

Rekkevidden av steinsprang utenfor urfoten, og faktorer som påvirker dette

*En geomorfologisk faresonekartlegging i Lærdalen
og Luster*

Odin Olufsen Gundersen



Masteroppgave i Geofag
Studieretning: Geofarer
Studiepoeng: 60 studiepoeng

Institutt for geofag
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

UNIVERSITETET I OSLO

Juni/2017

Masteroppgave, Institutt for geofag

Rekkevidden av steinsprang utenfor urfoten, og faktorer som påvirker dette

*En geomorfologisk faresonekartlegging i Lærdalen
og Luster*

Odin Olufsen Gundersen



© **Odin Olufsen Gundersen, 2017**

Veiledere: Anders Solheim (NGI/UIO) og Ulrik Domaas (NGI)

Rekkevidden av steinsprang utenfor urfoten, og faktorer som påvirker dette

Odin Olufsen Gundersen

Framsidedeilde: Steinsprang ved Bø i Lærdalen. Foto: Ulrik Domaas (NGI)

<http://www.duo.uio.no/>

Trykk: Reprosentralen, Universitetet i Oslo

Sammendrag

Steinsprang er en geofare definert ved enkeltblokker av stein som løsner fra bratte fjellsider og som beveger seg nedover fjellsiden enten ved å falle, sprette, rulle eller gli. Steinsprang tar ikke mange liv, men kan forårsake store økonomiske kostnader i form av skader på vei, jernbane og bygninger. Steinsprang kan også forårsake stengninger av vei og jernbane som videre fører til forsinkelser i transportsektoren.

Oppgavens hovedmål er å redusere usikkerheten i kartlegging av steinsprangfare, i forhold til kravene i Direktoratet for Byggkvalitet sin tekniske forskrift (TEK 10). Dette er gjort ved å utføre feltarbeid i åtte områder i Luster og Lærdal, i Sogn og Fjordane. I felt ble blokkene som lå utenfor urfoten markert med håndholdt GPS. Morfologiske trekk som løsmasser utenfor urfoten, blokkstørrelse i ura, blokkform og blokkvolum på steinsprangene som lå utenfor urfoten ble registrert under feltarbeidet. Det er gjort lite forskning på hvordan blokkene fordeler seg utenfor urfoten og studier fra denne oppgaven vil være et bidrag til dette feltet. Simuleringsmodeller for steinsprang er et verktøy som brukes for å estimere utløp og faresoner. En del av denne oppgaven er å sammenligne simulerte utløp i modellen Rockyfor3D med feltobservasjoner. Observasjoner fra felt ble benyttet som grunnlag til Rockyfor3D simuleringer, estimering av returperioder og fordeling av steinsprang utenfor urfoten.

Feltobservasjoner viser at det ikke er de største blokkene som når lengst utenfor urfoten. Blokkenes egenskap til å oppnå høy rotasjon og rulling som bevegelse, ser ut til å være en viktigere faktor enn stort blokkvolum.

Det er i sonen 10-20 meter utenfor urfoten hvor det er størst forekomst av steinsprang. Basert på steinsprangenes posisjon utenfor urfoten er faresoner etter byggteknisk forskrift (TEK10) estimert. Det er estimert at faresone med en returperiode på 1000 år ligger mellom 70-90 % av det maksimale utløpet utenfor urfoten. Det er utviklet en modell som kan benyttes ved setting av faresone 1000. Det trengs et større datagrunnlag hvis denne modellen skal brukes som et verktøy i framtidige faresonekartlegginger.

Simuleringer med Rockyfor3D overestimerer utløp med anbefalte inngangsparameterene som er basert på feltobservasjoner. Hvis en faresonevurdering kun er basert på modeller vil dette føre til konservative faresoner. Feltarbeid må derfor utføres ved en faresonekartlegging.

Forord

Det er mange som har vært til stor hjelp under arbeidet med denne oppgaven. Først og fremst må jeg få takke mine veiledere Ulrik Domaas og Anders Solheim. Takk Ulrik for gode tilbakemeldinger, engasjement, positivitet og svar på mine spørsmål selv om du har mye å gjøre. Takk for å være med på feltarbeidet på Vestlandet. Takk Anders for gode innspill, konstruktive tilbakemeldinger og kommentarer med en snert humor. Jeg har lært utrolig mye det siste året.

Ved NGI er det flere som fortjener å takkes. Takk til Heidi Hefre for innføring i Rockyfor3D, og takk til Kjetil Sverdrup-Thygeson for all hjelp relatert til arcGIS.

Takk til medstudentene på Blindern, spesielt de på rom 219. Selv i hektiske perioder har vi holdt humøret på topp og alltid tatt oss tid til felles lunsj. Takk til Torgeir Ferdinand Klingenberg for hjelp og svar på mine spørsmål relatert til GIS.

Jeg vil takke mine venner og familie for moralsk støtte og lesing av oppgaven inn mot innlevering. Takk til min far Bjørn for glimrende feltassistanse. Tilslutt vil jeg takke Kristine.

Odin Olufsen Gundersen

Oslo, 31.05.2017

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
1.1	Målsetninger og hypoteser.....	4
2	Teori	6
2.1	Ulike definisjoner	6
2.2	Forutsetninger for steinsprang	7
2.3	Forekomst av steinsprang	9
2.4	Steinsprang bevegelser og faktorer som påvirker dette.....	10
2.4.1	Bevegelse basert på helning til underlaget	11
2.4.2	Restitusjonskoeffisienter og demping mot underlaget	12
2.4.3	Ruhet, høydevariasjon til underlaget.....	14
2.4.4	Blokkstørrølse, form og utløp.....	14
2.4.5	Helningen på underlaget utenfor urfoten	15
2.5	Ur.....	16
2.5.1	Morfologi	16
2.5.2	Øvre og nedre sone.....	16
2.5.3	Materialet i ura	17
2.6	Rockyfor3D	17
2.6.1	Inndata.....	18
2.6.2	Utdata	20
3	Metode.....	22
3.1	Introduksjon av feltområder	22
3.1.1	Regional geologi	23
3.1.2	Lokal geologi.....	24
3.1.3	Løsmassegeologi og topografi	25
3.1.4	Tidligere skredhendelser ved de undersøkte lokalitetene	27
3.2	Feltarbeid.....	29
3.2.1	Arbeid i ArcGIS	30
3.2.2	Fordeling av blokker utenfor urfot	30
3.2.3	Estimering av returperiode for steinsprang utenfor urfoten	30
3.3	Simulering med Rockyfor3D.....	31
3.3.1	Høydemodeller	31

3.3.2	Beregningsområdet.....	31
3.3.3	Løsneområdet	32
3.3.4	Bakke type.....	32
4	Resultater.....	33
4.1	Molde, Lærdal	33
4.1.1	Beskrivelse av blokkene utenfor urfoten.....	35
4.1.2	Beskrivelse av steinura.....	36
4.1.3	Fordelingen av steinsprang utenfor urfoten	38
4.1.4	Estimert returperioder utenfor urfoten	39
4.1.5	Rockyfor3D simuleringer.....	40
4.2	Lærdal Gård.....	43
4.2.1	Beskrivelse av blokkene utenfor urfoten.....	45
4.2.2	Beskrivelse av steinura.....	46
4.2.3	Fordelingen av steinsprang utenfor urfoten	47
4.2.4	Estimert returperioder utenfor urfoten	48
4.2.5	Rockyfor3D simuleringer.....	49
4.3	Bø, Lærdal	52
4.3.1	Beskrivelse av blokkene utenfor urfoten.....	54
4.3.2	Beskrivelse av steinura.....	56
4.3.3	Fordelingen av steinsprang utenfor urfoten	57
4.3.4	Returperioder utenfor urfoten.....	58
4.3.5	Rockyfor3D simuleringer.....	59
4.4	Eråksøyane.....	62
4.4.1	Beskrivelse av blokkene utenfor urfot	64
4.4.2	Beskrivelse av steinura.....	65
4.4.3	Fordelingen av steinsprang utenfor urfoten	66
4.4.4	Returperioder utenfor urfoten.....	67
4.4.5	Rockyfor3D simuleringer.....	68
4.5	Lærdal Vest.....	71
4.5.1	Beskrivelse av blokkene utenfor urfoten.....	73
4.5.2	Beskrivelse av steinura.....	73
4.5.3	Fordeling av steinsprang utenfor urfoten	74
4.5.4	Returperioder utenfor urfoten.....	75

4.5.5	Rockyfor3D simuleringer.....	76
4.6	Skagen, Fortun.....	79
4.6.1	Beskrivelse av blokkene utenfor urfoten.....	81
4.6.2	Fordelingen av steinsprang utenfor urfoten	82
4.6.3	Returperioder utenfor urfoten.....	83
4.6.4	Rockyfor3D simuleringer.....	84
4.7	Fast 1.....	87
4.7.1	Beskrivelse av blokkene utenfor urfoten.....	89
4.7.2	Fordelingen av steinsprang utenfor urfoten	90
4.7.3	Returperioder utenfor urfoten.....	90
4.7.4	Rockyfor3D simuleringer.....	91
4.8	Fast 2.....	95
4.8.1	Beskrivelse av blokkene utenfor urfoten.....	97
4.8.2	Fordeling av steinsprang utenfor urfot	97
4.8.3	Returperioder utenfor urfoten.....	98
4.8.4	Rockyfor3D simuleringer.....	99
4.9	Oppsummering av feltresultater	102
5	Diskusjon.....	104
5.1	Er faktorene som gir lange utløp, tilstede ved lokalitetene?.....	104
5.1.1	Underlaget	104
5.1.2	Blokkstørrelse og form.....	105
5.1.3	Urdannelser og ruhet ved lokalitetene.....	106
5.1.4	Helning utenfor urfoten	106
5.1.5	Potensiell fallhøyde	107
5.1.6	Oppsummering	107
5.2	Hvordan fordeler steinsprangene seg utenfor urfoten?.....	108
5.3	Estimerte returperioder	109
5.4	Rockyfor3D simuleringer	112
5.4.1	Blokkform	113
5.4.2	Blokkvolum.....	113
5.4.3	Bakketyper og parameterverdier	113
5.4.4	Løsneområdet	114
5.4.5	Oppløsning på høydemodeller	115

5.4.6	Andre faktorer	115
5.4.7	Bruk av Rockyfor3D i faresonekartlegging	115
5.5	Usikkerhet og feilkilder ved feltarbeid	116
5.6	Hvordan kan dette være med å redusere usikkerhet knyttet til faresonekartlegging? 117	
6	Konklusjon	119
7	Anbefalt videre arbeid	121
	Litteraturliste	122
	Vedlegg	125
	Vedlegg A: Eksempler ved parameterverdier for ulike bakketyper (Dorren, 2015).....	125
	Vedlegg B: Bakketyper og ruhetsverdier i Rockyfor3D simuleringer.....	128
	Vedlegg C: Blokkstørrelser brukt i Rockyfor3D	131
	Vedlegg D: Flyfoto fra de undersøkte områdene	132
	Vedlegg E: Faresonekart ved de undersøkte områdene	136
	Figur 1: Registrerte skred på veibanene i Norge (Statens vegvesen, 2015).....	1
	Figur 2: Aktsomhetskart ved Bø i Lærdalen. Utløpsområdet for steinsprang dekker hele dalføret.	2
	Figur 3: Feltområdene i denne oppgaven ligger i områdene som er merket med blå prikker (NVE Atlas, 2017).....	5
	Figur 4: Utløsningsmekanismer (og værforhold) ved 80 registrerte steinskrud ved Oppdølstranda 2000-2009 (Moen og Humstad, 2009).....	8
	Figur 5: Månedlig fordeling av steinsprang for hele Norge (Jørstad, 1979).....	9
	Figur 6: Fordeling av steinsprang på Østlandet som funksjon av tidspunkt og høyde over havet (Jørstad, 1979).	10
	Figur 7: Bevegelsesmåter for steinsprang, fra venstre mot høyre: Fritt fall, sprang mot underlag, rulle og glidning (Heidenreich, 2004).	11
	Figur 8: Bevegelsesmåter for steinsprang basert på generaliserte terrengvinkler (Bjordal, 2011).....	12
	Figur 9: Lengdesprang for en blokk med masse m langs et horisontalt underlag uten støtdemping (Schioldrop, 1977)	13
	Figur 10: Visualisering av hindringers høyde (MOH) representert ved 70 %, 20 % og 10 % av overflaten til et homogent område i en skråning (Dorren, 2015).	20
	Figur 11: Feltlokaliteter i Luster kommune, merket med navn og rød sirkel.	22
	Figur 12: Feltlokaliteter i Lærdal kommune, merket med navn og rød sirkel.	23
	Figur 13: Berggrunn i og rundt Luster (NGU Arealis, 2017).	24
	Figur 14: Berggrunn i Lærdalen (NGU Arealis, 2017).	25
	Figur 15: Løsmassegeologi i Luster (NGU Arealis, 2017).	26
	Figur 16: Løsmassegeologi i Lærdalen (NGU Arealis, 2017).	27

Figur 17: Oversikt over markerte steinsprang, urfoten og oppgatte traséer i ura fra feltarbeid ved lokalitet Molde. Blå linjer er tegnet ut fra urfoten, og går parallelt med 10 meters mellomrom ut fra urfoten.	33
Figur 18: Oversiktsbilde over lokalitet Molde. Rød ring markerer potensielt kildeområde, mens blå ring markerer ura ved lokaliteten. Foto: Ulrik Domaas (NGI).	34
Figur 19: Helningskart for lokalitet Molde. Feltarbeid er utført i området markert med blått.	34
Figur 20: Stor variasjon i blokkstørrelse utenfor urfoten ved lokalitet Molde. Mindre blokker (markert med rød ring), ligger sammen med større blokker (markert med blått). Flere av blokkene ligger delvis begravd i løsmasser (markert med lys blå ring). Foto: Ulrik Domaas (NGI).	35
Figur 21: Stor variasjon i blokker som er blitt registrert ved lokalitet Molde. Bilde A viser en mer avlang rektangulær blokkform, med runde kanter. Bilde B viser en mer kubisk kantet rektangulær form, mens bilde C viser en irregulær ellipsoide blokk.	35
Figur 22: Største blokk som ligger utenfor urfoten ved lokalitet Molde. Rød pil og strek viser hvor blokken er kløyvd. Se sau til høyre for skala.	36
Figur 23: Blokk som har nådd lengst utenfor urfoten ved lokalitet Molde. Blokken ligger på ytterkanten av skredviften i området.	36
Figur 24: Nedre del av ura ved lokalitet Molde. Blokker i denne delen av ura har en gjennomsnittlig blokkstørrelse på rundt 5 m ³ . Foto: Ulrik Domaas (NGI).	37
Figur 25: blokk i øvre del av ura ved lokalitet Molde (rød ring), som er markant større enn gjennomsnittet.	37
Figur 26: Oppgatte profiler (blå og rød) i ura ved Molde, med distanse fra apex og høyde over havet. Grønn og lilla linje viser endring i blokkvolum (m ³) langs profilene. Se Figur 17 for plassering av profilene.	38
Figur 27: Prosent fordeling av steinsprang utenfor urfoten, i forhold til alle registrerte blokker ved Molde.	38
Figur 28: Kumulativ fordeling av registrerte steinsprang utenfor urfoten, og estimerte returperioder basert på antall registrerte steinsprang (grønn linje) ved Molde. Interpolert eksponentiell trendlinje (blå), er basert på estimerte returperioder.	39
Figur 29: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med ellipsoid form ved lokalitet Molde.	40
Figur 30: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med rektangulær form ved lokalitet Molde.	41
Figur 31: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der ellipsoide blokkform er benyttet, ved lokalitet Molde.	41
Figur 32: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der rektangulær blokkform er benyttet, ved lokalitet Molde.	42
Figur 33: Oversikt over markerte steinsprang, urfoten og oppgatte traséer i ura ved Lærdal Gård. Blå linjer er tegnet ut fra urfoten, og går parallelt med 10 meters mellomrom ut fra urfoten.	43
Figur 34: Oversikt over lokalitet Lærdal Gård. Foto: Ulrik Domaas (NGI).	44
Figur 35: Helningskart ved lokalitet Lærdal gård. Feltområdet ligger til venstre for gård, markert med blått.	44

Figur 36: En av blokkene utenfor urfoten ved Lærdal gård, med relativt flat rektangulær form og liten rundingsgrad i kantene.	45
Figur 37: Flere av blokkene utenfor urfoten ved Lærdal Gård, har form som ellipsoider. Eksempel på dette er markert med rød ring.	45
Figur 38: En av de største blokkene som ligger utenfor urfoten ved Lærdal Gård. Volum anslått til 20 m ³ , og form er karakterisert som ellipsoide.....	46
Figur 39: Oppgatte profiler (blå og rød) i ura ved Lærdal Gård, med distanse fra apex, og høyde over havet. Grønn og lilla linje viser endring i blokkvolum (m ³) langs profilene. Se Figur 33 for plassering av profilene.	47
Figur 40: Prosent fordeling av steinsprang utenfor urfoten i forhold til alle registrerte blokker, ved Lærdal Gård.....	47
Figur 41: Kumulativ fordeling av registrerte steinsprang utenfor urfoten, og estimerte returperiode basert på antall registrerte steinsprang (grønn) ved Lærdal Gård. Interpolert eksponentiell trendlinje (blå) er basert på estimerte returperioder.....	48
Figur 42: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med ellipsoid form ved lokalitet Lærdal Gård.....	49
Figur 43: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med rektangulær form ved lokalitet Lærdal Gård.....	50
Figur 44: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der ellipsoide blokkform er benyttet, ved lokalitet Lærdal Gård.	50
Figur 45: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der rektangulær blokkform er benyttet, ved lokalitet Lærdal Gård.....	51
Figur 46: Oversikt over registrerte steinsprang, urfoten og oppgatte traséer i ura ved Bø. Blå linjer er tegnet ut fra urfoten, og går parallelt med 10 meters mellomrom ut fra urfoten.	52
Figur 47: Kildeområdet ved lokalitet Bø. Det går en gjennomgående forkastning (eller skyvegrense og glideplan) gjennom fjellsiden. Denne er merket mer rødt. Foto: Ulrik Domaas (NGI).	53
Figur 48: På østsiden av lokalitet Bø forekommer avsetninger fra tidligere flomskred, sammen med moreneavsetninger. Foto: Ulrik Domaas (NGI).....	53
Figur 49: Helningskart ved lokalitet Bø. Det undersøkte feltområdet er markert med blått....	54
Figur 50: Blokk med ellipsoide form som ligger delvis begravd i løsmasser ved lokalitet Bø.	55
Figur 51: Blokk markert med rød ring har en rektangulær til kubisk kantet form. Blokken ligger utenfor ufoten ved Lokalitet Bø.	55
Figur 52: Største blokk som har nådd utenfor urfoten ved lokalitet Bø. Foto: Ulrik Domaas (NGI).	56
Figur 53: Ura ved Bø sett fra urfoten. Store blokker i nedre del. Øvre grense markert med rødt.	56
Figur 54: Oppgatte profiler (blå, røde og grønn) i ura, med distanse fra apex og høyde over havet. lilla, lyseblå og oransje linje viser endring i blokkvolum (m ³) langs profilene. Se Feil! Fant ikke referanseilden. for plassering av profilene.	57
Figur 55: Prosent fordeling av steinsprang utenfor urfoten i forhold til alle registrerte blokker Bø.	58

Figur 56: Kumulativ fordeling av registrerte steinsprang utenfor urfot og estimert returperiode basert på antall registrerte steinsprang (grønn) Ved Lærdal Bø. Interpolert eksponentiell trendlinje (blå) er basert på estimerte returperioder (blå).	58
Figur 57: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med ellipsoid form ved lokalitet Bø.	60
Figur 58: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med rektangulær form ved lokalitet Bø.	60
Figur 59: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der ellipsoide blokkform er benyttet, ved lokalitet Bø.	61
Figur 60: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der rektangulær blokkform er benyttet, ved lokalitet Bø.	61
Figur 61: Oversikt over registrerte steinsprang og oppgåtte traséer i ura fra feltarbeid ved Eråksøyane. Blå linjer er tegnet ut fra urfoten, og går parallelt med 10 meters mellomrom utover.	62
Figur 62: Kildeområde og ura ved Eråksøyane. Foto: Ulrik Domaas (NGI).	63
Figur 63: Helningskart ved lokalitet Eråksøyane. Feltarbeid er utført i område markert med blått.	63
Figur 64: Den største av tre blokkene, som ligger over 100 meter utenfor urfoten ved lokalitet Eråksøyane. Foto: Ulrik Domaas (NGI).	64
Figur 65: Kubisk rektangulær blokk ved lokalitet Eråksøyane. Volum på 3 m ³	64
Figur 66: Største blokk som ligger utenfor urfoten. Volum anslått til 226 m ³	65
Figur 67: Ura ved Eråksøyane sett fra ytterste grense.	65
Figur 68: Figur viser oppgåtte profiler (blå og rød) i ura, med distanse fra apex og høyde over havet. Grønn og lilla linje viser endring i blokkvolum (m ³) langs profilene. Se Figur 61 for plassering av profilene.	66
Figur 69: Prosent fordeling av steinsprang utenfor urfoten i forhold til alle registrerte blokker ved lokalitet Eråksøyane.	66
Figur 70: Kumulativ fordeling av registrerte steinsprang utenfor urfot og estimert returperiode basert på antall registrerte steinsprang (grønn) Ved Eråksøyane. Interpolert eksponentiell trendlinje (blå) er basert på estimerte returperioder.	67
Figur 71: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med ellipsoid form ved lokalitet Eråksøyane.	68
Figur 72: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med rektangulær form ved lokalitet Eråksøyane.	69
Figur 73: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der ellipsoide blokkform er benyttet, ved lokalitet Eråksøyane.	69
Figur 74: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der rektangulær blokkform er benyttet, ved lokalitet Eråksøyane.	70
Figur 75: Oversikt over markerte steinsprang og urfoten ved Lærdal Vest. Blå linjer er tegnet ut fra urfoten, og går parallelt med 10 meters mellomrom ut fra urfoten.	71
Figur 76: Oversikt over lokalitet Lærdal Vest. Det kartlagte området er markert med svart strek. Registrerte steinsprang, ligger på fjellknaus som Fodnes tunnelen går gjennom. Ura ligger inn mot den bratte fjellsiden (pil). Foto: Ulrik Domaas (NGI).	72

Figur 77: Helningskart over lokalitet Lærdal vest. Feltarbeid er utført i området merket med blått.....	72
Figur 78: Stor blokk som ligger rett utenfor urfoten.....	73
Figur 79: Flyfoto over ura ved Lærdal Vest. Røde ringer markerer blokker med diametere på over 10 meter.....	74
Figur 80: Prosent fordeling av steinsprang utenfor urfoten i forhold til alle registrerte blokker ved Lærdal Vest.	74
Figur 81: Kumulativ fordeling av registrerte steinsprang utenfor urfot og estimert returperiode basert på antall registrerte steinsprang (grønn) Ved Lærdal Vest. Interpolert eksponentiell trendlinje (blå) er basert på estimerte returperioder.	75
Figur 82: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med ellipsoid form ved lokalitet Lærdal Vest.	76
Figur 83: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med rektangulær form ved lokalitet Lærdal Vest.	77
Figur 84: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der ellipsoide blokkform er benyttet, ved lokalitet Lærdal Vest.....	77
Figur 85: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der rektangulær blokkform er benyttet, ved lokalitet Lærdal Vest.	78
Figur 86: Oversikt over markerte steinsprang og urfot ved Fortun Skagen. Blå linjer er tegnet ut fra urfoten, og går parallelt med 10 meters mellomrom.	79
Figur 87: Den øvre delen av fjellsiden består av fast fjell (markert med rødt). Nedre del er godt dekket med vegetasjon.	80
Figur 88: Helningskart ved lokalitet Skagen. Feltområdet er markert med blått.	80
Figur 89: Eksempel på blokk som er delvis begravet i løsmasser ved lokalitet Skagen.....	81
Figur 90: En av blokkene som ligger lengst utenfor urfoten ved Skagen. Volumet er anslått til 2 m ³ . Tilnærmet rektangulær kantet form.	81
Figur 91: En av de større blokkene som ligger utenfor urfoten ved Skagen. Volumet er anslått til rundt 25 m ³ . Flat og rektangulær form med store flater.....	82
Figur 92: Prosent fordeling av steinsprang utenfor urfoten i forhold til alle registrerte blokker ved Skagen.	82
Figur 93: Kumulativ fordeling av registrerte steinsprang utenfor urfot og estimert returperiode basert på antall registrerte steinsprang (grønn) Ved Skagen. Interpolert eksponentiell trendlinje (blå) er basert på estimerte returperioder.	83
Figur 94: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med ellipsoid form ved lokalitet Skagen.	84
Figur 95: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med rektangulær form ved lokalitet Skagen.	85
Figur 96: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der ellipsoide blokkform er benyttet, ved lokalitet Skagen.....	85
Figur 97: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der rektangulær blokkform er benyttet, ved lokalitet Skagen.	86

Figur 98: Oversikt over registrerte blokker og urfoten, ved de to lokalitetene ved Fast turisthytte. Blå linjer er tegnet ut fra urfoten, og går parallelt med 10 meters mellomrom ut fra urfoten.	87
Figur 99: Lokalitet Fast 1.	88
Figur 100: Helningskart for Lokalitet Fast 1. Feltarbeid er utført i område markert med blått.	88
Figur 101: Blokken som er markert med blå ring har gått lengst utenfor urfoten. Rektangulær blokk er markert med rød ring.	89
Figur 102: Blokk utenfor urfoten med ellipsoide form. Delvis begravd i myra.	89
Figur 103: Prosent fordeling av steinsprang utenfor urfoten, i forhold til alle registrerte blokker ved Fast 1.	90
Figur 104: Kumulativ fordeling av registrerte steinsprang utenfor urfot og estimert returperiode basert på antall registrerte steinsprang (grønn) Ved Fast 1. Interpolert eksponentiell trendlinje (blå) er basert estimerte returperioder.	91
Figur 105: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med ellipsoid form ved lokalitet Fast 1.	92
Figur 106: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med rektangulær form ved lokalitet Fast 1.	93
Figur 107: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der ellipsoide blokkform er benyttet, ved lokalitet Fast 1.	93
Figur 108: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der rektangulær blokkform er benyttet, ved lokalitet Fast 1.	94
Figur 109: Eksempler på kantede blokker i ura er merket med rød ring.	95
Figur 110: Oversikt over lokalitet Fast 2.	96
Figur 111: Helningskart for Lokalitet Fast 2. Feltarbeid er utført i område markert med blått.	96
Figur 112: Relativt fersk blokk utenfor urfoten ved Fast 2.	97
Figur 113: Prosent fordeling av steinsprang utenfor urfoten i forhold til alle registrerte blokker ved Fast 2.	97
Figur 114: Kumulativ fordeling av registrerte steinsprang utenfor urfot og estimert returperiode basert på antall registrerte steinsprang (grønn) Ved Fast 2. Interpolert eksponentiell trendlinje (blå) er basert på estimerte returperioder (blå).	98
Figur 115: Antall avsetninger av simulerte steinsprang med ellipsoide form ved Fast 2.	99
Figur 116: Antall avsetninger av simulerte steinsprang med rektangulær form ved Fast 2.	100
Figur 117: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der ellipsoide blokkform er benyttet, ved lokalitet Fast 2.	100
Figur 118: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der rektangulær blokkform er benyttet, ved lokalitet Fast 2.	101
Figur 119: Prosentfordeling av steinsprang utenfor urfoten ved alle lokaliteter.	102
Figur 120: havnivåkurve for Lærdal (Blikra og Aa, 1996).	109
Figur 121: Regresjonsanalyse basert på estimerte 1000 års returperioder fra alle lokalitetene.	111

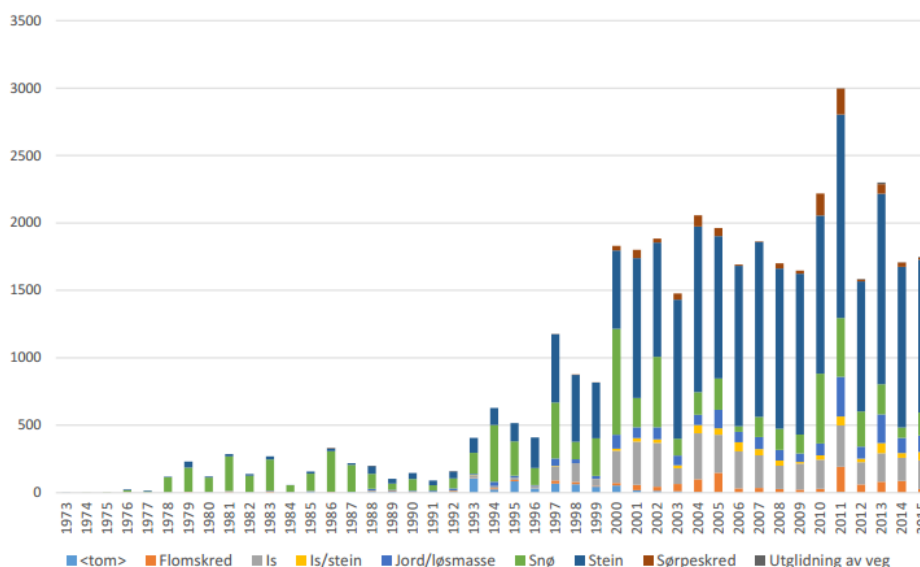
Figur 122: Rundingsgraden til blokken nederst til høyre i bildet, tilsier at den mest sannsynlig er blitt transportert med isen. Bildet er tatt ved lokalitet Lærdal Vest. Foto: Ulrik Domaas (NGI). 117

Tabell 1: Sikkerhetsklasser for skred (Direktoratet For Byggkvalitet, 2016).	3
Tabell 2: Oversikt over parametere som påvirker hastighetsenergien til en blokk (Heidenreich, 2004).	14
Tabell 3: Tettheten til de vanligste bergartene i Norge (SINTEF, 2017).	18
Tabell 4: Utdata etter simulering med Rockyfor3D.	21
Tabell 5: Oppsummert berggrunnsgeologi ved feltlokalitetene.	25
Tabell 6: Estimerte faresoner (TEK10) i distanse og prosent av maks utløp ved Molde.	39
Tabell 7: Estimerte faresoner (TEK10) i distanse og prosent av maks utløp ved Lærdal Gård.	48
Tabell 8: Estimerte faresoner (TEK10) i distanse og prosent av maks utløp ved Bø.	59
Tabell 9: Estimerte faresoner (TEK10) i distanse og prosent av maks utløp ved Eråksøynane.	67
Tabell 10: Estimerte faresoner (TEK10), i distanse og i prosent av maks utløp ved Lærdal Vest.	75
Tabell 11: Estimerte faresoner (TEK10) i distanse og i prosent av maks utløp ved Skagen. ...	83
Tabell 12: Estimerte faresoner (TEK10) i distanse og i prosent av maks utløp ved Fast 1. ...	91
Tabell 13: Estimerte faresoner (TEK10) i distanse og prosent av maks utløp.	98
Tabell 14: Morfologiske observasjoner ved de ulike feltlokalitetene.	103
Tabell 15: Sammenligning mellom de lengste utløpene i felt og simulerte utløp.	112

1 Innledning

Norges topografi karakteriseres med høye fjell, dype daler og bratte fjellsider. Med denne topografien følger også en hyppig forekomst av geofarar. Med en geofare menes en geologisk tilstand som representerer, eller har potensiale til å utvikle seg til en tilstand, som fører til skade eller ukontrollert risiko (UiB, 2010). I Norge er de vanligste geofarene flom og skred. Skred er definert som en rask forflytning av masser ned en fjellside (NVE, 2016), og deles inn i tre kategorier basert på type masse. Disse typene er steinskred, løsmasseskred og snøskred.

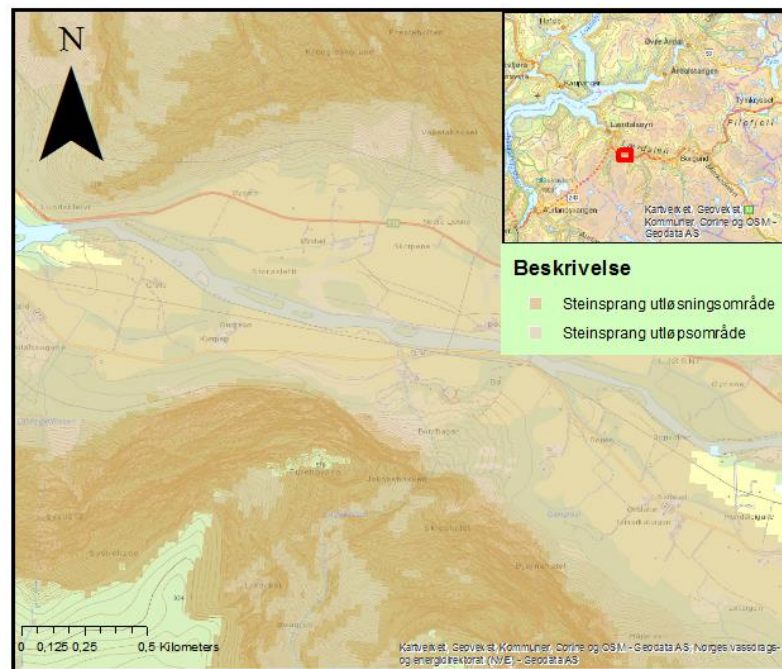
Steinskred inndeles i tre typer. Disse er steinsprang, steinskred og fjellskred. I Norge er steinsprang den skredtypen som forekommer oftest (NVE, 2011) (Figur 1). Steinsprang kan forekomme i alle størrelser. Steinsprang tar ikke mange liv, men kan forårsake store økonomiske kostnader i form av skader på vei, jernbane og bygninger. Steinsprang kan også forårsake stengninger av vei og jernbane, som fører til forsinkelser, omkjøringer og ufremkommelighet i transportsektoren. Skred mot norske veier koster samfunnet over 100 millioner i året som følger av dette (NGI, 2013). Frykten for at steinsprang kan treffe bebyggelse, er også en psykisk påkjennelse for personer som bor i skredutsatte områder (Lied, 2014).



Figur 1: Registrerte skred på veibanene i Norge (Statens vegvesen, 2015)

Klimaprognosene tilsier at klimaet i framtiden vil bli våtere (NGI, 2013). Siden flere av skredtypene utløses av økte nedbørsmengder, vil konsekvensen av dette være en økt forekomst av naturfarer i framtiden (Lied, 2014), også i områder som tidligere ikke har opplevd slike hendelser (NGI, 2017).

I dagens arealplanlegging er det nødvendig med informasjon om hvilke områder det kan forekomme steinsprang. Denne typen informasjon finnes i dag i NVE (Norges Vassdrags og Energidirektorat) sitt *Aktsomhetskart for steinsprang* (<http://atlas.nve.no/>). Kartet er ment som et godt grunnlag til en førstevurdering av skredfare for kommunene. Potensielle løsnedområder er basert på helning, og utløpsområdet er automatisk blitt utregnet basert på en empirisk modell. Ved enkelte steder er områdene blitt befart i etterkant og utløpsområdene er justert (NVE, 2017).



Figur 2: Aktsomhetskart ved Bø i Lærdalen. Utløpsområdet for steinsprang dekker hele dalføret.

Aktsomhetskartet tar ikke hensyn til lokale faktorer som er med å påvirke utløpsbanen. Konsekvensene av dette er at faresonene kan være overdrevent konservative (overestimerte), noe som kan føre til dårlig utnyttelse av landområder og begrensninger for framtidig utbygging (Figur 2).

I Direktoratet for Byggkvalitet sin tekniske forskrift (TEK10), angis skredfare ved faresoner (Direktoratet For Byggkvalitet, 2016). Disse faresonene er basert på nominell årlig sannsynlighet. Knyttet til steinsprang og andre skredtyper finnes det i dag tre sikkerhetsklasser som er følgende (Tabell 1):

Tabell 1: Sikkerhetsklasser for skred (Direktoratet For Byggkvalitet, 2016).

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

De tre klassene defineres kort for ulike bygg, eksempelvis gjelder S1 for garasjer og naust, S2 for hytter og boliger og S3 for barnehager og skoler.

Det finnes flere metoder som kan brukes for å estimere utløp for steinsprang. Kort oppsummert kan disse modellene deles inn i tre kategorier (Dorren, 2003):

- 1- Empiriske
- 2- Prosess baserte
- 3- GIS baserte

Et verktøy som stadig blir brukt i estimering av utløp og faresoner er simuleringsmodeller (Bjordal et al., 2011). Disse modellene baseres på fysiske likninger og energiberegninger, for å kunne gi et bilde av skredbane, hastighet, energi og sannsynlig utløpslengde for steinsprang. Modellene finnes i både to og tre dimensjoner, og har sine fordeler og ulemper. Modeller som estimerer utløp i to dimensjoner brukes ofte til dimensjonering av steinspranggjerd, fangvoller og andre typer barrierer, mens modellene i tre dimensjoner brukes ved faresonekartlegginger (Hefre et al., 2015b).

Ved Norges Geotekniske Institutt (NGI) er en av modellene som benyttes til faresonekartlegging Rockyfor3D som er laget av Ecorisq (Dorren, 2015). Modelleringsverktøy kan være et nyttig verktøy ved faresonekartlegging, men kan gi falsk trygghet hvis resultatene fra modellene ikke samsvarer med det som observeres i virkeligheten (Hefre et al., 2015b). Slike modeller har begrensninger, som for eksempel at restitusjonskoeffisienter er beregnet ved standardiserte materialkonstanter, og at opp knusning ned skredbanen ikke er tatt med i de fysiske ligningene. Dette må tas i betraktning når slike programmer brukes. Det er derfor viktig at vurderinger i tillegg til modellbruk også baseres på feltobservasjoner for å gi et realistisk bilde av virkeligheten.

1.1 Målsetninger og hypoteser

Hensikten med denne oppgaven er å få en bedre forståelse av faktorer som fører til lange utløp for steinsprang. Steinsprangaktiviteten i et område sees ofte i form av urdannelser der de fleste blokkene er samlet. Gjennom å se på steinsprangene som har nådd utenfor den ytterste grensen til ura (urfoten) ved flere lokaliteter, og om mulig finne faktorer som er felles for disse, kan dette være med til å bidra til bedre faresonekartlegging i framtiden.

