikke tar for lang tid vil benyttelse av et slikt kart føre til sparte midler for kommuner, og andre som er bundet av å utrede fare eller risiko for steinsprang.

Som utgangspunkt for metodeutvikling for produksjon av nye, mer inklusive, aktsomhetskart benyttes to tidligere rapporter (Finsland, 2007; Derron, Stalsberg og Sletten, 2016) Begge utnytter den statistiske alfa-beta-modellen til å beregne aktsomhetskart for steinsprang. Denne oppgaven vil ta for seg beregning av aktsomhetskart for steinsprang med lignende teoretisk utgangspunkt, og vil undersøke hvilken effekt benyttelse av terreng med høyere oppløsning vil ha på beregningstid og resulterende aktsomhetskart.

Problemstilling:

Hvordan kan man konstruere en beregningsmetode for mer inklusive aktsomhetskart?

Ved arbeid med denne beregningsmetoden er det tatt utgangspunkt i alfa-beta-modellen, og terrengmodeller med GSD opp til rundt en meter. Aktsomhetskartene er av typen regionale aktsomhetskart for steinsprang og det forsøkes, tatt i betraktning størrelsen på analysert område, å beregne aktsomhetskartene innen rimelige tidsrammer.

2. Teori

Følgende kapittel tar for seg forklaringen av essensielle begreper og metodikk rundt beregning av aktsomhetsområder for steinsprang. Først forklares sentrale begreper og terminologi som underbygger forståelsen av oppgaven. Deretter forklares alfa-beta-modellen benyttet i beregningsmetoden i gradsopgaven, før annen metodikk blir omdiskutert.

2.1 Steinsprang

2.1.1 Skred

Norges kuperte terreng og bratte fjellsider har både historisk og i nyere tid ført til skred og andre masseforflyttende hendelser. Regn, frost, jordskjelv og andre landformende prosesser endrer gradvis på terrenget, og gjør at masseforflytninger skjer daglig (steinsprang), til årlig (steinskred). Disse skredhendelsene kan klassifiseres ut ifra størrelse og hvordan de oppfører seg nedover fjellsiden, og varierer basert på terrengets egenskaper. I Norge blir skred gruppert inn i steinsprang, steinskred, fjellskred og ustabile fjellparti, hvor denne oppgaven fokuserer på førstnevnte. (Devoli *mfl.*, 2011)

2.1.2 Steinsprang

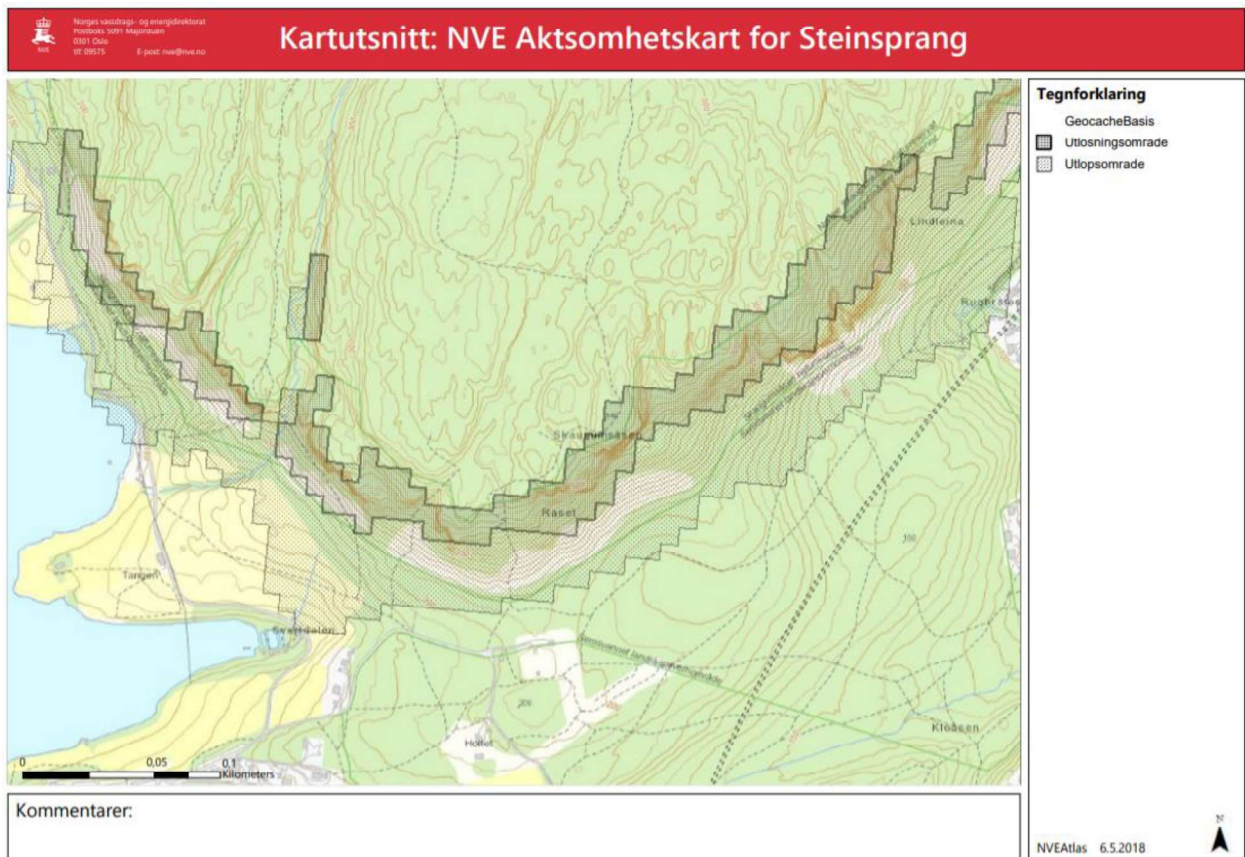
Steinsprang er i denne oppgaven definert som bergartsfragmenter som løsner fra en fjellskrent. Fragmentene beveger seg fallende, sprettende og rullende til utflating av terrenget gjør at de mister fart og stopper. Fragmentene er relativt små i størrelse (få til noen hundre kubikkmeter) og gjennomgår ikke ytterligere fragmentering langs skredbanen. Resultatet av steinsprang er stort sett ur (blokkmark). (Devoli *mfl.*, 2011)

Potensielle områder for steinsprang er ikke bare området mellom skredets startpunkt og ura, men også området et stykke forbi. Selv om steinsprang som oftest vil bremse opp og stoppe i tilhørende ur (hvis det eksisterer for aktuelt område), fortsetter de i noen tilfeller forbi ura. En kartlegging i Molde av 188 steinblokker som hadde rullet lengre enn sin tilhørende ur, viste at 75% av dem stoppet 10-40m utenfor urfoten. Steinsprang som ruller helt ut til 50-53m utenfor urfoten har en returperiode på 1000 år (Gundersen, 2017). Valgt metodikk for konstruksjon av aktsomhetskart for steinsprang bør derfor inkludere både ur og noe av området forbi ura.

2.2 Aktsomhetskart for skred

Skredanalysene utført i denne oppgaven er av type aktsomhetsanalyser, og resulterer i aktsomhetskart. Slike analyser baserer seg på enkle terrengdata, som en terrengmodell og eventuelt eksisterende geologiske data, og viser kun hvor det er mulighet for skredfare. Resultatområdene inkluderer løsneområder og automatisk beregnede utfallsområder for skred, og indikerer hvor det kan være skredfare. I disse områdene må det derfor gjøres videre geologiske analyser for å faktisk avklare den

reelle skredfare. Utarbeidelse av aktsomhetskart er ment til å gi opplysning over hvor det er behov for ytterligere analyse, og må ikke benyttes til å beskrive den faktiske skredfare for et område. Aktsomhetskartene er som regel konservative, og vil bli mindre dersom man foretar seg mer nøyaktige undersøkelser av faren for skred i samme område. Aktsomhetskart benyttes derfor i forkant av byggeprosjekter, og ellers i bebygde områder for å undersøke om det bør gjennomføres en mer nøyaktig geologisk kartlegging. (NVE, 2011b, 2011a)



Figur 1 - Eksempel på produsert aktsomhetskart fra NVE. Her vises Skaugumsåsen i Asker kommune, med GSD = 25m (Nve, 2011)

Konstruksjon av aktsomhetskart bør være en enkel og oversiktlig analyse, basert på billige data ettersom deres formål er å avgjøre behovet for ytterligere utredning og analyse av eksperter. Valget av terrengmodell som eneste datagrunnlag for beregning av aktsomhetskart vil gjøre modellen enklere å forstå og bruke, og gjøre den tilgjengelig for flere. Konstruksjon av aktsomhetskart, ved å f.eks. bare bruke en terrengmodell, gjør at man kun behøver å forholde seg til et enkelt datagrunnlag, og gjør metoden mer oversiktlig enn hvis man må forholde seg til flere. Vedkommende som skal benytte metoden trenger bare tilgang på terrengmodellen, og behøver hverken annen data eller kompetanse innen geologi for å beregne aktsomhetskart for steinsprang. Slike analyser vil være gunstige spesielt i områder hvor en ikke har midler, kompetanse, eller kapasitet til å utføre en grundigere undersøkelse

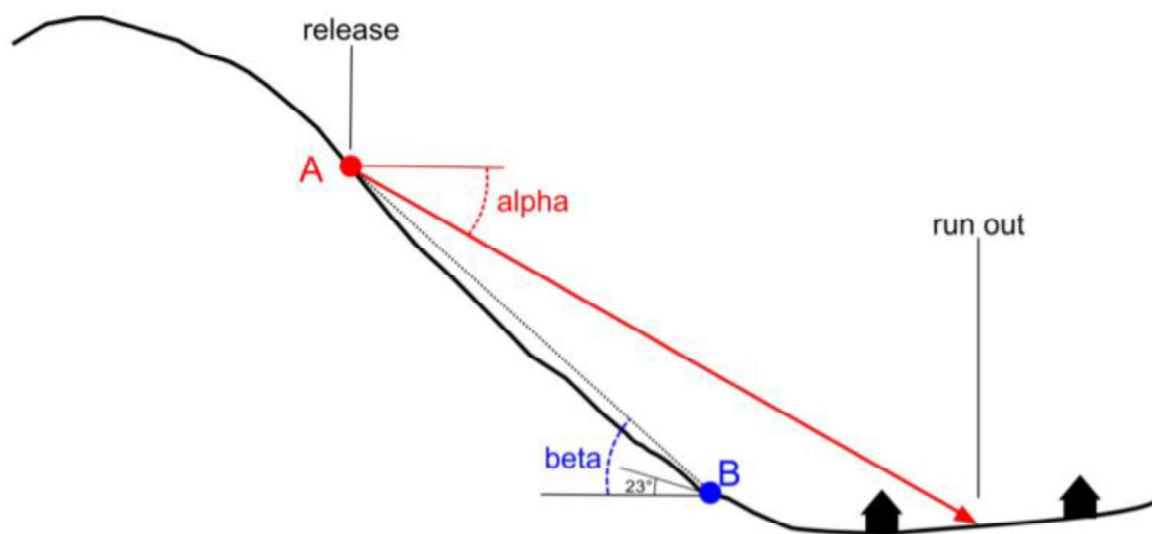
(Myrvoll, 2015). Parter som må spare, eller har mangel på ressurser vil på denne måten kunne få større innsikt i skredfare, uten behovet for spesiell kompetanse eller dyr datainnsamling, forbeholdt at terrengmodeller er tilgjengelige eller billige å konstruere for aktuelt område. På bakgrunn av terrengmodellens relativt enkle struktur og brede tilgjengelighet sammenlignet med andre datagrunnlag, presenterer valget av terrengmodell som eneste datagrunnlag som et kostnadsbesparende valg. Benyttelse av terrengmodell som eneste datagrunnlag bidrar til å senke terskelen for beregning av aktsomhetskart hos kommuner og andre som ønsker å undersøke områder for steinsprang, og muliggjør analysen for flest mulig.

2.3 Alfa-beta-modellen

Utfallsområdet beregnet i oppgaven er basert på «shadow angle»-konseptet (Heim, 1932). Konseptet tilsier at utfallslengden til et hvilket som helst skred kan beskrives igjennom en bratthetsvinkel(alfa) mellom skredets løsnedområde og ytterkanten av dets tilhørende utfallsområde. Basert på dette konseptet er det allerede utviklet en modell for beregning av utfallsområder for snøskred, alfa-beta-modellen (Lied og Bakkehøi, 1980; Bakkehøi, Domaas og Lied, 1983). Modellen benytter terrenget og empirisk bestemte koeffisienter basert på tidligere skred for å estimere det maksimale utløpsområdet for snøskred. En slik modell er også konstruert for steinsprang (U Domaas hos NGI), hvor kun de empiriske koeffisientene er annerledes. (Derron, Stalsberg og Sletten, 2016)

Alfa-beta-modellen for beregning av utløpsområdet for skred:

- 1) Løsnepunktet (A) for et skred blir bestemt.
- 2) Skredbanen, med utgangspunkt i A blir plukket ut og dens høydeprofil tegnet opp
- 3) Punktet hvor skredet begynner å bremse (B) bestemmes.
- 4) Vinkelen (beta) mellom linjesegmentet BA og horisontalplanet regnes ut.
- 5) Alfavinkelen beregnes på bakgrunn av det statistiske forholdet mellom alfa og beta, som ligger til grunn for alfa-beta-modellen. $\alpha = m \cdot \beta - n$, hvor m og n er empirisk bestemte koeffisienter.
- 6) Utfallsområdet for skredet bestemmes av skjæringspunktet mellom terrengets høydeprofil og linjestykket med startpunkt i A og skyggevinkel alfa.

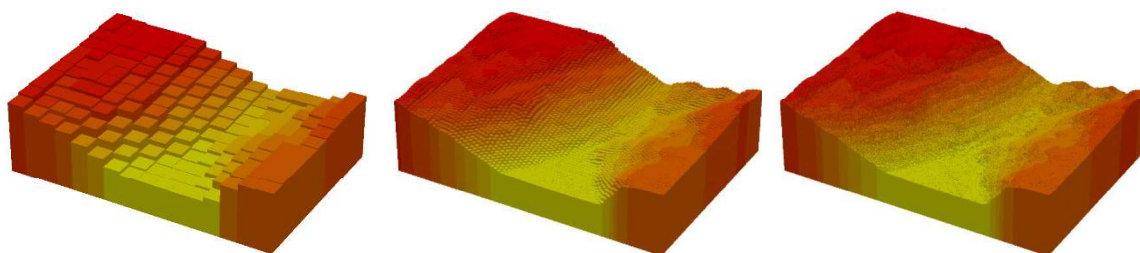


Figur 2 - **Alfa-Beta modellen**. Figuren viser en terrengprofil med bestemt løsnepunkt (A), bremsepunkt (B), og tilhørende alfa- og betavinkel. Den røde vektoren viser skredets predikerte utløpslengde. (Derron, Stalsberg og Sletten, 2016)

2.4 Oppløsning

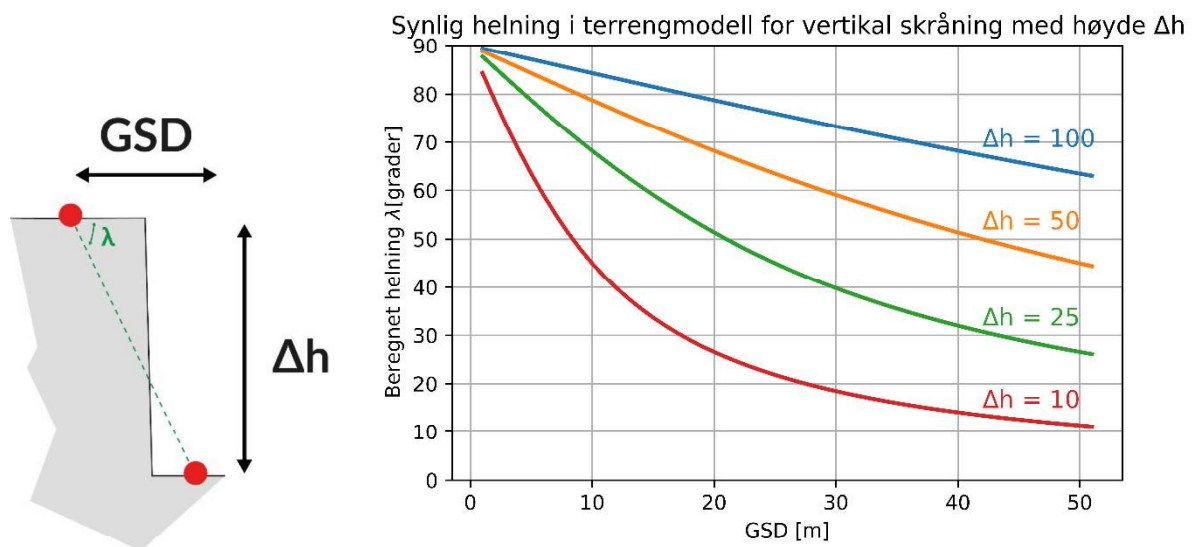
Tidligere analyser av aktsomhetskart og skredbaner benytter en representasjon av terrenget for å predikere hvor skredhendelser kan forekomme. En slik representasjon er gjerne en «digital elevation model» (DEM) (Tabell 1) hvor terrengoverflaten er representert som høydeverdier i et rutenett.