Det er gjort få studier på hvordan steinsprangene fordeler seg utenfor urfoten (Dorren et al., 2011). Denne oppgaven vil være et naturvitenskapelig bidrag til dette feltet.

Steinsprangsimuleringer med Rockyfor3D vil bli utført ved lokalitetene, og validert mot observasjoner i felt.

Hovedmålene for oppgaven er følgende:

Redusere usikkerheten i kartlegging av steinsprangfare i forhold til kravene i Direktoratet for Byggkvalitet sin tekniske forskrift (TEK 10), ved og:

- Kvantifisere fordelingen av steinsprang som har nådd utenfor urfoten.
- Bestemme returperioder basert på felldata fra definerte case-områder og knytte dette opp mot kartlegging av faresoner (TEK10).
- Validere, og om mulig forbedre resultater fra program for utløpsmodellering av steinsprang, Rockyfor3D.

Underveis i oppbygningen av denne oppgaven ble følgende hypoteser satt som skal testes:

- Blokker utenfor urfoten er i hovedsak større enn de som er i ura, og utløpslengden øker med blokkstørrelsen.
- Faresoner basert på felldata vil gi mindre konservative faresoner enn modellering med Rockyfor3D alene, og utløpslengde påvirkes i stor grad av lokale faktorer.

For å besvare hovedmålet og hypotesene, vil det bli gjennomført feltstudier og simuleringer fra åtte lokaliteter i kommunene Lærdal og Luster, i Sogn og Fjordane (Figur 3).



Figur 3: Feltområdene i denne oppgaven ligger i områdene som er merket med blå prikker (NVE Atlas, 2017).

2 Teori

2.1 Ulike definisjoner

Stein som raser ned en fjellside kalles gjerne for et steinskred, men det er vanlig å klassifisere disse basert på volum. Steinsprang brukes om utfall av steinblokker med et volum mindre enn 100 m^3 . Ved et volum mellom 100 m^3 og 10.000 m^3 betegnes dette som steinskred (Domaas og Grimstad, 2014). Fjellskred betegnes ved et volum større enn $10\,000 \text{ m}^3$, og det kan forekomme fjellskred med volum på mange millioner kubikkmeter (Jørstad, 1979).

Det må nevnes at det kan forekomme blokker på over 100 m^3 og som opptrer alene. Dette er også steinsprang. Det kan derfor være problematisk å definere et steinsprang kun ut fra volum, men klassifikasjonen bør også defineres ved oppførsel (Hungre et al., 2014).

Det store skillet i oppførsel ligger mellom fjellskred og steinsprang. Fjellskred skjer når store deler av fjellsiden løsner, og som beveger seg nedover fjellsiden med stor hastighet ned til et lavere nivå. Med steinsprang menes at en eller flere blokker faller ned fra et oppsprukket fjellparti (Jørstad, 1979). Steinsprang opptrer alene, mens fjellskred beveger seg som en samlet masse (Hungre et al., 2014).

Siden denne oppgaven tar for seg steinsprang, trengs en mer spesifikk definisjon på hva et steinsprang er.

Steinsprang er en geofare definert ved enkeltblokker av stein som løsner fra bratte fjellsider, og som beveger seg nedover fjellsiden enten ved å falle, sprette, rulle eller gli (Hungre et al., 1989). Steinsprang kan stoppe når det treffer fjellsiden under løsneområdet, men som oftest vil det bevege seg nedover fjellsiden til det stopper opp ved flatere terreng (Highland og Bobrowsky, 2008).

2.2 Forutsetninger for steinsprang

For at steinsprang skal kunne forekomme, må det finnes bratte fjellskrenter eller skråninger. Disse skrentene kan bestå av flere forskjellige typer bergarter med ulike geologiske formasjoner, som har bestemte sprekkesystemer (Jørstad, 1979). Steinsprang forekommer oftest i skråninger brattere enn 60° - 75° (Braathen et al., 2004), men det kan også skje i skråninger med slakere helning hvor andre faktorer spiller inn (Domaas og Grimstad, 2014).

Enhver steinblokk eller steinmasse har en kritisk helningsvinkel som leder til utglidning. Hvis terrenget er lavere enn denne, er det lav sannsynlighet for skred. Helningsvinkelen varierer med bergmasse og sprekkeflater, og kan gjøre at enkelte fjellsider med moderat helning har hyppige utløsninger, mens i andre tilnærmede vertikale fjellsider forekommer det nesten aldri skred (Domaas og Grimstad, 2014).

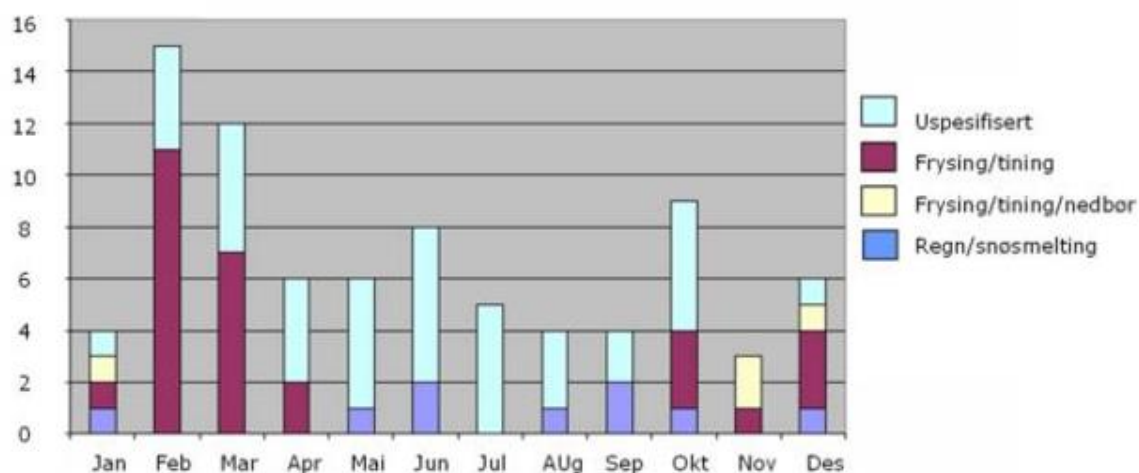
Sprekkdannelser eller brudd i bergarter er det som gir utgangspunktet for at blokkene kan gli ut. Et brudd er definert som en planær eller subplanær diskontinuitetsflate, dannet som følge av en ytre eller indre spenning (Fossen og Gabrielsen, 2005). En sprekk er definert som et brudd hvor ingen relativ målbar bevegelse har funnet sted, hverken vinkelrett på eller parallelt med bruddplanet (Fossen og Gabrielsen, 2005). Årsaker til sprekkdannelse forekommer oftest som følge av forvitring. Forvitring er definert som nedbrytning av bergarter, mineraler og andre materialer under påvirkning av luft, vann og temperatursvingninger (Spjeldnæs, 2015).

Årsakene til steinsprang er mange, men det som går igjen er vann som en destabiliserende faktor. Når vanntrykket øker i sprekkeene, vil dette gi en reduksjon i friksjon langs glideplan. Dette vil gi en reduksjon i skjærstyrke (Sandersen et al., 1997), samt reduksjon av styrken langs sprekkflatene (Domaas og Grimstad, 2014).

Mekanismer som kan forårsake steinsprang er (Domaas og Grimstad, 2014):

- Store nedbørsmengder over kort tid
- Rask snøsmelting kombinert med nedbør
- Frostsprengning
- Rotsprengning (biologisk erosjon)
- Kjemisk forvitring over lengre tid
- Jordskjelv
- Menneskelig aktivitet (sprengning, skjæringer, gruvedrift og anleggsdrift)
- Krypbevegelser

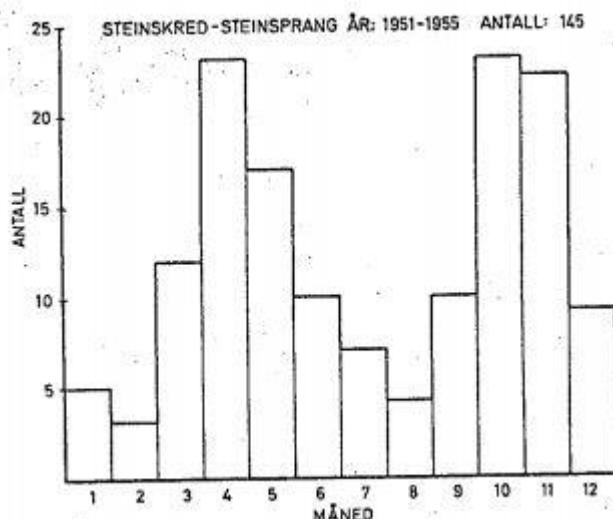
Ved Oppdølsstranda nær Sunndalsøra ble det foretatt en undersøkelse av utløsningsmekanismen til 80 registrerte steinsprang (Moen og Humstad, 2009). Rapporten konkluderte med at 40 prosent av steinsprangaktiviteten var på grunn av fryse- og tine prosesser. 10 prosent av steinsprangaktiviteten var på grunn av regn og snøsmelting. 50 prosent av steinsprangaktiviteten var uspesifisert, hvor årsakene kunne være termisk utvidelse, rot sprengning, rystelser, langvarig forvitring eller kombinasjoner av flere ugunstige værforhold. Denne store andelen av uspesifiserte årsaker, viser vanskelighetene med å gi sikre varsler om steinsprangfare (Figur 4).



Figur 4: Utløsningsmekanismer (og værforhold) ved 80 registrerte steinskred ved Oppdølsstranda 2000-2009 (Moen og Humstad, 2009)

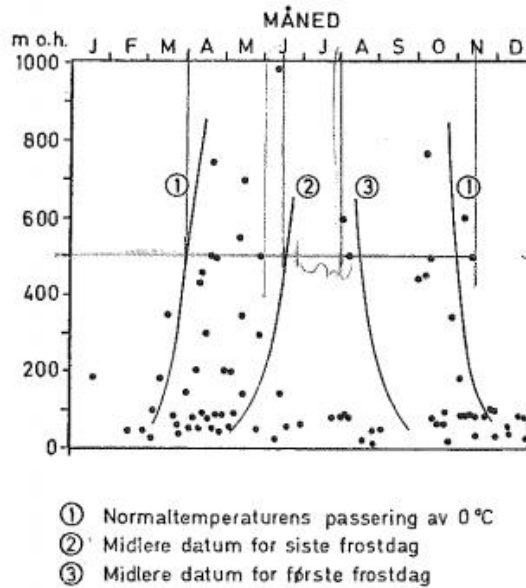
2.3 Forekomst av steinsprang

Steinsprang forekommer året rundt i alle deler av landet hvor det finnes bratte fjellsider, og områder med bart fjell. Både Moen og Humstad (2009) samt Jørstad (1979), har undersøkt når steinsprang forekommer i løpet av året. Jørstad (1979) viser at den største forekomsten av steinsprang er på våren og høsten (Figur 5).



Figur 5: Månedlig fordeling av steinsprang for hele Norge (Jørstad, 1979).

Det er hovedsakelig i månedene april-mai, og oktober-november at det forekommer flest steinsprang. Det er også i denne perioden temperaturen svinger mest om frysepunktet og at det er størst tilgang på vann fra snøsmelting på våren, og nedbør på høsten. Jørstad (1979) ser videre på hvor steinsprangene i Østlandet finner sted knyttet til høyde over havet (Figur 6). Figuren viser at alle steinsprang som finner sted mer enn 100 meter over havet, foregår hovedsakelig i to perioder, en på våren og en på høsten. Dette er periodene hvor temperaturen svinger mest rundt frysepunktet og ut ifra dette konkluderer Jørstad (1979), at frostsprengning er av stor betydning for steinsprang som løsner høyere enn 100 meter over havet. For steinsprang som skjer lavere enn 100 meter over havet og som intreffer stort sett hele året, er derimot årsakene mindre sikker. Kombineres dette med studien fra Moen og Humstad (2009), er det vanskelig å gi klare årsaker til utløsning av steinsprang.



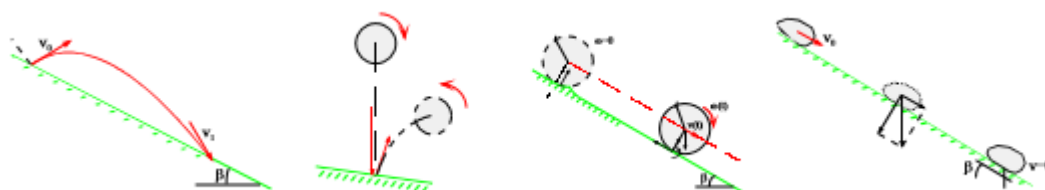
Figur 6: Fordeling av steinsprang på Østlandet som funksjon av tidspunkt og høyde over havet (Jørstad, 1979).

2.4 Steinsprang bevegelser og faktorer som påvirker dette

Skredbanen til et steinsprang kan deles inn i tre områder. Disse er utløsningsområdet, skredløpet og utløpsområdet (Dorren et al., 2011). Utløsningsområdet (kalt kildeområdet) er den øverste delen hvor skredet starter. Dette er ofte fast fjell i form av en klippe eller hylle, men kan også være løse blokker som tidligere er blitt avsatt. Skredløpet er hvor transporten av skredmaterialet foregår. Her kan også steinsprangene avsettes, og de kan rive med seg nytt materiale. Utløpsområdet er der hvor steinsprangene stopper opp, og avsettes (Vegdirektoratet, 2014).

Når et steinsprang løsner kan utløpsbanen beskrives ved fire typer bevegelse: fritt fall, rulling, sprang mot underlaget eller glidning (Heidenreich, 2004, Bjordal et al., 2011, Turner og Duffy, 2012) (Figur 7). Oppførselen til en blokk som har løsnet fra underlaget kan forklares ved fem punkter (Turner og Duffy, 2012):

1. Blokk løsner fra underlag.
2. Fritt og nærmest vertikalt fall.
3. Kollisjon i øvre del av ur (hvis den er tilstede) eller underlag.
4. Sprang, rulling og glidning nedover ura (hvis den er tilstede) eller underlag.
5. Deselerasjon og faller til ro i bunn av utløp med lav helningsvinkel, eller fanget av naturlige eller menneskeskapte barrierer.



Figur 7: Bevegelsesmåter for steinsprang, fra venstre mot høyre: Fritt fall, sprang mot underlag, rulle og glidning (Heidenreich, 2004).

Som følge av variasjoner i terrenget og blokkformen vil disse typene bevegelse opptre i forskjellige kombinasjoner og rekkefølger (Schieldrop, 1977). Hvordan steinsprangene beveger seg avhenger av flere faktorer som geometri i skredbanen, restitusjonskoeffisienter til underlaget, størrelse på blokken og ruheten til underlaget (Heidenreich, 2004, Turner og Schuster, 2012, Bjordal et al., 2011). Disse vil bli gjennomgått i mer detalj i følgende delkapitler.

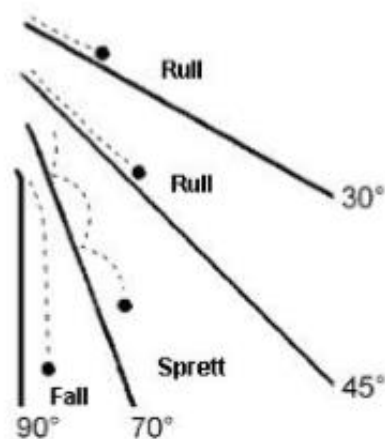
2.4.1 Bevegelse basert på helning til underlaget

Fallende steinblokkers mest sannsynlige bevegelse, kan antas ut fra helningen til underlaget (Figur 8). Ved et slett (tilnærmet rett) underlag, vil den vanligste bevegelsestypen være rulling. En rullende blokk vil tilnærmet alltid være i kontakt med underlaget. Når helningen til underlaget er mellom 46° og 63° , vil bevegelsen oftest foregå ved sprang (Heidenreich, 2004).

Ved helninger brattere enn 70° endres bevegelsen fra sprang til fritt fall (Dorren, 2003), men det er også vist at fritt fall kan foregå ned mot 63° helning (Heidenreich, 2004). Ved fritt fall kan blokken bevege seg på to måter. Den første er ved translasjon og den andre er ved rotasjon

om massesenteret (Dorren, 2003). Ved hjelp av rotasjon kan blokken endre retning ved treff med underlaget. Dette gjør at det er vanskelig å beregne bevegelsen til steinsprang.

Glidning forekommer som regel kun i start- og slutfasen til et steinsprang. Ved en økning i helning vil en glidende blokk gå over til å falle, sprette og rulle. Hvis helningen holdes konstant vil derimot blokken vanligvis stoppe på grunn av energitap knyttet til friksjon (Dorren, 2003).



Figur 8: Bevegelsesmåter for steinsprang basert på generaliserte terrengvinkler (Bjordal, 2011).

2.4.2 Restitusjonskoeffisienter og demping mot underlaget

Når en blokk kolliderer med underlaget vil en del av hastigheten dempes som følge av støtet. Restitusjon også kalt støttap, angir hvor stor del av hastighetens normalkomponent som restitueres (Schieldrop, 1977). Hvis man ser på en blokk med masse m , som slippes fra høyde H_0 , og som spretter langs et horisontalt underlag der det ikke er demping, vil den i teorien kunne sprette med like lengder så langt som horisontalplanet rekker (Figur 9). Uten støtdemping vil blokken oppnå hastighet V_1 gitt ved følgende formel:

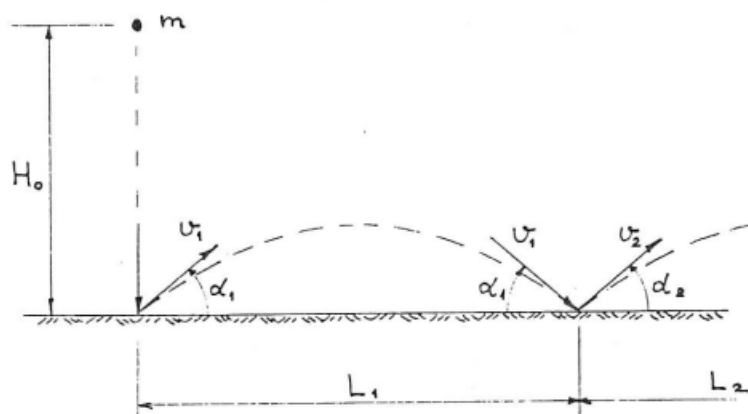
$$V_1^2 = V_0^2 = 2gH_0 \quad (1)$$

Hvor V_0 er utgangshastigheten og g er tyngdens akselerasjon. Første spranglengde vil da være

$$L_1 = 2H_0 \sin 2\alpha_1 \quad (2)$$

Og spranglengdene videre

$$L_1 = L_2 = L_3 = L_n \quad (3)$$



Figur 9: Lengdesprang for en blokk med masse m langs et horisontalt underlag uten støddemping (Schieldrop, 1977)

Når støttapet blir lagt til vil derimot spranglengdene minke som følge av restitusjonskoeffisient e

$$L_2 = eL_1 \quad (4)$$

$$L_3 = eL_2 = e^2L_1 \quad (5)$$

$$L_n = e^{n-1}L_1 \quad (6)$$

Rekkevidde ved n støt vil da bli

$$SL_n = L_1 \frac{(1 - e^n)}{(1 - e)} \quad (7)$$

Underveis vil sprangene minke i lengde og blokken vil da enten stoppe opp, eller gå over til rulling langs underlaget (Schieldrop, 1977).

Evans og Hungr (1989) sier at mye av energien ved et fritt fall tapes i det første sammenstøtet med toppen av ura, og at tapet kan være opptil 75-85 %. Dette betyr at fallhøyden er av begrenset betydning for utløp utenfor ura.

Det er flere faktorer som påvirker restitusjonsegenskaper knyttet til både skråning, blokkform og kollisjon (Tabell 2).

Tabell 2: Oversikt over parametere som påvirker hastighetsenergien til en blokk (Heidenreich, 2004).

Helningsegenskaper	Blokkegenskaper	Kinematikk
<ul style="list-style-type: none"> • Deformasjonsstyrke • Stivhet • Ruhet i forhold til blokkstørrelsen • Inklinasjon 	<ul style="list-style-type: none"> • Deformasjonsstyrke • Stivhet • Vekt • Størrelse • Form 	<ul style="list-style-type: none"> • Hastighet (translasjon og rotasjon) • Kollisjonsvinkel • Konfigurasjon av blokken ved nedslag

2.4.3 Ruhet, høydevariasjon til underlaget

Ruheten i underlaget defineres som høydevariasjonen normalt på et underlag (Turner og Duffy, 2012). Dette er også knyttet til forholdet mellom størrelsen på den fallende blokken, og størrelsen på fragmentene i underlaget som er med å skape ruheten (Turner og Duffy, 2012). Ruheten er med å lage hindringer for blokker som beveger seg nedover underlaget, og kan derfor være med bremse opp blokkene (Turner og Duffy, 2012). Ujevnheter i terrenget kan også føre til at sprangene kan bli lange. Hvis blokkene oppnår høy rotasjon, kan de begynne å rulle som hjul, og dette vil være med å gi lange utløp (Domaas og Grimstad, 2014).

2.4.4 Blokkstørrelse, form og utløp

Mens mindre blokker oftest vil falle til ro i ura eller i nærheten av utløsningsområdet, vil større blokker ha lengre utløp (Turner og Duffy, 2012). Dette kan forklares ved ruhet mellom blokken og underlaget. Ved et underlag med relativt liten ruhet, vil små blokker ofte kollidere i små hulrom og miste energien ved sammenstøtet. Større blokker vil ikke påvirkes av dette og bevegelsen vil være opprettholdt (Turner og Duffy, 2012).

Det ikke alltid nødvendigvis de største blokkene som har lengst utløp. Petje et al. (2005) forklarer dette med at:

- Større blokker synker dypere ned i bakken enn mindre blokker.
- Store blokker har lettere for å kollidere med andre store blokker, som er med å friggi kinetisk energi.
- Store blokker kan enklere dele seg opp i mindre blokker, hvor den kinetiske energien vil bli spredt over flere blokker.

Observasjoner gjort med både naturlige og kunstige steinsprang viser at rundere blokker oppnår en høyere hastighet enn blokker med mer kantet form (Turner og Duffy, 2012), og at formen på blokkene er en viktigere faktor enn volumet. Dette er vist for blokker som er mellom 10 og 100 m³ (Domaas, 1994).

I en studie utført av Schieldrop (1988) vises det også at for en mangekantet blokk som er tilnærmet rund, kreves det en mye mindre helning på underlaget for at rulling skal begynne. Kubiske blokker har mye større motstand mot rulling, siden blokkene må bruke energi for å løfte tyngdepunktet over hjørnene til blokken. I studien til Schieldrop (1988) er det teoretisk beregnet at med et slett underlag må det en helningsvinkel som er brattere enn 28°, for at en firkantet blokk skal kunne opprettholde bevegelsen langs underlaget. Har blokken derimot fem kanter, behøves det kun en helning på 12° for at bevegelsen skal være mulig. Dette kan også være et argument for at rundere blokker kan ha lengre utløp enn blokker med mer kantet form.

2.4.5 Helningen på underlaget utenfor urfoten

Gjennom feltobservasjoner på blokker med langt utløp, sier Domaas (1994) at en av de viktige faktorene som er med å gi lange utløp er helningen utenfor urfoten. Et eksempel på dette var en blokk som gikk 295 meter utenfor urfoten. Denne løsnet fra en 500 meter høy fjellside, og helningen på underlaget utenfor urfoten, var 18°. Målingene viste at utløp øker i områder som hadde en helning brattere en 15° utenfor urfoten. I områder med helning brattere enn 20° kan det også antas at utløpene vil bli spesielt lange.

2.5 Ur

En steinur (engelsk: talus eller scree) er en landform som består av akkumulert løst, grovt og vanligvis kantete steinmateriale. Disse forekommer i bunnen av bratte fjellsider, og dannes over lange tidsperioder (Luckman, 2013). Steinurer forekommer i mange områder, men hovedsakelig der hvor det foregår forvitring i fjellsiden, og hvor gravitasjon er med å frakte materialet ned i ura. Blokker som havner i ura, har som regel opphav fra rasmateriale fra den overliggende fjellsiden.

2.5.1 Morfologi

Morfologien til en steinur avhenger av fjellsiden som tilfører materialet, samt overflaten hvor løsmaterialet akkumuleres (Luckman, 2013). I en tilnærmet vertikal fjellside med en ensidig geologi, vil det som oftest bli dannet langstrakte urer med generelt lik karakter langs fjellsiden. Hvis fjellsiden har en mer komplisert geologisk struktur, og hvis steinsprangene løsner fra bestemte steder eller kløfter, vil det dannes skredkjegler (Jørstad, 1979).

Mange steinurer har en helning mellom 33° og 35° , hvor ura har en basal konkavitet (Luckman, 2013). I den øvre sonen kan helningen være opptil 40° , men tidligere rapporter viser at normale helningsverdier ligger på rundt 32° - 37° . Det finnes også steinurer som kan ha helning på 25° til 30° i denne sonen.

2.5.2 Øvre og nedre sone

Francou og Mantè (1990) deler steinura i en øvre og nedre sone. Den øvre sonen har en brattere helningsgrad enn den nedre. Den øvre sonen er tilnærmet rett, mens den nedre sonen har en mer konkav form. Grensen hvor skillet mellom øvre og nedre sone forekommer, er rundt 33° - 34° . De sier også at den øvre sonen er en transportsone i ura, mens den nedre sonen er en kombinasjon av både transport og avsetning. Lengden på den nedre sonen avhenger av lokalitetens karakter, alder på ura og avsetningsprosesser.

Yttergrensene til en steinur defineres som apex og urfot. Apex er det høyeste punktet hvor ura begynner, mens urfoten defineres som den nedre grensen, hvor området er fullstendig dekket av materialet i ura (Domaas, 1994).

2.5.3 Materialet i ura

Steinurer består av kantede og irregulære steinblokker i forskjellige størrelser. I de fleste steinurene øker størrelse på blokkene ned mot urfoten (Luckman, 2013). Dette kan forklares ved at store blokker har et større moment, som gjør at de kan reise lengre distanser (Luckman, 2013). Siden en ur består av akkumulert løsmateriale, vil overflaten ikke være tilnærmet rett. Løsmaterialet vil danne ujevnheter i form av topper og fordypninger (Statham, 1976). Dette vil påvirke blokksorteringen i ura. Små blokker vil ha en tendens til å bli fanget i fordypninger, og derfor falle til ro i øvre del, mens store blokker krever større hindringer for at blokkene skal kunne tape moment. Derfor faller store blokker til ro i nedre del av ura, hvor blokkstørrelsen er større enn i øvre del (Statham, 1976). Materialet i ura vil også være med å påvirke bevegelsen til steinsprang. Dette skjer fordi ujevnheter i ura kan slå blokkene til side (Domaas og Grimstad, 2014). Tidligere studier har vist at blokker som kolliderer med ura, kan endre retning med opptil 60° (Jørstad, 1979).

2.6 Rockyfor3D

Rockyfor3D er et simuleringsprogram utviklet av firmaet Ecorisq. Dette programmet simulerer baner til enkeltblokker som faller nedover et landskap i tre dimensjoner. Programmet benytter seg av en kombinasjon av fysiske deterministiske algoritmer med tilfeldige prosesser, som simulerer banen til en blokk, fra den løsner i en fjellside, til den faller til ro lenger nede. Dette gjør at Rockyfor3D defineres som «en probabilistisk prosessbasert steinsprangbane modell». Modellen kan benyttes i analyser både på regional og lokal skala, for å simulere utløpene til steinsprang (Dorren, 2015).

Utløpene til steinsprang simuleres som vektordata i tre dimensjoner. Dette gjøres ved å beregne sekvenser av bevegelse ved parabolisk fritt fall gjennom luften, og ved kontakter med underlaget til skråningen. Rulling er estimert ved korte kontakter med underlaget. Glidning som bevegelse er ikke modellert i dette programmet. Kollisjon med trær kan også tas med i simuleringene.

For at modellen skal gi gode resultater er det viktig at inndata representerer virkeligheten, enten om det er regional, lokal eller en enkelt fjellside hvor det skal kjøres simuleringer.

2.6.1 Inndata

For at Rockyfor3D skal kunne gi resultater, kreves det minimum ti sett med rasterkart samt parametere knyttet til kilde- og utløpsområder. Rasterkartene må ha samme cellestørrelse og utstrekning. En stor cellestørrelse vil gi en lavere presisjon knyttet til kinematikk beregninger, og nøyaktigheten til de simulerte kartene. Det anbefales å bruke en cellestørrelse mellom 2x2 m og 10x10m. Ved 1x1m har tidligere forsøk vist at dette øker datamengden enormt, samtidig som kvaliteten ikke forbedres. Rasterkartene bør være i ESRI ASCII Grid format. Følgende ti rasterkart behøves ved analyse med Rockyfor3D:

Terrengmodel (dem.asc)

Terrengmodel eller Digital Elevation Model (DEM), er data som beskriver topografien. Laserscanning (LiDAR) gir ofte gode terrengmodeller, men er ikke alltid tilgjengelig.

Rockdensity.asc

Et rasterkart med bergartstettheten til hver celle. Verdi settes enten til 0 eller 2000-3300 kg/m³ som representerer tettheten til de vanligste bergartene (Tabell 3). Celler med verdier mellom 2000 og 3300 kg/m³ blir definert som kildeområder, mens celler med verdien 0 regnes ikke som kildeområder. Blokker som simuleres fra kildeområder vil ha tettheten som er gitt til cellen.

Tabell 3: Tettheten til de vanligste bergartene i Norge (SINTEF, 2017).

Brutto densitet (kg/m³)	Meget lav	Lav	Middels	Høy	Meget høy
	< 2400	2400-2600	2600-2800	2800-3000	> 3000
Steintype					
Sandstein	■	■			
Kalkstein	■	■			
Leirskifer			-----		
Marmor		■	■		
Fyllitt, glimmerskifer			■		
Kvartsskifer			■		
Serpentinitt			-----		
Kleberstein			-----		
Gneis		■	■		
Granitter o.l.		■	■		
Larvikitt			■		
Gabbro, dioritt, diabas etc.	■			■	

Blokkstørrelse (d1.asc, d2.asc, d3.asc)

Tre rasterkart hvor d1 er blokkens høyde, d2 blokkens bredde og d3 er blokkens lengde. Cellene som ikke er i kildeområdet, tildeles verdi 0.

Blokkform (blshape.asc)

Et rasterkart som definerer formen til blokker som løsner fra kildeområdet. Hver celle i kildeområdet får en verdi fra 0-4 som definerer blokkform. Følgende former basert på verdi er:

- 0: ingen blokkform/ ingen kildecelle definert
- 1: Rektangulær
- 2: Ellipsoide
- 3: Sfærisk
- 4: diskform

Hvis ingen blokkform er definert i en kildecelle (verdi 0), vil det bli simulert en ellipsoide eller sfærisk blokk avhengig av blokkstørrelse. Celler som ikke forekommer i kildeområdet får verdien 0.

Rektangulære og ellipsoide formede blokker kan ha tre ulike dimensjoner, mens en sfærisk blokk har tre dimensjoner som er like. Ved den diskformede blokken, kan den minste dimensjonen være 1/3 av de to andre.

Ruhet til overflaten (rg70.asc, rg20asc.asc, rg10.asc)

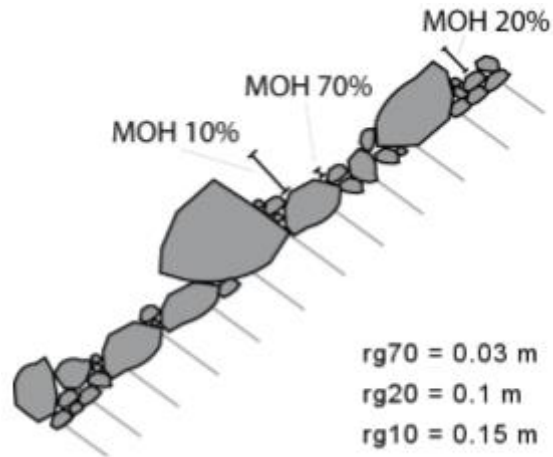
Tre raster kart som definerer overflatens ruhet med verdier mellom 0 og 100 meter. Ruheten representerer høyde (MOH) til blokkene som stikker vertikalt opp fra overflaten, og som danner hindringer for blokkene som er på vei ned (Figur 10). Ruheten måles ved å se nedover i skråningen og deles inn i tre klasser:

Rg70: Celler hvor en blokk som spretter vil i 70 % av tilfellene kollidere med hindringer som dekker 70 % av cellen.

Rg20: Celler hvor en blokk som spretter vil i 20 % av tilfellene kollidere med hindringer som dekker 20 % av cellen.

Rg10: Celler hvor en blokk som spretter vil i 10 % av tilfellene kollidere med hindringer som dekker 10 % av cellen.

Rg 70 er gjennomsnittshøyden til hindringer for 70 % av overflaten. Rg10 blir høyden til de høyeste hindringene som dekker 10 % av overflaten, mens Rg 20 er verdiene i mellom disse to.



Figur 10: Visualisering av hindringers høyde (MOH) representert ved 70 %, 20 % og 10 % av overflaten til et homogent område i en skråning (Dorren, 2015).

Som sagt varierer ruhetsverdiene mellom 0 og 100, hvor 0 brukes om en jevn overflate, mens 100 kan brukes hvor blokker skal stoppe, for eksempel ved elv eller innsjø. Ruhetsverdier brukes ikke i selve terrengmodellen, men ved beregning av restitusjonskoeffisienter og tap av energi.

Bakketype (soiltype.asc)

Et rasterkart som definerer bakketypen til underlaget. Det finnes 8 typer underlag som kan tildeles en celle (vedlegg A). Rasterkartet viser underlagets elastisitet og brukes opp mot normalcoeffisienten til restitusjon.

For at modelleringen skal gjengi virkeligheten best mulig, er det viktig at en registrerer og bestemmer input parametere under feltarbeidet.

2.6.2 Utdata

Ved simulering med Rockyfor3D lages det flere typer rasterkart som kan vises med GIS programvare (Tabell 4).

Tabell 4: Utdata etter simulering med Rockyfor3D.

Rasterkart	Forklaring
Nr_deposited.asc	Antall blokker som har stoppet i hver celle.
Nr_passages.asc	Antall blokker som har passert hver celle.
Reach_probability.asc	Kart som viser sannsynligheten for at blokker treffer visse celler. Verdier går fra 0-100 %, og er regnet ut fra formel: $Reach_probability = \frac{Nr_passages * 100}{antall\ simuleringer\ per\ celle\ i\ løseområdet * antall\ celler\ i\ løseområdet}$
Ph_50.asc	Viser gjennomsnittlig høyde, som blokker kan passere over bakken (i meter). Måles ved høyden mellom senter til blokk, og underlaget i cellen
Ph_mean.asc	Gjennomsnittlig passeringshøyde, for alle blokker som har passert cellen i forhold til maksimum. Måles ved høyden mellom senter til blokk, og underlaget i cellen.
E_50.asc	Viser verdier av simulerte energi ved hver celle i Kj.
E_mean.asc	Gjennomsnittet av maksimal kinetisk energi (både translasjon og rotasjonsenergi i Kj) for alle simulerte blokker ved hver celle.

Knyttet til faresonekartlegging og utløp av steinsprang, er det karttypene Reach_probability.asc og Nr_deposited.asc som er av mest nytte knyttet til utløp av steinsprang. For mer info om programmet Rockyfor3D, se Dorren(2015).

3 Metode

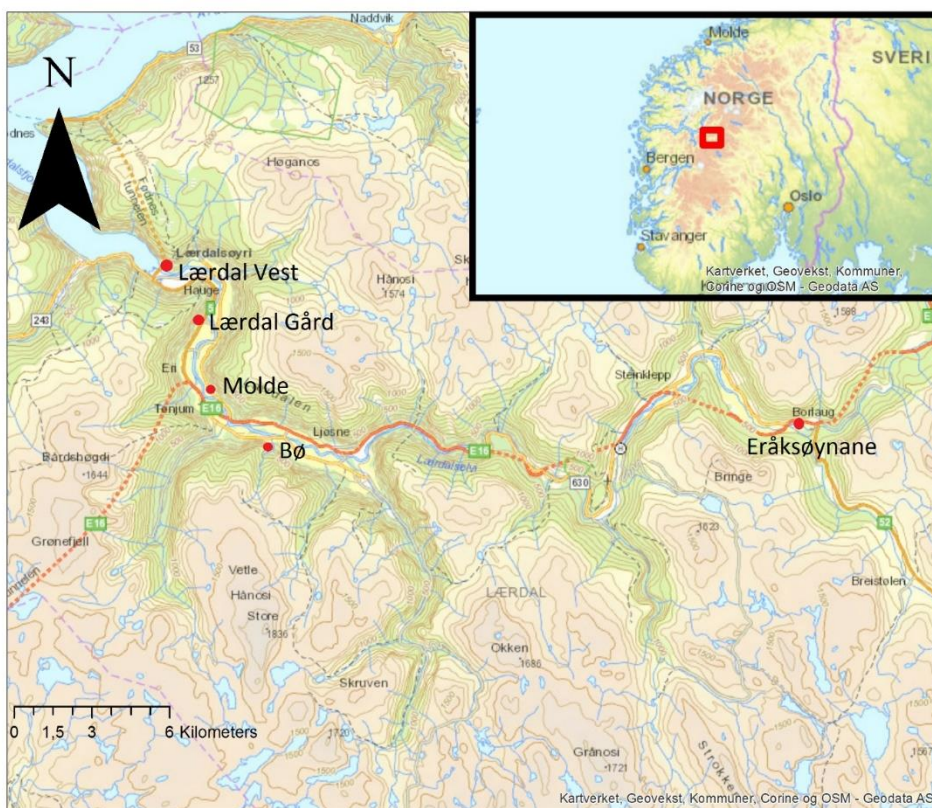
3.1 Introduksjon av feltområder

Feltområdene for denne oppgaven ligger i kommunene Luster og Lærdal, i Sogn og Fjordane. Dette området ble valgt ut siden det tidligere har forekommet hyppig aktivitet knyttet til steinsprang og skred i områdene, med tydelige urdannelser sett fra kart. I flere av disse områdene er det også tidligere blitt utført faresonekartlegginger knyttet til steinsprang (Hefre et al., 2015a, Blikra og Aa, 1996).

I Luster kommune er feltarbeid blitt utført ved en lokalitet i Fortunsdalen, innerst i Sognefjorden, samt ved to lokaliteter i Breheimen (Figur 11), ved Fast turisthytte. I Lærdal kommune er feltarbeid blitt utført i fire lokaliteter, i tillegg til Eråksøyne som ligger lenger øst i dalføret (Figur 12).



Figur 11: Feltlokaliteter i Luster kommune, merket med navn og rød sirkel.



Figur 12: Feltlokaliteter i Lærdal kommune, merket med navn og rød sirkel.

3.1.1 Regional geologi

Geologien ved lokalitetene, og ellers i denne delen av Norge (Sogn og Fjordane), har en tredelt oppbygning. Nederst er det et prekambrisk grunnfjell som er dekket med metamorfe kambro-silurske bergarter. På toppen ligger et nytt dekke med grunnfjell, Jotundekket. Den kaledonske fjellkjedefoldningen er hovedgrunnen til at man finner denne oppbygningen i området.

Det prekambriske grunnfjellet består hovedsakelig av gneis og granitt, som er dannet dypt nede i jordskorpen under høyt trykk. De yngste delene av grunnfjellet er 900 millioner år gamle, mens de mer eldre delene er så gamle som 1750 millioner år (Nordgulen og Andresen, 2006). Gjennom flere millioner år med erosjon, ble dette grunnfjellet slitt ned til et flatt og langstrakt slettelandskap, som i dag kalles det sub kambriske peneplanet (Bryhni, 2015).

For rundt 400 millioner år siden kolliderte den baltiske-platen (Europa), med den laurentiske (Nord-Amerika), og dannet den kaledonske fjellkjeden. Tidligere, for rundt 550 millioner år siden, ble peneplanet oversvømt, og det ble avsatt sedimenter. Følgene av den kaledonske fjellkjeden, var at store skyvedekker med prekambrisk grunnfjell, ble skjøvet over sedimentene fra kambro-Silur (Nordgulen og Andresen, 2006). Som følge av fjellkjededannelsen ble

sedimentene utsatt for høyt trykk og temperatur, og ble omdannet til metamorfe bergarter som fyllitt og kvartsitt.

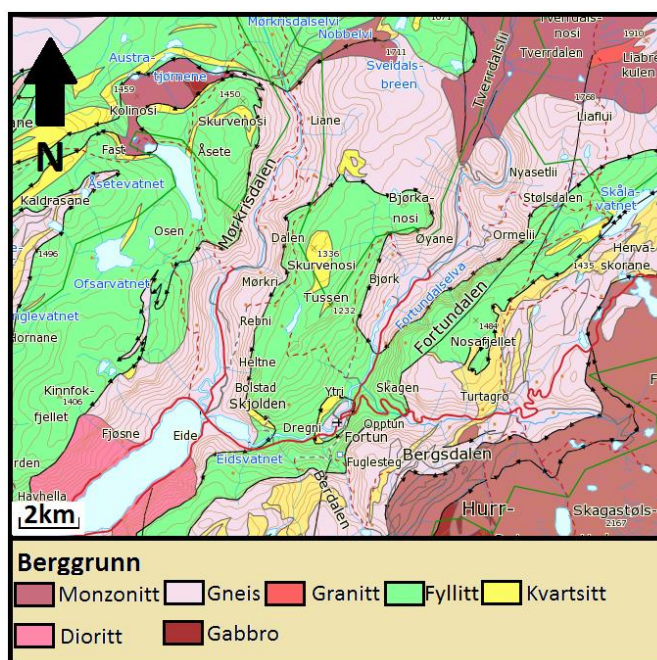
Skyvedekket som kom med den kaledonske fjellkjeden, betegnes som Jotundekket, og utgjør en stor del av berggrunnen i Sogn og Fjordane. Skyvedekket deles i to flak, hvor nedre flak består av 1600-1700 millioner år gamle syenitter, og monzonitter med innslag av yngre gabbroer, med en alder på 1250 millioner år. I det øvre flaket opptrer anortositt, med innslag av gabbro (Nordgulen og Andresen, 2006). Under forskyvningen ble dette også utsatt for sterk deformasjon.

3.1.2 Lokal geologi

Geologien for feltområdene (Tabell 5) er hentet fra berggrunnskartet til Norges Geologiske Undersøkelse (NGU) (<http://geo.ngu.no/kart/arealis/>).

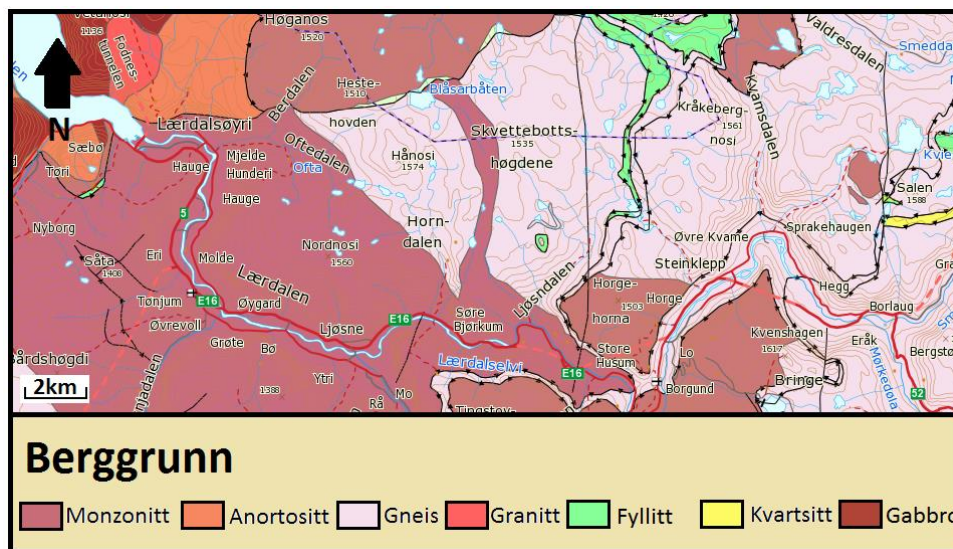
I Fortundalen (Figur 13) består grunnfjellet av granittisk gneis. Dette har et overliggende lag med metamorfe bergarter som fyllitt og glimmerskifer. Innerst i dalen er det gneis som dominerer, mens det forekommer en skyvegrense i østvestlig retning. Her er det fyllitt og glimmerskifer som dominerer i området ned mot Skjolden og starten på Sognefjorden.

Området rundt Fast turisthytte består av metamorfe bergarter som glimmerskifer og fyllitt. Over dette forekommer Jotundekket i form av monzonitt. I dette området er det også berggrunn av kvartsitt.



Figur 13: Berggrunn i og rundt Luster (NGU Arealis, 2017).

Området i Lærdalen er generelt preget av samme geologiske oppbygning som den regionale geologien. I bunnen er det et grunnfjell, med overliggende metamorfe bergarter, som igjen er dekket med bergarter fra Jotun- valdresdekket. I vestre del av Lærdalen er det bergarten monzonitt som dominerer, men det forekommer også områder med anortositt. I øst domineres berggrunnen av gneis (Figur 14).



Figur 14: Berggrunn i Lærdalen (NGU Arealis, 2017).

Tabell 5: Oppsummert berggrunnsgeologi ved feltlokalitetene.

Lokalitet	Berggrunn
Molde	Monzonitt
Lærdal gård	Monzonitt
Bø	Monzonitt
Eråksøyane	Gneis
Lærdal Vest	Monzonitt med overliggende lag av anortositt
Skagen	Fyllitt
Fast 1	Glimmerskifer og fyllitt med overliggende lag monzonitt. Også forekomster av kvartsitt.
Fast 2	Glimmerskifer og fyllitt med overliggende lag monzonitt. Også forekomster av kvartsitt.

3.1.3 Løsmassegeologi og topografi

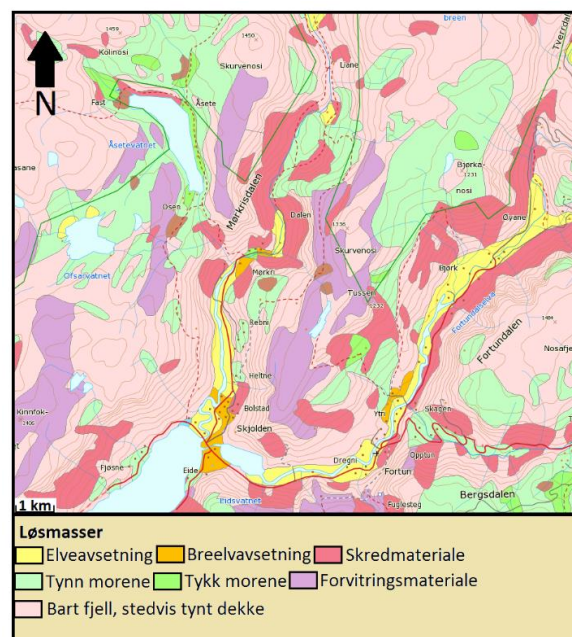
De fleste lokalitetene som er besøkt under feltarbeidet har nokså lik løsmassegeologi og topografi. Områdene har en flat dalbunn med bratte dalsider. I dalføret forekommer elveavsetninger med innslag av breelavsetninger. Mange av områdene er også utsatt for flomskred, så tidligere flomskredvifter er avsatt i bunnen av dalføret. Langs skrentene i dalføret er det store urdannelser. Ved flere av lokalitetene er det store forekomster av morenemateriale.

Fortunsdalen

Området er bygget opp med et flatt dalføre som har bratte skrenter på begge sider. I bunnen er det både elveavsetninger og breelvavsetninger som Fortunselva eroderer ned i. Dalføret ligger ca 60 moh. I bunnen av fjellsidene forekommer skredavsetninger i form av urer. Ved flere av fjellsidene, strekker vegetasjonen seg helt opp til høvfjellet. Det er mange bekker som renner ned langs fjellsidene, hvor det ligger avsetninger etter tidligere flomskred (Figur 15).

Fast turisthytte

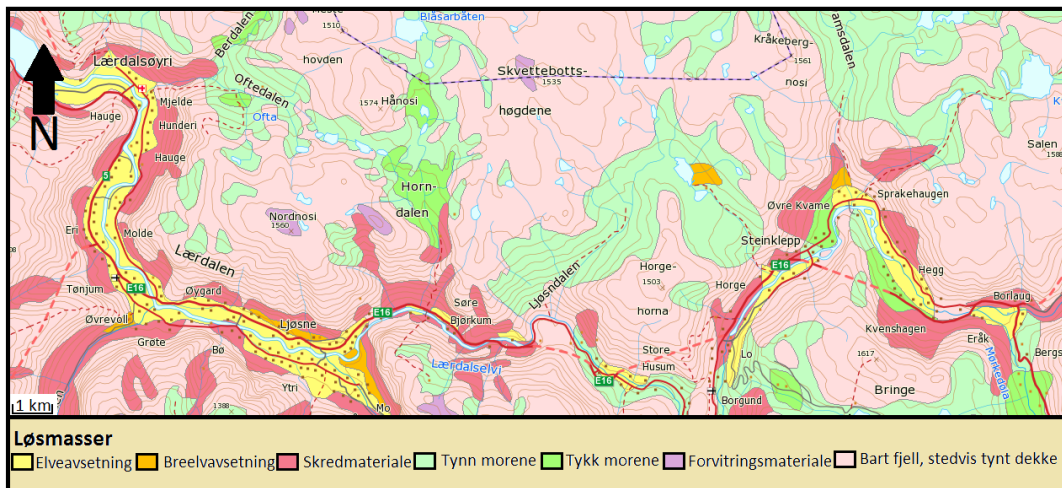
Området ved fast turisthytte ligger i et åpent og kupert fjellandskap med lite vegetasjon, ved ca 840 moh. Generelt er området preget av myrlandskap i nærheten av Åsetevatnet. Området har store moreneavsetninger, hvor tykkelse og høyde varierer. Området har bratte og tilnærmet vertikale fjellskrenter, med skredmateriale i bunn.



Figur 15: Løsmassegeologi i Luster (NGU Arealis, 2017).

Lærdalen og Eråksøyane

Lærdalen har som Fortunsdalen et flatt dalføre med bratte dalsider på begge kanter. I dalføret forekommer både fluviale og glasifluviale avsetninger. Langs dalsidene ligger skredmateriale i form av ur og steinsprang. Områdene har både morene- og flomskredavsetninger. Dalsidene strekker seg opp mot 1400-1500 meters høyde og består av fast fjell med et spredt dekke av vegetasjon (Figur 16).



Figur 16: Løsmassegeologi i Lærdalen (NGU Arealis, 2017).

3.1.4 Tidligere skredhendelser ved de undersøkte lokalitetene

Tidligere skredhendelser knyttet til de undersøkte lokalitetene, er funnet via <https://gis3.nve.no/link/?link=SkredHendelser> (videre omtalt som skrednett) og fra tidligere rapporter hvor det er blitt utført skredfarekartlegginger (Hefre et al., 2015a, Blikra og Aa, 1996).

Molde, Lærdal

Det er ingen registrerte hendelser i selve feltområdet. 800 meter nord for feltområdet er det registrert to steinsprang som løsnet fra fjellpartiet Nakken i 1937 og 1961. Disse hadde et anslått volum på 3-5 m³, og kom et stykke ned i dalbunnen (Hefre et al., 2015a).

Lærdal Gård

I området rundt Lærdal Gård er det registrert flere tidligere skredhendelser (skrednett). Rett sør for gården gikk det et større steinskred høsten 1944. 15 sauer mistet livet som følge av dette. Det har gått lignende skred i området i februar 1928, og i 1951 (Blikra og Aa, 1996).

Beboerne ved Lærdal gård kunne fortelle at nyeste steinsprang i området skjedde 8 mars 2006. For 50-60 år siden gikk også en stein gjennom taket på låven, men det er mulig at denne kom som fragment fra et steinsprang. I tidligere rapport fra Lærdal (Blikra og Aa, 1996) fortelles det om en stein som gikk gjennom veggen på låven i februar 1928, som samsvarer med det beboerne sier, men årstall og hvordan den traff veggen er usikkert.

Lenger nord i dalføret er det markert en hendelse den 11. Oktober 1983, der et større steinskred sperret veien i 100 meters bredde. De største blokkene nådde ned til veien og elva, og sperret denne. Det er anslått at det var et 500 m³ stort parti som løsnet fra en hammer i ca 300 meters høyde. Massene ble knust på vei ned, og mesteparten av materialet ble liggende i ura ovenfor veibanen. De største blokkene nådde ut til veien og hadde et samlet volum på 200 m³ (Blikra og Aa, 1996). Beboere forklarte også at blokker som tidligere har krysset veien er blitt fjernet fra området. Flere av gårdene i dette området lå tidligere nærmere fjellsiden, men er blitt flyttet i senere tid.

Bø i Lærdal

Ved Bø er det registrert tre skredhendelser (skrednett). Det eldste skjedde i 1801, hvor en person omkom som følge av snøskred. I 1850 gikk et jordras i området, hvor en mann omkom. I 1885, gikk det et sørpeskred ned fjellsiden som slo ned skogen og gjorde stor skade. Posisjonen til disse skredene er ikke helt nøyaktige på skrednett sin database. Tidligere gårder i området er også blitt flyttet som følge av tidligere skredhendelser (Hefre et al., 2015a). Under flommen 28. Oktober 2014, måtte også beboere på gården nedenfor feltområdet evakuere i tilfelle flomskred skulle nå ned til våningshuset (Hefre et al., 2015a).

Eråksøynane

Det er ingen registrerte skredhendelser ved Eråksøynane. Vest for Borlaug, er det registrert fem skredhendelser (skrednett). Det eldste skredet er fra 1774, hvor en mann omkom etter å ha blitt truffet av et steinsprang. I 1830 ble også en mann truffet av steinsprang, og omkom av dette.

Natt til 9. Desember i 1873, omkom syv personer ved gården Borlaughshagen, som følge av et jordskred. Dette tok med seg hele gården. Det har også forekommet snøskred i området. Den 1. Februar 1886, omkom en person som var ute på rypejakt som følge av snøskred. Det siste registrerte skredet i området, var et jordskred den 8. Februar 1955. Dette gjorde stor skade på dyrket mark og bygdeveien. Ingen personer kom til skade under dette skredet.

Lærdal Vest

Ved Lærdal Vest er det kun et steinsprang fra 2013, uten noe mer informasjon som er tilgjengelig på skrednett. Steinspranget er registrert der Fodnestunnelen går, så det er usikkert om dette har skjedd i tunnelen eller ved feltområdet.

Skagen, Fortun

Ved Skagen er det kun et tidligere snøskred fra 1874, som er å finne av skredhendelser. En mann mistet livet i snøskredet. Plasseringen for snøskredet er heller ikke eksakt på kart.

Fast turisthytte

Det er ingen registrerte skredhendelser ved Fast turisthytte.

3.2 Feltarbeid

Feltarbeidet ble utført i periodene 19-21 Mai 2016, 20 August 2016 og 7-9 Januar 2017. I felt ble blokkene som lå utenfor urfoten, markert med håndholdt GPS ved alle lokalitetene. Volum på blokkene ble estimert ved å måle lengde*bredde*høyde. Siden det var over hundre blokker utenfor urfoten ved flere av lokalitetene, ble det ikke estimert volum på alle de registrerte blokkene. Ved flere av lokalitetene var ikke urfoten synlig fra flyfoto, så denne ble markert med GPS. Ved fire av lokalitetene er det blitt gått traséer i ura, hvor endring i blokkstørrelsen mot apex er blitt undersøkt. Morfologiske trekk som type løsmasser, tidligere flomskred og sikringer mot steinsprang er også blitt registrert under feltarbeidet. Observasjoner i felt ble benyttet som grunnlag til inndata ved simuleringer med Rockyfor3D, estimering av returperioder og for fordelingen av steinsprang.

3.2.1 Arbeid i ArcGIS

Markeringer i felt fra håndholdt GPS er blitt lagt inn i Arcmap for å vise posisjonen til blokkene, traséer i ura og grensen til urfoten. Punkter som markerer urfoten er blitt trukket sammen til en felles linje. Ut fra denne er parallelle linjer utenfor urfoten tegnet med 10 meter mellomrom. Disse er blitt brukt for opptelling av blokkene utenfor urfoten, og for å vise fordelingen i terrenget.

3.2.2 Fordeling av blokker utenfor urfot

Fordelingen av steinsprang som ligger utenfor urfoten, er først blitt funnet ved å registrere det totale antallet blokker som ligger utenfor ura. Etter dette er antall blokker i hver sone blitt telt og delt på det totale antall blokker, for å få fordelingen i prosent for hver sone utenfor urfoten.

Dette er blitt plottet i diagrammer for alle lokaliteter, samt et samlet diagram hvor alle lokalitetene er lagt inn.

3.2.3 Estimering av returperiode for steinsprang utenfor urfoten

Returperiodene for steinsprang utenfor urfoten, er blitt estimert for hver 10 meters grense utenfor ura. Returperiodene baserer seg på en metode som NGI har brukt ved tidligere faresonekartlegginger (Domaas, 2002). Denne metoden er basert på en kumulativ samlet fordeling av antall blokker som har passert urfoten. Dette gjøres ved å anvende formel:

$$\text{returperiode} = \frac{1}{\left(\frac{\text{antall blokker som har passert grense}}{\text{periode hvor det har foregått steinsprang}} \right)} \quad (8)$$

Returperiode for steinsprang 10 meter utenfor urfoten, vil da være alle blokker som har passert urfoten, minus blokkene som ikke har nådd lenger enn 10 meter utenfor. Dette antallet blir dividert på periode hvor det har foregått steinsprangaktivitet. Dette er blitt gjort for hver 10 meter grense utenfor urfoten. Grensen som ingen steinsprang har passert, settes som maks utløp.

Basert på artikler fra Vorren (1973) og Bergstrøm (1975), kan det antas at Lærdalen og Fortundalen har vært isfrie i omkring 10 000-9500 år. Dette kan settes som periode hvor steinsprang aktiviteten kan ha startet, men Blikra og Aa (1996) antar imidlertid at de første 5000 år etter siste istid var relativt tørre, og med liten steinsprangaktivitet. I løpet av de siste

5000 år har klimaet blitt kaldere og fuktigere, og steinsprangaktiviteten har økt. Dermed er 5000 år blitt satt som et konservativt mål på hvor lenge det har forekommet steinsprang ved feltlokalitetene.

I denne estimeringen er det antatt at det vil gå steinsprang utenfor urfoten hvert 100 år. Dette er en antagelse der det er en viss steinsprangaktivitet, og som er typisk for de områdene som er undersøkt. I praktisk arbeid kan returperioden for steinsprang ved urfoten, estimeres relatert til utfallssannsynlighet og sannsynlighet for å forsere ura. Det meste av materialet som faller ned en fjellside vil som sagt samles i ura, mens ekstremutløpene vil gå utenfor (Luckman, 2013).

Maksimalt utløp ved lokalitetene er satt som grensen for returperioden på 5000 år. Det er også laget en interpolert trendlinje basert på estimerte returperioder utenfor urfoten. Disse to er kombinert for å sette grenser for faresoner knyttet til TEK10 (returperiode 100, 1000 og 5000 år) i terrenget utenfor urfoten.

3.3 Simulering med Rockyfor3D

Som tidligere nevnt i kapittel 2.6.1, kreves ulike typer rasterkart, som input data for å kjøre simuleringer med Rockyfor3D. Ved NGI er Rockyfor3D delvis integrert i ArcGIS, og input data og vurdering av resultater gjøres i ArcGIS (Hefre et al., 2015b). Dette vil si at selve simuleringen foregår i Rockyfor3D programmet.

Input data som generes i ArcGIS før simulering:

3.3.1 Høydemodeller

Til denne oppgaven er det benyttet høydemodeller med ulik oppløsning. For lokaliteter i Lærdalen utenom Eråksøynane, er det brukt en 2x2 meter høydemodell. Denne ble laget til tidligere faresonekartlegging i Lærdalen (Hefre et al., 2015a). Ved Eråksøynane er det brukt en 5x5 høydemodell, og ved Fast og Skagen er en 1x1 høydemodell hentet ut fra <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/>.

3.3.2 Beregningsområdet

Polygon som avgrensner simuleringsområdet.

3.3.3 Løsneområdet

Polygon som definerer løsneområdet for steinsprang. I analysen er områder i terrenngmodellen med en helning brattere enn 45° blitt valgt. I dette polygonet bestemmes også form og mål (lengde x bredde x høyde) på steinsprangene som skal simuleres i tillegg til bergartstettheten. Ved alle simuleringer er det brukt en tetthet på 2700 kg/m^3 som representerer gjennomsnittlig tetthet til bergartene i de undersøkte områdene (Tabell 3).

3.3.4 Bakketype

Innen beregningsområdet defineres polygoner som skal representere de ulike bakketyper i simuleringsområdet. Eksempler på generaliserte bakketyper finnes i vedlegg A. Disse er blitt brukt ved de ulike lokalitetene.

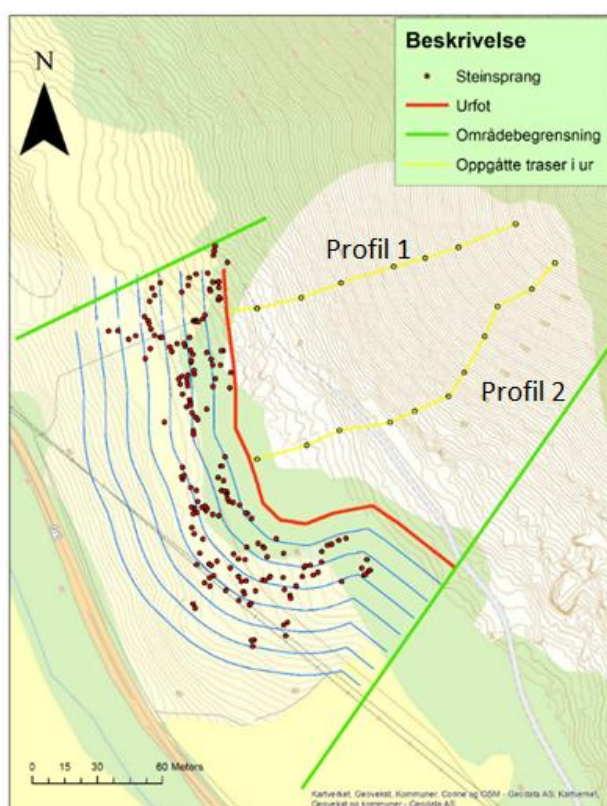
Ved hver bakketype defineres også ruheten til underlaget som beskrevet i kapittel 2.6.1. Det er brukt standardverdier med justeringer i forhold til det som er observert i felt.

Når input data er klare, eksporteres input data fra ArcGIS til Rockyfor3D. Her bestemmes antall steinsprang som skal simuleres per celle i løsneområdet, i tillegg til hvor stor variasjon det skal være i blokkstørrelsen. Ved simuleringene i denne oppgaven, er det blitt brukt 1000 blokker per celle. Dette antallet ble brukt ved tidligere faresonekartlegginger hvor det er kjørt simuleringer med Rockyfor3D (Hefre et al., 2015a). Ved alle simuleringer er det brukt en blokkvariasjon på 50 %. Det er ikke kjørt simuleringer med vegetasjon eller initiert fall høyde, som også er mulig. Inngangsparameterene ved alle simuleringer finnes i vedlegg B og C.

4 Resultater

4.1 Molde, Lærdal

Ved Molde er urfoten blitt markert med håndholdt GPS siden den ikke var synlig fra flyfoto. Det er gått to traséer oppover ura, hvor endring i blokkstørrelse er registrert. Blokker som har nådd utenfor urfoten er markert med GPS (Figur 17).

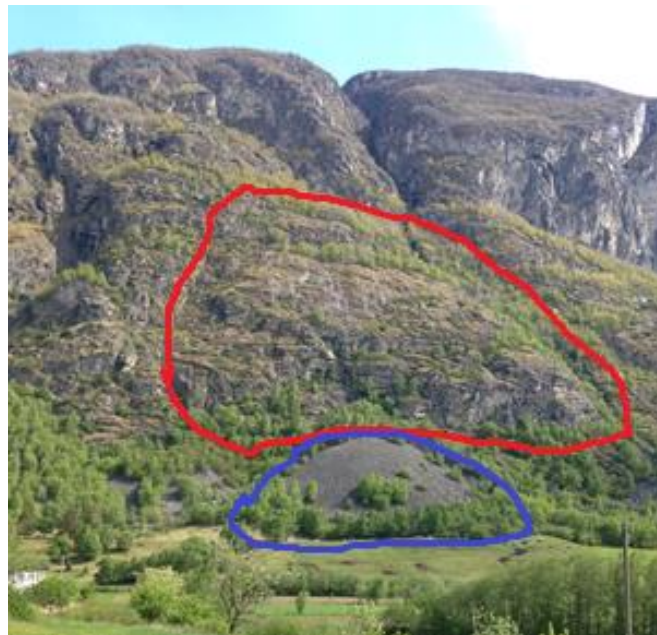


Figur 17: Oversikt over markerte steinsprang, urfoten og oppgatte traséer i ura fra feltarbeid ved lokalitet Molde. Blå linjer er tegnet ut fra urfoten, og går parallelt med 10 meters mellomrom ut fra urfoten.

Området har store urdannelser langs hele den østlige delen av fjellsiden. Blokkene utenfor ura, ligger på en skredvifte som strekker seg 60-70 moh. Området er i dag beitelandskap for sau, og materiale fra området kan være ryddet eller brukt til steingjerder.

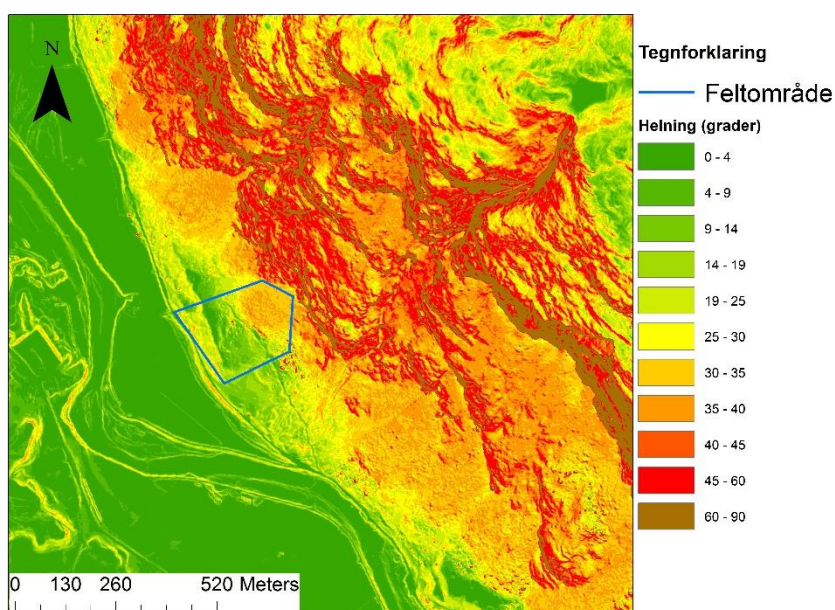
Utløpsområdet har innslag av rundede blokker. Området hvor feltarbeidet er blitt utført, har en bredde på 220 meter. Det potensielle kildeområdet for steinsprang består av små vertikale hyller, med et tynt vegetasjonsdekke. Dette strekker seg opp til ca 400 moh. Apex for steinura

ligger ca 150 moh. I områdene ved siden av ura har blokkene lengre utløp, enn blokkene utenfor urfoten. Det er mindre urdannelser i disse områdene (Figur 18).



Figur 18: Oversiktsbilde over lokalitet Molde. Rød ring markerer potensielt kildeområde, mens blå ring markerer ura ved lokaliteten. Foto: Ulrik Domaas (NGI).

Helningskart fra feltområdet (Figur 19), viser at potensielle løsneområder har helninger brattere enn 40° . I den øvre delen av løsneområdet, er det partier med helning brattere enn 60° . Området utenfor urfoten er relativt flatt med en svak helning. Skredviften i området, har en utstrekning på 60 m utenfor urfoten. Etter dette øker helningen ned mot dalføret.



Figur 19: Helningskart for lokalitet Molde. Feltarbeid er utført i området markert med blått.

4.1.1 Beskrivelse av blokkene utenfor urfoten

Steinsprang som ligger utenfor urfoten, viser stor variasjon i størrelse og form. Mange av blokkene ligger delvis begravd i løsmassene (Figur 20).



Figur 20: Stor variasjon i blokkstørrelse utenfor urfoten ved lokalitet Molde. Mindre blokker (markert med rød ring), ligger sammen med større blokker (markert med blått). Flere av blokkene ligger delvis begravd i løsmasser (markert med lys blå ring). Foto: Ulrik Domaas (NGI).

Volumet til blokkene varierer fra 3 m³, og opp til 20 m³. Et grovt gjennomsnitt på de største blokkene ligger mellom 10 og 20 m³. Ved de mindre blokkene er volumet anslått til å være mindre enn 2-3 m³. Det er stor variasjon på formen til oppmålte blokker. Form varierer fra avlange rektangulære blokker med runde kanter (Figur 21A), til kubiske (Figur 21B) og irregulære kantete (Figur 21C). Den største blokken på 56 m³, har sideflater på 6x3x6 meter. Denne blokken har en avlang ellipsoide form, med store flater. Blokken også er kløyvd i to (Figur 22). Flertallet av de store blokkene ligger 30-40 meter utenfor urfoten, men det er også et stort antall som ligger 10-20 meter utenfor ura. Blokken som har nådd lengst ut, har et volum estimert til 10 m³ (Figur 23).



Figur 21: Stor variasjon i blokker som er blitt registrert ved lokalitet Molde. Bilde A viser en mer avlang rektangulær blokkform, med runde kanter. Bilde B viser en mer kubisk kantet rektangulær form, mens bilde C viser en irregulær ellipsoide blokk.



Figur 22: Største blokk som ligger utenfor urfoten ved lokalitet Molde. Rød pil og strek viser hvor blokken er kløyvd. Se sau til høyre for skala.



Figur 23: Blokk som har nådd lengst utenfor urfoten ved lokalitet Molde. Blokken ligger på ytterkanten av skredviften i området.

4.1.2 Beskrivelse av steinura

Steinura ved lokalitet Molde har en horisontal utstrekning på ca 170 meter, og en vertikal høyde på 85 meter. Ura har en kjegleformet fasong. Blokkstørrelsen i ura minker mot apex. I den nedre delen av ura, er blokkvolumet estimert til ca 5 m³ (Figur 24). Det er også observert at blokkene blir både rundere og mindre i volum mot apex. Det ligger enkelte blokker i øvre del av ura som er større enn gjennomsnittet. Disse ligger som enkeltblokker (Figur 25). Ura har en god utbredelse horisontalt, i den nedre delen. Blokkene i ura er delvis dekket av mose, men det finnes også relativt ferske blokker.

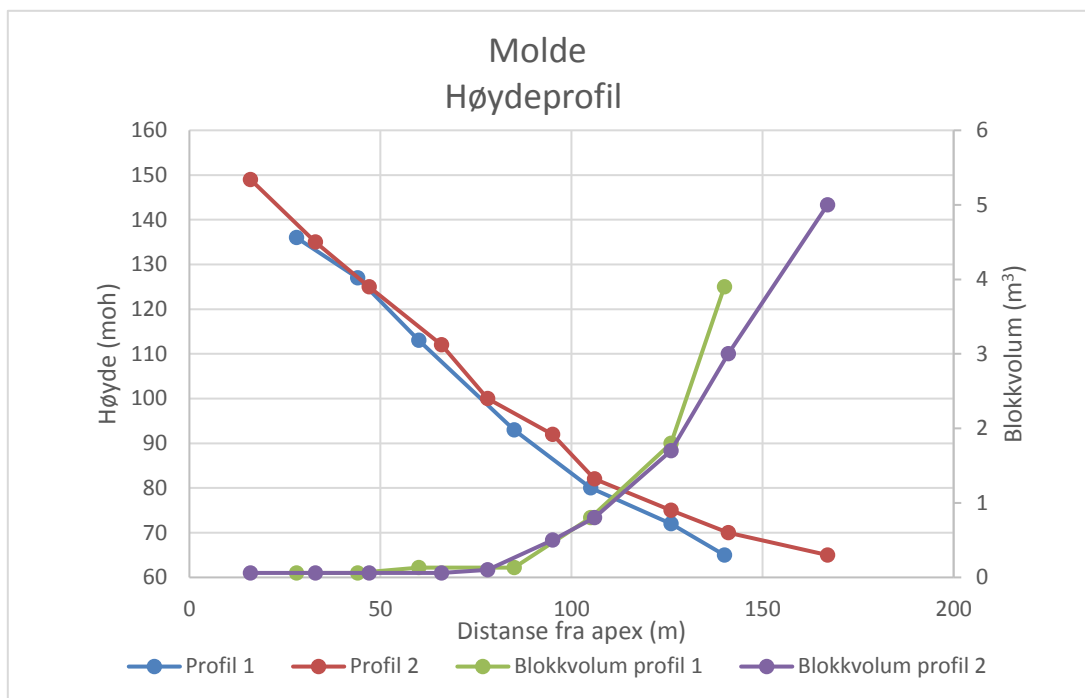


Figur 24: Nedre del av ura ved lokalitet Molde. Blokker i denne delen av ura har en gjennomsnittlig blokkstørrelse på rundt 5 m^3 . Foto: Ulrik Domaas (NGI).



Figur 25: blokk i øvre del av ura ved lokalitet Molde (rød ring), som er markant større enn gjennomsnittet.

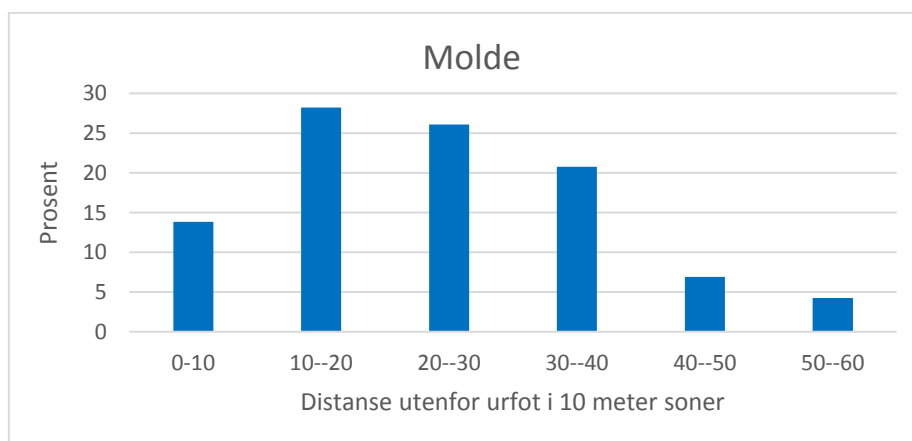
Befaringen i ura viser en minkende blokkstørrelse mot apex. I den øvre delen av ura, er blokkvolumet under $0,06 \text{ m}^3$ (Figur 26). Det er ikke tatt målinger ved apex, siden materialet i den øvre delen var for ustabil å bevege seg i.



Figur 26: Oppgåtte profiler (blå og rød) i ura ved Molde, med distanse fra apex og høyde over havet. Grønn og lilla linje viser endring i blokkvolum (m³) langs profilene. Se Figur 17 for plassering av profilene.