Forskjellen mellom to DEM med forskjellig oppløsning, over samme område, er først og fremst hvor godt et underliggende terreng er representert, men vil også vises i avledede størrelser. Lavere oppløsning fører til større grad av generalisering, og gjemmer små endringer i terrenget. Resultatet av slik generalisering er at mer detaljerte senkninger og hevnings i terrenget ikke blir representert (Figur 3). Beregningen av et drensområde er veldig følsomt for slik generalisering ettersom D8-modellen (Tabell 1) er deterministisk. Piksler som før eksempelvis rant til høyre der dreneringen deler seg i terrenget vil nå kunne renne til venstre, grunnet små endringer i dreneringsretningene. På grunn av større frekvens i helningsendring vil også drensområder dele seg opp i flere, mindre, drensområder i terrenget. Valgt oppløsning har derfor innvirkning på dreneringslinjer og hvilken vei ting ender opp med å falle.



Figur 3 - **Forskjeller i representert terreng basert på oppløsning**. For hver DEM representeres hver piksel gjennom en søyle med høyde og farge tilsvarende pikselverdi. GSD benyttet er fra venstre 25m, 5m, og 0.5m

Valg av oppløsning på terrenngmodellen påvirker den utregnede brattheten og kan ende opp med å gjemme potensielle løsneområder for steinsprang. Brattheten til terrenget er utregnet basert på rettlinjjet helning mellom to nabo-piksler sine sentre for aktuelle DEM, og ikke det faktiske terrenget terrenngmodellen representerer. Den beregnede brattheten for det representerte terrenget vil derfor være avhengig av valgt DEM sin oppløsning. Generaliseringsgraden som forekommer ved lavere oppløsning hos benyttet DEM vil skjule et potensielt mer kupert underliggende terrenng. For eksempel vil en 20m høy, vertikal klippe med beliggenhet mellom to piksler i en DEM med GSD på 25m, ha beregnet bratthet på 40°. (Derron, Stalsberg og Sletten, 2016). Et terrenng representert som en DEM vil inneholde mer og mindre bratte skråninger i virkeligheten enn den representerte brattheten utregnet i metoden, og gjemme potensielle løsne- og bremse-områder (Figur 4). Høyere oppløsning tilsvarer mer nøyaktig gjengivelse av det faktiske terrenget, mer kupert terrenng, og deteksjon av flere potensielle steinsprangområder.



Figur 4 - Effekten terrenngmodellens oppløsning har på helningsberegninger: Enkel illustrasjon av forholdet mellom synlig helning λ (grader) i terrenngmodell og terrenngmodellens GSD(meter), for forskjellige vertikale klipper med høyde Δh .

2.5 Referanseprosjekter

Beregning av utløpsområde for skred basert på en terrenngmodell har tidligere blitt utarbeidet ved bruk av alfa-beta-modellen for både snøskred og steinsprang i Norge (Finsland, 2007; Derron, Stalsberg og Sletten, 2016). Her følger en kort oppsummering av metodikk og funn for disse arbeidene.

Utløpsområder for snøskred (Finsland, 2007):

Denne gradsoppgaven tar for seg, blant annet, beregning av utløpsområder for mulige snøskred ved bruk av alfa-beta-modellen. Oppgavens beregning av utløpsområder skjer, gjennom utvelgelse og filtrering av potensielle løsneområder, drenerings-raster, og egenlagde skript.

Løsneområdene for snøskred er utregnet på bakgrunn av terrengets bratthet, hvor alle områder med større helning enn 30° blir vurdert. Det resulterende området blir så filtrert ved å kun inkludere de skredene som vil gi lengst utløpslengde. Dette gjøres ved å dele opp skredområdet etter tilhørende dreneringsbasseng (piksler som drenerer til samme område). For hvert dreneringsbasseng avgjøres det hvilke piksler som har akkumulert tilsig lik null og hvor mange av dem som ligger inntil hverandre. Piksler med større gruppestørrelse enn 1000 er bestemt som skredene med størst utløpslengde, og benyttes som startpiksler under beregning av utløpslengden.

Skredløpet beregnes som en prosess i to faser per startpiksler. I første fase gjøres det en test for bratthet. Testen starter i startpikselen og «renner videre» til neste piksel i bratteste retning basert på høyden til nabopikslene. Denne prosessen gjentas til brattheten er mindre enn 10° , og skredet inntar andre fase. I overgangen til andre fase regnes beta- og alfavinkelen ut, hvor startpiksel er A og aktuelle piksel B.

I andre fase vil koordinatene og høyden til startpikselen lagres for senere beregninger. Deretter fortsetter beregningen ned skråningen til neste piksel i bratteste retning. I denne fasen legges det til grunn andre tester for å finne hvor langt skredet vil gå. For hver piksel vi kommer til regnes det ut helningsvinkel mellom aktuelle piksel og løsnepikselen. Hvis denne er mindre enn alfa stopper prosessen og maksimal utløpslengde er nådd. Metoden stopper også hvis beregnet helningsvinkel blir mindre enn 18° .

Hele prosessen er beregnet på en PC med 3 GHz prosessor, 2 GB RAM, og lokal HDD. De tre oppløsningene som er testet (10x10m, 25x25m, 50x50 m) viste ikke kjøretid på mer enn en time for det utvalgte område på ca. 71 kvadratkilometer. Alle tre oppløsningene ble derfor benyttet til produksjon av utfallskart for senere sammenligning og vurdering.

Hovedforskjellen mellom de tre produserte utløpsområdene for snøskred ble vurdert til å være antall, plassering og størrelse. Det vil være mulig å tenke seg at høyere oppløsning gir flere rasområder ettersom det er flere piksler per skråning, og kupertede områder ikke blir glattet ut av den lavere oppløsningen. Det viste seg at høyere oppløsning ikke nødvendigvis førte til flere skredbaner. Dette fenomenet blir forklart som et resultat av at flere skred filtreres vekk. Randkanten for de filtrerte skredene blir vurdert til å ha for få sammenhengende raspiksler per dreneringsbasseng. Dette skyldes igjen av at høyere oppløsning gir flere dreneringsbasseng per skråning. Totale antall

sammenhengende raspiksler per fjellside blir derfor høyere, mens sammenhengende raspiksler per dreneringsbasseng i enkelte tilfeller blir lavere.

Utløpsområdene beregnet på bakgrunn av en terrengmodell med 25x25m oppløsning viste seg å passe best med Forsvarets skredkart. Det resulterende utfallsområdene dekker de fleste områdene der en vil forvente skred av en viss størrelse, og blir derfor akseptert for videre bruk i Finslands gradsoppgave.

Aktsomhetskart for steinsprang (Derron, Stalsberg og Sletten, 2016):

Rapporten skrevet av NGU handler utelukkende om metodikk for produksjon av aktsomhetskart for steinsprang. Metoden definerer og filtrerer løsneområder og bremseområder, og beregner utløpsområder med konisk kjeglesnitt.

Metoden er basert på «shadow angle», eller mer presist alfa-beta-modellen tilpasset snøskred (Lied og Bakkehøi, 1980; Bakkehøi, Domaas og Lied, 1983). Rapporten tar for seg bestemmelsen av hvilken helningsvinkel steinsprang vil utløses ved på følgende måte. I rapporten etableres to geologiske datagrunnlag. Et berggrunns kart (oversikt over hvor berggrunnen ikke er tildekket) og et løsmasse kart (en oversikt over hvor en kan finne forskjellige typer stein, inndelt i fem hovedkategorier). En undersøkelse av løsmassene er gjort for å finne hvilke hellinger som resulterer i steinsprang for de aktuelle løsmassene. Verdiene varierer lite, og ligger stort sett rundt 35-40°. Resultatet av analysen inneholder terskelverdier for alle de inkluderte stein-slagene. Både på bart fjell og ellers. En piksel blir vurdert som løsneområde hvis terskelvinkelen er oppfylt for underliggende løsmasse, enten det er vinkelen for bart fjell eller ellers. Bremseområdet for skredet er alle områder med helningsvinkel under 23°.

For å slippe å beregne skredbane for alle eksisterende løsneområder vil man kun utføre beregningen for de som går lengst. Det er bestemt at slike piksler ligger i ytterkanten av områder med løsnepiksler. Bremseområdene er også filtrert ettersom «hyller» i skredbanen fører til at bremseområdet blir definert lengre opp i skredbanen enn det egentlig ligger og igjen til for lite utfallsområde på bakgrunn av for stor alfavinkel. Små bremseområder er derfor filtrert bort med morfologisk åpning på 3x3 piksler.

Hver løsnepiksel blir gruppert med sin tilhørende bremsepiksel, før tilhørende alfa- og beta-vinkler blir utregnet på samme måte som for snøskred. I denne rapporten benyttes andre konstanter i formelen for utregning av alfa-vinkel, og en alfa-terskel på minimum 30°. Vinkler under dette settes derfor til 30°.

Siste del av metoden realiserer alfavinkelen som et kjeglesnitt mellom en utfallskjegle fra løsnepikselen og terrengmodellen. Det defineres også en maksimal spredning av skredet på 30° fra

utløserområdet i retning bremseområdet. Områder i terrengmodellen som faller innenfor avgrensingen av kjeglesnittet er definert som potensielle mottagere for steinsprang.

Denne avhandlingen er et forsøk på å videreutvikle beregningsmetoden benyttet til produksjon av aktsomhetskart for steinsprang, ved å utnytte terrengmodeller med høyere oppløsning. Metoden er basert på de to tidligere skrivenene, og vil i stor grad streve etter samme mål.

2.6 Andre metoder

For bestemmelse av hvilken modell som skulle benyttes til beregning av aktsomhetskart for steinsprang måtte flere alternative metoder vurderes. I utgangspunktet vil alle metoder som benytter feltmålinger og ellers tung simulering av fysiske prosesser være uaktuelle ettersom vi ønsker en metodikk for regional beregning. Fokuset i undersøkelsen ligger derfor på lettere modeller som bruker statistikk, og empirisk bestemte modeller til prediksjon av skredhendelser. For flere metoder for beregning av utfallsområder for steinsprang, se Dam sin gradsoppgave (2015).

2.6.1 Flow-R

I «*Rockfall hazard and risk assessments along roads at a regional scale: example in Swiss Alps*» utforskes muligheten for å benytte en empirisk modell for produksjon av aktsomhetskart. Modellen, utviklet av Horton, Jaboyedoff og Bardou (2008) kalles Flow-R (Flow path assessment of gravitational hazards at a Regional scale) og har vist seg å være et mye brukt verktøy for utløpsvurderinger i flere studier med varierende datagrunnlag (Fischer, Rubensdotter og Stalsberg, 2014; Blais-Stevens og Behnia, 2016; Oppikofer *mfl.*, 2016; Losasso, Jaboyedoff og Sdao, 2017). Verktøyet Flow-R har flere innlagte metoder for bestemmelse av løsnedområder og propagering av skredbaner basert på hvilken type skred en vil utforske.

Modellen inneholder 2 steg for beregning av aktsomhetskart. Beregning av løsnepikslar (1), og hvor skredet vil spre seg (2). Steg 1 bestemmes ut ifra bratthet, størrelsen på pikselens dremsområde, og kurvatur. Disse blir representert igjennom boolske kart som bestemmer om en piksel kan være start-piksel for skred ut ifra en terskelverdi for det aktuelle kartlaget. Ytterlige boolske kart kan legges til som datagrunnlag for vurdering av løsnepiksel, som landbruk eller geologi. Steg 2 benytter Holmgren algoritmen (1994) sammen med «multiple flow direcrion» algoritmen for å spesifisere hvor mye av skredet fra forrige piksel deler seg i andre mulige retninger på vei ned skredbanen. Mengden kinetisk energi i hver aktuell retning blir estimert og videreført, for så å bli fratrukket et energitap basert på en enkel friksjonskoeffisient. Skredet stopper når all energi er tapt til friksjon. Friksjonen kan bestemmes på flere måter, men er antatt best bestemt for steinsprang igjennom «simplified friction-limited model» (SFLM) (Horton *mfl.*, 2013) basert på Corominas sitt arbeid (1996) eller «sfahrböschung angle» (Heim, 1932). Det ble også beregnet utløpsområder for et test-område med både Flow-R og CONEFALL (Jaboyedoff og Labiouse, 2011) med en energivinkel på 33° for å kontrollere metoden.

Utfallsområdene stemte over ens og legitimerede Flow-R sitt resultat. (Michoud *mfl.*, 2012; Oppikofer *mfl.*, 2016)

2.6.2 Conefall

I «*Technical Note: Preliminary estimation of rockfall runout zones. Natural Hazards and Earth System Sciences*» (Jaboyedoff og Labiouse, 2011) undersøkes en enklere utfallsmodell for steinsprang. Verktøyet CONEFALL anvender fysiske lover, og empirisk bestemte koeffisienter for å estimere hvor langt et steinsprang vil falle. Utvelgelsen av løsneområde blir ikke beregnet av verktøyet, og må bestemmes på forhånd.

Conefall er et program som benytter «shadow angle» konseptet for å beregne utfallsområder for steinsprang. De antar at utfallspiksler allerede er kjent. I realiteten er energitap langs komplekse steinsprang avhengig av mange forskjellige mekanismer, men kan uttrykkes via gjennomsnittlig tap av energi som en friksjonskoeffisient. Det gjennomsnittlige energitapet kan antas å være lineært, og vil resultere i et gjennomsnittlig utløpsområde med normalfordeling (Jaboyedoff og Pedrazzini, 2010). På bakgrunn av dette kan det trekkes en linje hvor den potensielle energien til et steinsprang fremmer skredet like mye som friksjonskreftene bremser det. Dette prinsippet blir benyttet til definisjonen av en energilinje som strekker seg ut ifra skredets start nedover skredbanen til den krysser en underliggende terrengprofil. Vinkelen mellom horisontplanet og denne linjen kalles «energy angle». Denne måten å modellere steinsprang har mange likheter med alfa-beta-modellen, men benytter friksjon som utgangspunkt for begrensningen av utfallsområder. På bakgrunn av tidligere steinsprang har en fastslått en empirisk bestemt friksjonskoeffisient mot underlaget. Denne koeffisienten tilsvarer en «Energy angle» som videre benyttes til estimering av nye utfallsområder. «Energy angle» er foreslått valgt etter den bratteste helningen i ura der steiner ligger stille. En energivinkel på 33 til 35 er generelt mest passende, men det blir også spesifisert av denne ikke burde benyttes blindt og at løsneområder, og energivinkler bør bestemmes etter tidligere studier eller feltobservasjoner. (Jaboyedoff og Labiouse, 2011)

2.6.3 Enkel empirisk modell

Estimering av aktsomhetskart for steinsprang er også forsøkt gjennomført med ytterligere forenklinger. «Debris flow susceptibility mapping using a qualitative heuristic method and Flow-R along the Yukon Alaska Highway Corridor, Canada» (Blais-Stevens og Behnia, 2016) benytter seg av en kvalitativ heuristisk metode for beregning av aktsomhetskart for skred. Skredområdet blir predikert basert på forskjellige terrengbeskrivende variablers forhold til tidligere skredhendelser. Beregningsmetoden er basert på tidligere verk av Soeters and van Westen (1996), og benytter verdier fra underliggende data lag sammen med et vektall for beregning av en hendelsesindeks mellom 0 og 1. Nærheten til dreneringssystem, helningsvinkel, geologi, kurvatur og helningsretning blir benyttet under utregning av indeksen, hvor de to førstnevnte er viktigst. (Blais-Stevens og Behnia, 2016)

«Rock fall susceptibility assessment along a mountainous road: An evaluation of bivariate statistic, analytical hierarchy process and frequency ratio» (Shirzadi *mfl.*, 2017) sammenligner forskjellige heuristiske metoder for å bestemme hendelsesindeks. Av de uttestede metodene ble «Weights of evidence» vurdert til å være den beste predikatoren for steinsprang. Metoden benytter prinsippet om at flere binære mønstre kan kombineres for å predikere et annet binært mønster. Både positiv og negativ korrelasjon mellom de interessante beskrivende variablene og hendelsen «tidligere steinsprang-piksel» blir beregnet og benyttet til å produsere aktsomhetskart. I denne analysen var helningsvinkel den mest beskrivende av de inkluderte parameterne. (Shirzadi *mfl.*, 2017)

2.6.4 Valg av metodikk

Tidligere omtalte metoder for beregning av aktsomhetsområder ansees som enten for enkel eller resurskrevende for å kunne benyttes ved regional aktsomhetskartlegging.