4.1.3 Fordelingen av steinsprang utenfor urfoten

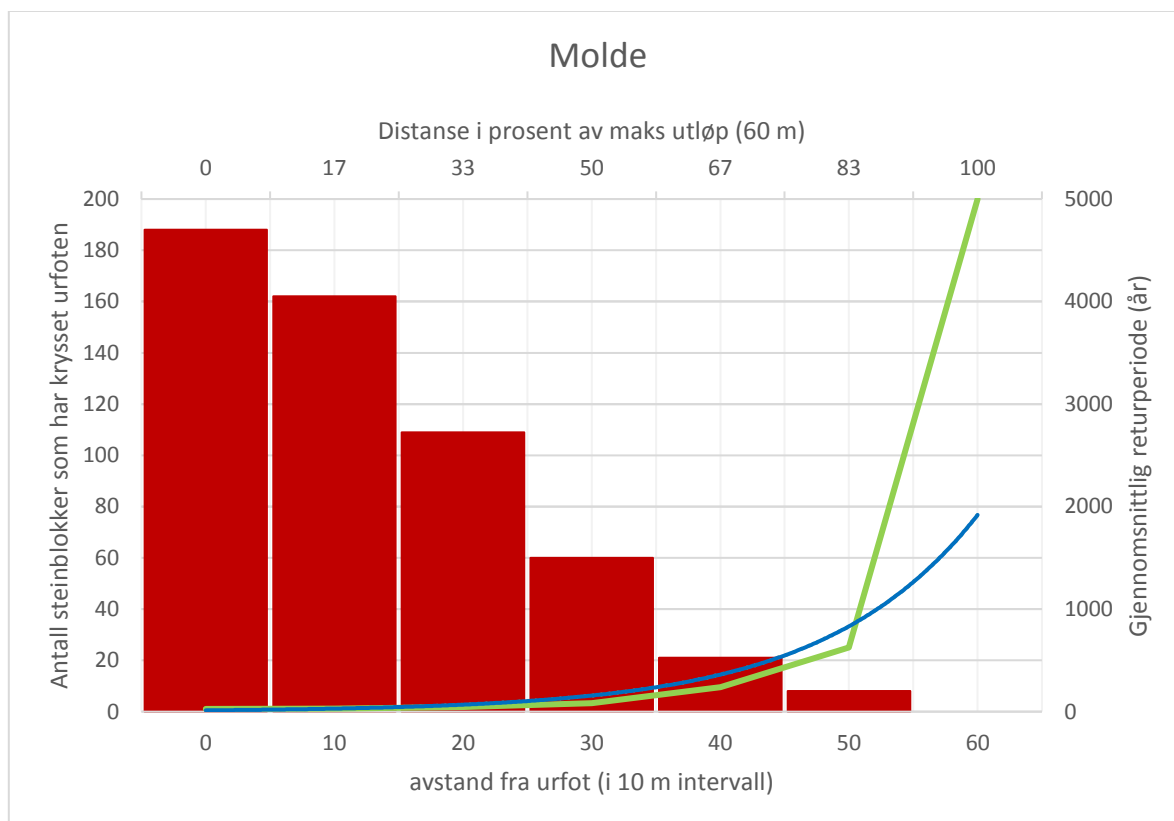
Utenfor urfoten er 188 blokker registrert ved denne lokaliteten. Den største forekomsten av blokkene ligger mellom 10 og 40 m utenfor urfoten. Her ligger over 75 % av alle de registrerte blokkene. 28 % ligger i sone 10-20, 26 % i sone 20-30 og 21 % i sone 30-40 m utenfor urfoten. Etter dette minker andelen blokker og blokkene som har nådd lengst ut, ligger mellom 50 og 60 m utenfor urfoten (Figur 27).



Figur 27: Prosent fordeling av steinsprang utenfor urfoten, i forhold til alle registrerte blokker ved Molde.

4.1.4 Estimert returperioder utenfor urfoten

Ved bruk av formel (8) i kapitel 3.2.3, er returperiodene utenfor urfoten blitt estimert ved Molde (Figur 28). Denne metoden estimerer at det hvert 100 år vil forekomme blokker som ikke vil gå lengre enn 30 meter utenfor urfoten. Grensen for returperioden på 100 år, settes 30 meter utenfor urfoten. Grensen for en returperiode på 1000 år er estimert til å ligge 53 meter utenfor urfoten. 5000 års grense er satt til maks utløp som her blir 60 meter utenfor urfoten (Tabell 6).



Figur 28: Kumulativ fordeling av registrerte steinsprang utenfor urfoten, og estimerte returperioder basert på antall registrerte steinsprang (grønn linje) ved Molde. Interpolert eksponentiell trendlinje (blå), er basert på estimerte returperioder.

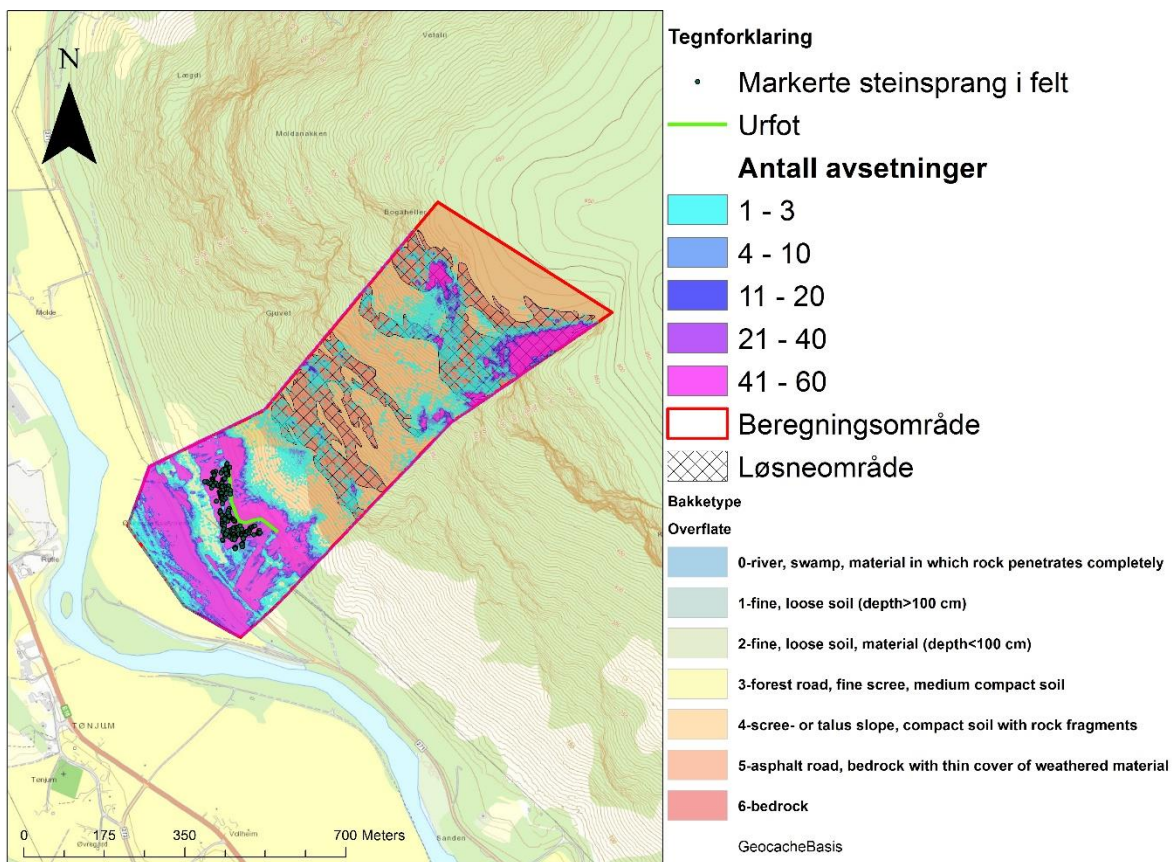
Tabell 6: Estimerte faresoner (TEK10) i distanse og prosent av maks utløp ved Molde.

Returperiode	Distanse utenfor urfoten (m)	Prosent av maks utløp (60m)
100	23-30	38-50
1000	50-53	83-88
5000	60	100

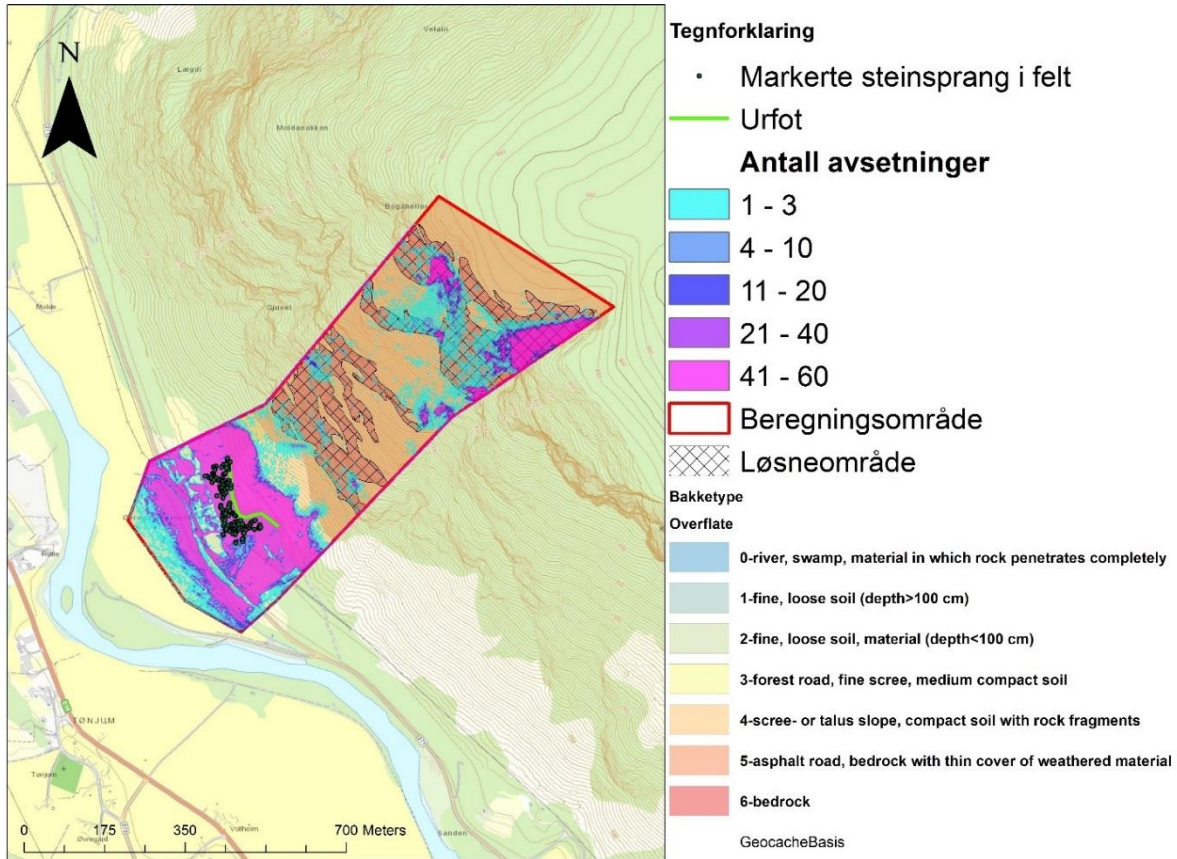
4.1.5 Rockyfor3D simuleringer

Både simuleringer med ellipsoide (Figur 29) og rektangulære blokkformer (Figur 30), viser at en stor andel av blokkene vil samles opp i den nedre delen av ura. Det er flere blokker som avsettes på sidene av ura, enn foran urfoten ved begge simuleringene. Blokkene med ellipsoide form har lengre utløp enn de rektangulære blokkene. Ved simuleringen med ellipsoideform har hovedandelen av de simulerte blokkene, et utløp på ca 0-180 m utenfor urfoten. De rektangulære blokkene avsettes 0-150 meter utenfor urfoten. Det er enkelte blokker som har utløp på over 200 m utenfor urfoten ved begge simuleringene

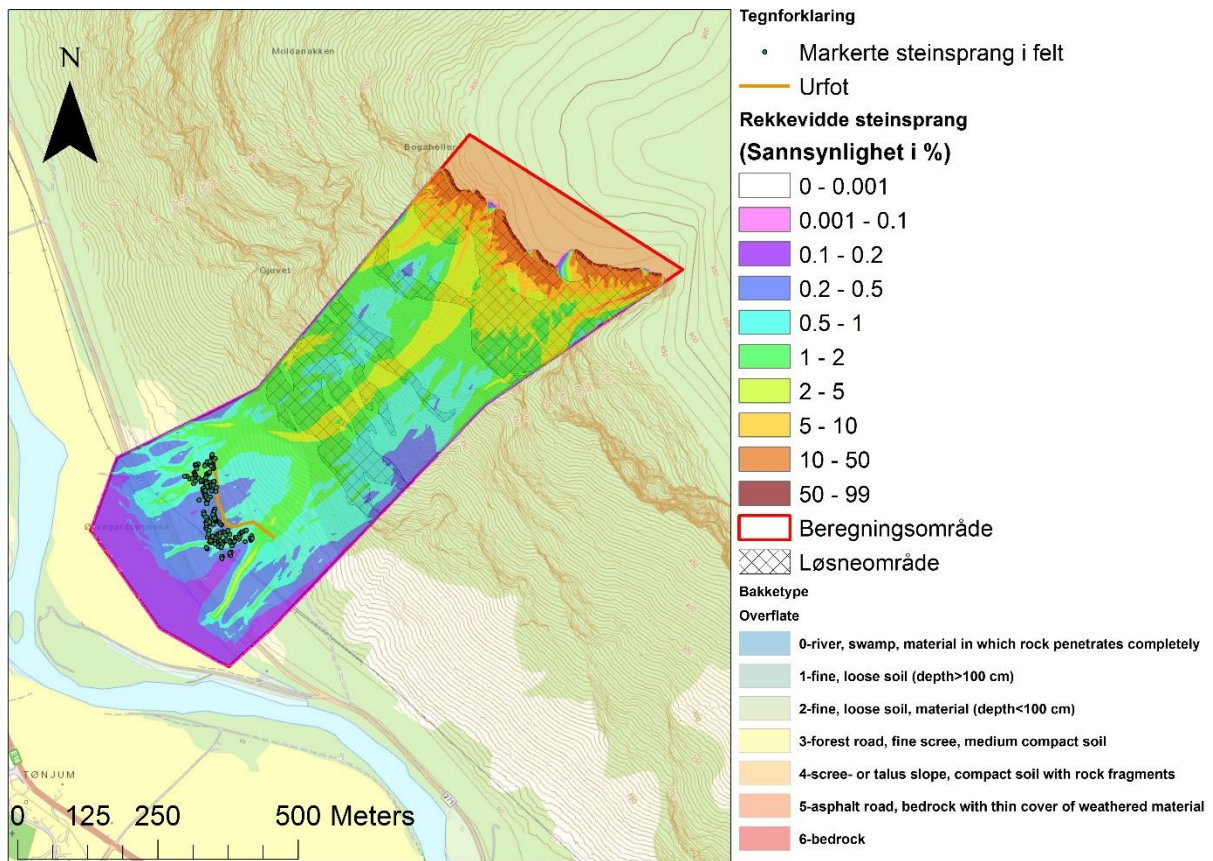
Rekkevidden av steinsprang i prosent (Figur 31 og Figur 32), viser en høyere sannsynlighet for at blokkene kan nå lengre ut på sidene av ura, sammenlignet med området foran urfoten. Begge simuleringene viser at det er under 0,2 % sannsynlig at blokkene vil nå forbi veien (93 meter utenfor urfoten), og at det er større sannsynlighet for at blokkene vil ha lengre utløp på sidene av ura. Det er høyere sannsynlighet for at blokkene med ellipsoide form kan nå lengre ut enn de rektangulære. Blokkene som er markert fra feltarbeidet ligger i områder hvor det er mellom 0,2-2 % sannsynlighet for at blokkene vil nå ut.



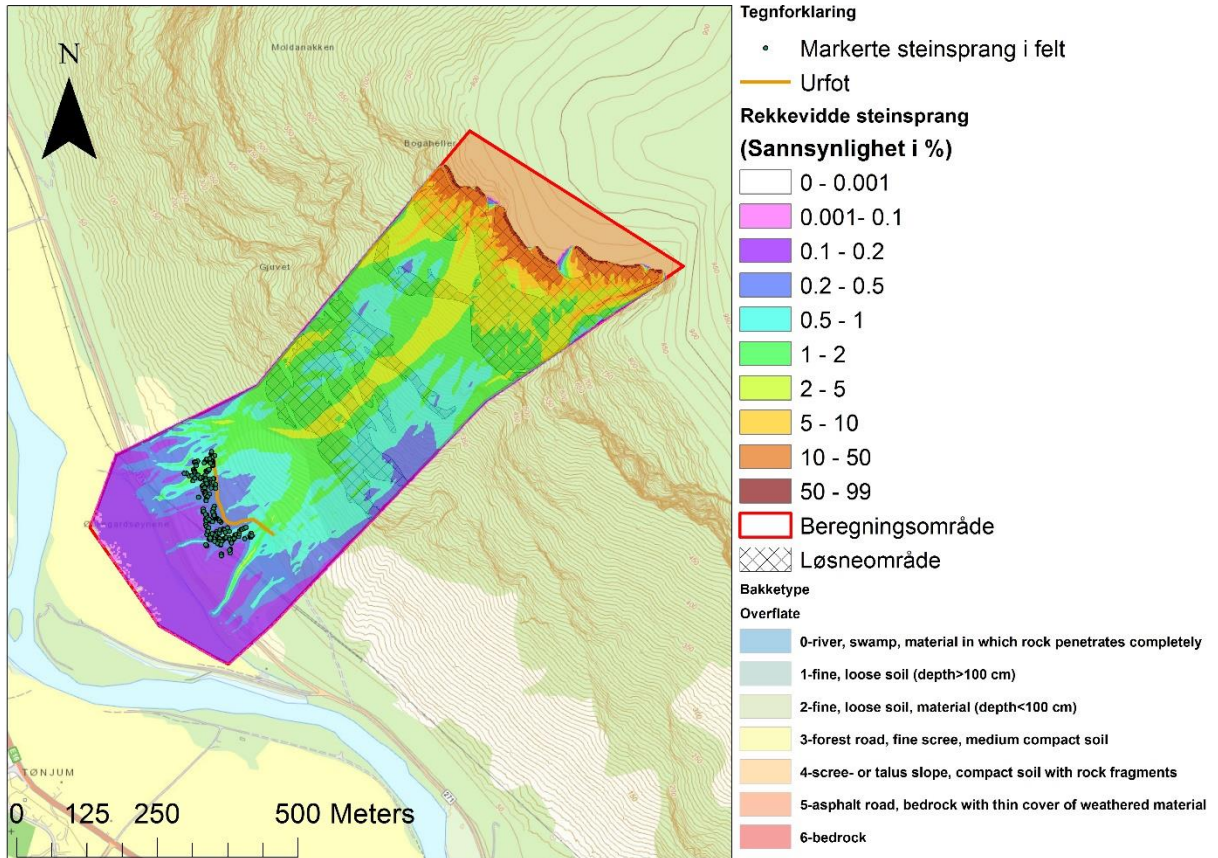
Figur 29: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med ellipsoid form ved lokalitet Molde.



Figur 30: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med rektangulær form ved lokalitet Molde.



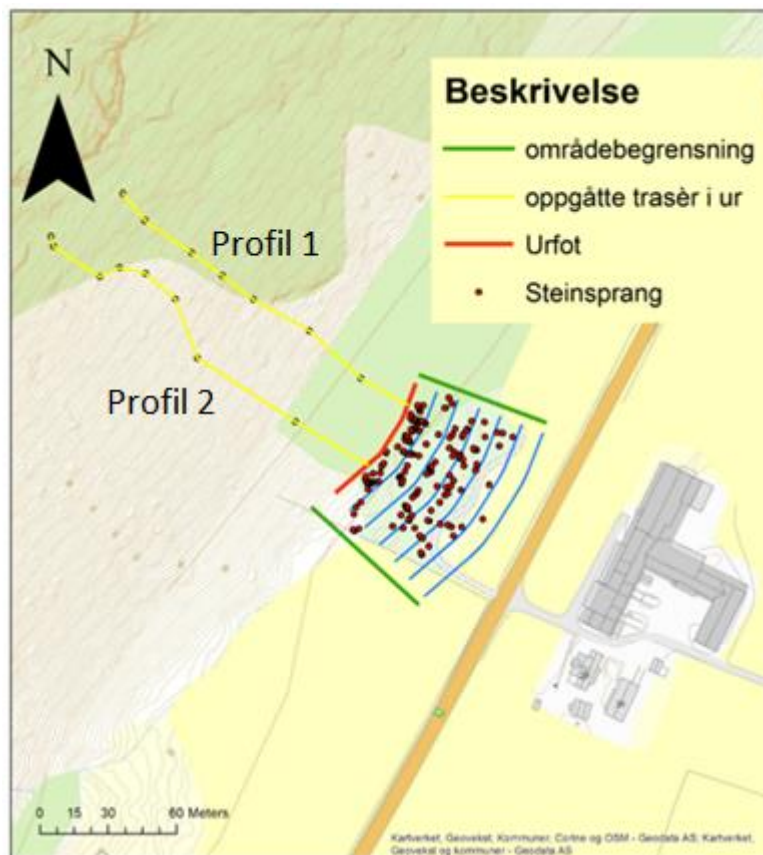
Figur 31: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der ellipsoide blokkform er benyttet, ved lokalitet Molde.



Figur 32: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der rektangulær blokkform er benyttet, ved lokalitet Molde.

4.2 Lærdal Gård

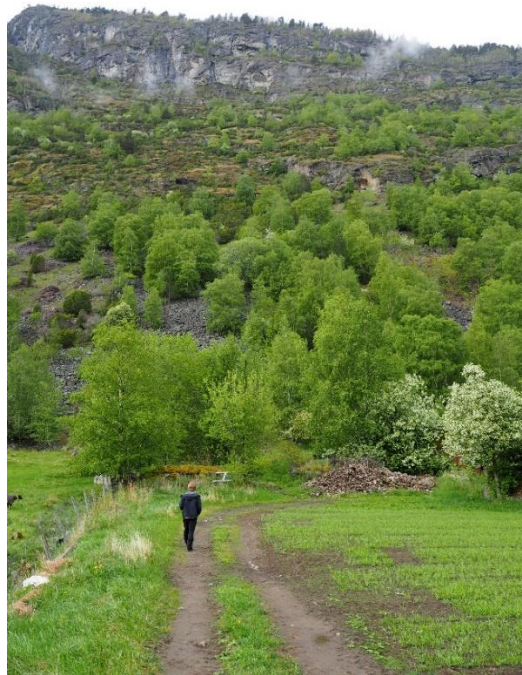
Ved Lærdal gård er urfoten og blokkene som har passert denne, blitt markert med håndholdt GPS. To traséer er oppgått i ura hvor endring i blokkstørrelse er registrert (Figur 33).



Figur 33: Oversikt over markerte steinsprang, urfoten og oppgåtte traséer i ura ved Lærdal Gård. Blå linjer er tegnet ut fra urfoten, og går parallelt med 10 meters mellomrom ut fra urfoten.

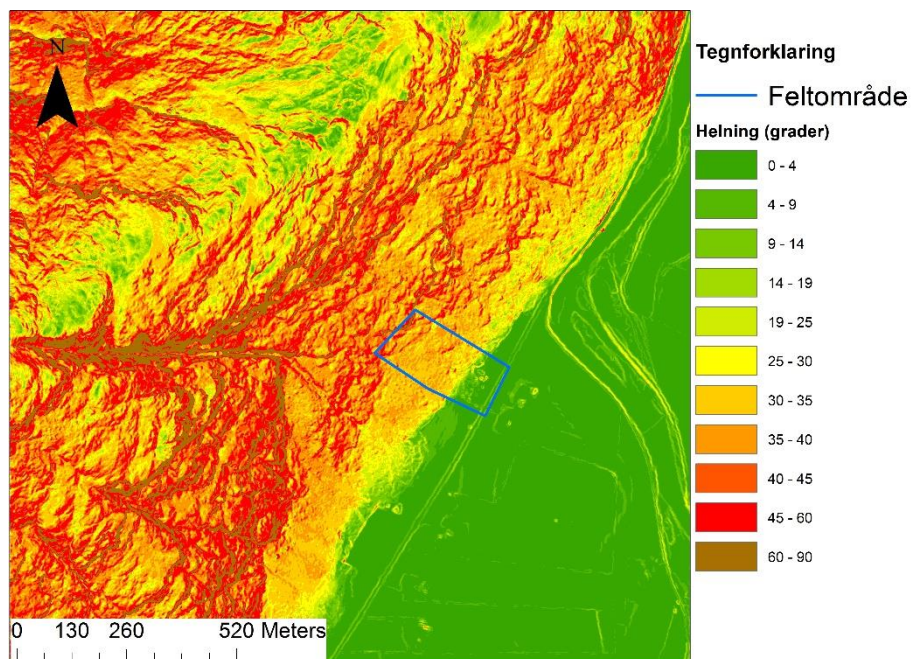
Steinblokkene ligger utenfor fjellsiden i et flatt dalføre, som i dag brukes som fyllingsplass. Det kan tidligere være ryddet stein knyttet til jordbruk. Dalføret ligger på rundt 15 moh, og underlaget består av fluviale avsetninger. Dette har innslag av små runde steiner. Ura ved lokaliteten følger fjellsiden oppover og har liten utbredelse nede i dalen. Området hvor blokkene er markert har en bredde på 75 meter. Apex for steinura ligger ved 110-120 moh.

Fjellsiden over feltområdet strekker seg opp til 500 moh på sitt høyeste. Den øvre delen av fjellsiden har vertikale sider, med ferske bruddflater fra tidligere utløste blokker. Fjellsiden nedenfor løснеområdet består av et vegetasjonsdekke, med et mindre område av solid fjell ovenfor apex. Dette har også ferske bruddflater fra steinsprang (Figur 34).



Figur 34: Oversikt over lokalitet Lærdal Gård. Foto: Ulrik Domaas (NGI).

Helningskart fra området (Figur 35), viser at ura har en helning i nedre del som er mellom 30° og 35° . Opp mot øvre parti av fjellsiden, er helningen mellom 36° og 40° . I området med fast fjell ovenfor apex, er helningen mellom 40° og 60° . Området utenfor urfoten er relativt flatt og har helning lavere enn 7° .



Figur 35: Helningskart ved lokalitet Lærdal gård. Feltområdet ligger til venstre for gård, markert med blått.

4.2.1 Beskrivelse av blokkene utenfor urfoten

Det er stor variasjon i størrelse og form på blokkene som ligger utenfor urfoten. Det er noen karaktertrekk som går igjen ved flere av blokkene. Mange av blokkene er relativt flate og rektangulære (Figur 36). En annen blokkform som går igjen, er ellipsoider med spisse ender (Figur 37 og Figur 38).



Figur 36: En av blokkene utenfor urfoten ved Lærdal gård, med relativt flat rektangulær form og liten rundingsgrad i kantene.



Figur 37: Flere av blokkene utenfor urfoten ved Lærdal Gård, har form som ellipsoider. Eksempel på dette er markert med rød ring.

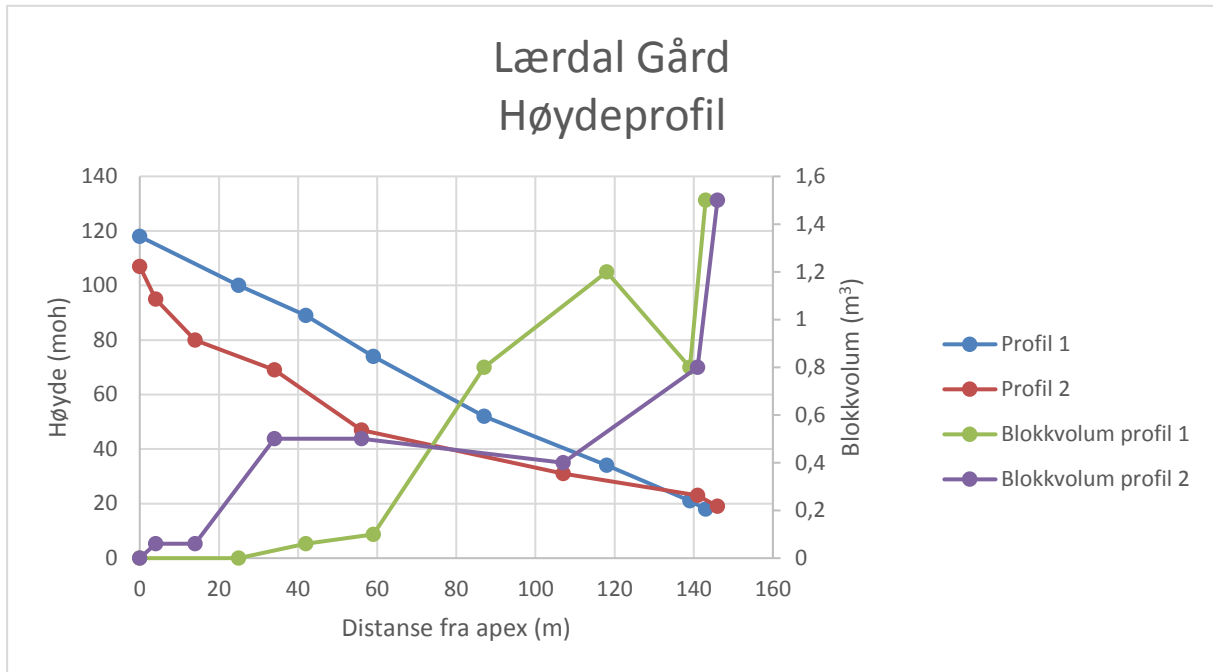
Volumet på blokkene som ligger utenfor urfoten varierer fra blokker på 1 m^3 , til estimerte volum på 20 m^3 . Flertallet av de store blokkene som har nådd lengst ut, har estimerte volum på 10 m^3 . Blokkene i dette området ligger ovenpå underlaget, og mange er dekket med mose og lav.



Figur 38: En av de største blokkene som ligger utenfor urfoten ved Lærdal Gård. Volum anslått til 20 m^3 , og form er karakterisert som ellipsoide.

4.2.2 Beskrivelse av steinura

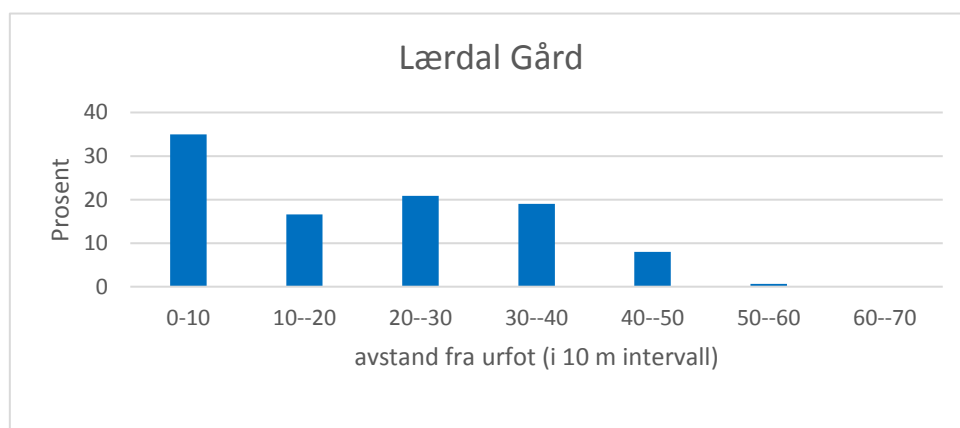
Basert på trasèer som er gått med håndholdt GPS, er ura ca 100-120 meter høy og den har en horisontal utstrekning på ca 145 meter. Denne ura har en varierende blokkstørrelse oppover mot apex, med innslag av blokker i varierende volum. Den generelle trenden er en minkende blokkstørrelse mot apex. Blokkene i den nedre delen har et gjennomsnittlig volum på $1,5 \text{ m}^3$, og ved apex er blokkstørrelsen mindre enn $0,06 \text{ m}^3$. Det er mye løsmasser og vegetasjon i ura, og den er mindre sammenhengende og massiv enn for eksempel ved lokalitet Molde. Befaringer i ura (Figur 39), viser at helningen blir brattere ca 90 meter fra apex.



Figur 39: Oppgatte profiler (blå og rød) i ura ved Lærdal Gård, med distanse fra apex, og høyde over havet. Grønn og lilla linje viser endring i blokkvolum (m³) langs profilene. Se Figur 33 for plassering av profilene.

4.2.3 Fordelingen av steinsprang utenfor urfoten

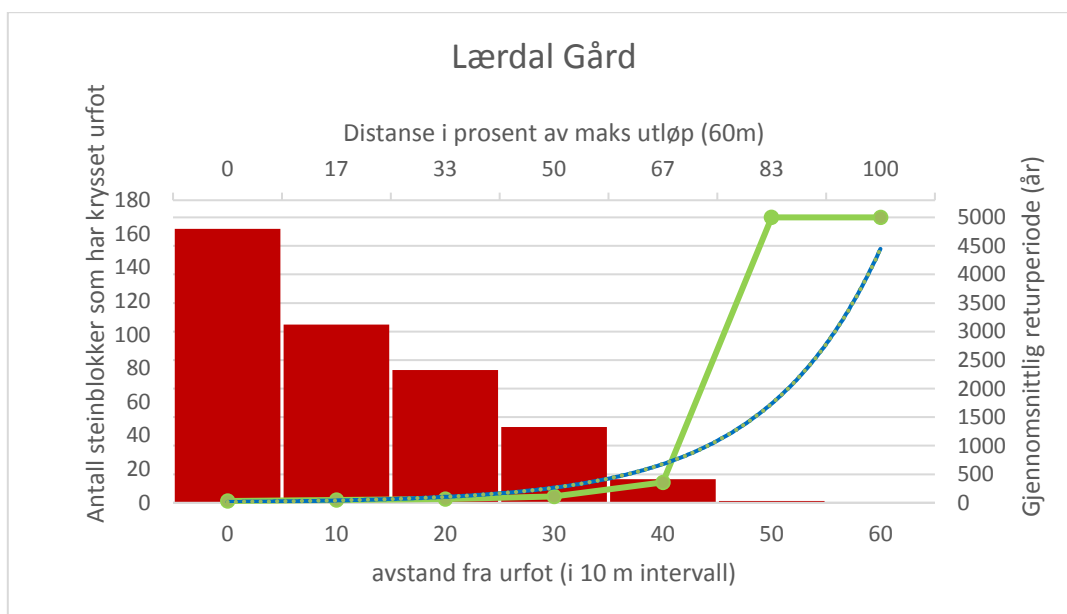
Totalt er 163 blokker blitt markert utenfor urfoten ved denne lokaliteten. 35 % har ikke nådd lengre enn 10 m utenfor urfoten. Når avstanden øker fra urfoten, avtar også andelen blokker. Mellom 10 og 40 m, ligger andelen markerte steinsprang mellom 16 og 21 %, mens ved 40 til 50 m utenfor urfoten, synker andelen ned til 8 %. Det forekommer ett registrert steinsprang som ligger 50-60 meter utenfor urfoten (Figur 40).



Figur 40: Prosent fordeling av steinsprang utenfor urfoten i forhold til alle registrerte blokker, ved Lærdal Gård.

4.2.4 Estimert returperioder utenfor urfoten

Ved bruk av formel (8) i kapitel 3.2.3, er returperiodene utenfor urfoten blitt estimert ved Lærdal Gård (Figur 41). Estimeringene ved Lærdal Gård, tilsier at blokker vil nå mellom 20 og 25 meter utenfor urfoten hvert 100 år. Grensen for faresonen med returperiode på 100 år, settes derfor 25 meter utenfor urfoten. 1000 års returperiode for steinsprang er estimert å være 45 meter utenfor urfoten. 5000 års returperiode settes ved maks utløp, som er 60 meter utenfor urfoten (Tabell 7).



Figur 41: Kumulativ fordeling av registrerte steinsprang utenfor urfoten, og estimerte returperiode basert på antall registrerte steinsprang (grønn) ved Lærdal Gård. Interpolert eksponentiell trendlinje (blå) er basert på estimerte returperioder.

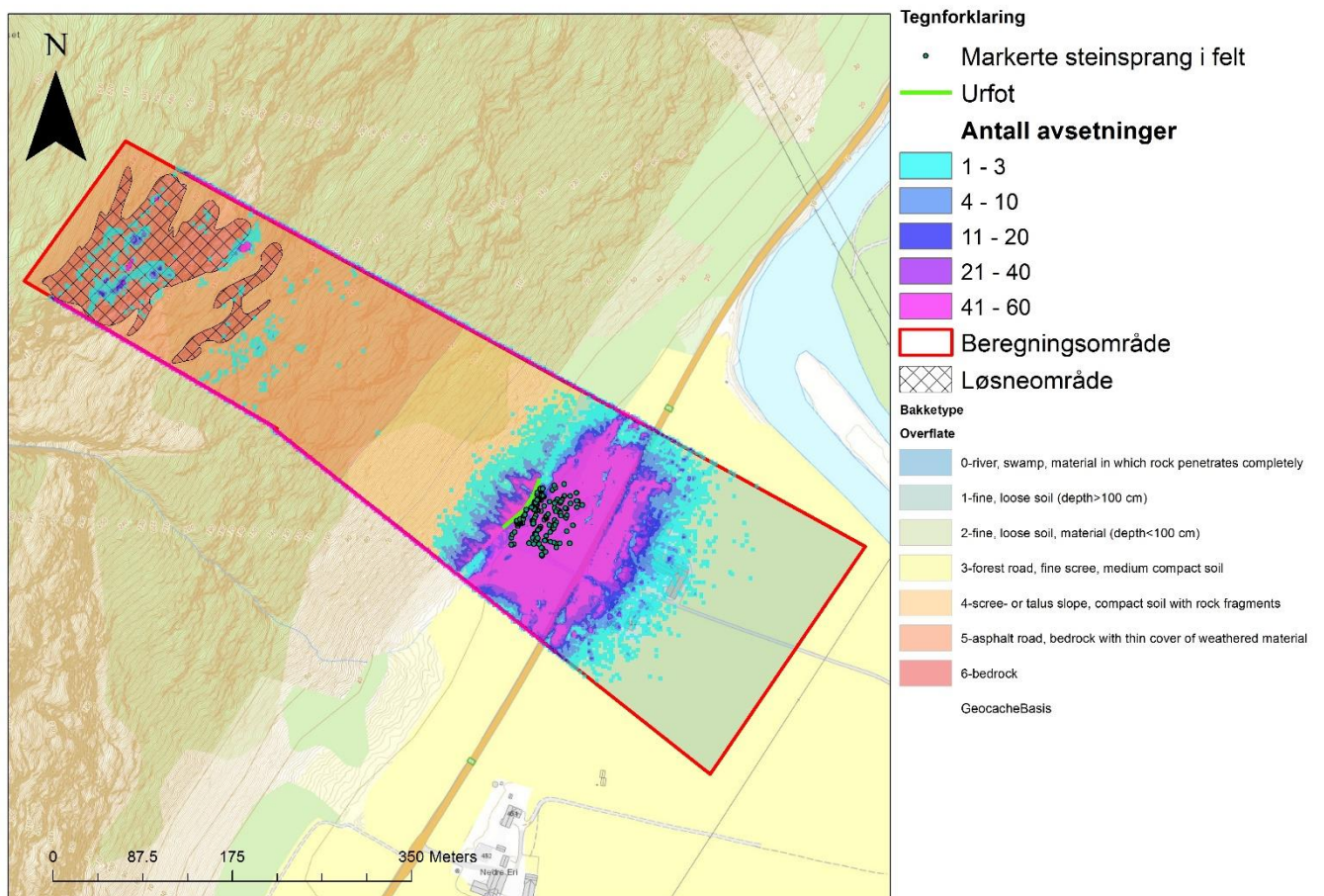
Tabell 7: Estimerte faresoner (TEK10) i distanse og prosent av maks utløp ved Lærdal Gård.

Returperiode	Distanse utenfor urfoten (m)	Prosent av maks utløp (60m)
100	20-25	33-41
1000	40-45	66-75
5000	50-60	83-100

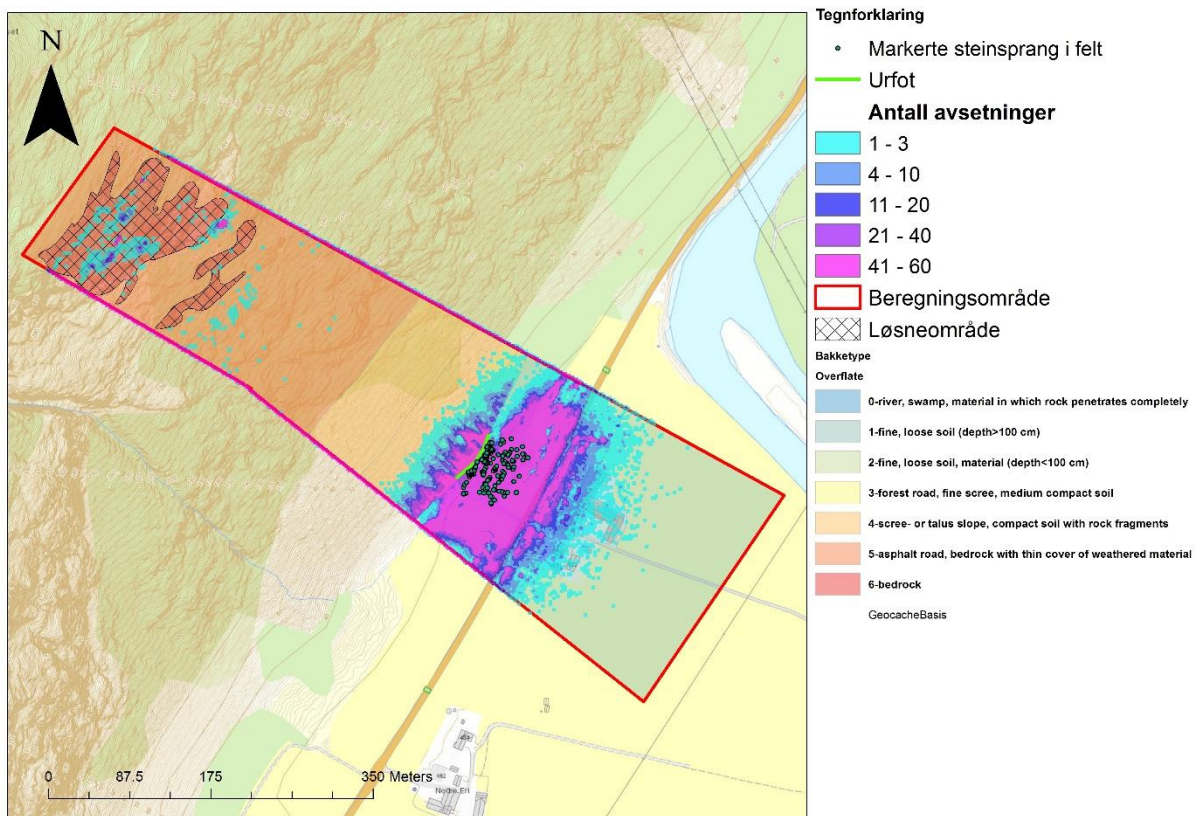
4.2.5 Rockyfor3D simuleringer

Ved Lærdal Gård viser begge simuleringene med Rockyfor3D, at hovedandelen av de simulerte blokkene vil avsettes i området 0-100 m utenfor urfoten (Figur 42 og Figur 43). Mellom 140-180 m, er andelen mindre. Blokkene med lengst utløp har nådd 215 m utenfor urfoten. Simulering med ellipsoide blokkform har et lengre utløp enn simulering med rektangulær form. Ved begge simuleringene avsettes det blokker i nedre del av ura, mens et fåtall avsettes oppe i fjellsiden.

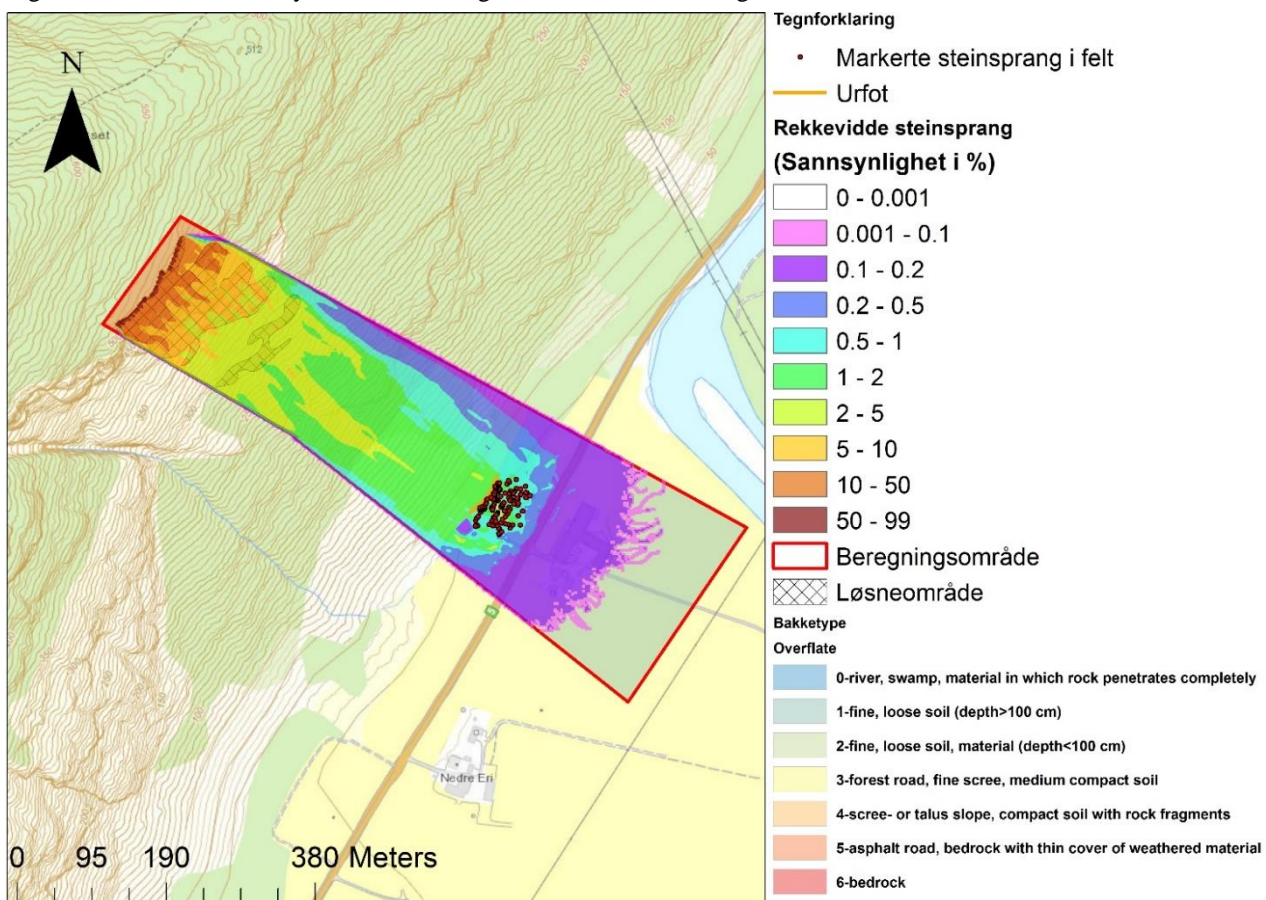
Rekkeviddesannsynligheten i prosent (Figur 44 og Figur 45), viser at bortenfor vei (80 m utenfor urfot) er det under 0,2 % sannsynlig at steinsprang kan nå ut. Blokkene som er markert med GPS, ligger i et område hvor det er 0,5-2 % sannsynlighet for at blokkene kan nå ut, med enkelte områder som har mellom 2 og 5 % sannsynlighet.



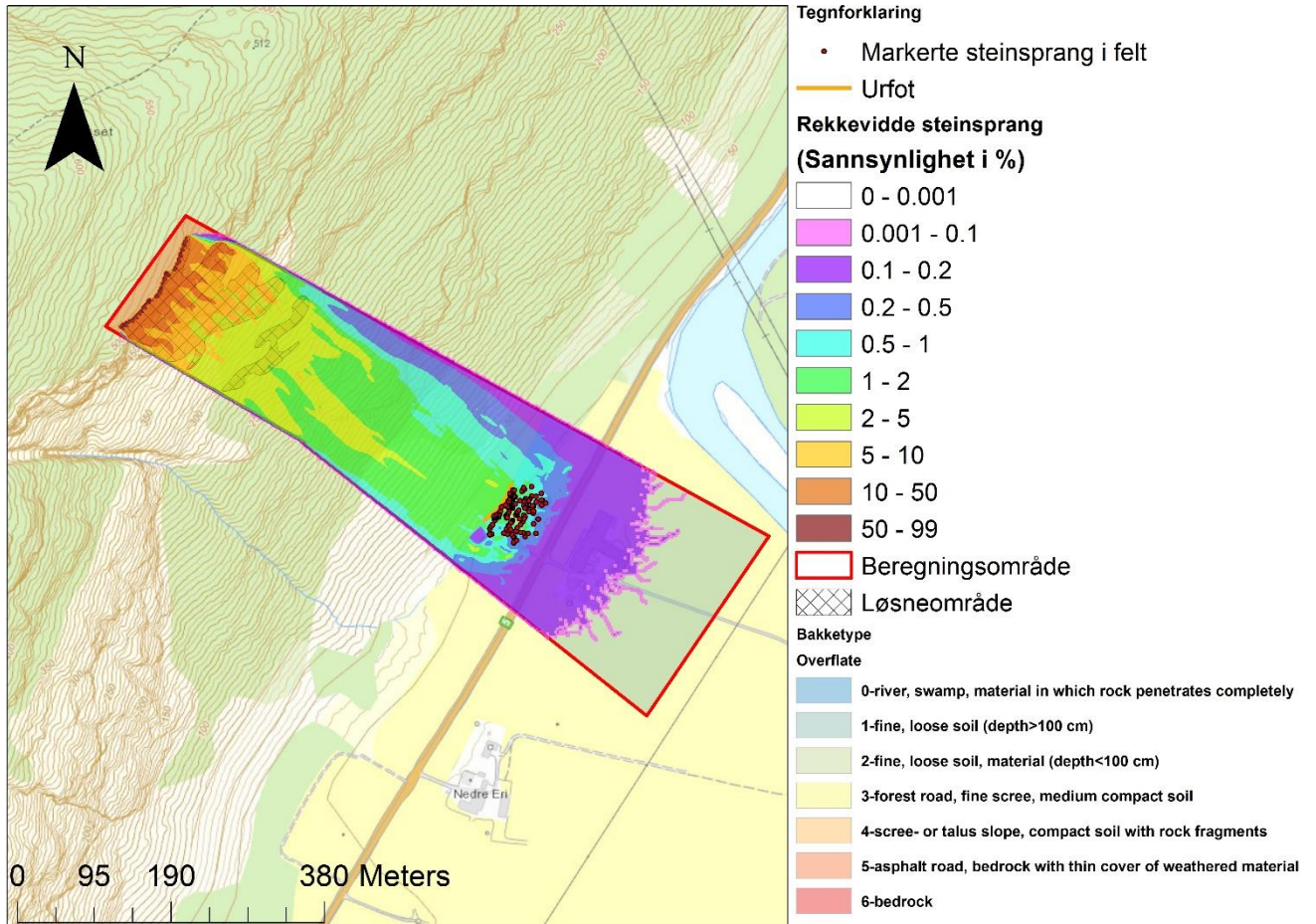
Figur 42: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med ellipsoid form ved lokalitet Lærdal Gård.



Figur 43: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med rektangulær form ved lokalitet Lærdal Gård.



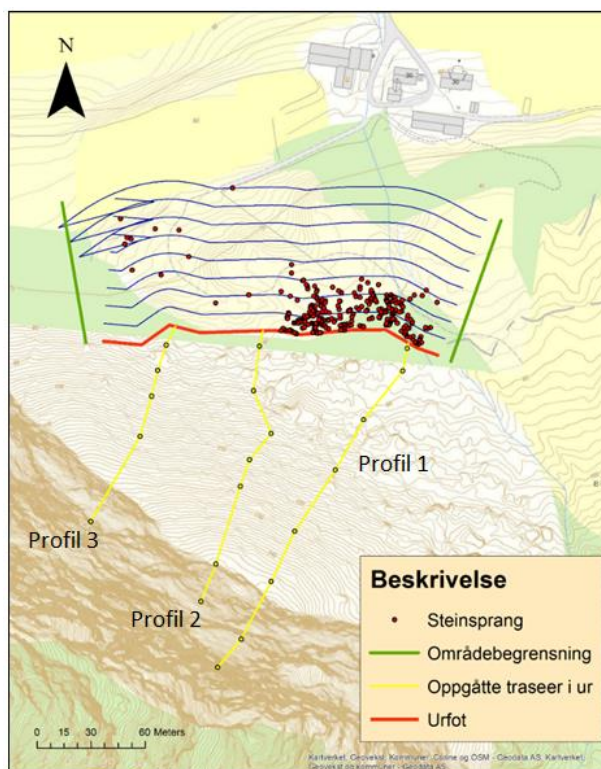
Figur 44: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der ellipsoide blokkform er benyttet, ved lokalitet Lærdal Gård.



Figur 45: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der rektangulær blokkform er benyttet, ved lokalitet Lærdal Gård.

4.3 Bø, Lærdal

Ved Bø er det gått tre traséer i ura, hvor endring i blokkstørrelse er registrert. Blokkene utenfor ura og urfoten er blitt registrert med håndholdt GPS (Figur 46).



Figur 46: Oversikt over registrerte steinsprang, urfoten og oppgatte traséer i ura ved Bø. Blå linjer er tegnet ut fra urfoten, og går parallelt med 10 meters mellomrom ut fra urfoten.

Feltområdet har en tilnærmet vertikal til overhengende fjellside bestående av fast fjell, som er 580 meter på sitt høyeste. Fjellsiden har flere ferske brudd etter blokker som har løsnet. Det forekommer lite vegetasjon, og trær vokser kun på små hyller i fjellsiden. Det ser ut som det går en forkastning gjennom fjellsiden med mer oppknust materiale, men dette kan også være et glideplan eller en skyvegrense (Figur 47). Øvre grense for ura ligger 120-140 moh. Området utenfor urfoten ligger på en tidligere skredvifte ca 80-90 moh, som kommer fra tidligere løsmasseskred. Området hvor blokkene er blitt registrert, har en bredde på 220 meter. På østsiden av feltområdet renner det ut en bekk hvor det ligger mye steinmateriale. Blokkene i feltområdet kan derfor være steinsprang, moreneblokker eller blokker som er transportert med flomskred (Figur 48). Løsmassene i området består av jord og sand, med stor forekomst av steinmateriale. Området brukes som beitelandskap og store blokker kan tidligere være fjernet.

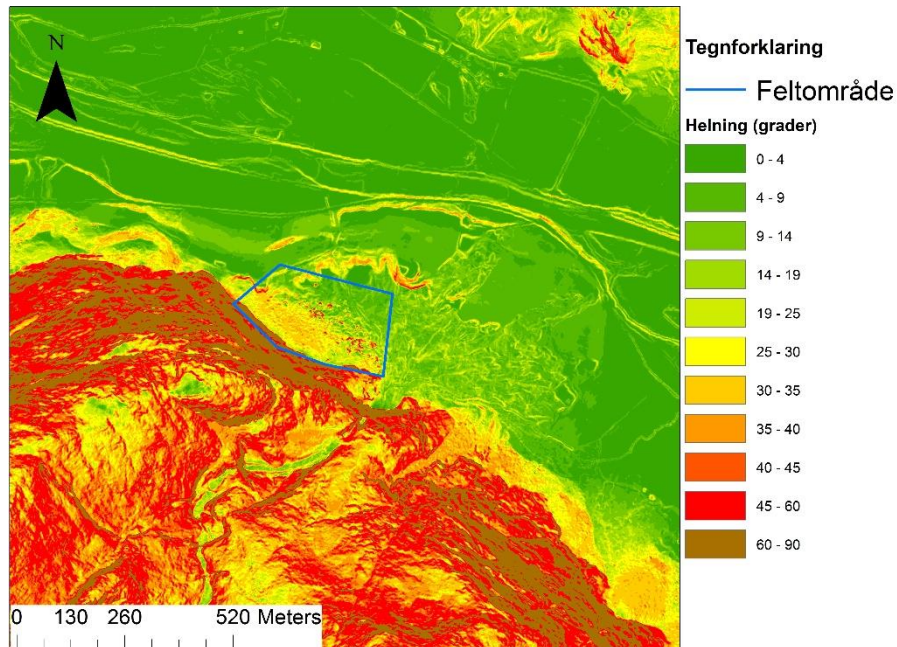


Figur 47: Kildeområdet ved lokalitet Bø. Det går en gjennomgående forkastning (eller skyveggen og glideplan) gjennom fjellsiden. Denne er merket mer rødt. Foto: Ulrik Domaas (NGI).



Figur 48: På østsiden av lokalitet Bø forekommer avsetninger fra tidligere flomskred, sammen med moreneavsetninger. Foto: Ulrik Domaas (NGI).

Helningskart fra området (Figur 49), viser at fjellpartiet over ura har en helning mellom 60° og 90°. I øvre del av ura er helningen mellom 30° og 35°, mens i den nedre delen ligger den mellom 19° og 25°. Området utenfor ura er tilnærmet flatt, men utenfor den vestlige delen av urfoten er området mer kupert. Her ligger blokkene med de lengste utløpene.



Figur 49: Helningskart ved lokalitet Bø. Det undersøkte feltområdet er markert med blått.

4.3.1 Beskrivelse av blokkene utenfor urfoten

I dette området er blokkene delvis begravd i løsmassene (Figur 50). De vanligste formene på blokkene som har nådd utenfor urfoten, er ellipsoider og rektangulære (Figur 51). Blokkene i området har liten rundingsgrad. Volumet på blokkene varierer fra 5 til 10 m³, og den største blokken er ca 20 m³ (Figur 52).



Figur 50: Blokk med ellipsoide form som ligger delvis begravd i løsmasser ved lokalitet Bø.



Figur 51: Blokk markert med rød ring har en rektangulær til kubisk kantet form. Blokken ligger utenfor ufoten ved Lokalitet Bø.



Figur 52: Største blokk som har nådd utenfor urfoten ved lokalitet Bø. Foto: Ulrik Domaas (NGI).

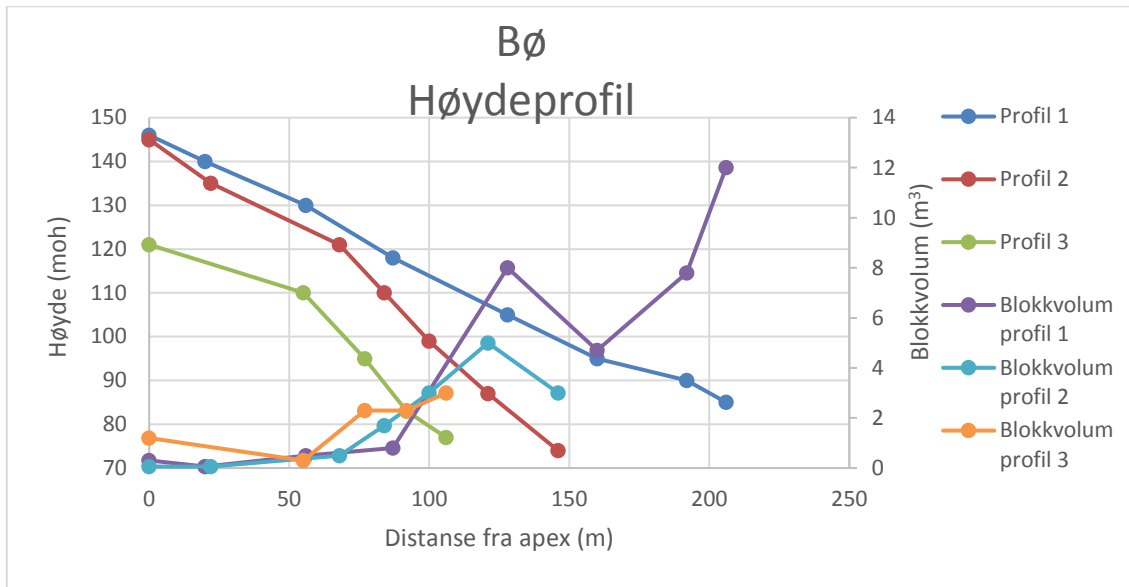
4.3.2 Beskrivelse av steinura

Steinuras vertikale og horisontale høyde, avhenger av hvor man velger å gå. Vertikalt har den en høydeforskjell på 45-70 meter mellom urfoten og øvre grense, og en horisontal utstrekning mellom 100 og 200 m. Ura er grov i bunnen og blokkstørrelsen øker ned mot urfoten (Figur 53). Det er stor variasjon i blokkstørrelse og form, men de fleste blokkene har en diameter på 2-3 m i den nedre delen, og 1-0,5 m i øvre del. I steinura ligger enkelte blokker som er større enn blokkene utenfor urfoten.



Figur 53: Ura ved Bø sett fra urfoten. Store blokker i nedre del. Øvre grense markert med rødt.

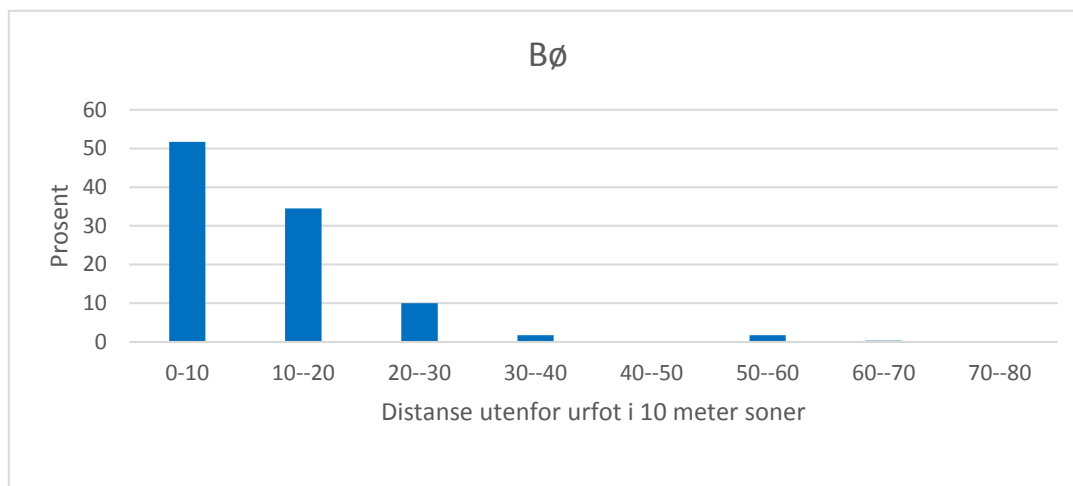
Det er gått tre profiler i ura hvor blokkvolum er registrert (Figur 54). Diagrammet viser en trend med minkende blokkvolum fra foten av ura, og opp mot øvre grense.



Figur 54: Oppgatte profiler (blå, røde og grønn) i ura, med distanse fra apex og høyde over havet. lilla, lyseblå og oransje linje viser endring i blokkvolum (m³) langs profilene. Se **Feil! Fant ikke referanseskilden.** for plassering av profilene.

4.3.3 Fordelingen av steinsprang utenfor urfoten

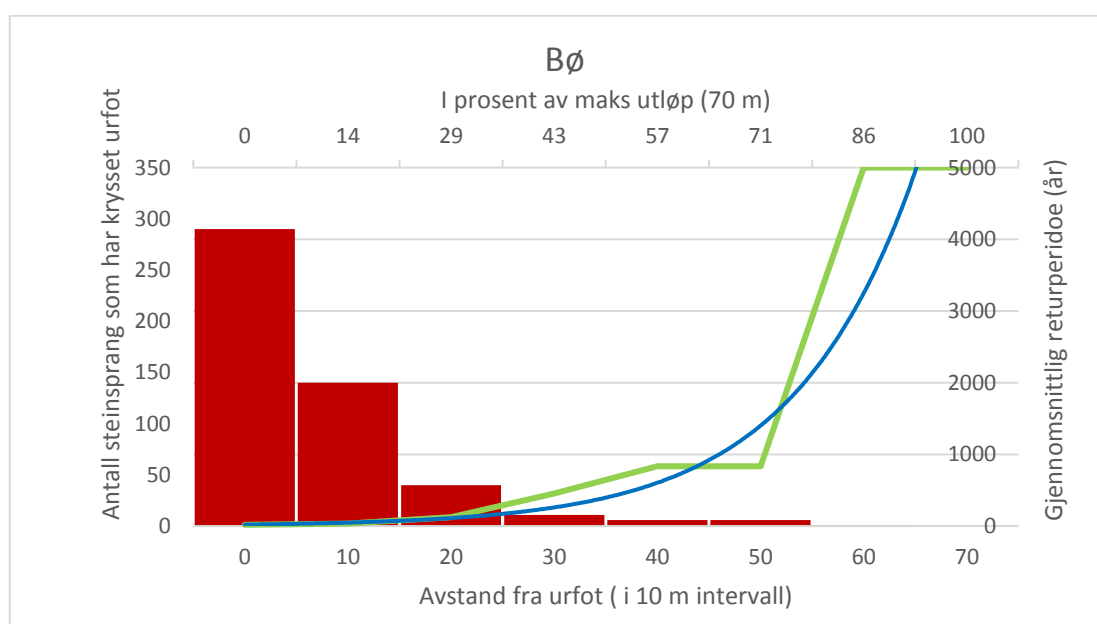
Fordelingen av steinsprang utenfor urfoten ved Bø (Figur 55), viser et minkende antall steinsprang med økende distanse. Totalt er 290 blokker registrert, hvor lengste utløp ligger i sonen 60-70 m utenfor urfoten. Den største forekomsten av blokker ligger under 10 m utenfor urfoten. Her ligger 52 % av alle blokkene. Prosentandelen minker utover, og ved 30-40 m er denne nede i to prosent. Det er ingen registrerte blokker 40-50 m utenfor urfoten. Seks blokker har nådd mellom 50 og 60 m utenfor urfoten.



Figur 55: Prosent fordeling av steinsprang utenfor urfoten i forhold til alle registrerte blokker Bø.

4.3.4 Returperioder utenfor urfoten

Ved bruk av formel (8) i kapittel 3.2.3, er returperiodene utenfor urfoten, blitt estimert ved Bø (Figur 56). Estimerte returperioder ved Bø viser at det hvert 100 år vil falle blokker som når 15 meter utenfor urfoten. Grense for 100 års nominell sannsynlighet settes her. 1000 års grense er estimert å ligge mellom 48 og 50 meter utenfor urfoten, og settes ved 50 meter. 5000 års sone settes ved grensen som ingen steinsprang har passert, som er 70 meter utenfor urfoten (Tabell 8).



Figur 56: Kumulativ fordeling av registrerte steinsprang utenfor urfot og estimert returperiode basert på antall registrerte steinsprang (grønn) Ved Lærdal Bø. Interpolert eksponentiell trendlinje (blå) er basert på estimerte returperioder (blå).

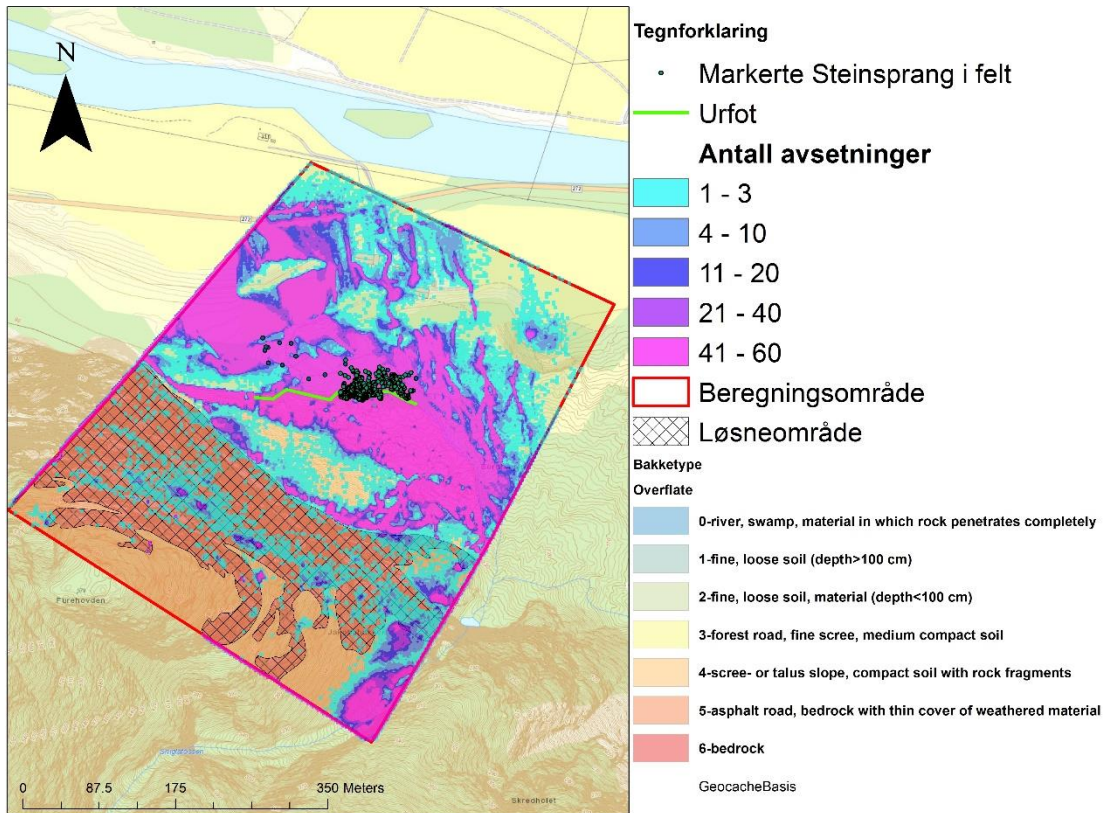
Tabell 8: Estimerte faresoner (TEK10) i distanse og prosent av maks utløp ved Bø.

Returperiode	Distanse utenfor urfoten (m)	Prosent av maks utløp (70m)
100	15	21
1000	48-50	68-71
5000	65-70	93-100

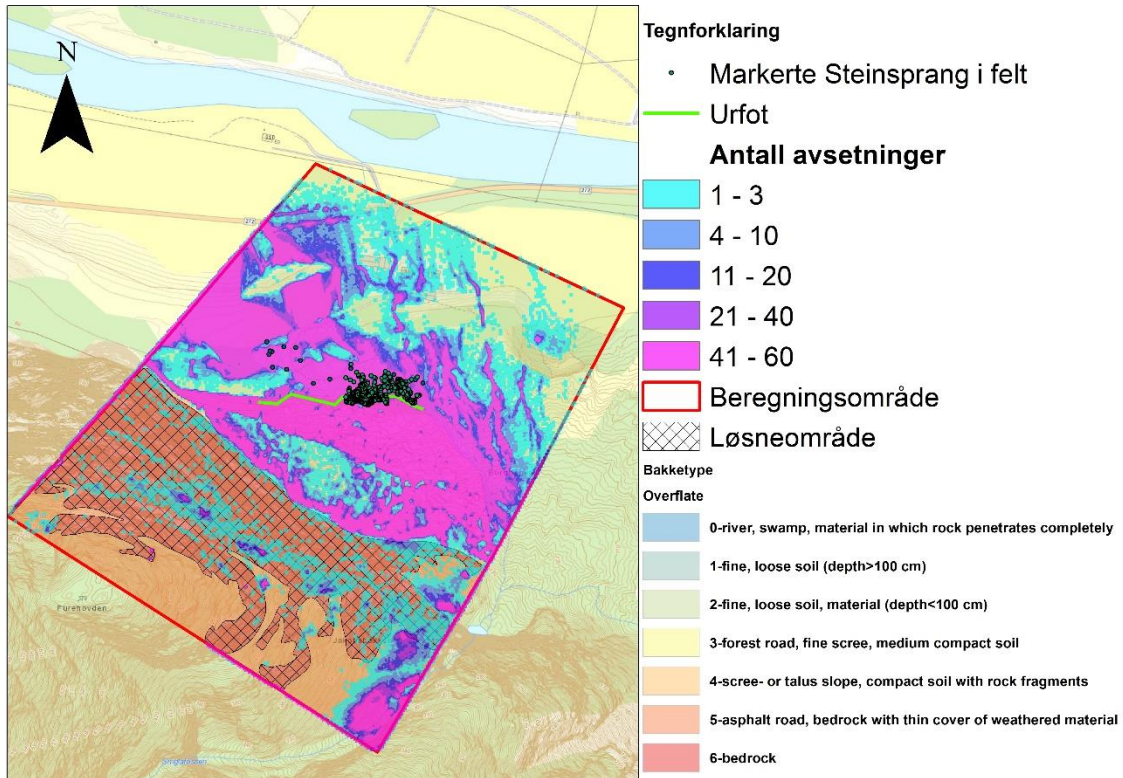
4.3.5 Rockyfor3D simuleringer

Ved Rockyfor3D simuleringene ved Bø (Figur 57 og Figur 58), blir en stor andel av blokkene avsatt i nedre del av ura. Utenfor den østlige delen av urfoten, avsettes hovedandelen av de simulerte blokkene 0-95 m. Her følger også blokkene forsenkninger i terrenget. I den vestlige delen utenfor urfoten, avsettes hovedandelen av blokker mellom 10-180 m utenfor urfoten. Her går også simulerte blokker over 200 m utenfor urfoten.

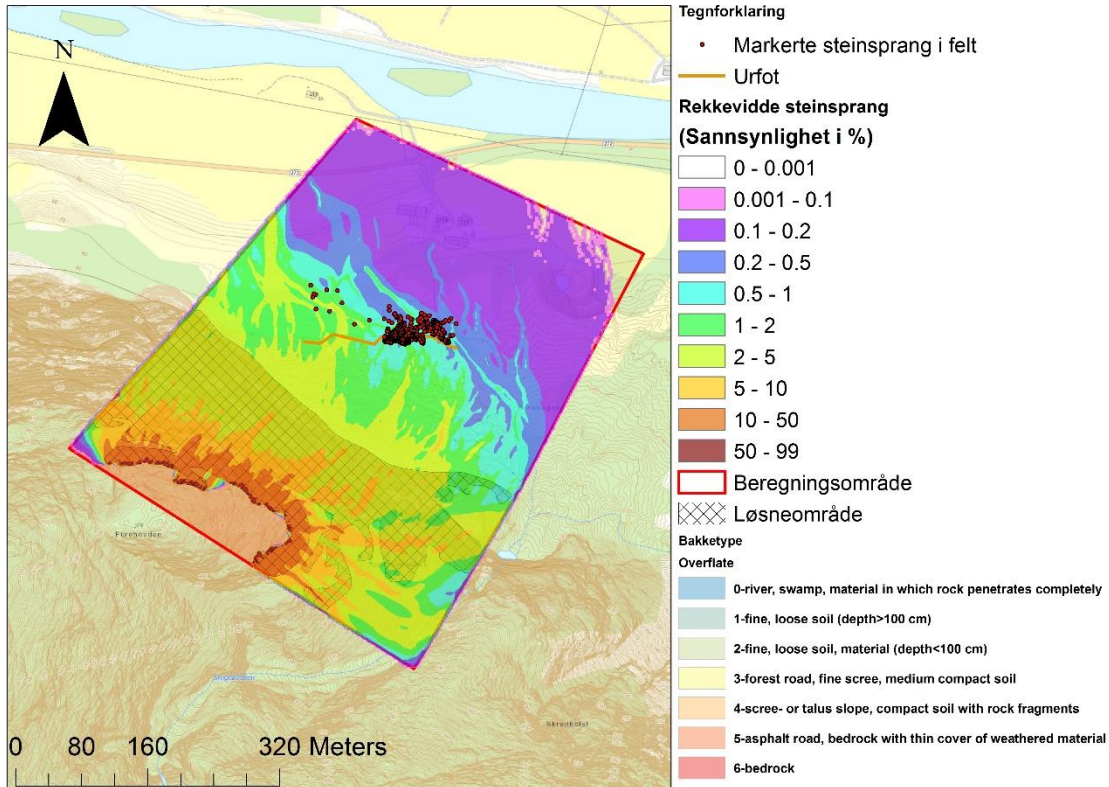
Rekkeviddesannsynligheten i prosent (Figur 59 og Figur 60) viser at for begge kjøringer er det enkelte baner i terrenget hvor det er større sannsynlighet for lengre utløp (0,2-0,5 %). Disse følger også forsenkningene i terrenget. Ved simuleringen med ellipsoide form, er omfanget av disse større enn ved den rektangulære. I den vestlige delen av feltområdet, vises dette tydelig. Blokkene som er markert fra felt, ligger i områder hvor mellom 0,5-5 % sannsynlighet for at steinsprang kan nå ut. I den østlige delen av feltområdet ligger registrerte blokker i et område, hvor det er 0,2-0,5 % sannsynlighet for at blokkene vil nå ut.