Flow-R benytter seg av en metodikk som gir sannsynlighet for skred per piksel i analysen. Et slikt kart inneholder mer informasjon enn nødvendig for aktsomhetskart, og vil benytte ressurser på å beregne sannsynlighet og spredning der vi kun er interessert i sistnevnte. Metoden for propagering av skredet er også beregningskrevende ettersom det for hver piksel ned skredbanen må beregnes flere verdier for retning og energimengde, før disse lagres for de aktuelle pikslene. Skredets evne til å spre seg gjør at det må gjennomføres mer enn en beregning per potensielle steinsprang-piksel. Bruken av regnekraft gjenspeiles i den anbefalte oppløsningen på 10m, bestemt som et kompromiss mellom nøyaktighet og beregningstid (Horton *mfl.*, 2013). Ettersom vi ønsker å finne en beregningslett metode, og se på høyere oppløsninger ble ikke denne metoden valgt.

Conefall ligner alfa-beta metoden og gjør den til en meget aktuell kandidat. Baksiden med denne metoden er valget av energivinkel. Bestemmelse av energivinkel basert på bratteste helningsvinkel i ura vil gjøre det nødvendig å bestemme hvilket område en slik vinkel vil gjelde. Ettersom feltarbeid er anbefalt for denne avgjørelsen, og det er ønskelig å beregne aktsomhetskart kun basert på terrengmodell, vurderes metoden som uaktuell.

Resterende omtalte metoder forsøker aktsomhetsbestemmelse basert på kvalitativ heuristisk metode, og er svært enkle i sin form. Analyser av denne natur er ofte basert på terrengmodeller med lav GSD, og resulterer i svært enkle aktsomhetsområder. Denne metoden er vurdert som for grov og generell, og ikke egnet for analyse av aktsomhet på oppløsningen vi ønsker å undersøke.

Årsaken til at få metoder egner seg til aktsomhet i Norge skyldes landets særegne karakteristikk, og infrastruktur. Norge er et langstrakt land med mye spredt befolkning og tilhørende veinett, og vil ha nytte av utregnede aktsomhet for større områder. Kartlegging av aktsomhet er derfor en til dels særegen form for analyse for Norge og ble først et anerkjent begrep i arealplanlegging i 2011 (NVE, 2011a). Grunnet denne særegenheten vil utenlandske analyseverktøy for skred, som oftest, ikke være optimale for beregning av aktsomhetskart. Utenlandske verktøy fokuserer som regel på spesifikke

lokale områder, istedenfor generelle regionale områder, hvor høy oppløsning og utføring av feltarbeid ikke ansees som problematisk. Alfa-beta metoden er ansett som et godt kompromiss mellom realisme, beregningstid, og kostnad, og benyttes derfor i videre utvikling.

3 Metode

For beregning av aktsomhetskart må det utvikles en metode, som på bakgrunn av teorikapittelet resulterer i aktsomhetskart for steinsprang, ved bruk av tilgjengelig data. Dette kapittelet tar for seg hvilke beregninger som utføres fra terrengmodell til aktsomhetskart for steinsprang, i tillegg til hvilke parametere som er benyttet.

3.1 Data

En høyoppløselig terrengmodell over Skaugumsåsen i Asker er benyttet som test-område for konstruert metode. Terrengmodellen, med en original GSD på 0.5 meter, er resamplet til terrengmodeller med høyere GSD, ved bruk av «Aggregate»-verktøyet (Esri, 2016), og i ArcGis Pro og gjennomsnitt som aggregeringsmetodikk, der det har vært av interesse. En terrengmodell som dekker Oslo, med GSD på 1m, er benyttet for sammenligning av allerede eksisterende aktsomhetskart mot egenproduserte. Høydedataene benyttet i denne oppgaven er lastet ned fra Kartverket sitt domene, og er åpent tilgjengelige på deres nettportal (Kartverket, 2016a).

For å kontrollere egenproduserte aktsomhetskart er også allerede eksisterende aktsomhetskart fra Multiconsult og NGI benyttet. Aktsomhetskartene er konstruert på bakgrunn av synfaring av PBE sine produserte aktsomhetskart og består i et antall shape polygoner spredt over Oslo (Finsland, 2015). Polygonene er tilgjengelige gjennom PBE sin saksinnsynsportal.

3.2 Verktøy

Til utforsking og analyse av aktsomhetskart for steinsprang er ArcGis Pro 2.1.1 (Esri, 2018) benyttet. Verktøyet er benyttet med tanke på å produsere en modell med «model builder» slik at modellen enkelt kan kjøres på andre områder. Eventuell sluttbruker vil også ha enkel tilgang på essensielle parametere som bestemmelse av terskel-vinkler, filterstørrelse, og åpningsvinkel δ . Programmet er også valgt på bakgrunn av PBE i Oslo sin brede kompetanse, og evne til veiledning, ved bruk av ArcGis.

3.3 Beregningsmetodikk – fra terrengmodell til aktsomhetskart

3.3.1 Bestemmelse av løснеområder og bremseområder

For å holde metoden enkel og oversiktlig er den viktigste parameteren helning (Blais-Stevens og Behnia, 2016; Shirzadi *mfl.*, 2017) valgt til å bestemme løснеområdet. Alle områder med helning større enn 34° er valgt som potensielle områder hvor steinsprang kan begynne. Helningsvinkelen stammer fra en tidligere analyse av Norsk terreng (Derron, Stalsberg og Sletten, 2016) og blir i denne

oppgaven benyttet som en konservativ terskelverdi for steinspranghendelser hvor en terrengmodell er eneste tilgjengelige datagrunnlag.

Terskelverdien er basert på en utført histogramanalyse for Norsk terreng utført av Derron, Stalsberg og Sletten (2016). I analysen grupperes Norges stein-typer inn i fem kategorier, hvor et histogram over helningene for hver stein-type analyseres videre.

For hvert histogram blir det passet inn fire gausskurver hvor summen av dem best mulig gjengir helningshistogrammet. Hver av de fire gausskurvene representerer hver sin helningsgruppe, hvor den bratteste og deler av den nest bratteste blir utpekt som helningsgrader hvor steinsprang kan forekomme. En slik terskelverdi er bestemt for alle fem stein-typene for både bart fjell og ellers, og benyttes sammen med geologiske kart for bestemmelse av terskelverdi for rasområder. Ettersom vår oppgave kun benytter terrengmodeller som datagrunnlag, uten geologisk kartgrunnlag, er den mest konservative rasvinkelen funnet i Derron, Stalsberg og Sletten sine analyser (2016) valgt.

Terskelverdien for når et steinsprang bremses er tidligere bestemt av NGI til å være 23° . (Derron, Stalsberg og Sletten, 2016)

3.3.2 Vasking av DEM

Før analyser kan bli utført må terrengmodellen korrigeres for oppsamlingsbasseng. Disse nedsenkningene i terrenget forekommer sjeldent i naturen og kan sees bort ifra når man undersøker naturlige masseforflytninger. Slike oppsamlingssteder vil også tettes igjen, gitt nok fyllmasse, og dreneringen vil fortsette videre. Den originale terrengmodellen blir fylt igjen med verktøyet «Fill» (Esri, 2015a) i ArcGis Pro, og resulterer i en overflate hvor alle piksler til slutt drenerer ut av terrengmodellen.

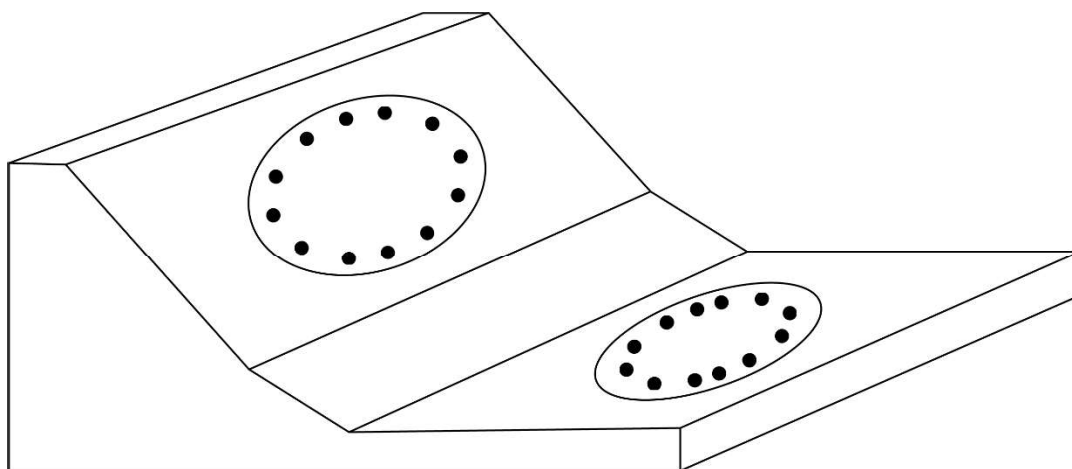
3.3.3 Potensielle løsnepunkt(A) og bremseområder(B)

For å utnytte alfa-beta-modellen er det nødvendig å identifisere og koble sammen hvert steinsprang sitt utløsningspunkt(A) med punktet i skredbanen hvor steinspranget begynner å bremse (B). Både A og B er bestemt som piksler hvor helningen til terrenget henholdsvis er over 34° og under 23° .

En ønsker å beregne utløpsområde for hvert mulig løsnepunkt, men ettersom løsneområdene er store og inneholder mange punkt hvor steinsprang kan utløses, vil en slik prosess ta lang tid. Det er nødvendig å finne de løsnepunktene som gir de mest konservative utfallsområdene, og som i størst grad inkluderer de potensielle utfallsområdene for de ekskluderte løsnepunktene. En slik tilnærming er kun forsvarlig ved konstruksjon av aktsomhetskart, hvor en bare ser på tilstedeværelsen av steinsprang. Hvis en skulle beregnet hyppighet eller sannsynlighet for steinsprang bør alle potensielle raspunkter inkluderes i analysen (Jaboyedoff og Labiouse, 2011). Ettersom vi beregner aktsomhetskart blir løsnepunktene for steinsprang begrenset til punkter som ligger på grenselinjen til de definerte løsneområdene. En slik forenkling er mulig ettersom hvert utfallsområde med løsnepunkt i toppen av et løsneområde dekker utfallsområdene for løsnepunkt lengre ned i løsneområdet.

Forenklingen har potensialet til å korte ned beregningstiden 10-100 ganger (Jaboyedoff og Labiouse, 2011)

Hver piksel i det originale løseområdet blir derfor undersøkt for antall nabopikslers som også er inkludert i løseområdet. En sum på 8 nabopikslers indikerer at pikselen ikke ligger i grenselinjen til løseområdet og blir ekskludert fra videre analyse. Pikslers som har færre nabopikslers blir beholdt og gjort om til punkt med verktøyet «Raster to Point» (Esri, 2015b). Verktøyet konverterer hver piksel til et punkt i sentrum av pikselen, og lagrer høydeverdien som et attributt. Ettersom vi kun er interessert i hvor et steinsprang først når starten på et bremseområde, er det også kun pikslene i grenselinjen til bremseområdene som interesserer oss (Figur 5).

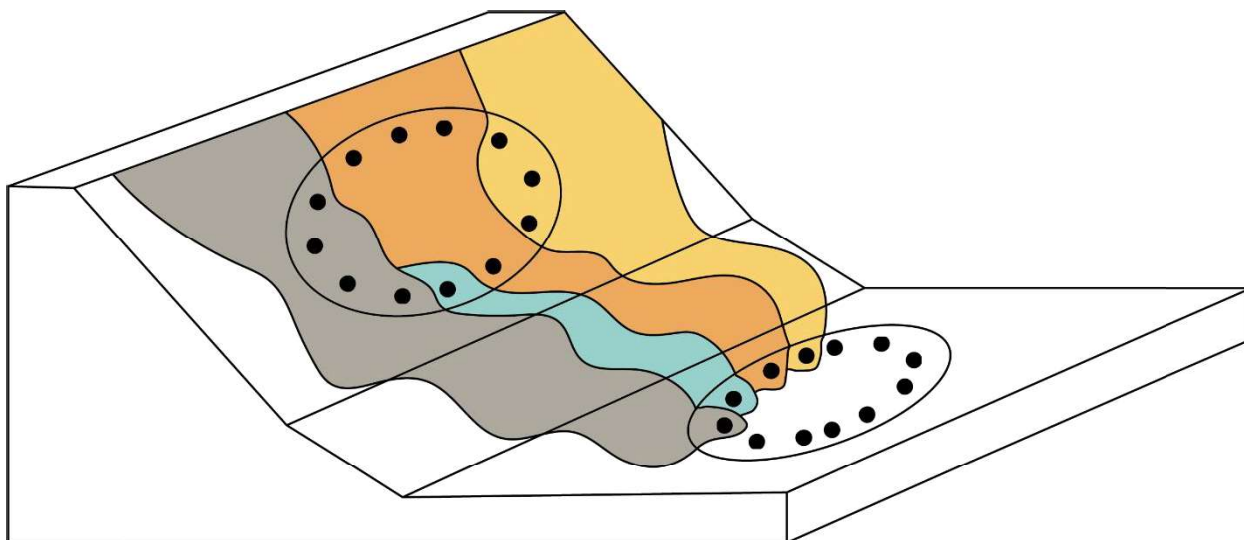


Figur 5 - Ras- og bremseområde identifisert i terreng. Figuren viser en simplifisert skråning hvor kun punktene i ytterkanten av rasområde (oval i skråningsflate) og bremseområde (oval på horisontalflate) er tatt ut for videre analyse.

3.3.4 Koble sammen løse-(A) og bremseområder(B)

I likhet med tidligere videreutviklinger av alfa-beta-modellen, forventer vi også her at steinspranget forplanter seg nedover skredbanen minste motstands vei. For hver piksel bestemmes en dreneringsretning basert på den laveste av de 8 rundt liggende pikslene med «D8 flow path» (Tabell 1). Dreneringsnettverk har den egenskapen at de kobles sammen nedover. Flere små strømmer møtes og blir til større strømmer. De fleste steder i en terrengmodell har derfor et antall tilstrømmende pikslers, hvor en kan følge dreneringsnettverket (Tabell 1) fra hvilken som helst av dem og ende opp i samme sted.

Samme prinsipp kan benyttes for løsepunkter og bremsepunkter, hvor de fleste løsepunkter ender opp i et bremsepunkt ved å følge et dreneringsnettverk. Det er også mulig for et slikt bremsepunkt å ha flere løsepunkt blant sine tilstrømmende pikslers. På bakgrunn av dette ble drensområdet (Tabell 1) til hvert bremsepunkt beregnet. Verktøyet «Watershed» (Esri, 2010c) benyttes med bremsepunktene som «Pour Points». Løsepunktene benyttes videre med «Extract Values to Points» (Esri, 2010a) for å trekke ut informasjon fra «Watershed»-analysen som et attributt, og med det vite hvilket bremsepunkt de tilhører (Figur 6).