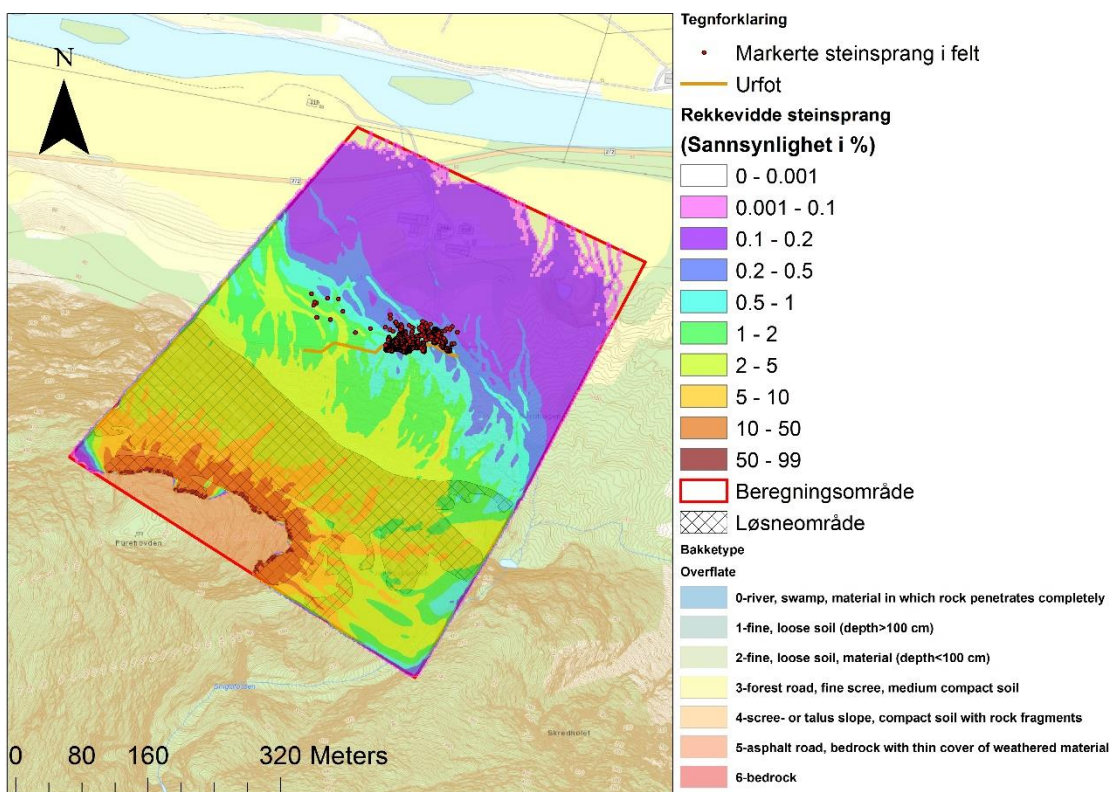
Figur 57: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med ellipsoid form ved lokalitet Bø.



Figur 58: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med rektangulær form ved lokalitet Bø.



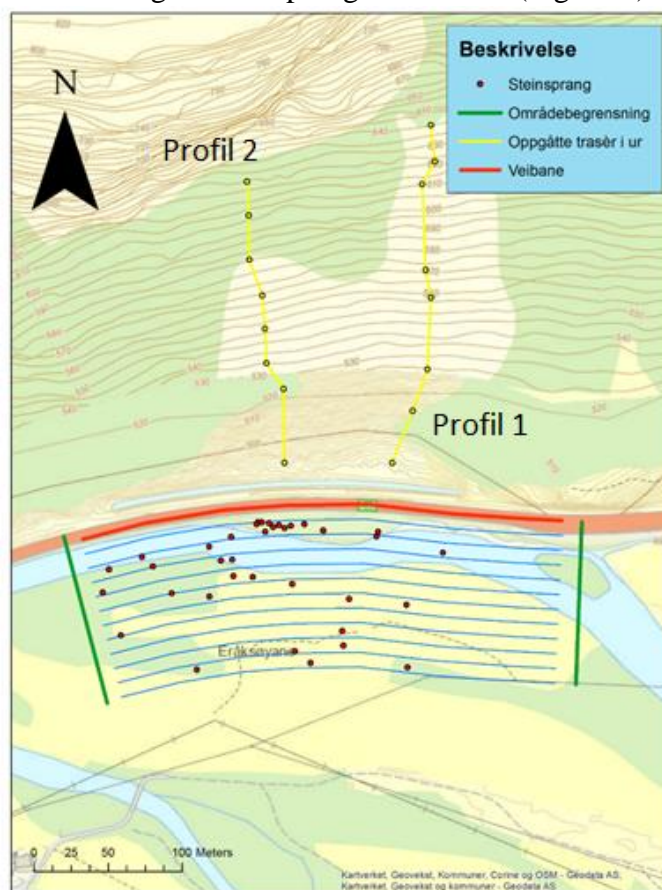
Figur 59: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der ellipsoide blokkform er benyttet, ved lokalitet Bø.



Figur 60: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der rektangulær blokkform er benyttet, ved lokalitet Bø.

4.4 Eråksøyane

Ved Eråksøynane er det blitt gått to traséer i ura, hvor endring i blokkstørrelse er registrert. Siden veibanen antagelig er blitt bygget hvor antagelig den tidligere urfoten lå, brukes denne som referanse for å vise fordeling av steinsprang utenfor ura (Figur 61).



Figur 61: Oversikt over registrerte steinsprang og oppgatte traséer i ura fra feltarbeid ved Eråksøynane. Blå linjer er tegnet ut fra urfoten, og går parallelt med 10 meters mellomrom utover.

Området har et flatt dalføre med dyrket mark og fluviale avsetninger, som ligger ca 490 moh. Europavei 16 går rett nedenfor urfoten, og ved denne er det blitt bygget en voll for beskyttelse mot steinsprang (Domaas, 2002). Parallelt med veien går det en grunn elv. Det forekommer store blokker som har nådd utenfor urfoten og over elva. Det finnes også morenemateriale i området som er brukt til steingjerder.

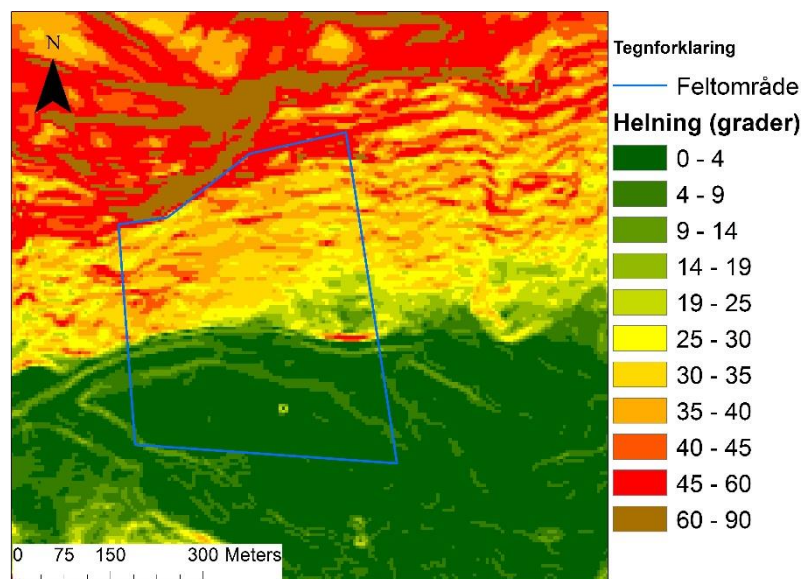
Området har en bratt fjellside som er tilnærmet vertikal i enkelte partier. Fjellsiden er delvis dekket av vegetasjon, med flere områder av fast fjell. Potensielle kildeområder for steinsprang, strekker seg opp til ca 800 moh. Det er flere områder med ferske sår fra tidligere skredaktivitet. Nedenfor fjellsiden er det en stor steinur som er godt sortert. Steinura strekker seg opp mot fjellsiden til ca 565-570 moh. Det er vegetasjon i ura, men under området med ferske

bruddflater er denne liten (Figur 62). Tidligere steinsprang kan være ryddet i området på grunn av jordbruk og veiutbygging.



Figur 62: Kildeområde og ura ved Eråksøyane. Foto: Ulrik Domaas (NGI).

Helningskart fra feltområdet (Figur 63), viser at helningen i ura ligger mellom 30° og 40° . I kildeområdene for steinsprang er helningen mellom 45° og 60° , med områder som har mellom 60° og 90° . Utenfor urfoten er helningen slak, med en helningsgrad under 4° .



Figur 63: Helningskart ved lokalitet Eråksøyane. Feltarbeid er utført i område markert med blått.

4.4.1 Beskrivelse av blokkene utenfor urfot

Ved Eråksøynane er det runde ellipsoide og kantede rektangulære (Figur 65) blokkformer som går igjen for blokkene utenfor urfoten. Hovedandelen av oppmålte blokker, har et volum på ca 10 m^3 , men det forekommer også blokker med størrelse på 30 m^3 . Det er to store blokker som skiller seg ut fra resten. Disse har et estimert volum på 146 m^3 (Figur 64) og 226 m^3 (Figur 66). Blokken på 146 m^3 er en rund ellipsoide, og er en av blokkene som ligger lengst utenfor urfoten. Det forekommer også to andre blokker som har reist like langt ut. Disse har et volum på 2 m^3 , og er klassifisert med formene som ellipsoide og rektangulære.



Figur 64: Den største av tre blokkene, som ligger over 100 meter utenfor urfoten ved lokalitet Eråksøynane. Foto: Ulrik Domaas (NGI).



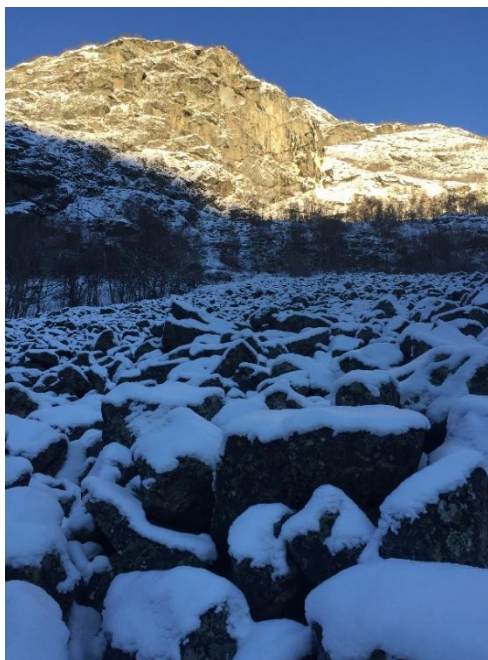
Figur 65: Kubisk rektangulær blokk ved lokalitet Eråksøynane. Volum på 3 m^3 .



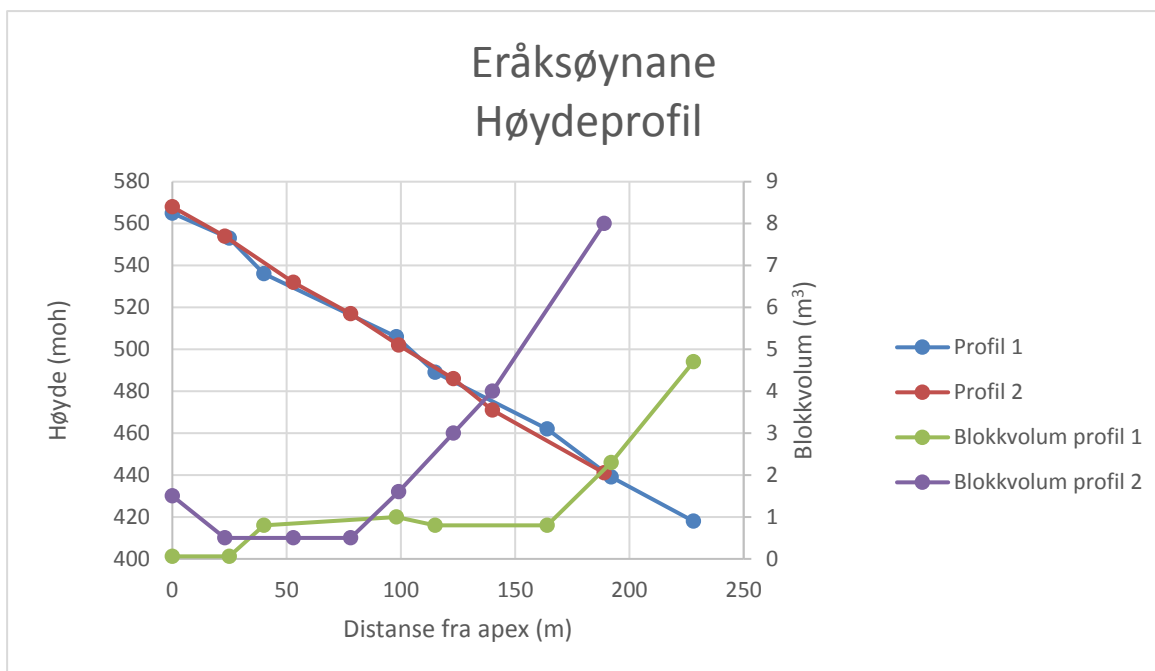
Figur 66: Største blokk som ligger utenfor urfoten. Volum anslått til 226 m³.

4.4.2 Beskrivelse av steinura

Steinura ved Eråksøyane har en vertikal høyde på omtrent 140 m og en horisontal lengde på 230 m. Ura er bratt, og helningen er jevn opp mot apex. (Figur 67). Blokkstørrelsen minker opp mot apex, selv om det er enkelte blokker som er større enn gjennomsnittet. Blokkstørrelsen endrer seg fra blokker på 4-8 m³ nede ved ytre grense av ura, til mindre enn 1 m³ i øvre parti (Figur 68).



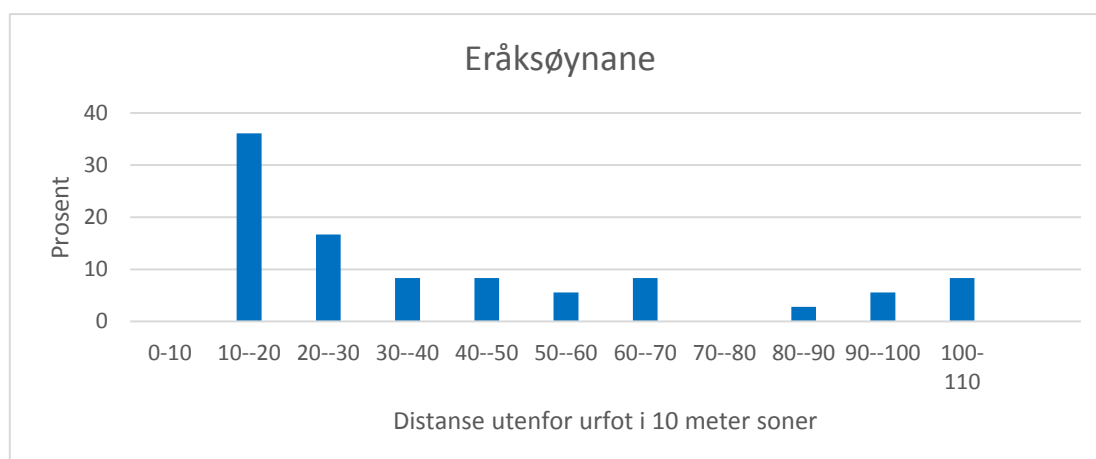
Figur 67: Ura ved Eråksøynane sett fra ytterste grense.



Figur 68: Figur viser oppgatte profiler (blå og rød) i ura, med distanse fra apex og høyde over havet. Grønn og lilla linje viser endring i blokkvolum (m³) langs profilene. Se Figur 61 for plassering av profilene.

4.4.3 Fordelingen av steinsprang utenfor urfoten

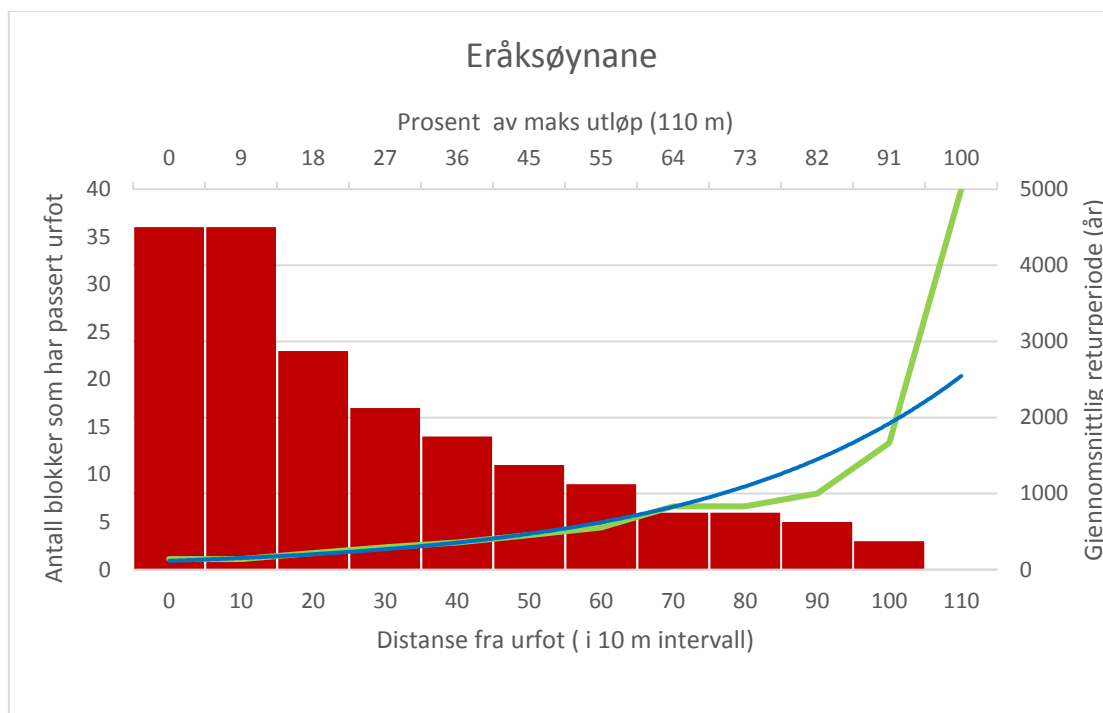
Ved Eråksøyane er 36 steinsprang registrert utenfor urfoten. 36 % av disse ligger i sone 10-20. Mellom 20 og 30 m ligger 17 % av alle markerte steinsprang. Etter dette synker andelen, og mellom 70 og 80 m er det ingen registrerte blokker. Fra 80-110 m øker andelen steinsprang fra 3 til 8 %. Steinsprangene som har nådd lengst ut, ligger mellom 100 og 110 m utenfor urfoten (Figur 69).



Figur 69: Prosent fordeling av steinsprang utenfor urfoten i forhold til alle registrerte blokker ved lokalitet Eråksøyane.

4.4.4 Returperioder utenfor urfoten

Ved bruk av formel (8) i kapitel 3.2.3, er returperiodene utenfor urfoten blitt estimert ved Eråksøyneane (Figur 70). Estimeringene tilsier at ved Eråksøyneane vil det ikke gå steinsprang utenfor ura hvert 100 år. Det er bygget en skredvoll ved veibanen, så 100 års grense settes ved denne. Hvert 1000 år vil en blokk nå maksimalt 75-90 meter utenfor urfoten, og 1000 års grense settes 90 meter utenfor. 5000 års grense settes ved maks utløp, som er 110 m (Tabell 9).



Figur 70: Kumulativ fordeling av registrerte steinsprang utenfor urfot og estimert returperiode basert på antall registrerte steinsprang (grønn) Ved Eråksøyneane. Interpolert eksponentiell trendlinje (blå) er basert på estimerte returperioder.

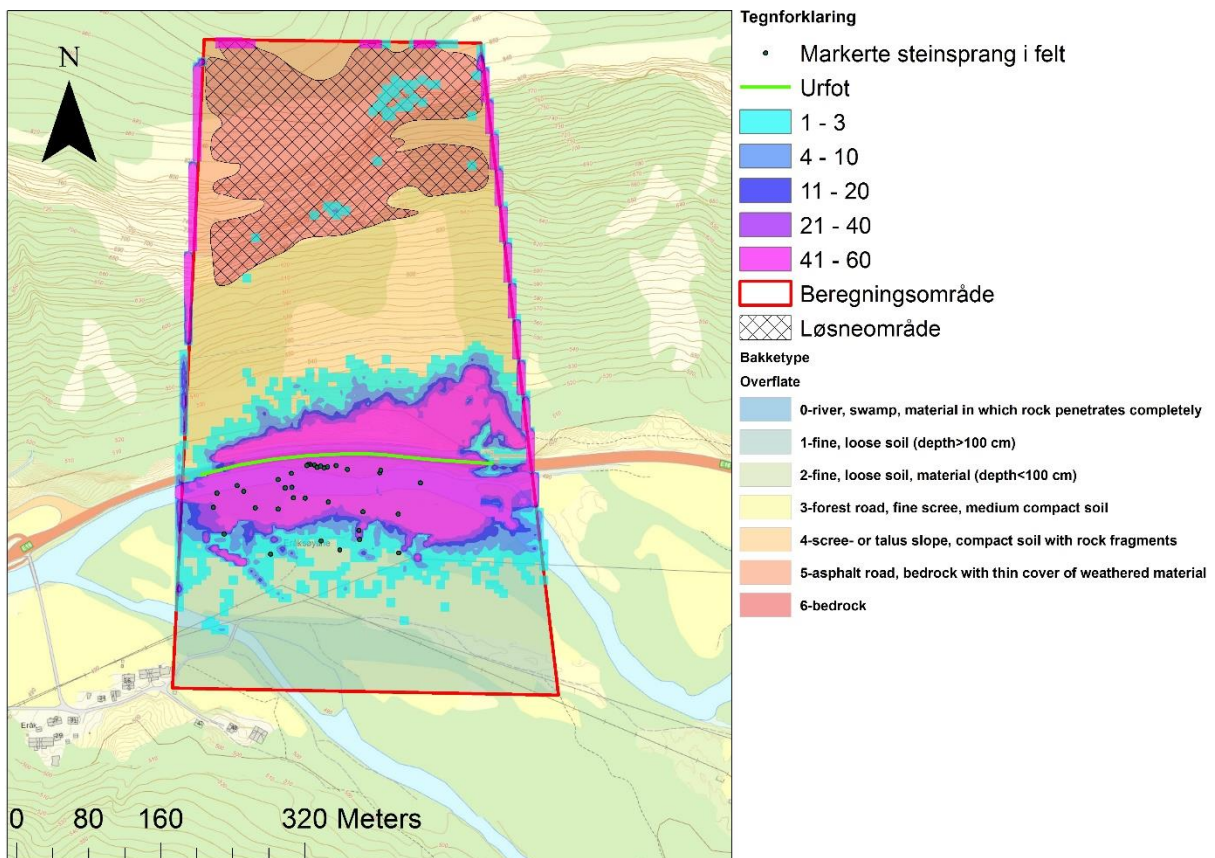
Tabell 9: Estimerte faresoner (TEK10) i distanse og prosent av maks utløp ved Eråksøyneane.

Returperiode	Distanse utenfor urfoten (m)	Prosent av maks utløp (110m)
100	0	0
1000	75-90	68-82
5000	110	100

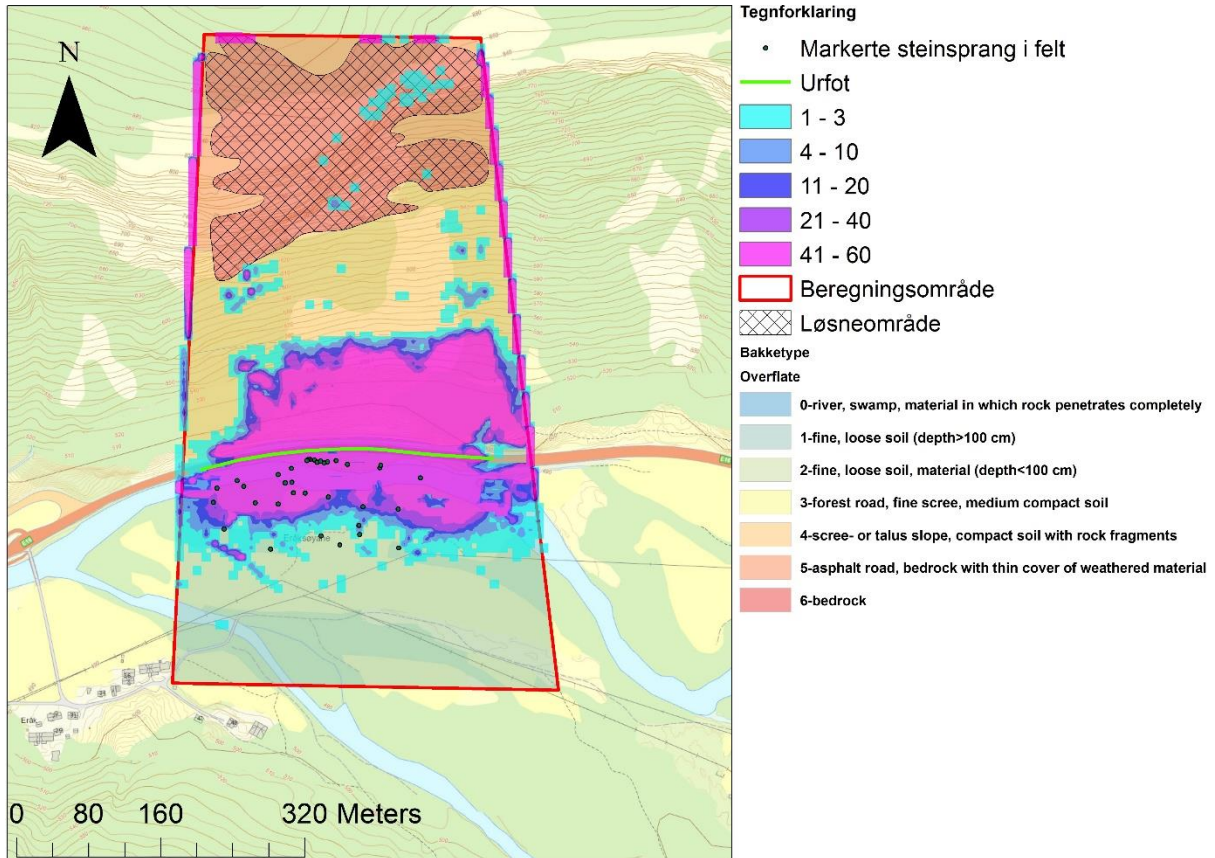
4.4.5 Rockyfor3D simuleringer

Simuleringer med Rockyfor3D viser at flertallet av blokkene vil avsettes i området 0-85 m utenfor urfoten (Figur 71 og Figur 72). Blokkene med det lengste utløpet er blitt avsatt 185 m utenfor. Området hvor flertallet av blokkene avsettes, er generelt likt ved begge simuleringene. Det avsettes flere blokker i ura ved den rektangulære simuleringen, enn ved ellipsoiden. Det er også færre blokker med lange utløp ved rektangulær kjøringen, enn det er ved ellipsoide. Hovedandelen av blokker som er markert i felt, ligger i området hvor det avsettes flest blokker fra simuleringene.

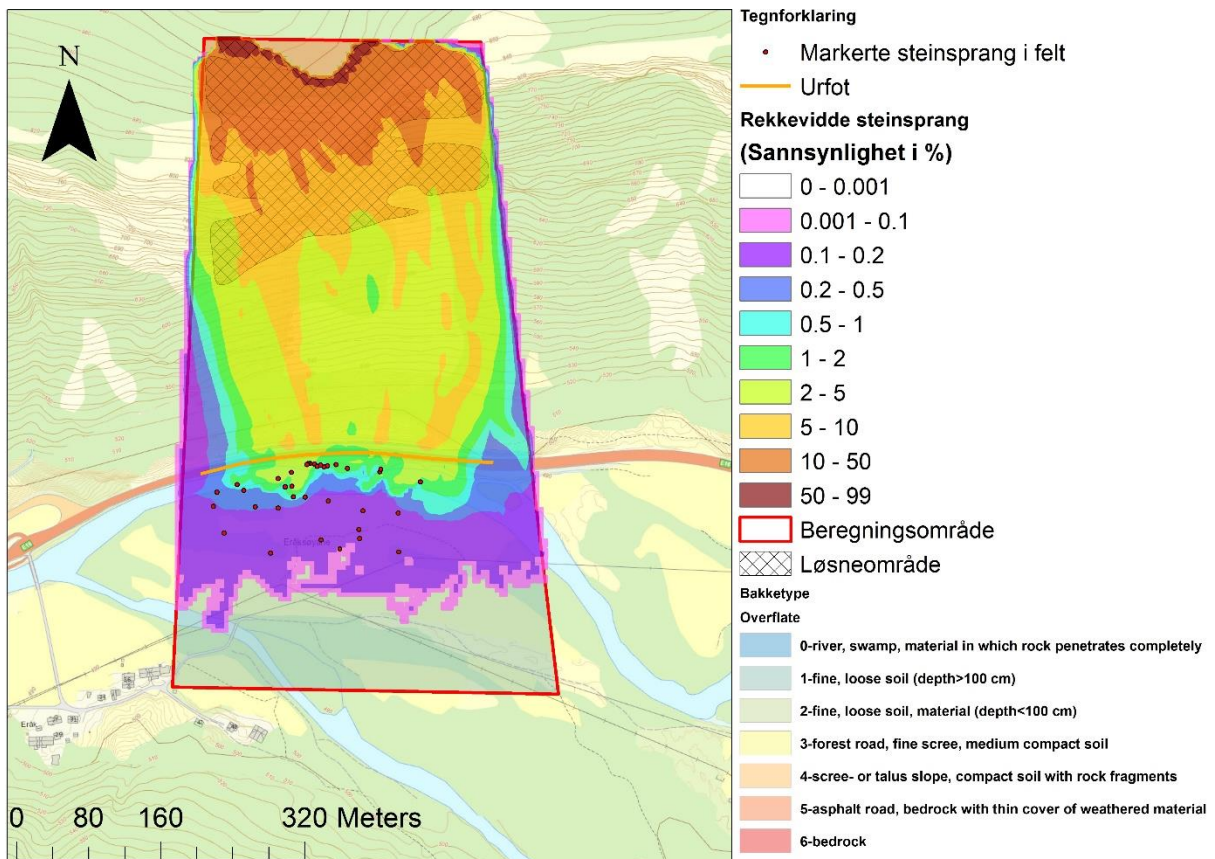
Rekkevidde sannsynlighet i prosent (Figur 72 og Figur 74), viser at 60 m utenfor urfoten er det under 0,2 % sannsynlighet for at steinsprang vil nå ut. Flere av de markerte blokkene fra felt ligger i dette området. Utbredelsen av dette området er større ved kjøring med ellipsoide form enn ved rektangulær kjøring. Blokkene fra felt ligger i et område hvor det er mellom 0-2 og 0,5 % sannsynlighet for at simulerte blokker kan nå ut.



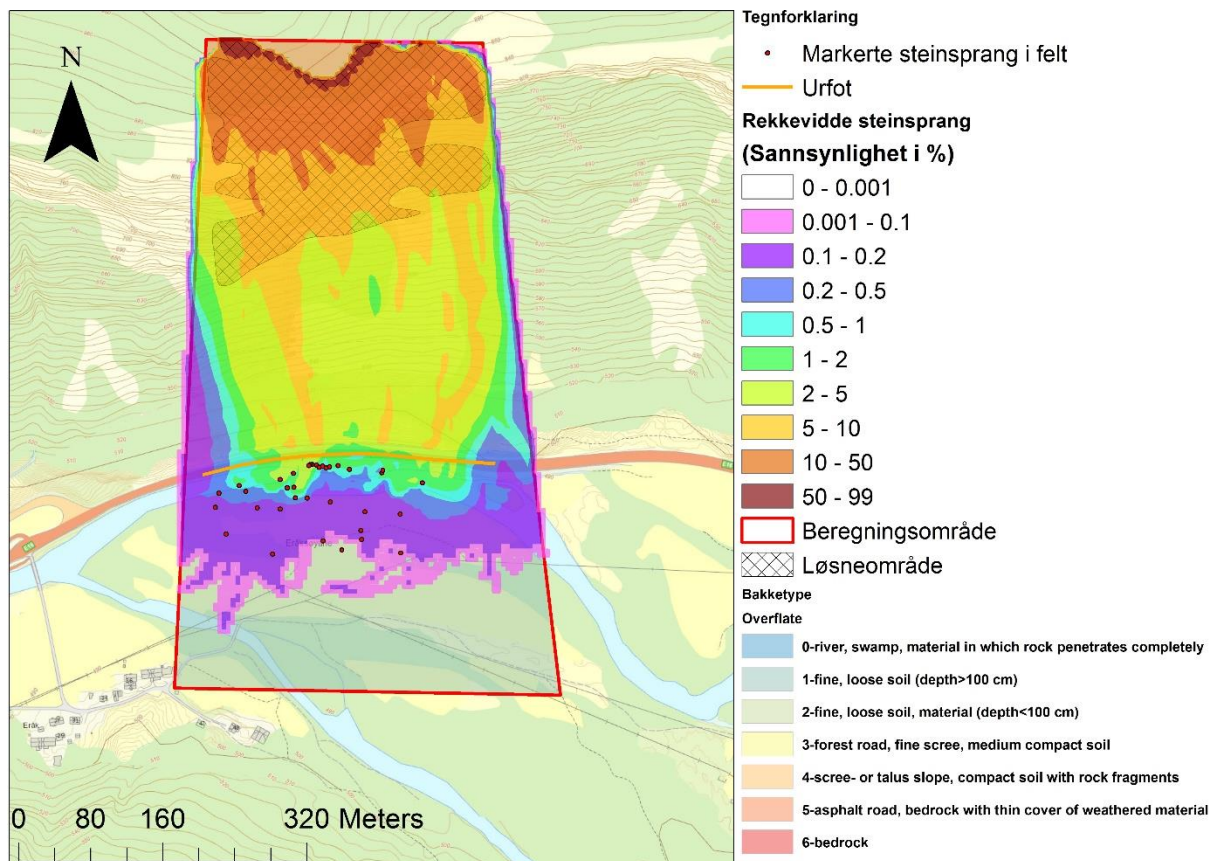
Figur 71: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med ellipsoid form ved lokalitet Eråksøynane.



Figur 72: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med rektangulær form ved lokalitet Eråksøyane.



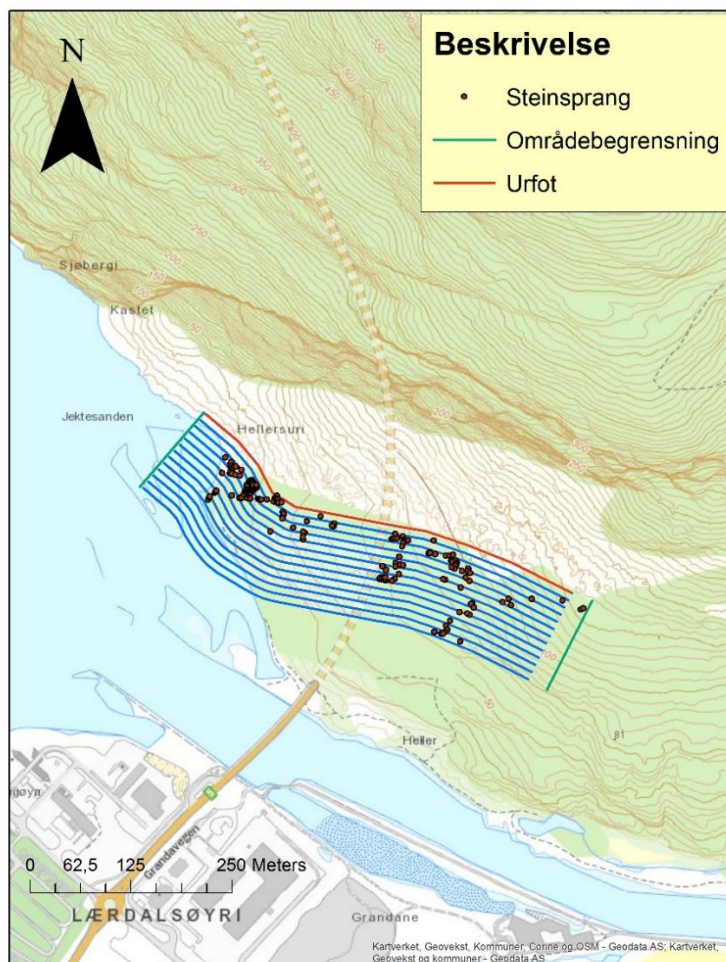
Figur 73: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der ellipsoide blokkform er benyttet, ved lokalitet Eråksøyane.



Figur 74: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der rektangulær blokkform er benyttet, ved lokalitet Eråksøyane.

4.5 Lærdal Vest

Det undersøkte området ved Lærdal vest (Figur 75), går fra Lærdalsfjorden og ca 530 meter sørøst langs ura (Figur 76). Blokkene som ligger utenfor urfoten, er registrert med GPS. Det er ikke blitt gått traséer i ura. Urfoten er tegnet inn basert på flyfoto.



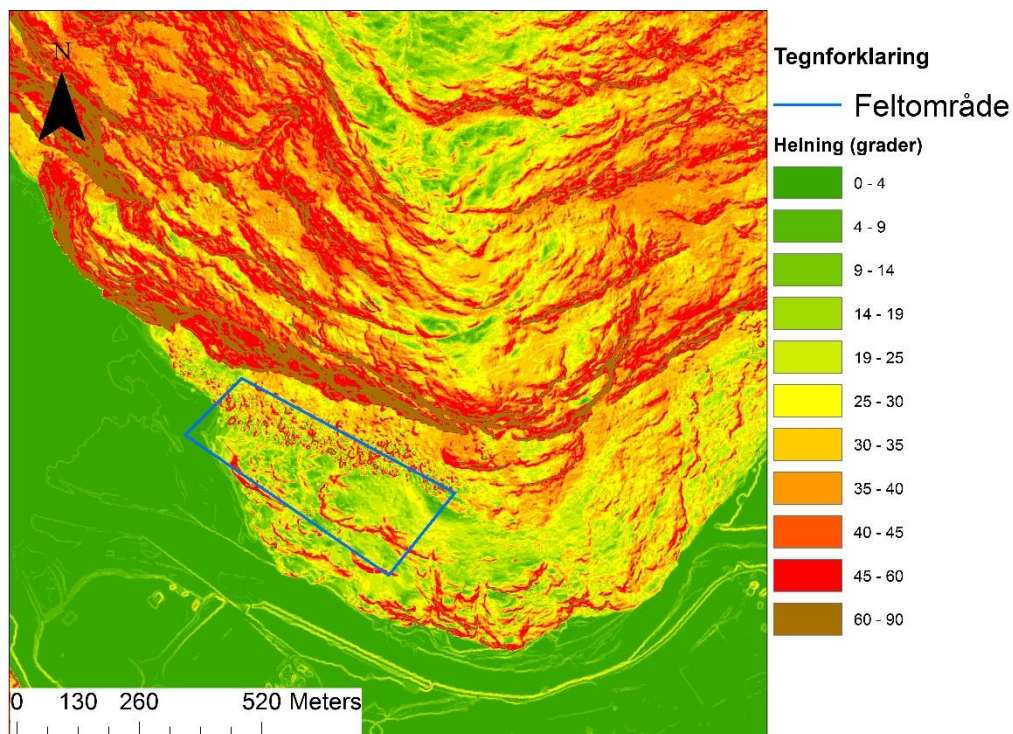
Figur 75: Oversikt over markerte steinsprang og urfoten ved Lærdal Vest. Blå linjer er tegnet ut fra urfoten, og går parallelt med 10 meters mellomrom ut fra urfoten.

Kildeområdet for steinsprang består av tilnærmet vertikalt fast fjell, som strekker seg opp til omtrent 400 moh på det høyeste. Nedenfor denne ligger den grovste ura som er observert under arbeidet med denne oppgaven, med flere blokker som har diametere på over 10 meter. En fjellknaus ligger foran ura med bart svaberg og løsmasser. Området har også et stort innslag av morenemateriale.



Figur 76: Oversikt over lokalitet Lærdal Vest. Det kartlagte området er markert med svart strek. Registrerte steinsprang, ligger på fjellknaus som Fodnes tunnelen går gjennom. Ura ligger inn mot den bratte fjellsiden (pil). Foto: Ulrik Domaas (NGI).

Helningskart fra området (Figur 77), viser at kildeområdet for steinsprang har en helning mellom 60° og 90° , mens ura har helninger mellom 31° og 35° . Utenfor urfoten varierer helningen som følge av fjellknausen som ligger foran.



Figur 77: Helningskart over lokalitet Lærdal vest. Feltarbeid er utført i området merket med blått.

4.5.1 Beskrivelse av blokkene utenfor urfoten

Blokkene som har nådd utenfor urfoten ved Lærdal Vest viser stor variasjon i størrelse. Ved urfoten ligger det enkelte blokker med diametere på over 10 meter, og volum på over 500 m³ (Figur 78). Blokkene i dette området har et volum mellom 10 og 20 m³. Mange av de store blokkene i området har god rundingsgrad, og form som ellipsoider.



Figur 78: Stor blokk som ligger rett utenfor urfoten.

4.5.2 Beskrivelse av steinura

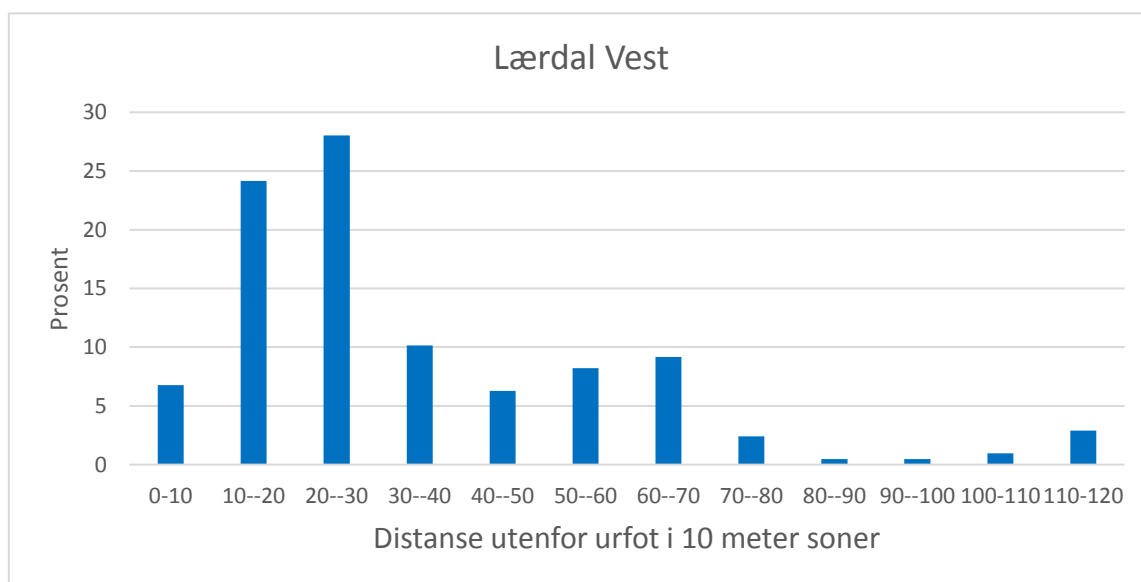
Ura ved denne lokaliteten er ikke blitt befart, men flyfoto over Lærdal Vest (Figur 79) viser at det er flere blokker med diametere på over 10 meter som ligger i den nedre delen. Det er også tydelig at blokkstørrelsen minker opp mot apex. Basert på flyfoto har ura en horisontal utstrekning på ca 140 meter.



Figur 79: Flyfoto over ura ved Lærdal Vest. Røde ringe markerer blokker med diametere på over 10 meter.

4.5.3 Fordeling av steinsprang utenfor urfoten

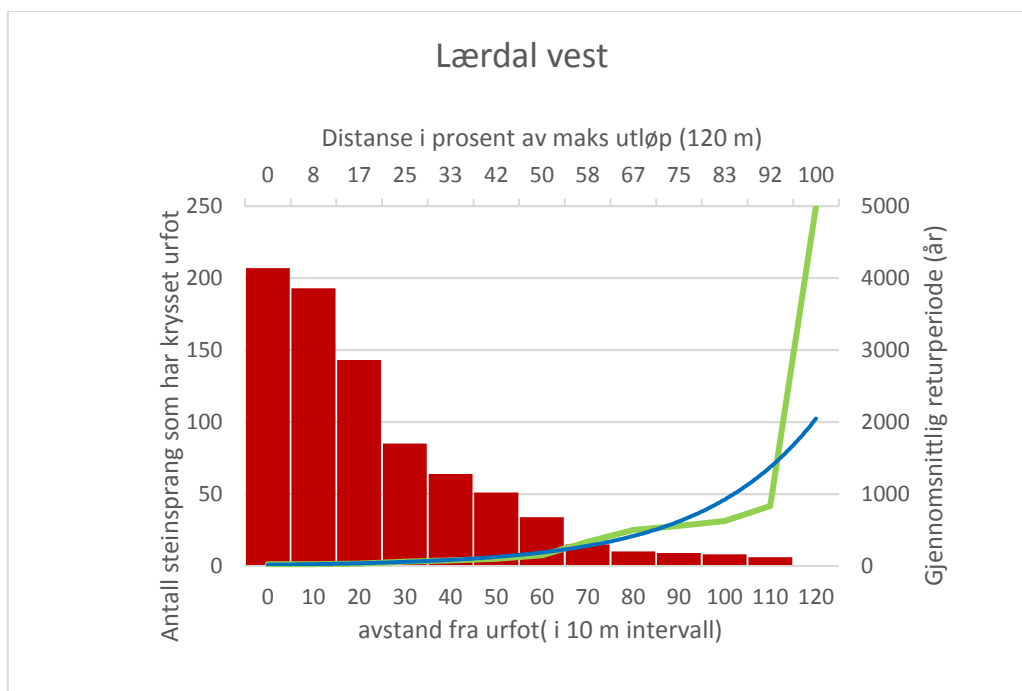
207 blokker er registrert ved Lærdal Vest og av disse ligger over 50 % i området 10-30 m utenfor urfoten. Mellom 30 og 70 m utenfor urfoten, ligger fordelingen av blokker mellom 5-10 % i hver sone. Etter dette avtar antall steinsprang, og de ytterste blokkene ligger mellom 110 og 120 m utenfor urfoten (Figur 80).



Figur 80: Prosent fordeling av steinsprang utenfor urfoten i forhold til alle registrerte blokker ved Lærdal Vest.

4.5.4 Returperioder utenfor urfoten

Ved bruk av formel (8) i kapitel 3.2.3, er returperiodene utenfor urfoten, estimert ved Lærdal Vest (Figur 81). Det er estimert at hvert 100 år vil det nå steinsprang 45 meter utenfor urfoten, og 100 års grense settes her. Estimering viser at det hvert 1000 år kan forekomme blokker som vil nå 110 meter utenfor urfoten. 5000 års grense settes ved maks utløp, som er 120 meter utenfor urfot (Tabell 10).



Figur 81: Kumulativ fordeling av registrerte steinsprang utenfor urfot og estimert returperiode basert på antall registrerte steinsprang (grønn) Ved Lærdal Vest. Interpolert eksponentiell trendlinje (blå) er basert på estimerte returperioder.

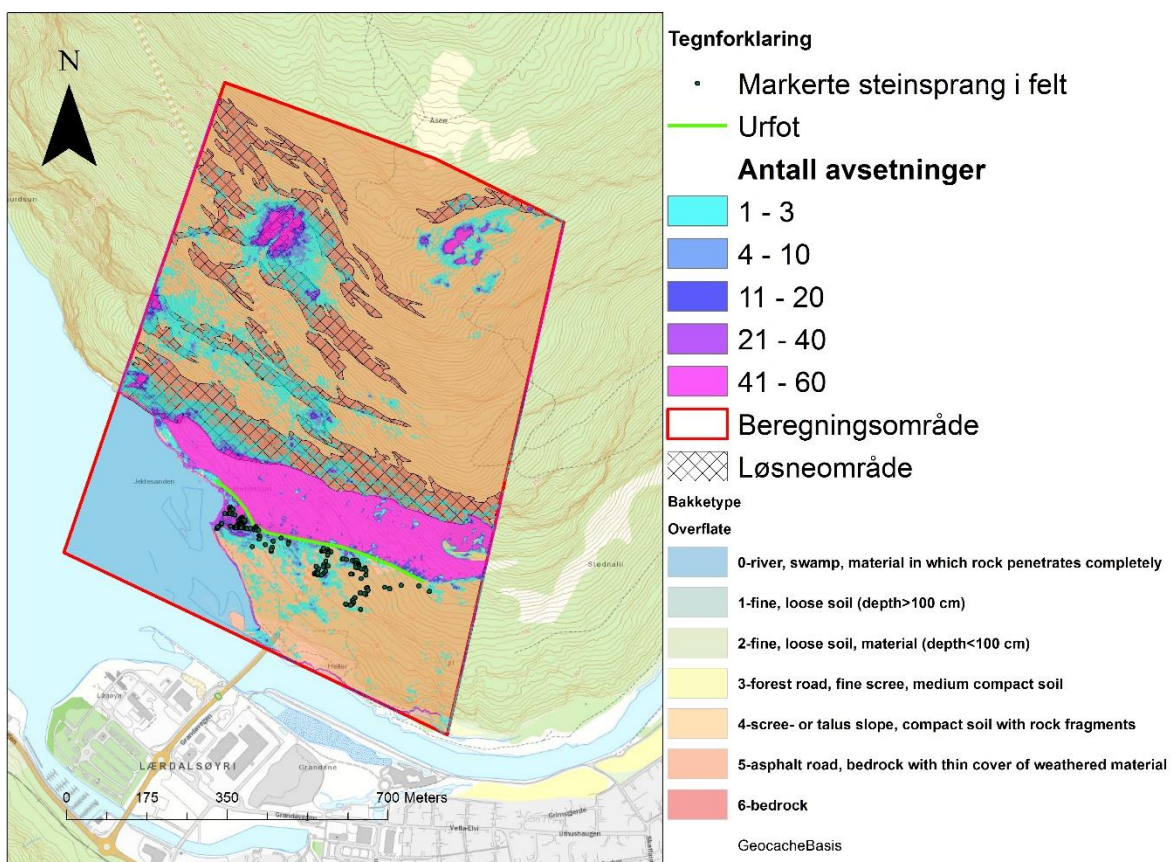
Tabell 10: Estimerte faresoner (TEK10), i distanse og i prosent av maks utløp ved Lærdal Vest.

Returperiode	Distanse utenfor urfot (m)	Prosent av maks utløp (120m)
100	45	38
1000	103-110	85-92
5000	120	100

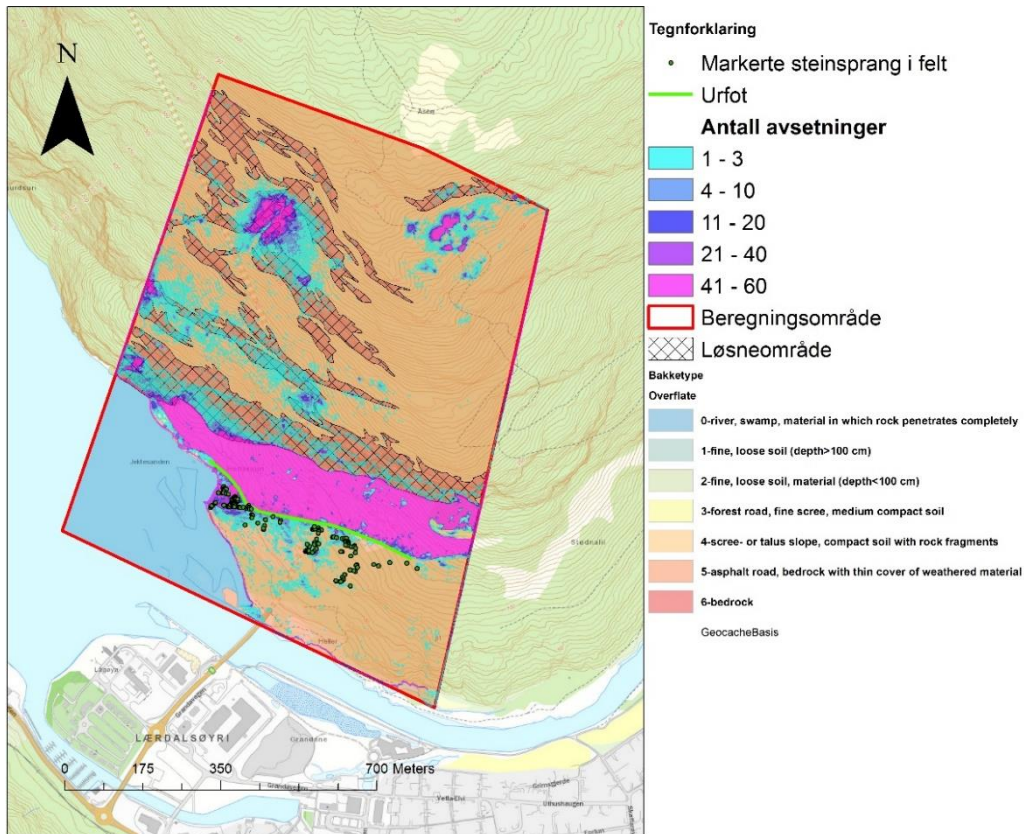
4.5.5 Rockyfor3D simuleringer

Ved Rockyfor3D simuleringene fra Lærdal Vest (Figur 82 og Figur 83), vil flertallet av de simulerte blokkene falle til ro i ura. Antall blokker som har passert urfoten er lav og det er kun et område utenfor den vestlige delen av urfoten, hvor det avsettes mange blokker. Ved begge simuleringene avsettes det blokker på fjellknausen utenfor urfoten, spesielt i sonene 0-60 m og 115-150 m utenfor foten av ura. Det er også blokker som går helt ned til Fodnes tunnelen (Figur 76) (215 m utenfor urfoten), i tillegg til mange blokker som vil nå ned i fjorden.

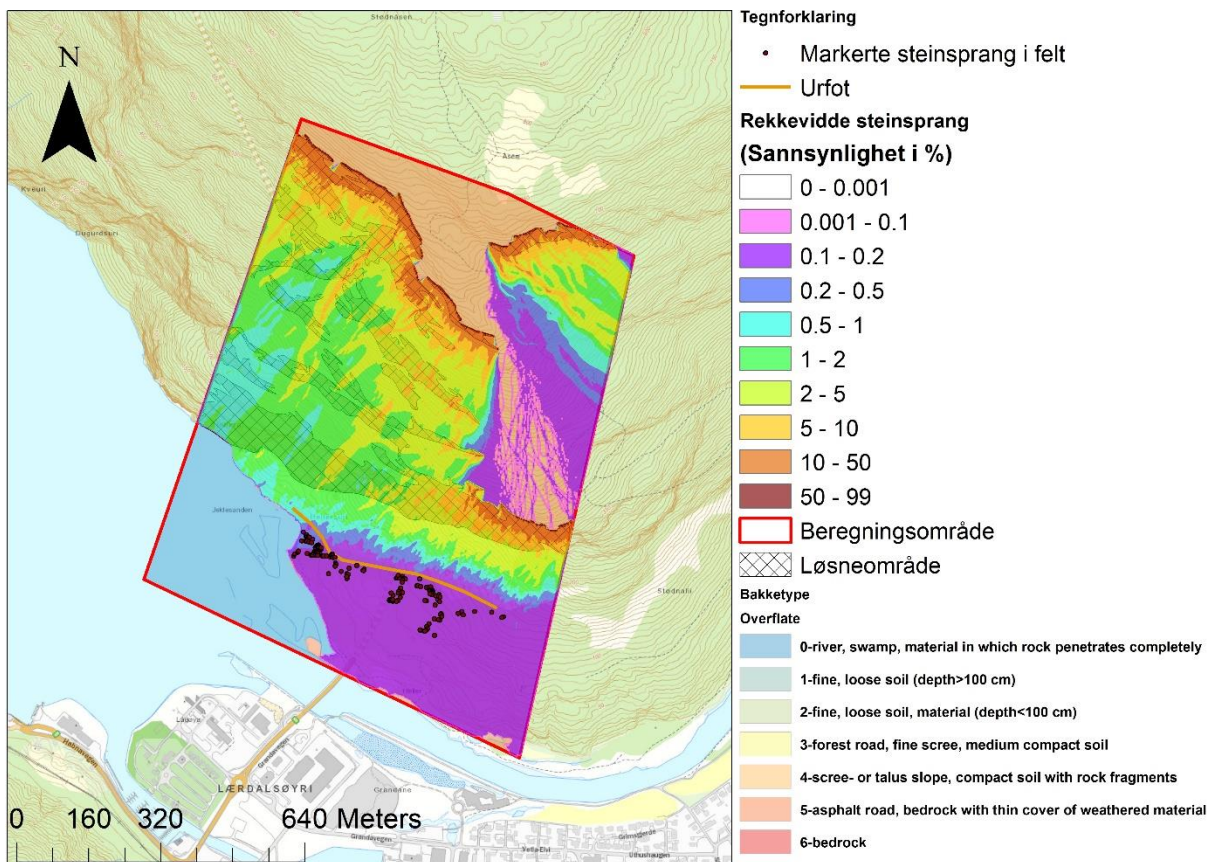
Rekkeviddesannsynligheten i prosent (Figur 84 og Figur 85), tilsier at det er under 0,2 % sannsynlighet for at blokkene vil nå utenfor urfoten. Ved den vestlige delen av ura, ned mot sjøkanten, er det et unntak. Her er det mellom 0,2 og 0,5 % sannsynlighet, for at blokkene vil nå ut. Lengre vest hvor fjellsiden går ut i fjorden, er det mellom 0,5 og 2 % sannsynlig at steinsprang når ut. Rekkeviddesannsynligheten er generelt lik ved begge simuleringene og alle registrerte blokker fra felt, ligger i områder hvor det er med under 0,2 % sannsynlighet for at blokker vil nå ut. Unntaket er utenfor den vestlige delen av ura.



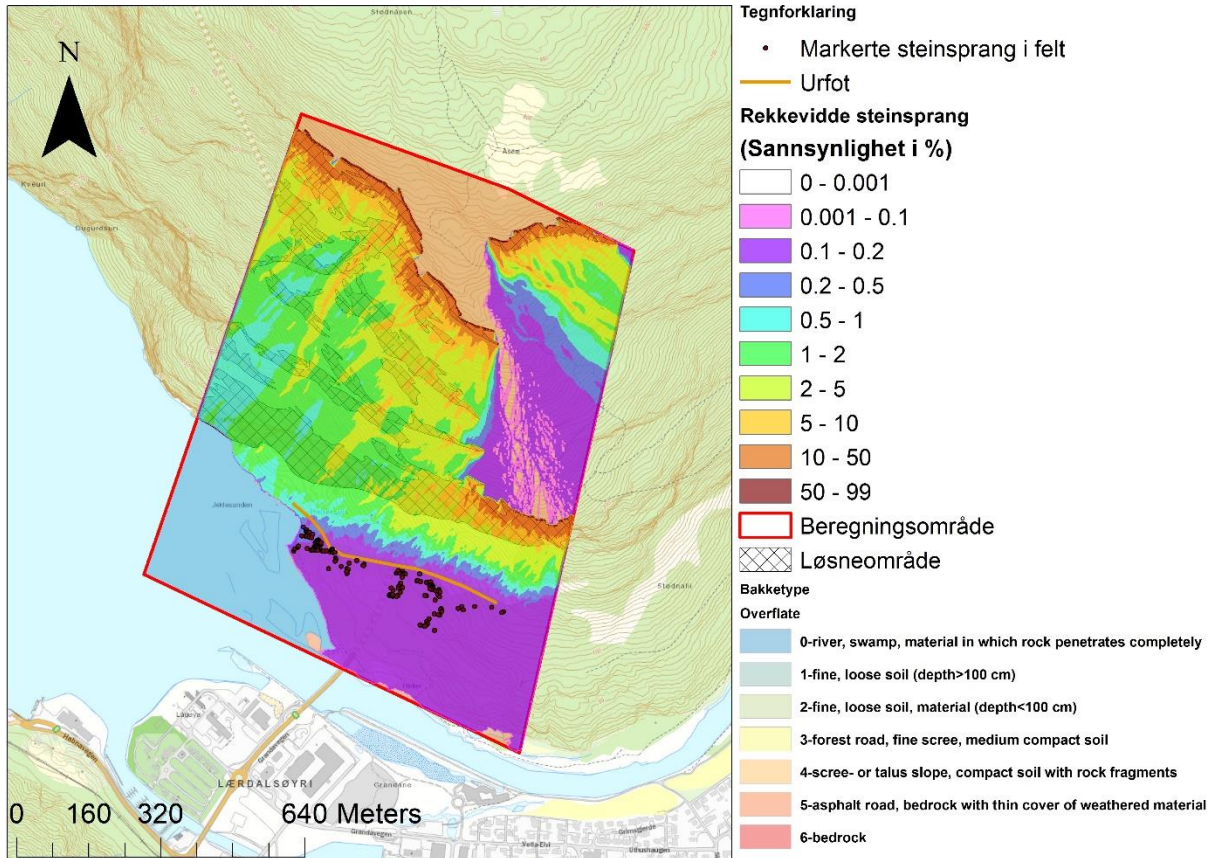
Figur 82: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med ellipsoid form ved lokalitet Lærdal Vest.



Figur 83: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med rektangulær form ved lokalitet Lærdal Vest.



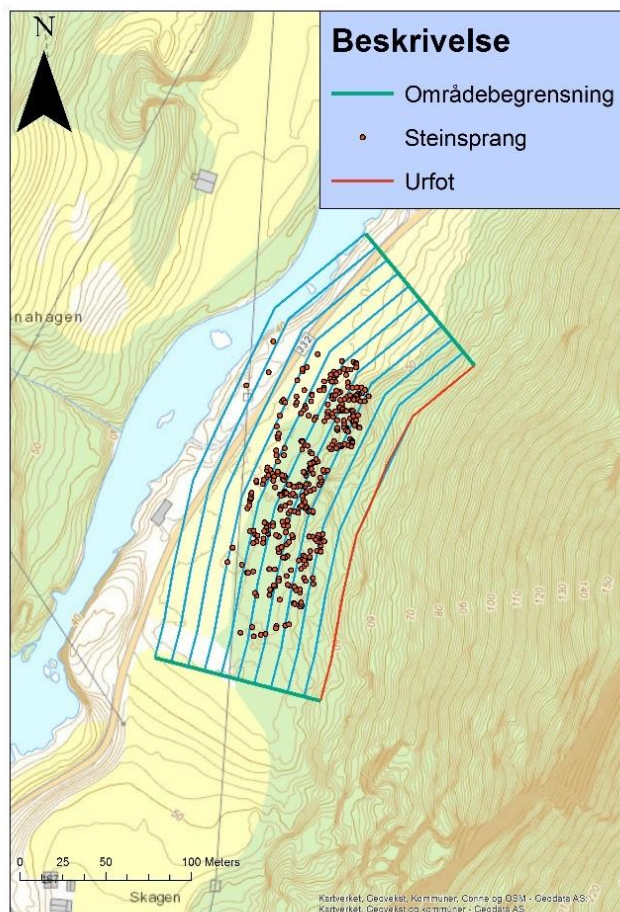
Figur 84: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der ellipsoide blokkform er benyttet, ved lokalitet Lærdal Vest.



Figur 85: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der rektangulær blokkform er benyttet, ved lokalitet Lærdal Vest.

4.6 Skagen, Fortun

Ved Fortun Skagen er det ikke gått trasèer i ura. Her er det kun urfoten og blokkene utenfor ura, som er markert med håndholdt GPS (Figur 86).



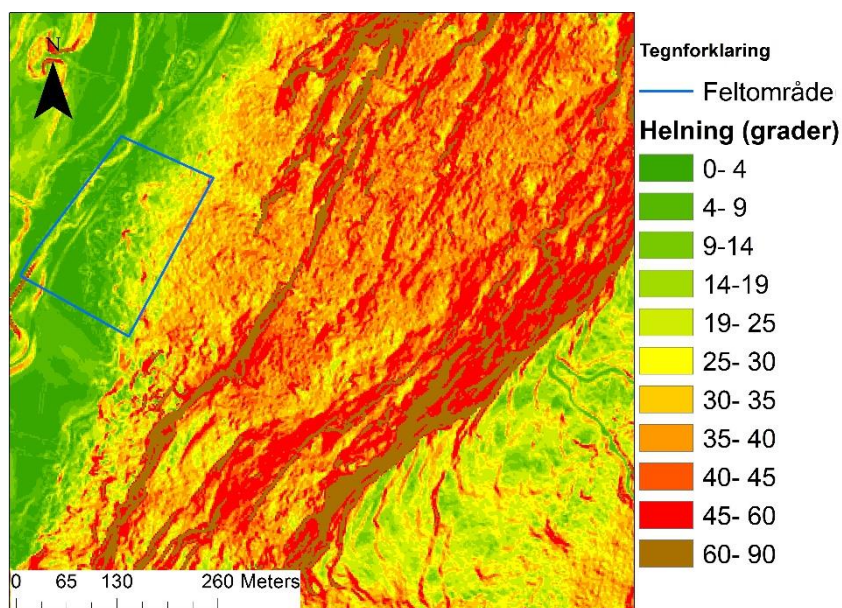
Figur 86: Oversikt over markerte steinsprang og urfot ved Fortun Skagen. Blå linjer er tegnet ut fra urfoten, og går parallelt med 10 meters mellomrom.

Området hvor blokkene er registrert har en bredde på 210 meter. I dag er området et beitelandskap for kyr, med fluviale avsetninger. Det er relativt flatt inn mot fjellsiden, og blokkene utenfor urfoten er avsatt ca 40 moh. Selve ura ved denne lokaliteten er ikke befart, og den er tildekket av vegetasjon som gjør den vanskelig å se fra flyfoto.

Kildeområdet for steinsprang ligger helt opp til 700 moh, hvor den øvre delen består av fast fjell (Figur 87). Den nedre delen av fjellsiden er godt dekket av vegetasjon, hvor det er små hyller med bart fjell som det også kan løsne stein fra. Det går en vei gjennom området, og tidligere steinsprang kan være ryddet eller flyttet da veien ble anlagt.



Figur 87: Den øvre delen av fjellsiden består av fast fjell (markert med rødt). Nedre del er godt dekket med vegetasjon.



Figur 88: Helningskart ved lokalitet Skagen. Feltområdet er markert med blått.

Basert på helningskart fra området (Figur 88) er fjellsiden todelt, hvor det ovenfor ura er et parti med bratt helning mellom 45° og 60° . Dette etterfølges av et parti med ca 40° helning. Etter dette blir dalsiden brattere, hvor det øverste partiet med fast fjell har en helning på mellom 60° og 90° . Området som de markerte blokkene ligger i er relativt flatt.

4.6.1 Beskrivelse av blokkene utenfor urfoten

Ved lokalitet Skagen er kun for blokkene som ligger lengst fra urfoten, det er blitt sett på størrelse og form. Flere av blokkene ligger også delvis begravd i løsmasser, så størrelse og form kan være noe usikkert (Figur 89). Formen til blokkene som ligger lengst utenfor urfoten varierer fra ellipsoider til rektangulære (Figur 90) med spisse kanter. Et grovt anslag viser at volumet på blokkene som har nådd lengst er ca 10 m^3 . Det forekommer blokker utenfor urfoten med et estimert volum på rundt 25 m^3 . Disse har store flater og en kubisk form, men de har ikke nådd lengst ut (Figur 91).



Figur 89: Eksempel på blokk som er delvis begravet i løsmasser ved lokalitet Skagen.



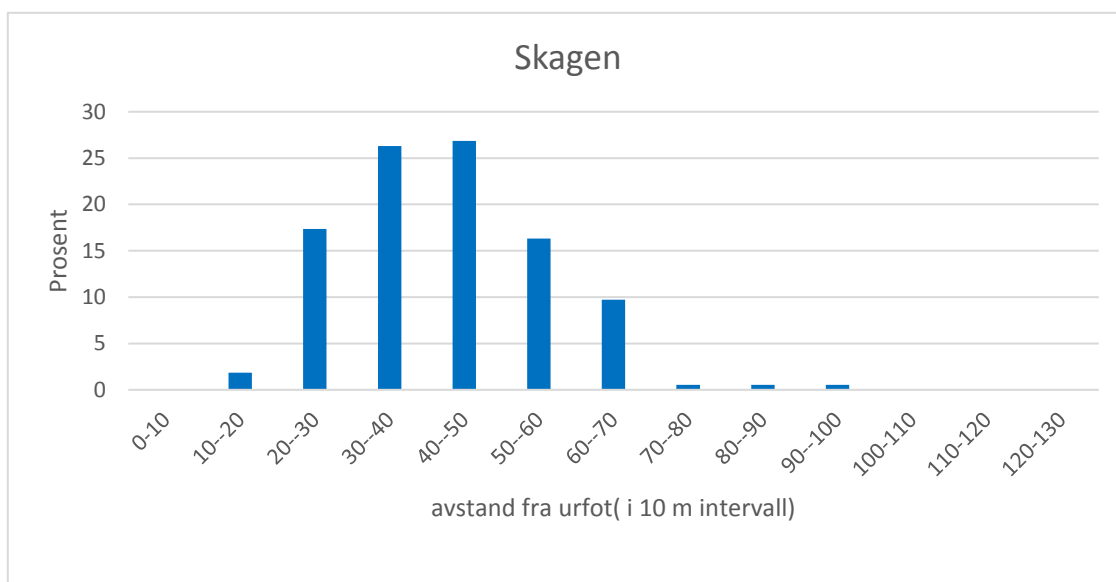
Figur 90: En av blokkene som ligger lengst utenfor urfoten ved Skagen. Volumet er anslått til 2 m^3 . Tilnærmet rektangulær kantet form.



Figur 91: En av de større blokkene som ligger utenfor urfoten ved Skagen. Volumet er anslått til rundt 25 m³. Flat og rektangulær form med store flater.

4.6.2 Fordelingen av steinsprang utenfor urfoten

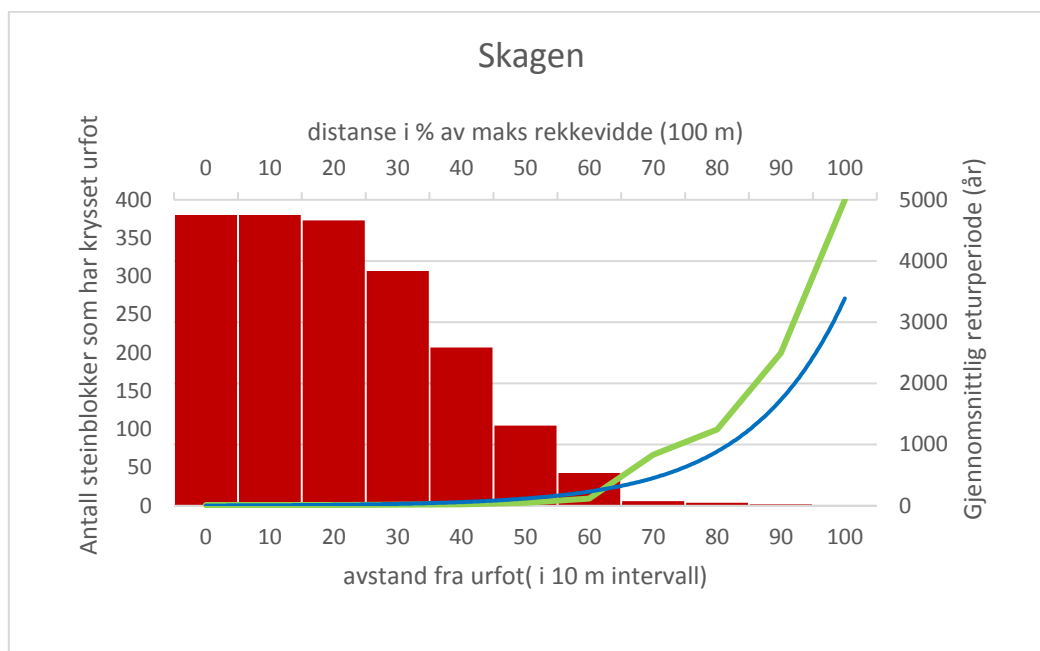
Ved lokalitet Skagen er 380 blokker registrert utenfor urfoten. Av disse ligger over halvparten av blokkene i sonen 30-50 m utenfor urfoten. Alle blokkene ligger minimum 10 m utenfor urfoten, og det er først etter 20 m, at fordeling av steinsprang øker. Etter 50 meter reduseres antallet, og kun seks blokker har nådd 70 m utenfor. Lengste utløp er mellom 90 og 100 m utenfor urfoten (Figur 92).



Figur 92: Prosent fordeling av steinsprang utenfor urfoten i forhold til alle registrerte blokker ved Skagen.

4.6.3 Returperioder utenfor urfoten

Ved bruk av formel (8) i kapitel 3.2.3, er returperiodene utenfor urfoten blitt estimert ved Skagen (Figur 93). Estimeringen viser at 100 års grense for steinsprang, ligger 60 meter utenfor urfoten. Hvert 1000 år vil blokker nå 83 meter utenfor urfoten, og 5000 års grensen settes ved maks utløp, som er 100 meter (Tabell 11).



Figur 93: Kumulativ fordeling av registrerte steinsprang utenfor urfot og estimert returperiode basert på antall registrerte steinsprang (grønn) Ved Skagen. Interpolert eksponentiell trendlinje (blå) er basert på estimerte returperioder.

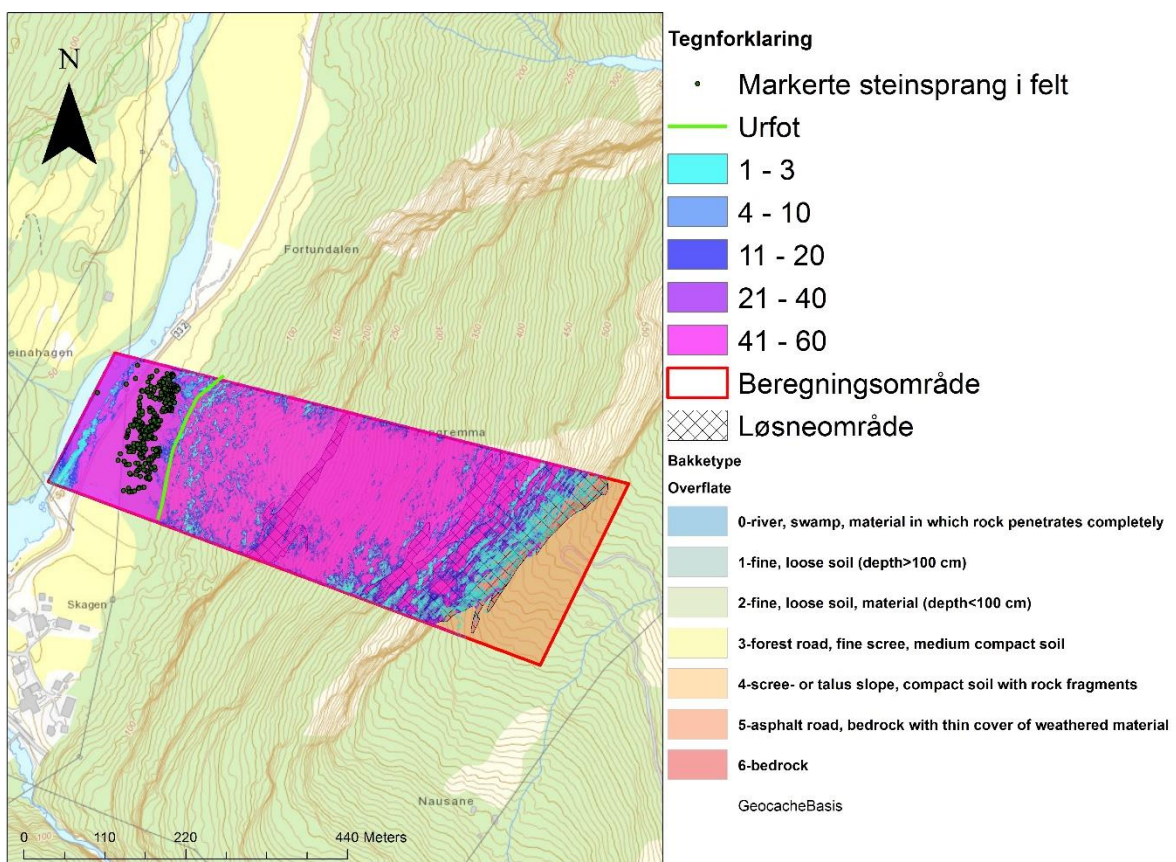
Tabell 11: Estimerte faresoner (TEK10) i distanse og i prosent av maks utløp ved Skagen.