Figur 6 - **Drensområder for bremsepunkt** Figuren viser drensområdene for fire bremsepunkter i forskjellige farger. Hvert raspunkt ligger i et drensområde som til slutt drenerer til sitt individuelle bremsepunkt.

3.3.5 Filtrering av raspunkter

For å forkorte prosesseringstiden er videre filtrering av løsnepunkter ønsket. Utgangspunktet før filtreringen er alle løsnepunktene som ligger i grensen til løsneområdet. Under filtreringen av løsnepunktene er vi interessert i å skille ut punkter som bidrar mest til utregnede aktsomhetskart for videre analyse. Interessante raspunkter vil derfor være raspunkter som gir så lite overflødig informasjon som mulig. Utfallspunktene som ligger ved siden av hverandre har mye overlappende aktsomhetsområde, så det høyeste av dem filtreres for videre analyse. Ettersom utfallsområdet til løsnepunktene som ligger i toppen av løsneområdet også vil dekke utfallsområdene for de som ligger nederst i løsneområdet, er det mulig å se bort ifra sistnevnte. De nederste løsnepunktene vil enten være punkter som tilhører svært små drensområder (blått drensområde i Figur 6), eller ligge i et drensområde som også inneholder et eller flere løsnepunkter øverst i løsneområdet (oransje, midtre drensområde i Figur 6).

For å kun inkludere de interessante løsnepunktene for videre analyse er følgende filtre benyttet:

Filter 1: «Små drensområder», mindre enn en valgt størrelse, blir ignorert

Filter 2: Alle raspunkter utenom det høyeste per drensområde, blir ignorert

3.3.6 Beregning av utfallsområde

Basert på rettlinjede formler kan en beregne betavinkel mellom interessante løsnepunkter (A) og deres tilhørende bremsepunkter (B).

$$\Delta h = H_A - H_B, \quad \Delta x = X_A - X_B, \quad \Delta y = Y_A - Y_B$$

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta h}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}} \right)$$

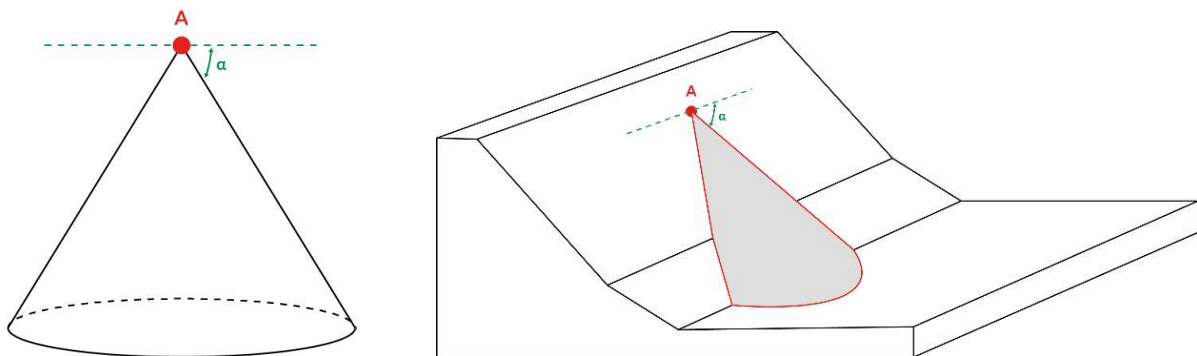
Alfavinkel beregnes på bakgrunn av forholdet:

$$\alpha = 0.77 * \beta + 3.9^\circ \leq 30^\circ$$

Forholdet er foreslått og utprøvd i en tidligere modifikasjon av alfa-beta-modellen for steinsprang (Derron, Stalsberg og Sletten, 2016).

Steinsprang vil i de fleste tilfeller, spesielt i enkle U-formede fjellsider, drenerer relativt kort før de kommer til et bremseområde. Disse skredene produserer de virkelige utfallsområdene vi ønsker å predikere. På den andre siden vil det finnes noen steinsprang som drenerer mye lengre enn andre. Den ekstra tilbakelagte lengden resulterer i veldig lave alfa- og betavinkler og vil klassifisere store arealer som potensielle utfallsområde. For å forhindre feilklassifisering av slike områder påføres det en terskel for alfavinkelen tidligere foreslått (Derron, Stalsberg og Sletten, 2016), hvor alfavinkler mindre enn 30° vil bli korrigert til 30° .

For å realisere alfa-beta-modellen som et 2D kart hvor områder blir markert for aktsomhet, må skyggevinkelen (α) relateres til terrenget i flere dimensjoner enn metodens originale snitt. α kan f.eks uttrykkes i alle horisontale retninger ut fra raspunktet gjennom et kjeglesnitt mellom en rett sirkulær kjegle, og terrenget (Figur 7) (Derron, Stalsberg og Sletten, 2016). Områder som ligger under et, eller flere slike kjeglesnitt vil utgjøre utfallsområdet for alle vurderte raspunkt.

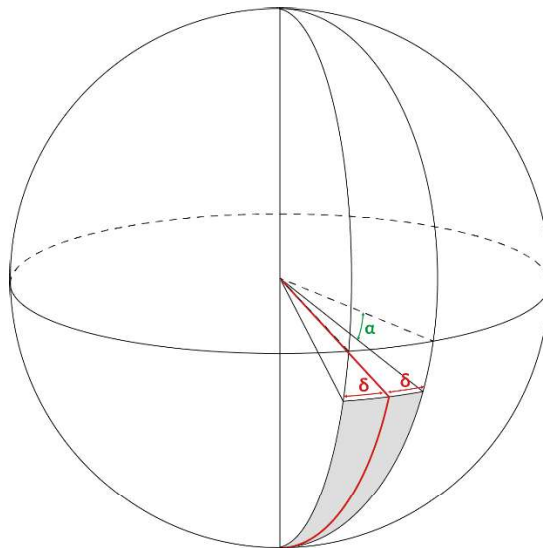


Figur 7 - Kjeglesnitt mellom en rett sirkulær kjegle og et terreng.

For å regne ut hvilke piksler som dekkes av beregnet kjeglesnitt, ble verktøyet «Visibility» (Esri, 2013) benyttet. Verktøyet benyttes originalt til sfærisk siktanalyse hvor piksler i en DEM blir markert som synlige fra en eller flere observatører (punkt). For siktanalysen trekkes en linje mellom

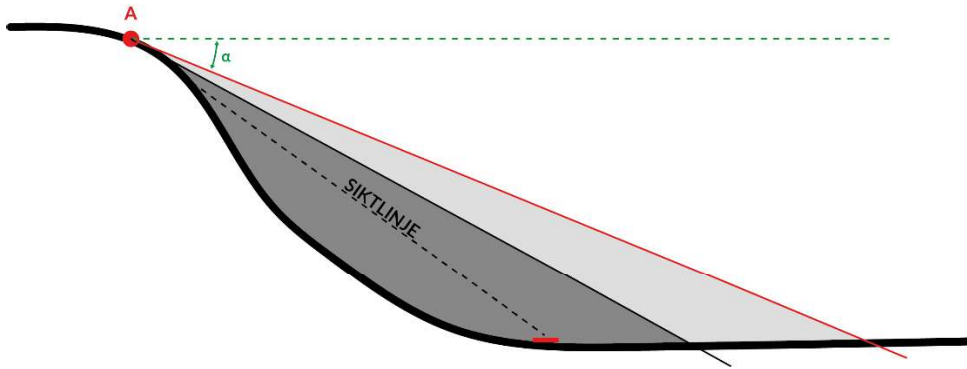
observatøren og hvert pikselsentrum. Hvis linjen ikke brytes av terrenget andre steder på vei til pikselsentrum vurderes pikselen som synlig.

Steinsprang vil langs skredbanen ha muligheten til spredning bort fra den bratteste veien ned skråningen. Forholdet mellom lengden på et steinsprang og spredningen kan uttrykkes igjennom en åpningsvinkel (δ), og er foreslått til maksimalt 15 (Crosta og Agliardi, 2004). «Visibility» støtter begrensning i horisontal og vertikal retning for hvilke piksler som skal testes, og kan benyttes til å begrense utfallsområdet for hvert løsnepunkt. Steinsprangets retning, i det horisontale planet, blir bestemt til å være den rettlinjede siktevinkelen fra A til B ($asimut_{AB}$). Hvor mye et steinsprang avviker fra dreneringsnettverket i retning $asimut_{AB}$ bestemmes ved å sette horisontal begrensning i «Visibility» til $asimut_{AB} \pm \delta$. Alfavinkelen benyttes som vertikal avgrensning, sammen med en konservativ δ på 30° (Derron, Stalsberg og Sletten, 2016). (Figur 8)

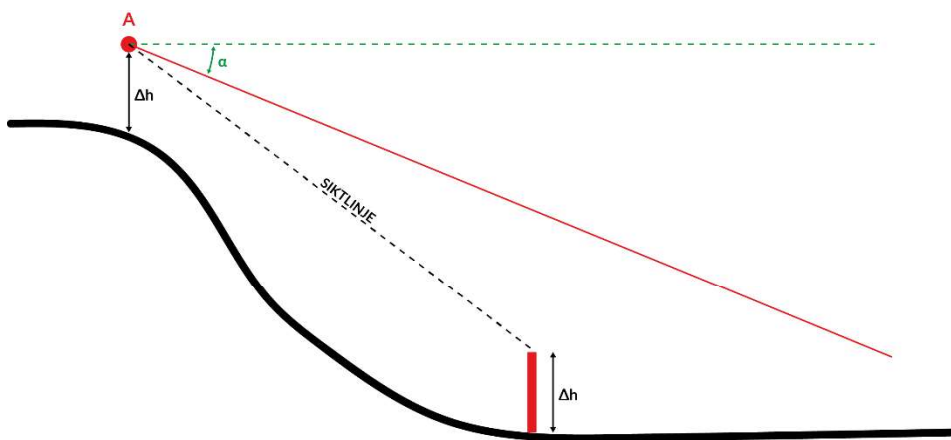


Figur 8 - Avgrensning av «Visibility» sin siktanalyse i horisontal og vertikal retning. Gråskravert område representerer gjenværende område for siktanalyse, og er begrenset av skyggevinkel α og spredningsvinkel δ .

Selv om en slik siktanalyse har potensiale til å markere utfallsområdet til løsnepunkt for steinsprang, byr den på problemer. I en skråning kan løsnepunktet ligge et sted hvor deler av skråningen ikke vil være synlig fra løsnepunktet, selv om de skulle blitt inkludert i aktsomhetskartet (Figur 9). For å sørge for at alle deler av skråningen som ligger under alfa blir markert, er det lagt på en forskyving langs z-aksen. Høyden til både løsnepunktet og pikselen som skal vurderes blir økt med et stort (identisk) tall for å løfte dem opp fra resten av terrenget (Figur 10). Hver piksel vil nå bli markert som utfallsområde hvis det ligger innenfor kjeglesnittet. «Visibility» resulterer dermed i et raster hvor hver piksel med en verdi høyere enn null ligger innenfor et eller flere kjeglesnitt med de satte begrensningene.



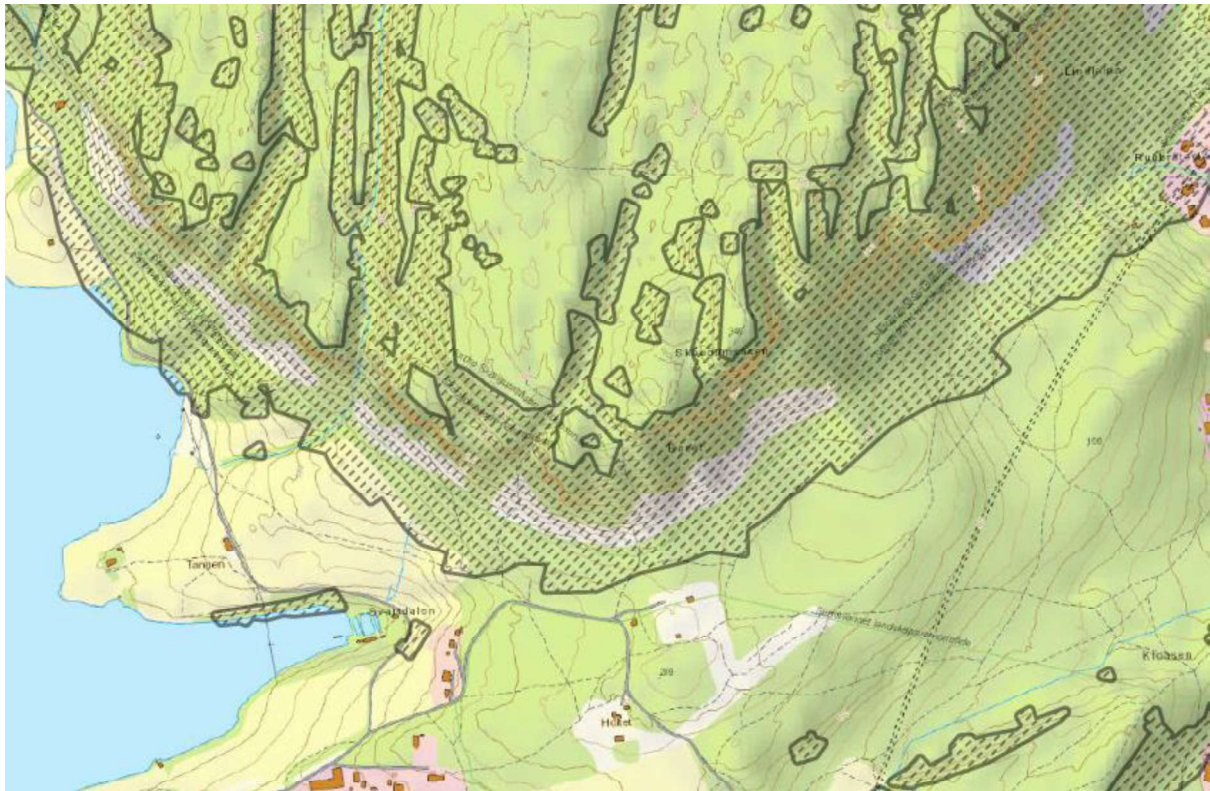
Figur 9 - **Usynlige utfallsområder i siktanalyse.** Grått område ligger under skyggevinkel α og er utfallsområde for steinsprang. Mørkegrått område er ikke synlig fra A. Siktlinjen mellom A og vurderte røde piksel skjærer terrenget like ved A og pikselen blir vurdert som ikke synlig.



Figur 10 - **Synliggjøring av ellers usynlige utfallsområder i siktanalyse.** Raspunkt A og vurderte piksel forskyves fra terrenget med en høyde Δh og blir dermed vurdert uavhengig av terrenget.

3.3.7 Ferdigstilling av aktsomhetskart

For å ferdigstille produksjonen av aktsomhetskartene er det nødvendig å kombinere resultatet fra flere av de tidligere analysene. Utfallsområdene kombineres med løsneområdene, og konverteres til polygon. Som en ekstra sikkerhetsmargin legges det på en 5m buffer rundt de resulterende polygonene, i et forsøk på å redusere forekomsten av uforutsett støy. Det produserte kartlaget regnes som det endelige aktsomhetskartet for steinsprang ved bruk av metoden utviklet i denne oppgaven, og vil være motivet for videre utforskning og diskusjon.



Figur 11 - **Eksempel på egenprodusert aktsomhetskart for steinsprang.** Kartet er produsert på bakgrunn av en terrengmodell med GSD på fem meter over Skaugumsåsen i Asker uten benyttelse av Filter 1. Aktsomhetsområdet vises som stiptet område med sort kantlinje. .(Kartet er proddusert og fremstilt i ArcGIS Pro og bruker deres bakgrunnskart (Esri, 2018))

4 Resultater

Følgende kapittel omhandler fremtredende resultater på bakgrunn av arbeid med oppgaven. Her presenteres oppgavens utregning av aktsomhetsområder mot allerede eksisterende aktsomhetsområder, samt andre utforskede forhold av interesse.

4.1 Sammenligning mellom egenproduserte og eksisterende aktsomhetskart

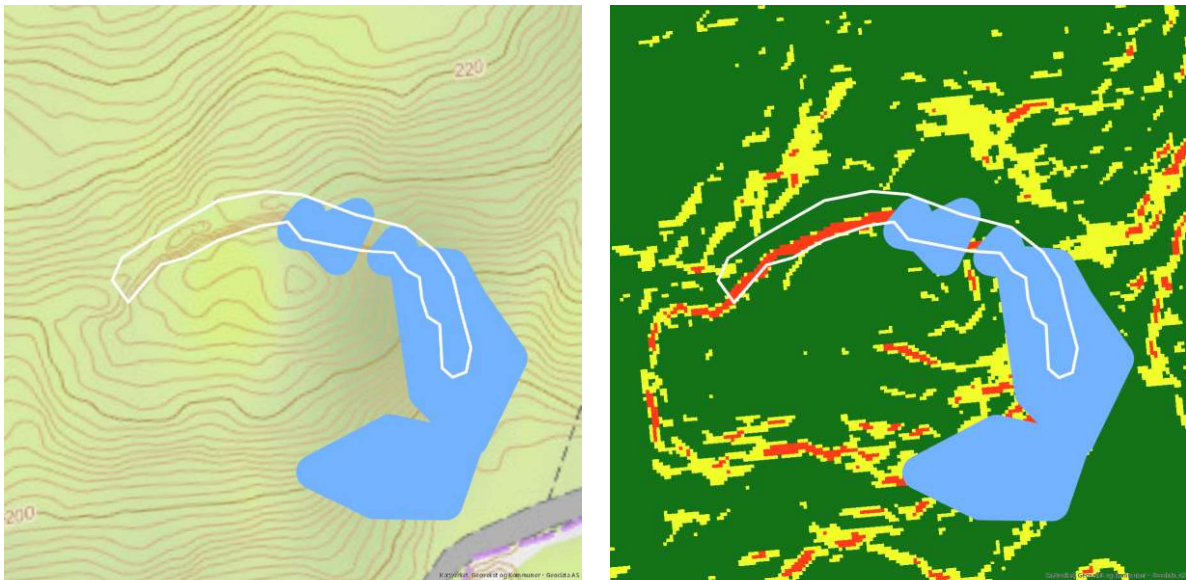
Det er nødvendig med en fasit for å utforske kvaliteten på nye utregnede aktsomhetskart.

Kvalitetssikring av produserte områder kan testes mot allerede eksisterende aktsomhetskart for å utlede kvaliteten på beregningsmetodikken benyttet i oppgaven. Ved tidligere anledning er det utført inspeksjon av noen titalls områder i Oslo av Multiconsult og NGI. Hvert av selskapene har produsert aktsomhetskart i utvalgte områder basert på feltobservasjoner, erfaring, og kjønn, og tilgjengeliggjort disse i form av shape-filer, og medfølgende dokumentasjon (Finsland, 2015). Ettersom disse analysene er utbredt av fagfolk innen skredanalyse er deres resultater å beregne som en fasit på eksisterende aktsomhetsområder for steinsprang i vurderte områder.

Graden utregnede aktsomhetskart omslutter eller dekker fasiten, vil gi et mål på hvor gode egenproduserte kart er. Ettersom fasiten er produsert på bakgrunn av annerledes grunnlag og metode enn aktsomhetskartene i denne oppgaven, består kontrollen av egenproduserte aktsomhetskart i en kvalitativ sammenligning. Under sammenligningen vil det kun være interessant å se om produserte aktsomhetskart overlapper eksisterende. Normalt vil det også være av interesse å undersøke hvordan tilstedeværelse og fravær i fasiten forklarer tilstedeværelse og fravær i selvproduserte kart. Dessverre er det ikke mulig i dette tilfelle ettersom produksjonsmetoden er så forskjellige. Terrenget inntil 100 m bort fra eksisterende aktsomhetsområder ble analysert med egen metode, hvor terrengmodellens oppløsning var fem meter og «små drensområder» valgt til 100 m^2 for Filter 1. Terskelverdien for «små drensområder» er valgt på bakgrunn av utprøving i test-område hvor flest mulig raspunkter blir filtrert uten store tap av aktsomhet. Forsøk på beregning av aktsomhetsområder med høyoppløselig terrengmodell (GSD = 1m) ble også gjort, men ble ikke ferdige ettersom det tok for lang tid. Ved enkel «overlay» analyse ble det beregnet at rundt 80 prosent av arealet til vurderte aktsomhetssoner ble dekket av egenproduserte. Samme område ble også forsøkt beregnet uten bruk av Filter 1, og uten bruk av hverken Filter 1 eller Filter 2, hvilke resulterte i en økning i dekning med 0,3% og 1.2 % respektivt. De nye områdene, produsert uten bruk av Filter 1 og Filter 2, ble observert og avdekket til å bestå av «sliver polygoner» (Tabell 1) eller små felt under størrelsen på en piksel.

Aktsomhetsområdene, produsert av Multiconsult og NGI, som ikke overlapper med aktsomhetsområdene fra egen analyse varierer i karakteristikk, og kan benyttes til å ytterligere beskrive forskjellene mellom de produserte kartene. De fleste områdene som gir store forskjeller i markert aktsomhetsområde viser tegn på manglende raspunkter. Beregnet helningsanalyse for høyere

oppløsning på terrengmodell bekrefter nye raspunkter i 9 av de 14 dårligst dekkede aktsomhetspolygonene i fasiten (Figur 12). Av de resterende 5 polygonene er 3 av dem områder hvor egenproduserte aktsomhetskart ikke rekker like langt ned i skredbanen som fasiten, eller hvor toppen av skråningen er inkludert i fasiten (selv med lavere helning enn 34°). De resterende 2 polygonene er deler av andre, lengre, aktsomhetsområder i fasit, men kan ikke uten videre forklares kun basert på bratthet (Figur 13).



Figur 12 – **Forklart tap av aktsomhetsområde.** Aktsomhetsområde i Oslo hvor forskjell mellom aktsomhetskartene kan forklares av nyoppdagede rasområder i terrengmodeller med GSD på en meter. Venstre figur viser landskapets høydekurver med egenproduserte aktsomhetsområder (blått) (produsert fra terrengmodeller med GSD på fem meter, uten bruk av Filter 1), mot aktsomhetsområder produsert etter synfaring av eksperter innen fagfeltet (hvit kantlinje). Høyre figur viser synlig bratthet mot de to aktsomhetsområdene, hvor grønt er bremseområde, gult er uklassifisert, og rødt er potensielle rasområder. (Kartene er produsert og fremstilt i ArcGIS Pro og bruker deres bakgrunnskart (Esri, 2018))

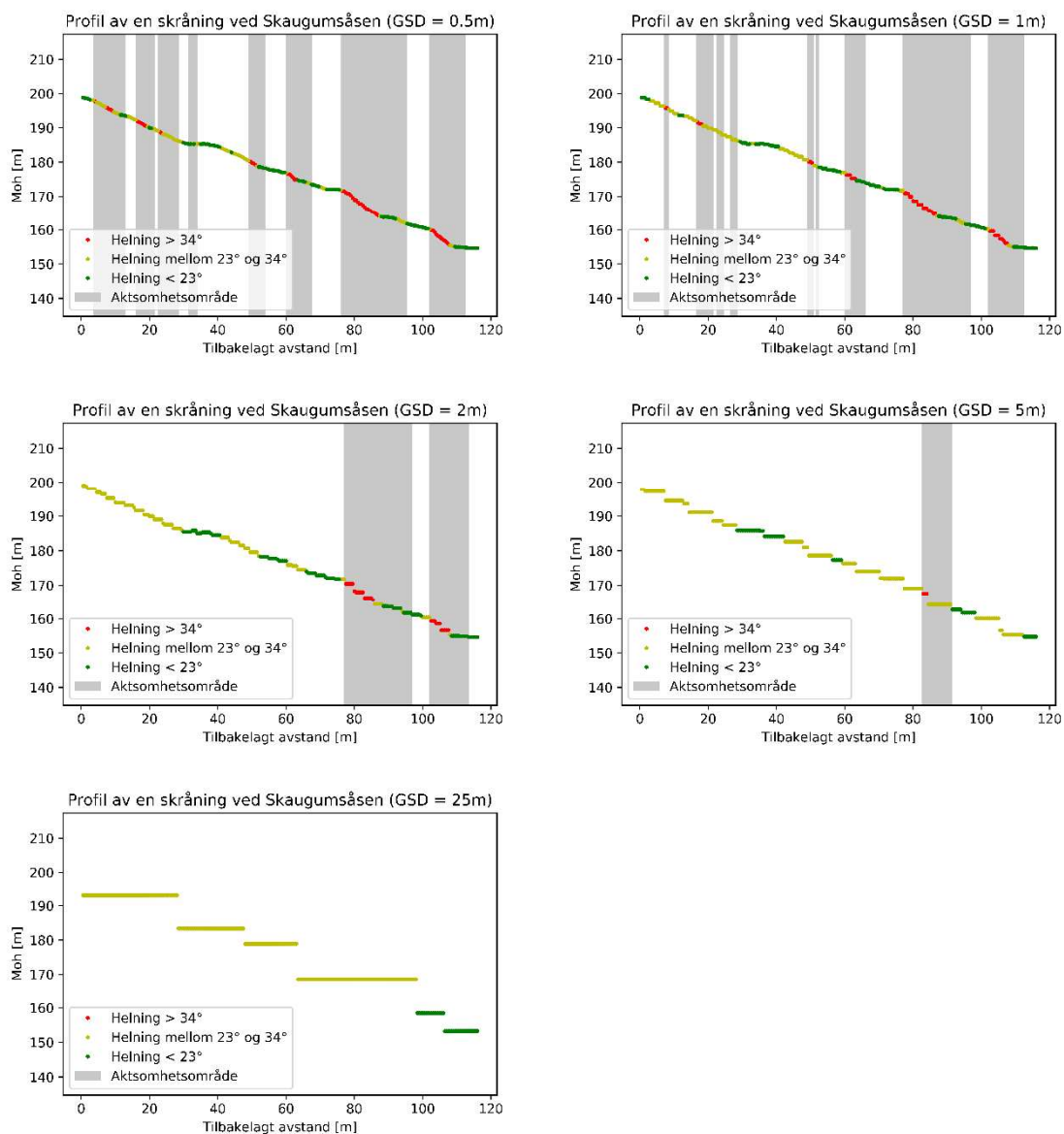


Figur 13 – **Uforklart tap av aktsomhetsområde.** Aktsomhetsområde i Oslo hvor forskjell mellom aktsomhetskartene ikke bare kan forklares av nyoppdagede rasområder i terrengmodeller med GSD på en meter. Venstre figur viser landskapets høydekurver med egenproduserte aktsomhetsområder (blått) (produsert fra terrengmodeller med GSD på fem meter, uten

bruk av Filter 1), mot aktsomhetsområder produsert etter synfaring av eksperter innen fagfeltet (hvit kantlinje). Høyre figur viser synlig bratthet mot de to aktsomhetsområdene, hvor grønt er bremseområde, gult er uklassifisert, og rødt er potensielle rasområder. (Kartene er proddusert og fremstilt i ArcGIS Pro og bruker deres bakgrunnskart (Esri, 2018))

4.2 Innvirkningen terrengmodellens oppløsning har på produsert aktsomhetskart

For å undersøke hvordan terrengmodeller med dårlig oppløsning påvirker utregnede aktsomhetsområder, er forskjellen på oppløsning og deres respektive aktsomhetsområder plottet for en profil av terrenget ved test-området.

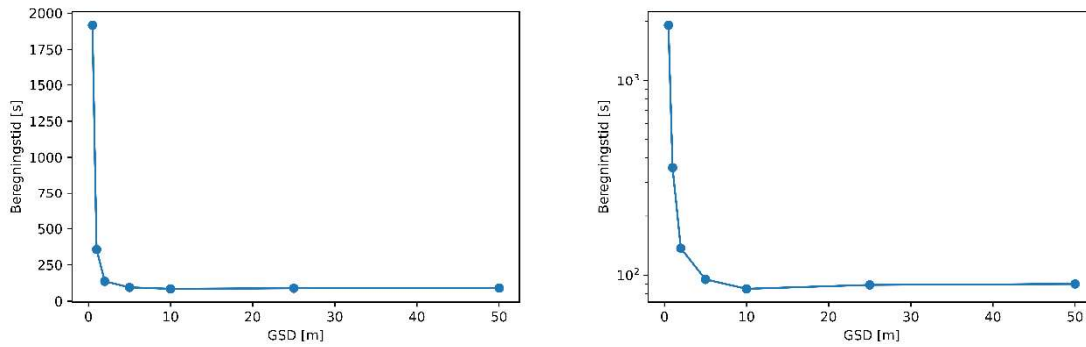


Figur 14 - **Profiler av en skråning ved Skaugumsåsen.** Per figur er høyden (moh) plottet mot tilbakelagt avstand fra det høyeste, inkluderte punktet i profilen. Terrengmodeller med forskjellig GSD (0.5m, 1m, 2m, 5m, og 25m), og resulterende helning og utfallsområder for samme profil. (Profilen valgt for denne fremstillingen representerer ikke hele Skaugumsåsen, men er et utsnitt lagt i samme retning som drenering for terrengmodellen (GSD = 0.5m))

4.3 Tidskompleksitet ved beregning av aktsomhetsområder

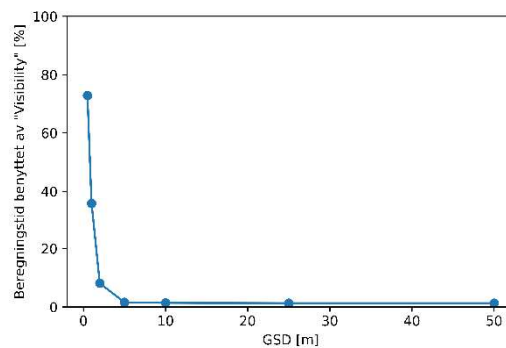
For å utforske metodens tidskompleksitet er det produsert oversikter over tidsbruk ved beregningen av aktsomhetsområder. Aktsomhetskartene er beregnet over samme område ved forskjellige oppløsninger.

4.3.1 Total bruk av tid ved beregning av aktsomhetskart



Figur 15 - **Tidsbruk ved beregning av aktsomhetskart.** Venstre figur viser oppløsning (0.5m, 1m, 2m, 5m, 10m, 25m, og 50m) mot totalt benyttet beregningstid. Høyre figur viser identiske tall, men plottet med logaritmisk y-akse. For produksjon av disse tallene ble aktsomhetskart beregnet for et 211 750 m² stort område, uten bruk av Filter 1.

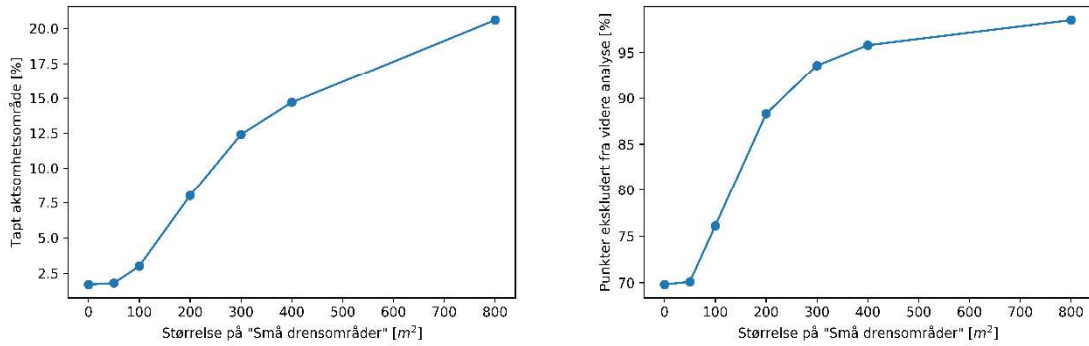
4.3.2 Mengde beregningstid benyttet av «Visibility» i metoden



Figur 16 - **Andel beregningstid benyttet av «Visibility» i metoden.** Benyttet oppløsning (0.5m, 1m, 2m, 5m, 10m, 25m, og 50m) mot andel beregningstid benyttet av «Visibility» i metoden. Området beregnet er det samme som ved beregning av tidskompleksitet

4.4 Effekt ved bruk av «Filter 1» og «Filter 2»

Mengden filtrerte data er sammenlignet med tapt aktsomhetsområde, for å undersøke filterne sin effekt og nytte.