Returperiode	Distanse utenfor urfoten (m)	Prosent av maks utløp (100m)
100	45-60	45-60
1000	75-83	75-83
5000	100	100

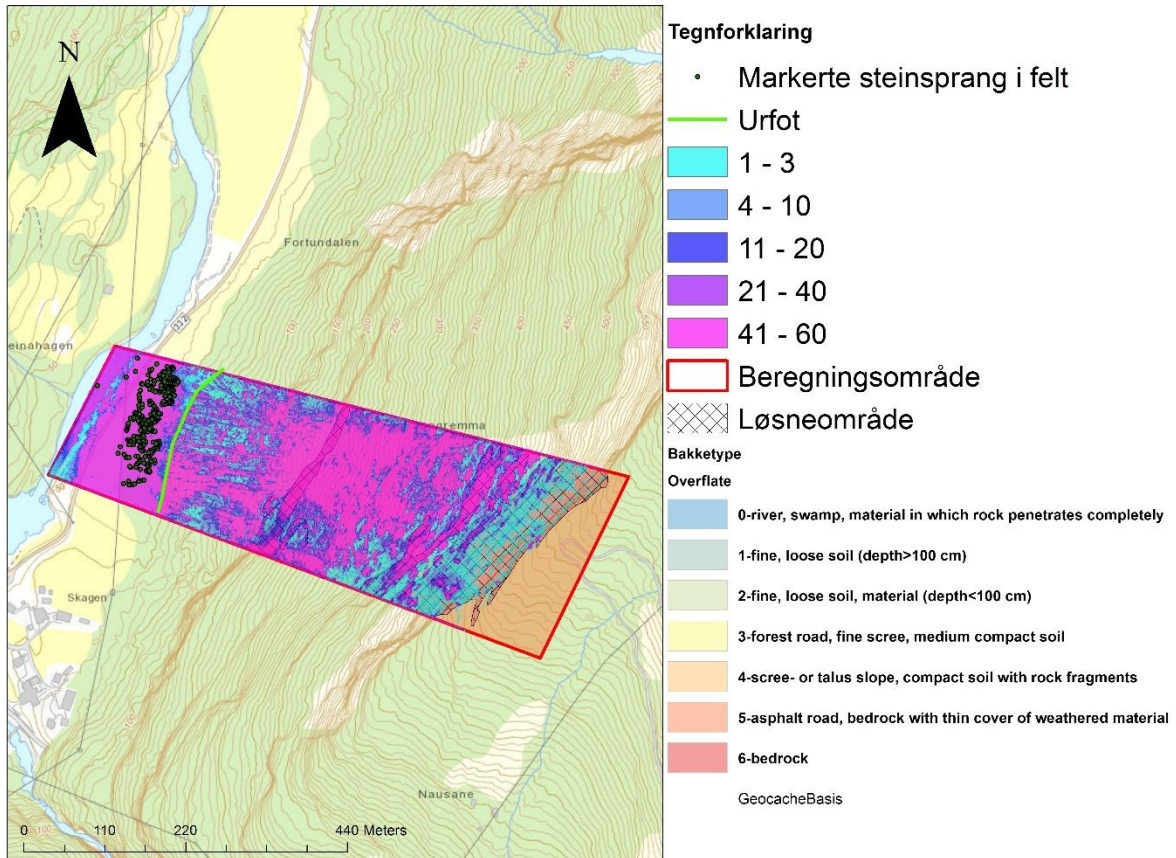
4.6.4 Rockyfor3D simuleringer

Ved begge simuleringene blir blokkene avsatt i hele utløpsområdet (Figur 94 og Figur 95). Ved den rektangulære simuleringen, blir færre blokker avsatt i den nedre delen av ura, og de simulerte blokkene når utenfor beregningsområdet og blir avsatt i Fortunselva.

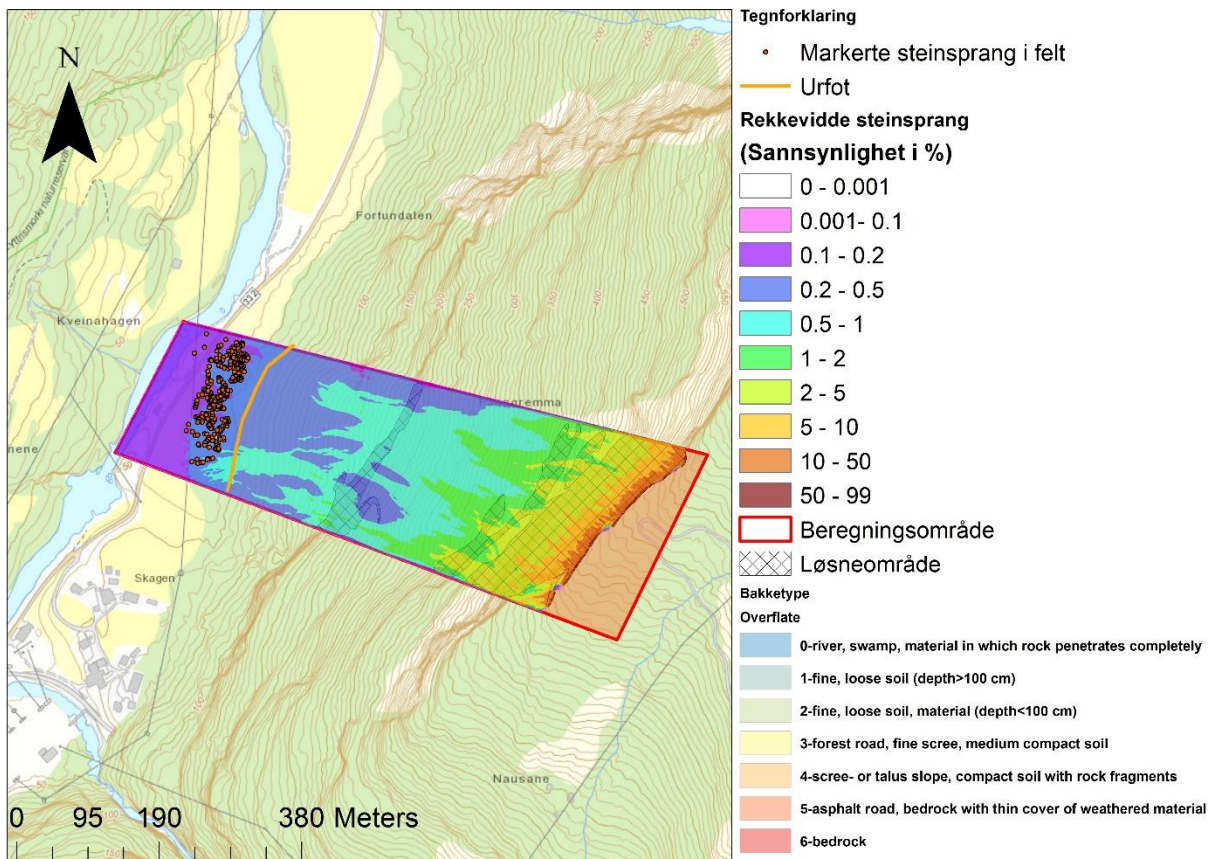
Blokkene som er registrert i felt, ligger i områder hvor det er mellom 0,2 og 0,5 % sannsynlighet, for at simulerte blokkene vil nå ut (Figur 96 og Figur 97). Ved begge simuleringene er det også områder i skredbanen, hvor blokkene vil foretrekke å bevege seg i. Disse har en sannsynlighet på mellom 0,5 og 1 %.



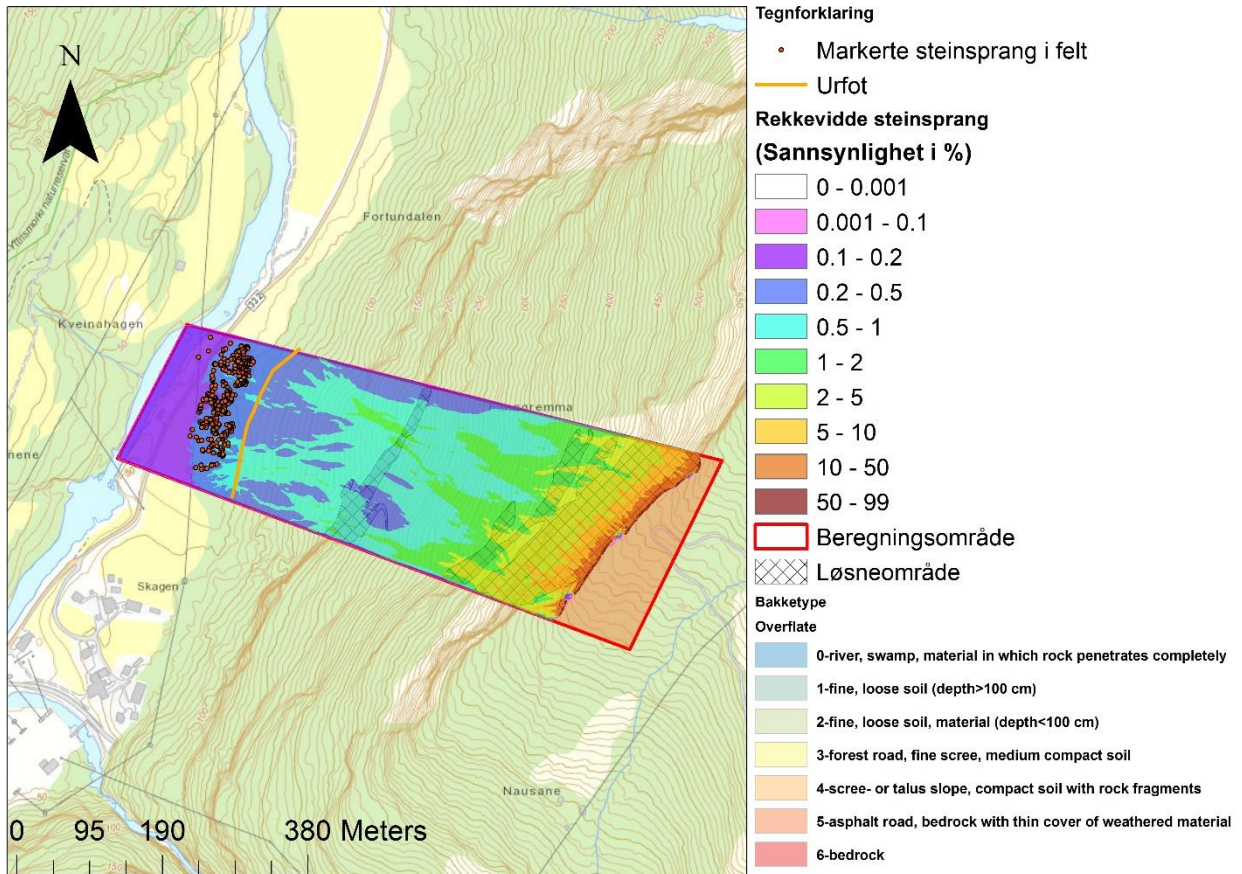
Figur 94: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med ellipsoid form ved lokalitet Skagen.



Figur 95: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med rektangulær form ved lokalitet Skagen.



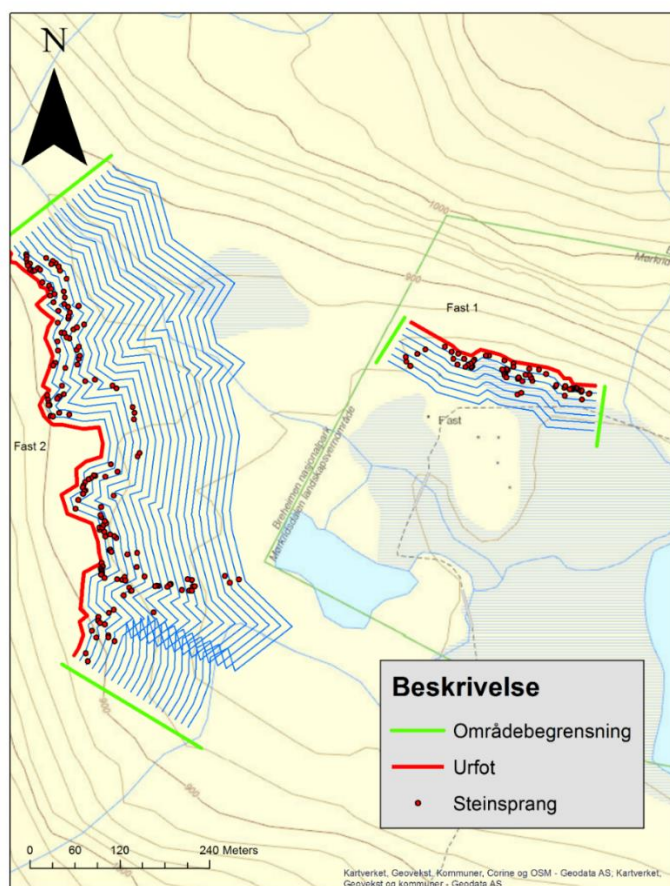
Figur 96: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der ellipsoide blokkform er benyttet, ved lokalitet Skagen.



Figur 97: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der rektangulær blokkform er benyttet, ved lokalitet Skagen.

4.7 Fast 1

Ved begge lokalitetene ved Fast turisthytte, er blokkene utenfor urfoten registrert med håndholdt GPS. Det er lite vegetasjon i dette området, så urfoten er tegnet inn fra flyfoto (Figur 98). Ved disse lokalitetene er det ikke blitt gått traséer i urene.



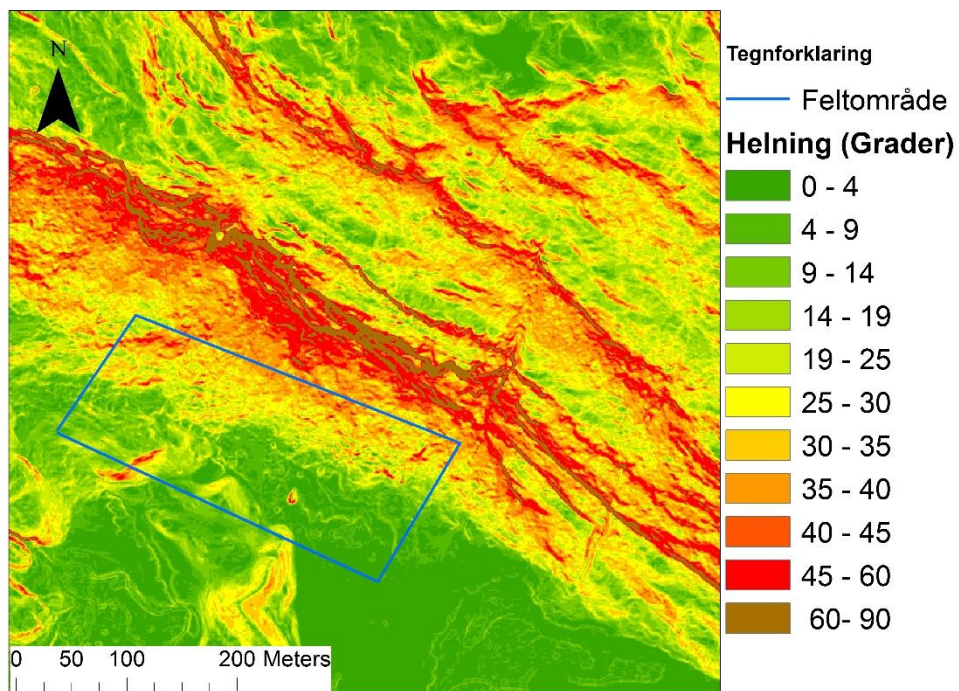
Figur 98: Oversikt over registrerte blokker og urfoten, ved de to lokalitetene ved Fast turisthytte. Blå linjer er tegnet ut fra urfoten, og går parallelt med 10 meters mellomrom ut fra urfoten.

Lokalitet 1 ved Fast ligger ved turisthytta. Steinura og blokkene ligger i et område med myr og torv, i et kupert morenelandskap. Blokkene som har nådd utenfor urfoten ligger ca 840-850 moh. Potensielt kildeområde for steinsprang består av vertikale sider med fast fjell, og strekker seg opp til ca 980 moh. Det er lite vegetasjon i kildeområdet. Apex for ura ligger ved 930 moh, og basert på flyfoto, har ura en horisontal utstrekning på 90 meter. Ura er dekket av løsmasser i øvre område. De største blokkene ligger i nedre del av ura, og blokkstørrelse minker opp mot apex. Det undersøkte området har en bredde på 250 meter (Figur 99).



Figur 99: Lokalitet Fast 1.

Helningskart fra området (Figur 100), viser at løsneområdet har en helning mellom 41° og 60° . I nedre del av ura er helningen mellom 25° og 30° , og i øvre del er den ca 40° . Utenfor urfoten er området relativt flatt, med en helning på maksimalt 4° . Selve turisthytta ligger på en morenerygg, og helningen øker opp mot denne.



Figur 100: Helningskart for Lokalitet Fast 1. Feltarbeid er utført i område markert med blått.

4.7.1 Beskrivelse av blokkene utenfor urfoten

Blokkene som ligger utenfor urfoten ved Fast 1 har en stor variasjon i blokkstørrelse. Det er flere blokker med volum rundt 30 til 50 m³. De største blokkene har et volum på over 100 m³. Det er disse som ligger lengst utenfor urfoten, og de er delvis begravd i løsmasser (Figur 101). Det er størst forekomst av blokker med ellipsoideform (Figur 102). Flere av blokkene ved lokaliteten er flate rektangulære, med store flater.



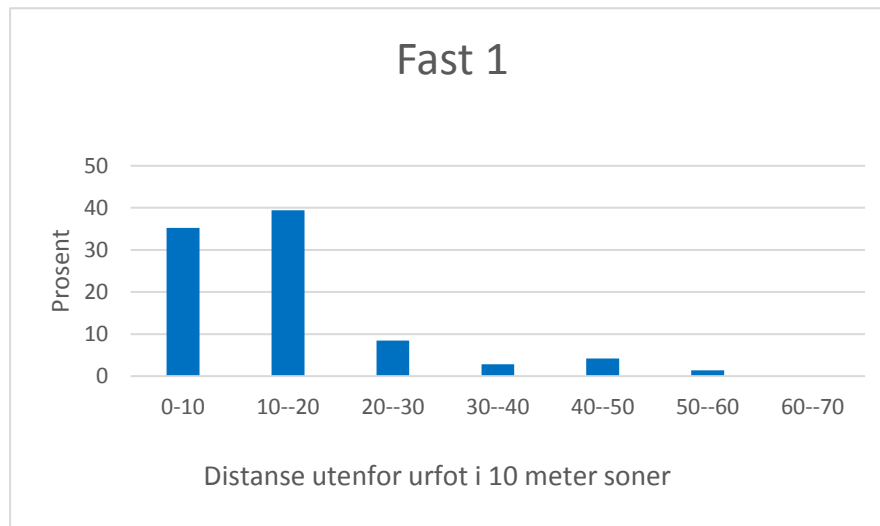
Figur 101: Blokken som er markert med blå ring har gått lengst utenfor urfoten. Rektangulær blokk er markert med rød ring.



Figur 102: Blokk utenfor urfoten med ellipsoide form. Delvis begravd i myra.

4.7.2 Fordelingen av steinsprang utenfor urfoten

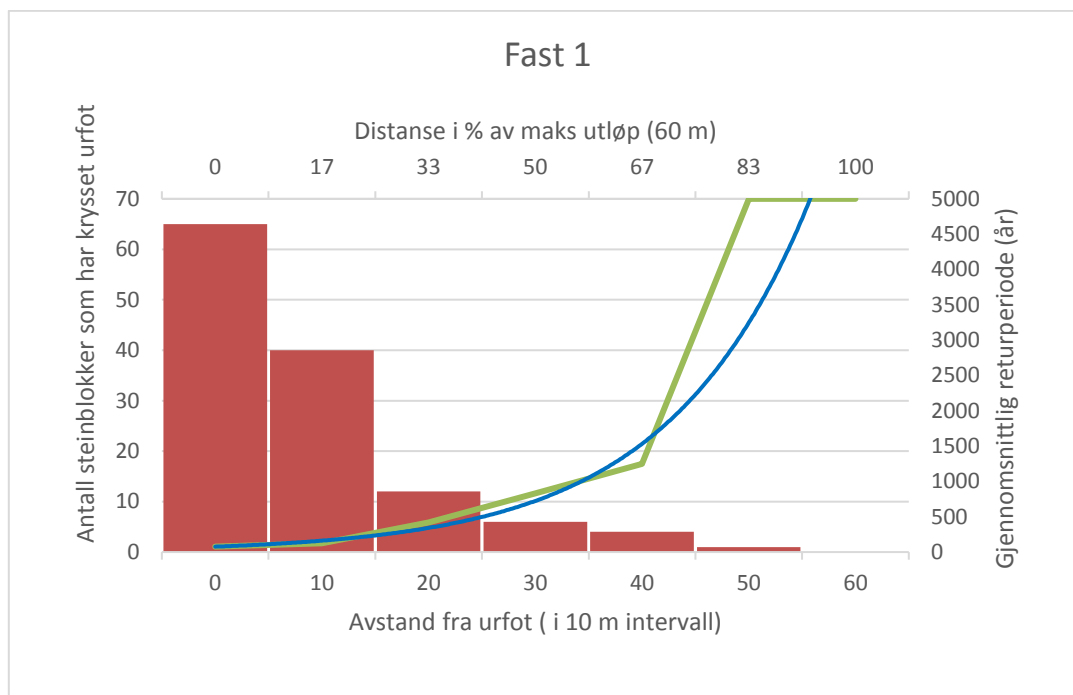
Ved Fast 1 er 65 blokker registrert utenfor urfoten. Flertallet av disse har ikke nådd lengre enn 20 m utenfor. 35 % ligger i sone 0-10 m, og 39 prosent ligger sone 10-20 m. Etter dette er andelen lavere. Det forekommer en blokk som har reist lengst ut, og denne ligger i sone 50-60 m utenfor urfoten (Figur 103).



Figur 103: Prosent fordeling av steinsprang utenfor urfoten, i forhold til alle registrerte blokker ved Fast 1.

4.7.3 Returperioder utenfor urfoten

Ved bruk av formel (8) i kapittel 3.2.3, er returperiodene utenfor urfoten, blitt estimert ved Fast 1 (Figur 104). Det estimert at det vil gå blokker maksimalt 5 meter utenfor urfot hvert 100 år. Antall passerte blokker avtar etter 10 meter, og det er estimert at det vil gå blokker som når 30 meter utenfor urfoten hvert 1000 år. 5000 års grense settes ved maks utløp som her er 60 meter (Tabell 12).



Figur 104: Kumulativ fordeling av registrerte steinsprang utenfor urfot og estimert returperiode basert på antall registrerte steinsprang (grønn) Ved Fast 1. Interpolert eksponentiell trendlinje (blå) er basert estimerte returperioder.

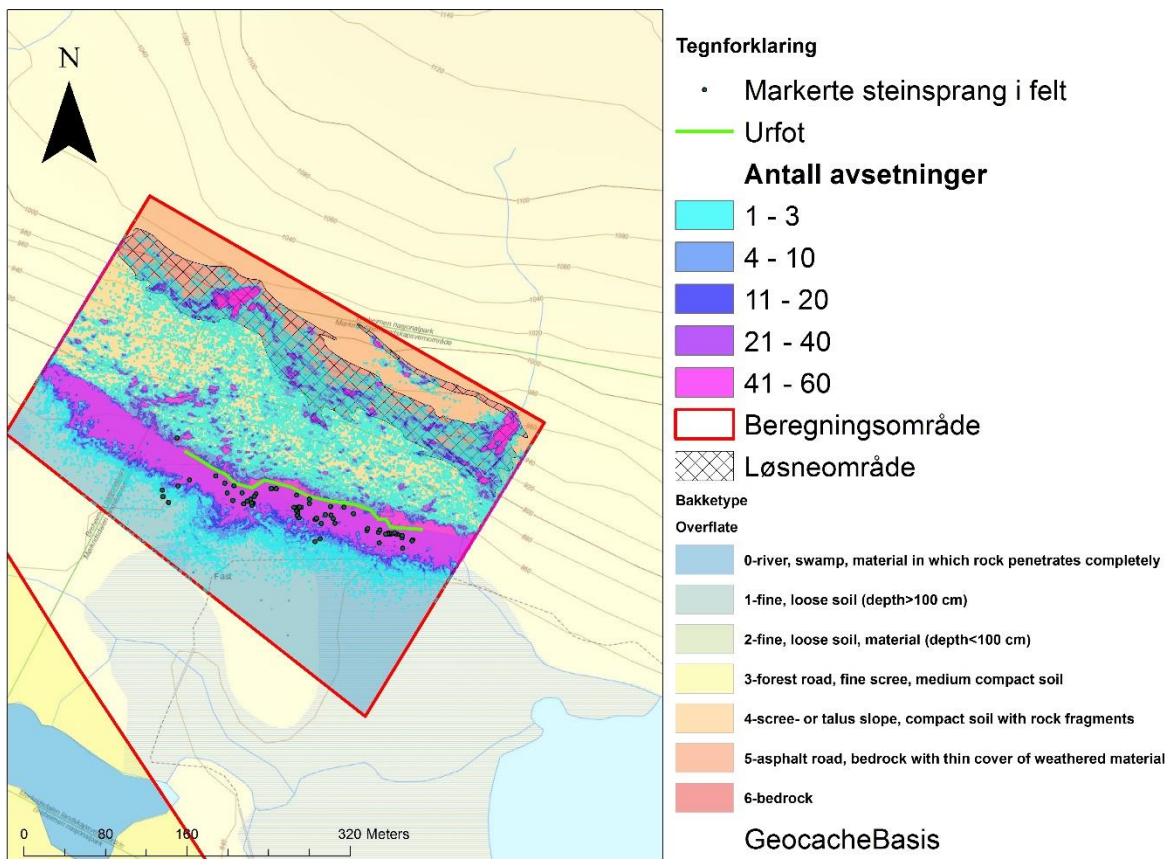
Tabell 12: Estimerte faresoner (TEK10) i distanse og i prosent av maks utløp ved Fast 1.

Returperiode	Distanse utenfor urfoten (m)	Prosent av maks utløp (60m)
100	5	8
1000	30	50
5000	43-60	70-100

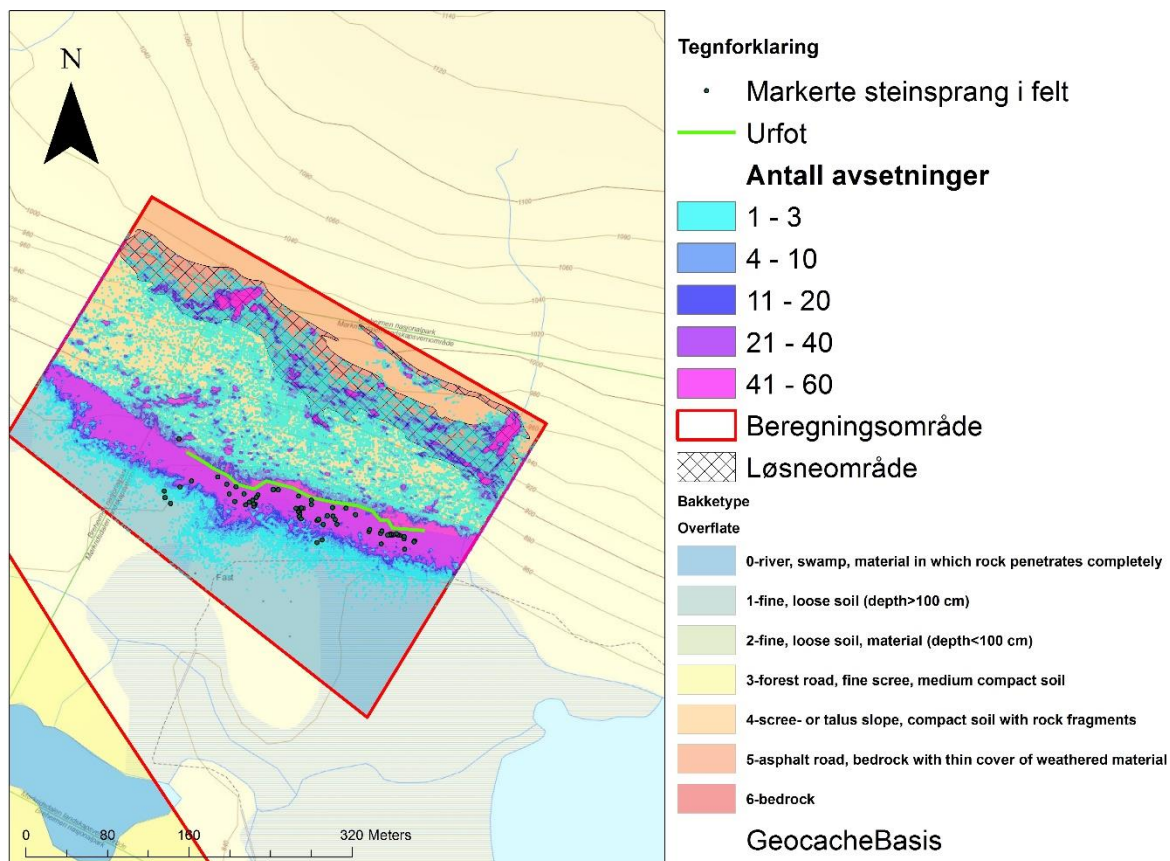
4.7.4 Rockyfor3D simuleringer

Simuleringer ved Fast 1 (Figur 105 og Figur 106), viser at hoveddelen av de simulerte steinsprangene vil avsettes i området 0-40 m utenfor ura. Det er også flere av de simulerte blokkene som ikke vil nå utenfor urfoten, men som avsettes i ura. Moreneryggene i området er også med å påvirke hvilken retning steinsprangene tar i terrenget. De lengste utløpene utenfor urfoten er på over 130 m, og har gått utenfor beregningsområdet.

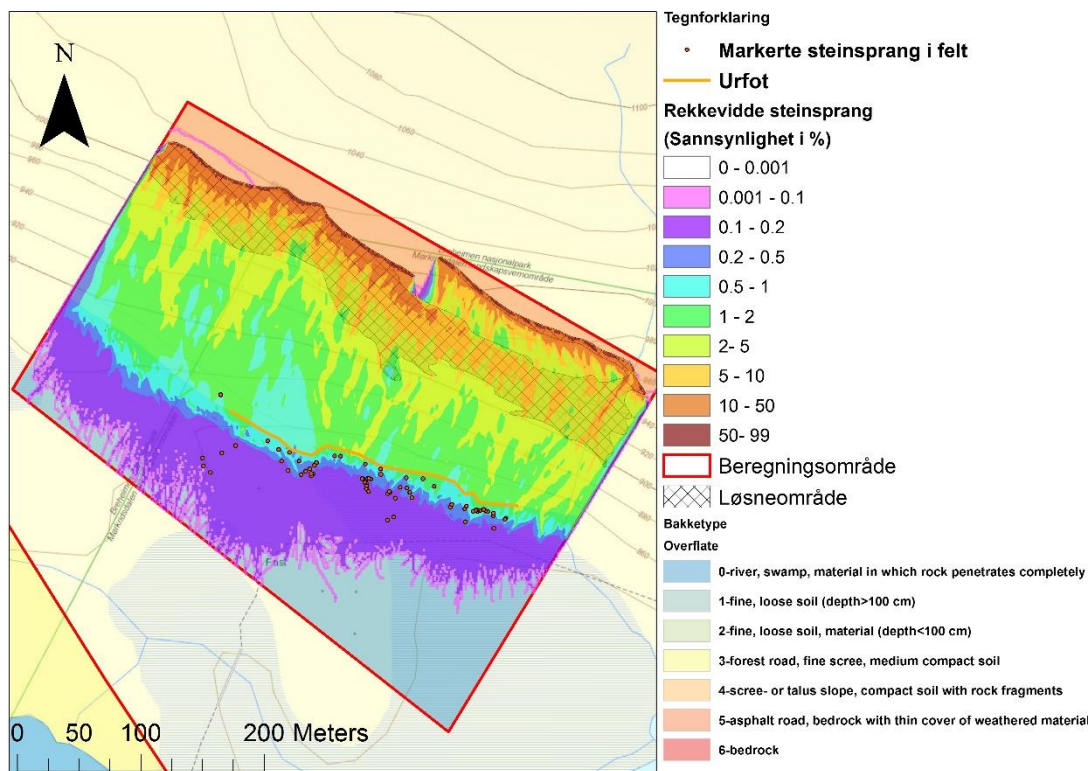
Rekkevidde sannsynligheten i % (Figur 107 og Figur 108), er veldig lik for begge simuleringene. Simuleringen med ellipsoide form har enkelte områder med høyere sannsynlighet for at steinsprang kan nå ut, enn den rektangulære simuleringen. Registrerte blokker fra felt, ligger i områder hvor det er mellom 0,2-0,5 % sannsynlighet for at steinsprang kan nå ut. Flere av de markerte blokkene ligger i området med under 0,2 % sannsynlighet.



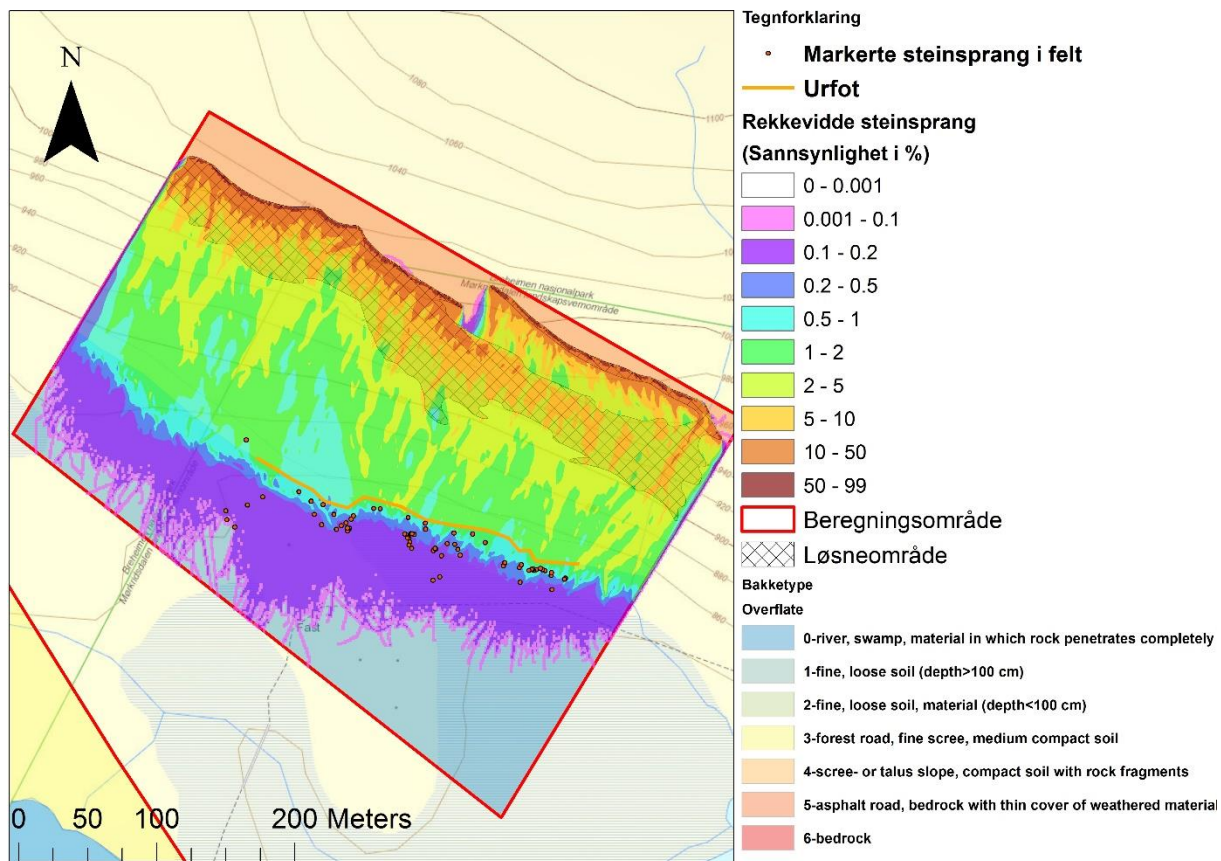
Figur 105: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med ellipsoid form ved lokalitet Fast 1.



Figur 106: Resultat av Rockyfor3D simulering av blokker med rektangulær form ved lokalitet Fast 1.



Figur 107: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der ellipsoide blokkform er benyttet, ved lokalitet Fast 1.



Figur 108: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der rektangulær blokkform er benyttet, ved lokalitet Fast 1.

4.8 Fast 2

Lokalitet 2 ved Fast turisthytte ligger nordvest for selve hytta. Det er en stor klippe, som har sin utbredelse i nord-sør retning, ca 1 km (Figur 110). Langs denne er det urdannelser med horisontal utbredelse på opptil 300 meter på sitt lengste. Steinura viser en trend med de groveste blokkene nedre del, og en minkende blokkstørrelse mot apex. Flere av blokkene som ligger i ura er kantede (Figur 109).



Figur 109: Eksempler på kantede blokker i ura er merket med rød ring.