Figur 17 - **Effekter ved bruk av Filter 1 og Filter 2.** Venstre graf viser mengde tapt aktsomhetsareal i prosent mot størrelsen på «små drensområder» ved bruk av Filter 1 og 2. Høyre graf viser tilvarende prosent ignorerte raspunkter som blir ekskludert fra videre analyse.

5 Diskusjon

For å utforske hvor mye mer inklusiv den produserte beregningsmetoden kan produsere aktsomhetskartene er det vesentlig å sammenligne hvilken grad av detalj en behøver for benyttede terrengmodeller, med beregningstid og andre begrensende faktorer. Første del i dette kapitlet vil derfor ta for seg resultatene, og hvordan terrengmodeller med høyere oppløsning vil bidra til større inklusjon av vesentlige aktsomhetsområder. Neste delkapittel vil se på begrensningene ved konstruerte metode, og i hvilken grad de påvirker produserte aktsomhetskart. Til slutt anbefales fokusområder ved videre arbeid med problemstillingen, basert på tidligere diskuterte metodikk og resultater.

5.1 Sammenligning mellom egenproduserte og eksisterende aktsomhetskart

Ved sammenligning mellom egenproduserte og eksisterende aktsomhetskart fremtrer et tydelig forbedringspotensial av egne aktsomhetskart. 20 prosent manglende overlapp vitner til et steg i riktig retning, men også til at egenproduserte aktsomhetskart ikke er konservative nok. Ettersom vi finner nye potensielle raspunkter ved høyere oppløsning i de fleste tilfellene der det mangler aktsomhet vil det være naturlig å forsøke inkludering av disse områdene. Dessverre tok beregningen av aktsomhet for samme område på høyere oppløsning for lang tid, og kun helningsanalyse for deteksjon av nye løsneområder ble beregnet. Siden vi finner tilstedeværelsen av nye løsneområder viser det potensialet for ytterligere inklusjon av nødvendige aktsomhetsområder. I tilfellene hvor egenprodusert aktsomhetskart ikke dekker nok område i toppen eller bunnen av skredområdene, eller hvor mangelen ikke kan forklares men nye helningsanalyser, må det trekkes en konklusjon for videre handling. Enten må forskjellen regnes som feil i egenproduserte aktsomhetskart og de må videreutvikles til å bli mer konservative, eller aksepteres som forskjeller på bakgrunn av kjønnsmessig vurdering under feltarbeid.

5.2 Aktsomhetskart produsert ved terrengmodeller med forskjellig oppløsning

For å sørge for god kvalitet i aktsomhetskartet er det viktig å inkludere skråninger med potensielle løsneområder for steinsprang som ikke er synlige ved lav oppløsning. Ettersom terrenget blir generalisert ved lavere oppløsning, vil det også bli mer kupert når oppløsningen øker, og flere potensielle raspunkter vil bli synlige. Snittet konstruert av høydemodellen for forskjellige oppløsninger (25m, 5m, 2m, 1m og halvmeter) viser tydelige forskjeller i aktsomhet basert på den analyserte terrengmodellens GSD. For hver av modellene ser vi hvordan større oppløsning gjemmer bratte områder, og gjengir et relativt slakt terreng uten aktsomhet. Oppløsninger på rundt 1m avslører flere skred- og aktsomhets-områder, og poengterer gevinsten ved å benytte terrengmodeller med høyere oppløsning under analyse av aktsomhetsområder (Figur 14)

5.3 Inkludering av høyere oppløsning

5.3.1 Tidskompleksitet

Beregning av aktsomhetskart basert på terrengmodeller med høyere oppløsning vil resultere i mer inklusive aktsomhetskart, men det er mer tidkrevende. Som følge av resultatene i dette studiet fremtrer muligheten for deteksjon av tidligere uoppdagede løsneområder for steinsprang ved bruk av terrengmodeller med lavere GSD. Selv benyttelse av terrengmodeller med lav GSD (5m) mangler flere løsneområder vi potensielt ønsker å inkludere i resulterende aktsomhetskart. Den mest lettvinde måten å inkludere nye steinsprang, detektert ved høyere oppløsning, er å benytte samme metode på terrengmodell med lavere GSD uten å endre andre metoderelaterte parametere. En slik tilnærming vil i teorien inkludere de ønskede steinsprangene, men på bekostning av beregningstid.

Kartlegging av metodens tidskompleksitet gir en oversikt over hvordan økt oppløsning på benyttet terrengmodell resulterer i lengre beregningstid, og kan gi innsikt i hvilken oppløsning som bør benyttes. Ved modellering av aktsomhetskart for steinsprang ønsker en å benytte en så korrekt gjengivelse av terrenget som mulig. Denne øker med terrengmodellen sin oppløsning, sammen med mengden data (antall piksler per areal). Ettersom metoden i denne oppgaven er utviklet med tanke på regionalt bruk, og mulige oppnåelige oppløsning er høy, vil datamengden som legges til grunn for analysen ha potensialet til å være relativt stor. En kvantifisering av hvordan metodens tidsbruk skalerer med oppløsning, og derav mengde data, er etablert for å utforske hvilken tidskostnad økt inklusjon vil ha, og i hvilken grad det er mulig å pådra seg kostnaden. Hvis en inkluderer for mye data i analyser, spesielt for romlige operasjoner hvor tidskompleksiteten vanligvis er høy, risikerer man beregningstider på eksempelvis flere år, hvilket vil være større tidsbruk enn akseptabelt.

Plotting av beregningstiden for hele metoden, fra start til slutt, vil gi et vesentlig innblikk i tidskompleksiteten. Ettersom det ikke er mulig å vite hvordan ESRI har implementert sine verktøy i ArcGis Pro er det vanskelig å vite den absolutte tidskompleksiteten til den sammensatte modellen. Det er derfor gjennomført beregninger for tidsbruk under beregning av aktsomhetsområdene for samme område i forskjellige oppløsninger (Figur 15). Den plutselige økningen i beregningstid kan forklares igjennom en økning i antall interessante løsnepunkter, og økningen i antall piksler som må sjekkes i «Visibility» analysen. Dette vises ytterligere igjennom mengden tid benyttet i «Visibility» analysen ved høyere oppløsning (Figur 16). Ved å plote tidsaksen logaritmisk for totalt benyttet tid (Figur 15) ser vi at forholdet mellom valgt oppløsning og tidsbruk er mer enn eksponentielt. Et slikt resultat er ikke overraskende ettersom alle pikslene i terrengmodellen benyttes for analysen, og at antall piksler vil øke eksponentielt med oppløsningen. Resultatet illustrerer derimot en vesentlig lengre tidsbruk ved de høyeste oppløsningene, og at disse oppløsningene (0.5m og 1m) ikke er egnet for beregning av aktsomhetskart ved bruk av konstruert beregningsmetode.

5.3.2 Filtrering

Utskilling av de raspunktene som best beskriver rasområdene holder en vesentlig rolle i å gjøre beregningstiden mindre. En optimal filtrering ville resulterte i raspunkter som gir utfallsområder som ikke overlapper, men som likevel til sammen dekker det samlede utfallsområdet til alle raspunkter før filtrering. Et slikt resultat vil være umulig å oppnå, men er det resultatet vi ønsker å komme så nært som mulig. Ved å benytte så få overflødige raspunkter som mulig i analysen vil en kunne begrense beregningstiden uten tap av aktsomhetsområde.

Filter 1

Bruk av Filter 1 vil bidra til ekskluderingen av overflødige raspunkter, uten store tap av aktsomhetsområder. Formålet med filtreringen av dreansområder er å ekskludere irrelevante raspunkt, som ligger i nedre kant av løснеområdet. I teorien vil områder høyre opp i skråningen tilhøre vesentlig større dreansområder enn områder lengre ned i skråningen. Raspunkter som ligger i forholdsvis små dreansområder (Se blått dreksområde i Figur 6) vurderes derfor til også å ligge i nedre del av rasområde og blir ekskludert fra videre analyse. En slik fremgangsmåte fungerer for det aktuelle test-område hvor en terskelverdi på «små dreansområder» er valgt på bakgrunn av utprøving. Vi ser også minimal nedgang i inkludert aktsomhet under sammenligning av resultater mellom egenproduserte og allerede eksisterende aktsomhetskart der filteret er benyttet.

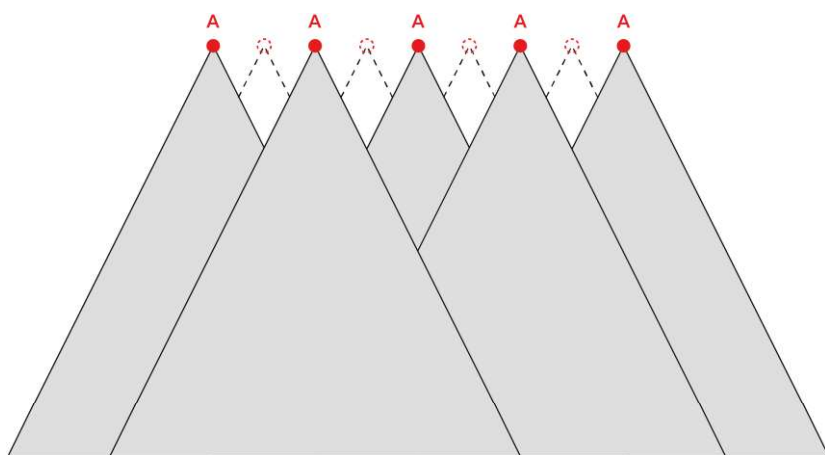
Filter 1 benytter en terskelverdi som er vanskelig å fastsette, men som ved riktig bestemmelse kan føre til redusert beregningstid. Valgt terskelverdi for test-område resulterer i ganske effektiv filtrering uten mye tap av aktsomhet. Dette er ikke nødvendigvis tilfellet for bruk av samme terskelverdi andre steder. Ettersom størrelsen på filtrerte dreansområder er valgt etter størst reduksjon av endelige raspunkter, gitt minst reduksjon av originalt aktsomhetsområdet, vil denne terskelverdien ikke være representativ for alle områder, eller alle oppløsninger. Et dreksområde i en skråning vil, på en terrengmodell med høy oppløsning, være delt opp i flere dreansområder enn på en terrengmodell med lav oppløsning. Ettersom uinteressante dreansområder endrer størrelse basert på terrengmodellens oppløsning er en nødt til å bestemme terskelvinkel for «små dreansområder» basert på benyttet oppløsning, eller finne en annen karakteristikk for fjerning av uinteressante dreansområder. Velges denne terskelverdien riktig vil en kunne filtrere uten tap av interessante raspunkter, og dermed spare beregningstid.

Filter 2

Filter 2 vil kunne redusere begrensningen av overlappende områder ved å plukke ut det mest beskrivende raspunktet i lokale områder, og dermed spare beregningstid. Filtrering av det høyeste løsepunktet per dreksområde er bestemt på bakgrunn av Jaboyedoff og Labiouse (2011) sine antagelser angående overlappende utfallsområder. Ettersom punkter høyere opp i skredbanen har større utfallsområde, vil også det høyeste lokale raspunktet for små områder dekke mesteparten av utfallsområdene til raspunktene i øyeblikkelig nærhet. Resultatene viser minimal reduksjon i

aktsomhetsområde ved bruk av Filter 2 på terrengmodeller med GSD lik 5m. Selv om Filter 2 ikke er testet for variasjon over andre oppløsninger, fremstår filteret som effektivt for å ignorere uinteressante raspunkter.

Ytterligere utforskning av Filter 2 vil gi innsikt i hvorfor resultatene ikke gir større avvik fra ufiltrerte løsninger. Ettersom utfallsområdene vil minne om noe deformerte trekkanter med det ene hjørne i et løsnepunkt, og resten av trekanten pekende nedover skredbanen, vil den største forskjellen oppstå i toppen av steinspranget hvor trekantene ikke overlapper (Figur 18). De områdene som nå ikke blir klassifisert som utfallsområder (stiplet område i Figur 18) har potensialet til å være steder hvor steinsprang kan forekomme, men hvor det resulterende aktsomhetskartet sier det motsatte. I de fleste tilfeller vil dette løses ved at løsneområdene blir inkludert som aktsomhetsområde i tillegg til de beregnede utfallsområdene. Ettersom mesteparten av de ekskluderte utfallsområdene ligger i toppen av løsneområdet, og løsneområdet også regnes som utfallsområde, vil mesteparten av områdene vi ekskluderte gjennom denne filtreringen inkluderes igjen. En slik re inkludering vil bidra til lavt tap av aktsomhetsområde ved filtrering av raspunkter med Filter 2, slik indikert ved sammenligning av resultater mellom egenproduserte og allerede eksisterende aktsomhetskart der filteret er benyttet.



Figur 18 - **Ignorert aktsomhet ved bruk av Filter 2.** Filtrede løsnepunkter for videre analyse (A) gir overlappende utfallsområder. Ignorerte løsnepunkter og deres utløpsområder (stiplet) blir ikke inkludert i videre analyse.

Filter 1 og 2

Både Filter 1 og 2 vil føre til færre vurderte raspunkter, men har fortsatt potensiale til å fjerne interessante aktsomhetsområder. Denne filtreringen vil kun være aktuell dersom en kun filtrerer punkter av liten relevans. For å utforske filtreringens potensial ble følsomheten ved valgt størrelse på dremsområdene i Filter 1, i tillegg til bruken av Filter 2, utforsket for Skaugumsåsen. For en terrengmodell (GSD = 5m) ble forskjellige størrelser for «små dremsområder» valgt, og vist mot redusert aktsomhetsområde, og mengde ignorerte løsnepunkter (Figur 17). Effekten av Filter 2 blir synlig der «små dremsområder» er valgt til å være 0, og fremtrer som et meget effektivt filter hvor å filtrere bort 70% av raspunktene kun resulterer i 1.7% reduksjon av aktsomhetsområde for

Skaugumsåsen. Filter 1 viser seg som brukbart inntil $100 m^2$ som valg av «små drensområder». Ved valg av større drensområder ser vi rask økning i tapt aktsomhetsområde, og det vil være økt mulighet for at interessante raspunkter blir ekskludert.

5.3 Kritikk av metode og valgte parametere

5.3.1 Passing av gausskurver i et høyoppløselig DEM sitt helningshistogram for bestemmelse av løснеområder

Tidligere valgte terskelverdi for bestemmelse av rasområde bør bestemmes på nytt før konstruksjon av nye aktsomhetskart. Beregnet terskelverdi er funnet på bakgrunn av terrengmodellen en ønsker å analysere og er avhengig av dens oppløsning og hvilket terreng den representerer. Terskelverdien bør derfor regnes på nytt hvis den skal brukes for andre terreng eller oppløsninger. Både på oppfordring av fagperson og basert på tidligere litteratur (Derron, Stalsberg og Sletten, 2016) blir det foreslått å bestemme terskelverdien for rasområdet til steinsprang basert på Loye, Jaboyedoff og Pedrazzini sin metode (2009). En slik analyse er gjort over Norge for terrengmodeller med GSD på 25m (Derron, Stalsberg og Sletten, 2016) hvor metoden foreslått av Loye, Jaboyedoff og Pedrazzini (2009) er benyttet. Ettersom denne oppgaven utforsker terrengmodeller for samme område som Derron, Stalsberg og Sletten (2016) men høyere oppløsninger bør terskelverdier revalueres for bedre bestemmelse av potensielle rasområder for steinsprang ved de valgte oppløsningene.

Bestemmelse av terskelverdi med Loye, Jaboyedoff og Pedrazzini sin metode (2009) virker lovende, men vil kreve at flere avgjørelser blir tatt. Metoden utforsker helningsvinkler beregnet fra flere DEM i forskjellige oppløsninger (1m -25m pikselstørrelse med fem meter mellom hver oppløsning). Per oppløsning blir helningshistogrammet analysert for å bestemme terskelverdien for utløsning av steinsprang. For hvert histogram blir det summert et antall gausskurver, med forskjellig bestemt høyde, plassering og bredde, som best mulig utgjør histogrammet. Gausskurvene blir også bestemt som en av fire bratthetsklasser, «slette», «slak bakke», «bratt bakke», eller «klippe». Terskelverdien vil ligge enten der gausskurven for «bratt bakke» overtas av «klippe», eller der toppen av «bratt bakke» ligger hvis en ønsker et alternativ for lavere terskelverdi. Metoden lykkes i å identifisere rasområder for steinsprang for alle seks oppløsningene, og påpeker at flere små steinsprang vises ved høy oppløsning grunnet mindre generalisering. Det blir også påpekt at det ved flatere områder, må benyttes helnings-histogrammet til minst 30 snitt av aktuelle skråninger, istedenfor helnings-histogrammet til hele område, for riktig estimering av terskelverdi. Metoden virker lovende for utprøvd oppløsning på 1m, men krever bestemmelse av hvor mange gausskurver som skal summeres, hvilken bratthetsklasse de tilhører, og om alternativ metode for flate områder skal benyttes.

Loye, Jaboyedoff og Pedrazzini sin metode (2009) bør benyttes, men er til fordel erstattet av et enklere konservativt alternativ ettersom metoden er for avhengig av faglig kompetanse. Valgene presentert i forrige avsnitt vil påvirke resulterende terskelverdi på uforutsette måter, og krever mer presis bestemmelse enn vi har kompetanse for å gjennomføre i denne oppgaven. For å unngå valgene presentert i forrige avsnitt er valget av terskelverdi på 34° for klassifisering av løснеområder for steinsprang basert på en allerede utregnet terskelverdi (Derron, Stalsberg og Sletten, 2016). Ettersom bestemmelsen av terskelverdien gjelder for hele Norge og dets geologiske oppbygning, og deler

oppgavens geologiske fokusområde, har vi valgt å bruke den mest konservative av de beregnede verdiene oppgitt i rapporten som egen terskelverdi. Det er viktig å merke seg forskjellen i oppløsning, da vi forsøker beregning av aktsomhetskart på en DEM med oppløsning rundt en meter. Som vist av Loye, Jaboyedoff og Pedrazzini (2009) vil terskelverdien for løseområde øke med oppløsningen, og valget av 34° som terskelverdi kan fortsatt vurderes som konservativ. På den andre siden kan valgte terskelverdi være for konservativ, og det anbefales ved videre bruk å beregne egen terskelverdi basert på DEM for aktuelt område og oppløsning.

5.3.2 Valg av terrengmodellens GSD

Valget av terrengmodellens oppløsning vil føre til ekskludering av raspunkter, synlige i terrengmodeller med høyere oppløsning. Ettersom hver valgt oppløsning vil generalisere det virkelige terrenget til en viss grad vil det eksistere ett forhold hvor flatt terreng rundt et potensielt rasområde vil være så dominerende at rasområdet forsvinner i sammenligning. For eksempel vil en raspiksel omringet av bare bremsepikslar også fremtre som bremseområde ved lavere oppløsning. Vi ser også dette ved utforsking av oppløsninger og deres avledede helning og aktsomhetsområder i resultatkapittelet hvor, for eksempel, rasområde (rødt) blir til bremseområde (Grønt) fra terrengmodeller med oppløsning på 1m til 25m. Raspunkter for steinsprang av en viss størrelse vil dermed gå tapt ved valg av terrengmodellens oppløsning.

Eksklusjon av små potensielle steinsprang vil føre til at mindre data må analyseres, mindre støy, og mindre beregningstid, men muliggjør også ekskludering av interessante skred. Som beskrevet tidligere kan ekskludering filtrere bort uinteressante raspunkter og forbedre beregningstiden. Ikke bare raspunkter som gir overflødige aktsomhetssoner, men også støy. Ved høyere oppløsning av terrengmodellen synliggjøres bratt terreng vi ikke ønsker å ta med i beregningen av aktsomhetskartet. Dette kan eksempelvis være fortauskanter, tette busker, benker, små murvegger eller andre objekter som ved lav oppløsning blir glattet ut. Ettersom det ikke vil gå steinsprang fra fortauskanter, søppelkasser og andre lignende gjenstander vil utfallsområdene beregnet overrepresentere skredområder. På den andre siden kan fjerning av små potensielle steinsprang føre til ekskluderingen av steinsprang vi er interessert i. Flere steder i Norge eksisterer det boliger og andre menneskeskapte verdier i nær beliggenhet til vertikale skråninger. Disse skråningene vil fremtre som korte steinsprangområder som fortsatt er av interesse, og ikke bør filtreres ut fra produsert aktsomhetskart.

Hvor små steinsprang må være for å regnes som ubetydelige er ikke entydig, og bør fastsettes av eksperter innen fagfeltet. Små steinsprang kan både fremtre som interessante og uinteressante av forskjellige årsaker, og kan fremtre med svært lignende karakteristikk i terrengmodellen. Bestemmelse av hvor store de minste interessante steinsprangene er, eller størrelsen på støy i analyserte terrengmodeller er ikke fokuset for denne oppgaven, men bør fastsettes ved valg av hvor korte steinsprang en er villig til å ignorere. Vurderingen bør ha rot i virkeligheten og komme fra det geologiske fagfeltet på bakgrunn av deres ekspertise innen bedømmelse av steinsprangområder og

deres omfang. Etter en slik vurdering kan størrelsen videreføres til effektiv størrelse i terrengmodellen for så å danne en terskel for hvor små steinsprang vi kan ignorere i modellen. Valget av hvor korte steinsprang man er villig til å ignorere må derfor bestemmes på bakgrunn av hvordan støy og viktige små steinsprang fremtrer i terrengmodellen.

5.3.3 Valg av filtre

Valg av terskelverdi for Filter 1 vil gjøre filteret unødvendig, og bør ikke bestemmes på bakgrunn av prosent potensielt tapt aktsomhet. Av resultatene er det tatt en beslutning å benytte 100 m^2 som terskelverdi for Filter 1 ettersom valgt verdi ser ut til å filtrere uinteressante punkter uten store tap i aktsomhetsområde. For terrengmodeller med andre oppløsninger, eller annerledes karakteristikker vil ikke benyttelse av samme terskelverdi nødvendigvis gi samme resultat. Valg av terskelverdi for andre områder må derfor revurderes ved å sammenligne tapt aktsomhetsområde mot ignorerte potensielle raspunkter. Ettersom man må produsere aktsomhetskartene for å gjennomføre en slik vurdering vil bestemmelsen av terskelverdien være nytteløs.

Valg av størrelsen på Filter 1 bør ikke være avhengig av terrengmodellen en benytter til aktsomhetsanalysen, men bestemmes basert på hvilke steinsprang vi er villige til å ignorere. Filter 1 tar i betraktning størrelsen på hvert drensområde for ekskludering av raspunkt i videre analyse. Filtrering av små drensområder vil være akseptabelt om vi setter en terskelverdi hvor vi med sikkerhet ikke ekskluderer interessante raspunkter. For å bestemme denne terskelverdien er det viktig å forklare størrelsen til steinsprang med størrelsen på drensområdet. Den enkleste relasjonen mellom disse størrelsene er følgende:

$$\Delta r = \sqrt{2 * (\text{oppløsning på DEM})^2 * (n - 1)}$$

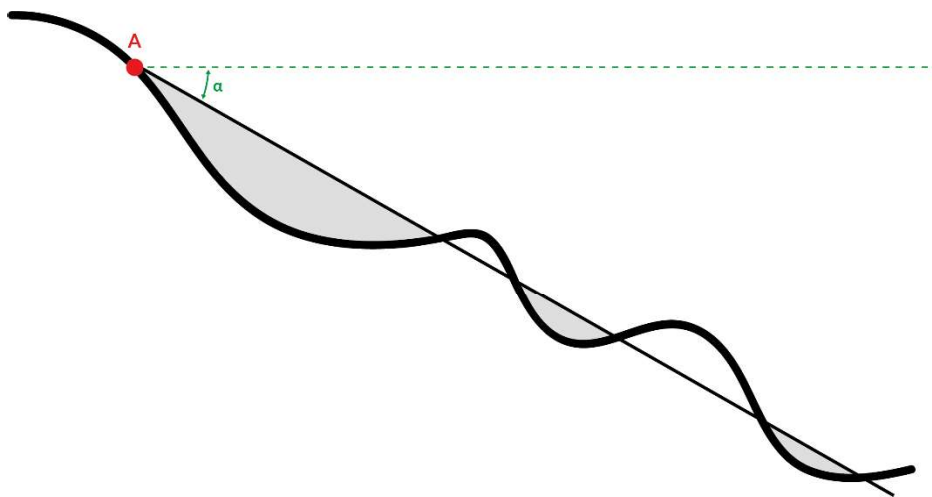
Hvor størrelsen på drensområdet (bestående av opptil n piksler) vil i de mest ekstreme tilfellene føre til en horisontal avstand mellom A og B lik Δr . Forholdet er derimot ikke benyttet i denne oppgaven ettersom den er avhengig av maksimum størrelse på ignorerte steinsprang, og dets bestemmelse av folk innen fagfeltet. Oppgavens valg av terskelverdi bør av denne grunn benyttes med varsomhet ved bruk i lignende analyser, ettersom den er avhengig av terrengmodell benyttet i analyse av test-område.

Filter 2 fremstår som et effektivt filter, men kan i verste fall føre til eksklusjon av aktsomhetsområder. Ved sammenligning mellom egenproduserte og allerede eksisterende aktsomhetskart, og test av Filter 2 i resultatkapittelet, gir Filter 2 relativt gode resultater. På den andre siden er test-området og flere steinsprangområder tidligere vurdert for aktsomhet konvekse og vil tendens mot spredning av drensområdene. Drensområdene per bremsepunkt vil fremstå som lange og smale, og vil inneholde relativt få raspunkter for terrengmodellen. Dersom det motsatte skulle hende, og en ender opp med store drensområder per bremsepunkt, vil ekskludering av alle utenom det høyeste raspunktet per drensområde resultere i ekskluderingen av for mange raspunkt. Tapt utfallsområdet vil ikke lengre bli

gjeninkludert i like stor grad ved å legge til løseområdet som aktsomhetsområde, og ønsket aktsomhet vil bli ekskludert.

5.3.4 Valg av kjeglesnitt og «Visibility» for markering av utfallsområder for steinsprang

Kjeglesnittet benyttet for propagering av aktsomhetsområde vil i noen situasjoner inkludere større aktsomhetsområde enn bestemt av alfa-beta-modellen og føre til for konservative aktsomhetskart. Som et resultat av kjeglesnittet tidligere utført (Figur 7) oppstår det en overestimering av aktsomhetsområder. Under steinsprangets fall ned skråningen tilsier alfa-beta-modellen at steinsprang stopper når første piksel utenfor skyggevinkelen alfa nås. I oppgavens realisering av modellen vil piksler lengre ned i skredbanen også vurderes som utfallsområder dersom de ligger under kjeglesnittet (Figur 19). Kartene vil fortsatt opprettholde integriteten som konservativ, men vil være mer konservativ enn det behøver.



Figur 19 - Profil av kjeglesnitt

Realiseringen av kjeglesnittet gjennom bruken av «Visibility» gjør utregning av aktsomhetsområder mer beregningskrevende enn nødvendig, men er lett tilgjengelig i ArcGis Pro. Verktøyet «Visibility» i ArcGis Pro er et verktøy som vanligvis benyttes for testing av siktlinjer. Ettersom implementeringen av verktøyet er ukjent vet vi ikke hvor beregningstung denne prosessen faktisk er. Den står derimot for stor bruk av tid under beregning av aktsomhetskartene og er interessant å undersøke. Ettersom det eksisterer en horisontal og vertikal begrensning av det ellers sfæriske verktøyet, er det nødt til å eksistere en test om den aktuelle siktlinjen ligger innenfor begrensingsområdet som er satt i verktøyet. «Visibility» må derfor teste for vinkler, i tillegg til å teste om siktlinjen brytes av terrenget. Ettersom vi har lagt på en veldig stor forskyvning i z-retning, for både observator og testede piksler, er testen mellom siktlinjen og terrenget ubetydelig for oss, og overflødig bruk av beregningstid. «Visibility» er benyttet ettersom det allerede eksisterer i ArcGis Pro, og er lett å bruke. På den andre siden ville f.eks. et Python script som bare utførte testen av

den sfæriske begrensningen lettet beregningstiden, og være foretrukket fremfor den benyttede metoden for realisering av kjeglesnittet.

5.4 Videre arbeid

5.4.1 Bestemmelse av terskelverdi for steinsprangs rasområde

Fastsettelse av antall gausskurver og hvilke helningsgrupper de tilhører, under bestemmelse av terskelverdi for rasområde, bør bestemmes av personer fra det geologiske fagfelt. Et aspekt som virker generelt akseptert under bestemmelsen av terskelverdien er at det eksisterer flere tydelige helningsgrupper i terrenget hvor en gruppe, eller en kombinasjon av flere grupper, utgjør potensielle rasområder for steinsprang. Antall gausskurver en skal passe til aktuelt histogram viser seg å være hverken konstant eller entydig, og fremtrer som allerede valgt av personer innen fagfeltet

Som student utenfor det geologiske fagfelt vil jeg være inkompetent til å ta en avgjørelse på antall gausskurver som skal passes til histogrammet, og hvilke helningsgrupper disse gausskurvene tilhører. Ved videre arbeid med problemstillingen anbefales det derfor at det utføres en lignende histogramanalyse for Norsk terreng med høyere oppløsning enn tidligere utførte analyse av Derron, Stalsberg og Sletten (2016).

5.4.2 Kombinering av oppløsninger

Nærmere utforskning av områder med helning mellom rasvinkel og bremsevinkel avslører nye rasområder, men ikke alle. Hvis man kun ser på områder som ikke blir klassifisert som hverken løsn- eller bremse-område kan man ofte finne nye rasområder ved høyere oppløsning. Eksempelvis kan en se på helningsvinklene vist i resultatkapittelet og sammenligne resultatene med oppløsning 5m mot oppløsning 1m. Hvis en undersøker områder med vinkel mellom 23° og 34° i snittet med lav oppløsning ser en nye raspunkter ved høyere oppløsning. Inkludering av disse kan gjøres ved å gjøre en ekstra prosessering av terrengmodellen med høyere oppløsning, der terrenget ikke blir klassifisert som løsn- eller bremse-område. På den andre siden vil ikke alle nye raspunkter som avsløres ved høyere oppløsning bli inkludert ved bruk av denne metoden. Som nevnt tidligere vil skredområder under en viss størrelse kunne bli generalisert som bremseområde på lav oppløsning, og dermed ikke bli utforsket videre med denne metodikken. En slik iterativ metode for å inkludere ellers uidentifiserte rasområder er ikke utprøvd, men fremstår som interessant for videre arbeid med problemstillingen.

5.4.3 Sparing av tid ved begrensning eller endring av «Visibility»

Mesteparten av beregningstiden blir benyttet i «Visibility» analysen, og forsøk på å begrense dataen analysen benytter vil kunne minke beregningstiden. Beregning av utfallsområder for steinsprang er utført med omtanke rundt tidskompleksitet, og er forsøkt konstruert med beregningskomponenter som selv har lav tidskompleksitet. Av samme årsak er bruken av (romlige) operasjoner, hvor det romlige forholdet mellom data må testes, forsøkt unngått. Under utregningen av utfallsområder er omtrent alle operasjonene kun avhengig av nabopikslar eller enkel bearbeiding av resultatet av slike operasjoner (som beregning av dremsområder). Unntaket er «Visibility»-analysen hvor det konstrueres siktlinjer

per potensielle raspunkt som testes mot hver piksel i terrengmodellen. I utførelsen av denne operasjonen vil tidsbruken øke mer enn lineært sammenlignet med antall piksler i terrengmodellen, og det er også her mesteparten av tiden benyttes for beregning av utfallsområder for terrengmodeller med lav GSD. Hvis en får ned tidsbruken i denne dele av metoden, vil også tidsbruken for hele beregningen av aktsomhetskart for steinsprang minke betraktelig.

Begrensning av antall testede piksler i «Visibility» analysen vil kunne senke beregningstiden, men gjøre aktsomhetskartene mindre konservative enn ønsket. I siktanalysen «Visibility» eksisterer muligheten for å begrense testede piksler ut til en gitt avstand fra raspunktet. Enten med en gitt radius i horisontalplanet, eller sfærisk radius. Ved å velge en begrensning i radius vil kun nærliggende piksler testes per raspunkt, istedenfor hele terrengmodellen som analyseres. Tidskompleksiteten vil fortsatt være den samme som før men benyttet tid vil være mindre ettersom færre piksler testes. Valget av radius vil være avhengig av et predikat for steinsprangets maksimale lengde, for ikke å ikke gjøre utfallsområdene for korte.

Inkludering av radius som begrensning i «Visibility» kan, ved riktig valg av terskelverdi, senke beregningstiden. Valget av radius bør forklares av steinsprangets antatte størrelse, og bestemmes av folk innen fagfeltet. En slik terskelverdi vil ikke bare hjelpe på beregningstid, men også begrense effekten av kjeglesnittproblematikken beskrevet tidligere. Begrensningen krever derimot først fastsettelsen av forholdet mellom en størrelse utledet før «Visibility» analysen, for eksempel høydeforskjell eller horisontal avstand mellom løsnepunkt(A) og bremsepunkt(B), og maksimal lengde på steinspranget. Forholdet kan være av interesse for besparing av beregningstid og forhindringen av over konservative kart, og anbefales utforsket og forsøkt benyttet ved videre arbeid med problemstillingen.

Enklere metoder for beregning av utfallsområdet kan føre til vesentlig kortere beregningstid, men har mulighet til å være mindre konservative. På bakgrunn av «Visibility»-analysens store tidsbruk kan det være aktuelt å finne en annen metodikk for å markere utløpsområder per vurderte raspunkt. Likheten mellom et kjeglesnitt og en likebent trekant er ganske stor, samtidig som konstruksjon av en likebent trekant i retning $asimut_{AB}$ vil ta vesentlig kortere tid enn testing av siktlinjer. For et kjeglesnitt vises gjerne maksrekkevidden på steinspranget å samsvare med dreneringsretningen. Maks lengde på utfallsområde kan muligens bestemmes basert på piksler kun langs bratteste vei ned skråningen, for så å benyttes som høyde for opptegning av en trekant. Den opptegnede trekanten vil ha toppunkt i raspunktet, grunnlinje tegnet opp lengre ned i skråningen ortogonalt på $asimut_{AB}$, og samme åpningsvinkel som i «Visibility»-analysen. Plane og konkave skråninger resulterer som regel i avrundede utløpsområder (Figur 7), og opptegningen av en trekant vil overestimere aktsomhetsområder på begge hjørnene ved grunnlinjen. På den andre siden vil det motsatte kunne skje dersom skråningen er konveks og kjeglesnittet viser lengre utløpsområder utenfor

dreneringsretningen. Trekanten vil i dette tilfelle markere for lite aktsomhet og Ikke være aktuell for markering av utfallsområder for steinsprang. Hvor vidt sistnevnte tilfelle inntreffer i vesentlig grad er ikke utforsket i oppgaven, men kan være interessant for videre arbeid.

5.4.4 Resampling av høyoppløselige data

Reduksjon av mengden data «Visibility»-verktøyet benytter, eller beregning av utfallsområder med andre metoder, vil kunne bidra til redusert total beregningstid for utfallsområder med lav GSD. En mulig metode for å redusere raspunkter og piksler, før «Visibility» benyttes, er å generalisere dataene. Ved å konstruere et rutenett med GSD flere ganger større enn analysert terrengmodell, kan en generalisere «Visibility» analysen til valg oppløsning. Raspunktene vil bli generalisert ved å velge det verste raspunktet som representativt, og høydemodellen blir resamplet til den valgte oppløsningen. Ettersom hver piksel i terrengmodellen generaliserer det underliggende terrenget vil terrenget enkelte steder på hver piksel fremstå som høyere enn terrenget egentlig er. Siktlinjene i «Visibility» vil derfor kunne brytes tidligere i skredbanen, hvilket resulterer i kortere utløpsområder for steinsprang. Selv om muligheten eksisterer er ikke fenomenet testet i praksis, og kan oppføre seg annerledes. Generalisering av data fremtrer derfor som en mulig forbedring av eksisterende metode, der videre arbeid kan vurderes.

Forbehold

Aktsomhetskart produsert på bakgrunn av denne oppgaven er kun ment som tidlige undersøkelser av geologiske forhold. De erstatter på ingen måte grundigere geologiske undersøkelser, og bør hverken legges som grunnlag for byggesaker eller ellers overtolkes i beslutningssituasjoner.

Aktsomhetskartene erstatter på ingen måte fare- eller risiko-kart, og slike bør fortsatt konstrueres der det er nødvendig.

6 Konklusjon

I løpet av denne oppgaven er det produsert en beregningsmetode for produksjon av mer inklusive regionale aktsomhetskart for steinsprang. Produsert metode virker lovende for å inkludere aktsomhetsområdene funnet i terrengmodeller med høyere oppløsning, men trenger videre arbeid for ytterligere inklusjon. Metoden tar utgangspunkt i en terrengmodell over område og beregner aktsomhetsområder på akseptable tider for terrengmodeller med oppløsning opp til rundt 5m. Ved produksjon av aktsomhetskart med terrengmodeller med høyere oppløsning enn fem meter konkluderes det med at tidsbruken vil være for høy for praktiske formål.

Benyttelse av filtrene i konstruerte metode kan resultere i ekskludering av aktsomhetsområder, men gir så langt gode resultater. Det er gjort et forsøk på å lette beregning av utfallsområder ved å filtrere bort potensielle raspunkt hvor utfallsområdet allerede er beregnet, for å spare tid under konstruksjonen av de regionale aktsomhetskartene. Filtrenes formål er å filtrer bort potensielle raspunkt som ligger på nedsiden av løsneområdet, og helt inntil andre potensielle raspunkt for å minimere beregningen av overlappende utfallsområder. Filtrene reduserer analyserte raspunkter med rundt 70% mot få prosent tapt aktsomhet i kart produsert for test-område fra en terrengmodell med GSD på fem meter. Selv om filtrene kan være effektive har de likevel potensialet til å fjerne større aktsomhetsområder, og små steinsprang vi egentlig er interessert i å inkludere. Filtrene bør derfor testes ytterligere for å finne ut om de kan benyttes for alle områder, og ikke bare terrenget testet i denne oppgaven.

I hvilken grad støy påvirker det produserte aktsomhetskartet er ikke en del av fokusområdet for denne oppgaven, men er likevel essensiell ved videre arbeid. Både valg av terskelverdi for Filter 1 og benyttede oppløsninger vil bidra til reduksjon av støy, men bør bestemmes etter hvor små steinsprang en er villig til å ignorere. Ved å bestemme denne terskelen vil en kunne sette en mer definitiv terskelverdi for Filter 1, og bestemme en maksimal oppløsning en ønsker å analysere for rasområder. Ved videre undersøkelse av hvordan støy og små interessante steinsprang uttrykker seg i terrengmodellen, vil en kunne bestemme om det er mulig å skille dem fra hverandre og potensielt kun filtrere ut støy. Ved produksjon av aktsomhetskart fra terrengmodeller med høyere oppløsning enn fem meter, vil undersøkelse av støypåvirkning være høyst aktuelt. Fastsettelsen av forskjellen mellom støy og små rasområder vil bidra til konstruksjon av aktsomhetskart med høy kvalitet og inklusjon av enda flere steinsprang av interesse enn inkludert ved bruk av terrengmodeller med GSD på fem meter.

Beregning av aktsomhetskart ved bruk av terrengmodeller med høyere oppløsning enn fem meter er interessant ettersom mangler i produserte kart kan forklares ved bruk av slike terrengmodeller. Ved sammenligning mellom egenproduserte aktsomhetskart, basert på terrengmodeller med oppløsning på fem meter, og aktsomhetskart produsert av NGI og Multiconsult kommer det frem at det mangler rundt 20% aktsomhet i de selvproduserte kartene. Det viser seg også at den største andelen av de

manglende skredområdene har små skreområder som ikke er synlig i terrengmodellen med fem meter oppløsning, men synlige i terrengmodeller med høyere oppløsning. Aktsomhetskartene kan dermed bli ytterligere inklusive hvis beregningsmetoden forbedres til å kunne beregne aktsomhetskart for terrengmodeller med høyere oppløsning enn fem meter.

Benyttet tid for beregning av aktsomhetskart fra terrengmodeller med oppløsning høyere enn fem meter er for stor, men kan senkes ved effektivisering av «Visibility»-analysen benyttet i metoden. Den benyttede metoden for beregning av utfallsområdene er anerkjent som mer beregningstung enn den behøver å være, og det anbefales å finne måter å enten lette dets arbeid, eller bytte ut modellen med et bedre alternativ. Ettersom mesteparten av beregningstiden i oppgavens metode benyttes for beregning av utfallsområdene til potensielle raspunkter, vil effektivisering av denne føre til vesentlig reduksjon i total benyttet beregningstid. Effektiviseringen vil kunne føre til en beregningsmodell som håndterer terrengmodeller med enda høyere oppløsning enn fem meter og bidra til konstruksjon av aktsomhetskart med høy kvalitet og inklusjon av enda flere steinsprang enn gjort i denne oppgaven.

Kilder

- Bakkehøi, S., Domaas, U. og Lied, K. (1983) «Calculation of Snow Avalanche Runout Distance», *Annals of Glaciology*. Cambridge University Press, 4, s. 24–29. doi: 10.3189/S0260305500005188.
- Blais-Stevens, A. og Behnia, P. (2016) «Debris flow susceptibility mapping using a qualitative heuristic method and Flow-R along the Yukon Alaska Highway Corridor, Canada», *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(2), s. 449–462. doi: 10.5194/nhess-16-449-2016.
- Crosta, G. B. og Agliardi, F. (2004) «Parametric evaluation of 3D dispersion of rockfall trajectories», *NHESS*, 4(4), s. 583–598. doi: 10.5194/nhess-4-583-2004.
- Dam, T. V. (2015) *RAMMS::Rockfall versus Rockyfor3D in rockfall trajectory simulations at the Community of Vik, Norway*. Universitetet i Oslo.
- Derron, M. H., Stalsberg, K. og Sletten, K. (2016) *Method for susceptibility mapping of rock falls in Norway, Technical report [Upublisert manuskript], NGU Rapport*.
- Devoli, G. mfl. (2011) *Delrapport steinsprang, steinskred og fjellskred, NVE Rapport*.
- Esri (2004) *sliver polygon | Definition - Esri Support GIS Dictionary*. Tilgjengelig på: <https://support.esri.com/en/other-resources/gis-dictionary/term/sliver-polygon> (Åpnet: 6. mai 2018).
- Esri (2010a) *Extract Values to Points—Help | ArcGIS for Desktop*. Tilgjengelig på: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/extract-values-to-points.htm> (Åpnet: 8. mai 2018).
- Esri (2010b) *How Flow Direction works—Help | ArcGIS Desktop*. Tilgjengelig på: <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-direction-works.htm> (Åpnet: 6. mai 2018).
- Esri (2010c) *How Watershed works—Help | ArcGIS Desktop*. Tilgjengelig på: <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-watershed-works.htm> (Åpnet: 8. mai 2018).
- Esri (2010d) *Identifying stream networks—Help | ArcGIS Desktop*. Tilgjengelig på: <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/identifying-stream-networks.htm> (Åpnet: 6. mai 2018).
- Esri (2013) *Visibility—Help | ArcGIS Desktop*. Tilgjengelig på: <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/3d-analyst/visibility.htm> (Åpnet: 8. mai 2018).
- Esri (2015a) *How Fill works—Help | ArcGIS Desktop*. Tilgjengelig på: <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-fill-works.htm> (Åpnet: 8. mai 2018).

- Esri (2015b) *Raster to Point—Conversion toolbox* | *ArcGIS Desktop*. Tilgjengelig på: <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/conversion/raster-to-point.htm> (Åpnet: 8. mai 2018).
- Esri (2016) *How Aggregate works—Help* | *ArcGIS for Desktop*. Tilgjengelig på: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-aggregate-works.htm> (Åpnet: 9. mai 2018).
- Esri (2018) «ArcGIS Pro». Esri inc. Tilgjengelig på: <https://pro.arcgis.com/>.
- Finsland, W. (2007) *Vurdering Av Mulighetene for Kartlegging Av Snøskred Med Fjernanalyse*. Universitetet i Oslo.
- Finsland, W. (2015) *Faktaark Aktsomhetssoner Steinsprang*. Tilgjengelig på: <http://innsyn.pbe.oslo.kommune.no/saksinnsyn/showfile.asp?jno=2015133363&fileid=5849940> (Åpnet: 6. mai 2018).
- Fischer, L., Rubensdotter, I. og Stalsberg, K. (2014) *Aktsomhetskart jord- og flomskred: Metodeutvikling og landsdekkende modellering, NGU Rapport*.
- Gundersen, O. O. (2017) *Rekkevidden av steinsprang utenfor urfoten , og faktorer som påvirker dette En geomorfologisk faresonekartlegging i Lærdalen*. Universitetet i Oslo.
- Heim, A. (1932) «Bergsturz und Menschenleben», *Naturforschenden Gesellschaft in Zürich*, (20), s. 108–154. doi: 10.5169/seals-9840.
- Horton, P. mfl. (2013) «Flow-R, a model for susceptibility mapping of debris flows and other gravitational hazards at a regional scale», *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(4), s. 869–885. doi: 10.5194/nhess-13-869-2013.
- Horton, P., Jaboyedoff, M. og Bardou, E. (2008) «Debris flow susceptibility mapping at a regional scale», i *4th Canadian Conference on Geohazards: From Causes to Management*, s. 399–406. Tilgjengelig på: <http://www.geohazard.ggl.ulaval.ca/alea/horton.pdf>.
- Jaboyedoff, M. og Labiouse, V. (2011) «Technical note: Preliminary estimation of rockfall runout zones», *Natural Hazards and Earth System Science*, 11(3), s. 819–828. doi: 10.5194/nhess-11-819-2011.
- Jaboyedoff, M. og Pedrazzini, A. (2010) «The usefulness of the reach angle concept for hazard zoning using statistical approach», *Geophysical Research Abstracts*, 12(5409/2010).
- Kartverket (2016a) *Høydedata*. Tilgjengelig på: <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/> (Åpnet: 8. mai 2018).
- Kartverket (2016b) *Kravspesifikasjon for NDH*. Tilgjengelig på:

https://www.kartverket.no/globalassets/arkiv/kart/nasjonalt-hoydemodell/ndh_kravspesifikasjon.pdf
(Åpnet: 6. mai 2018).

Lied, K. og Bakkehøi, S. (1980) «Empirical Calculations of Snow–Avalanche Run–out Distance Based on Topographic Parameters», *Journal of Glaciology*. Cambridge University Press, 26(94), s. 165–177. doi: 10.3189/S0022143000010704.

Losasso, L., Jaboyedoff, M. og Sdao, F. (2017) «Potential rock fall source areas identification and rock fall propagation in the province of Potenza territory using an empirically distributed approach», *Landslides*, 14(5), s. 1593–1602. doi: 10.1007/s10346-017-0807-x.

Loye, A., Jaboyedoff, M. og Pedrazzini, A. (2009) «Identification of potential rockfall source areas at a regional scale using a DEM-based geomorphometric analysis», *Natural Hazards and Earth System Science*, 9(5), s. 1643–1653. doi: 10.5194/nhess-9-1643-2009.

Michoud, C. mfl. (2012) «Rockfall hazard and risk assessments along roads at a regional scale: Example in Swiss Alps», *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(3), s. 615–629. doi: 10.5194/nhess-12-615-2012.

Myrvoll, A. N. (2015) *Utprøving av metodikk for produksjon av aktsomhetskart for flomfare i urbane områder*. Ås: NMBU.

Nve (2011) *Aktsomhetskart for steinsprang - NVE*. Tilgjengelig på: <https://www.nve.no/flaum-og-skred/kartlegging/aktsemdkart/aktsomhetskart-for-steinsprang/> (Åpnet: 6. mai 2018).

NVE (2011a) «Flaum- og skredfare i arealplanar», *NVE Retningslinjer*, (2/2011), s. 1–40.

NVE (2011b) *Plan for skredfarekartlegging*, *NVE Rapport*.

Oppikofer, T. mfl. (2016) *Metodikk for konsekvensanalyse av fjellskred*, *NGU Rapport*.

«Plan- og bygningsloven - pbl» (2008) *Lov om planlegging og byggesaksbehandling*.

Shirzadi, A. mfl. (2017) «Rock fall susceptibility assessment along a mountainous road: an evaluation of bivariate statistic, analytical hierarchy process and frequency ratio», *Environmental Earth Sciences*, 76(4), s. 1–17. doi: 10.1007/s12665-017-6471-6.



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway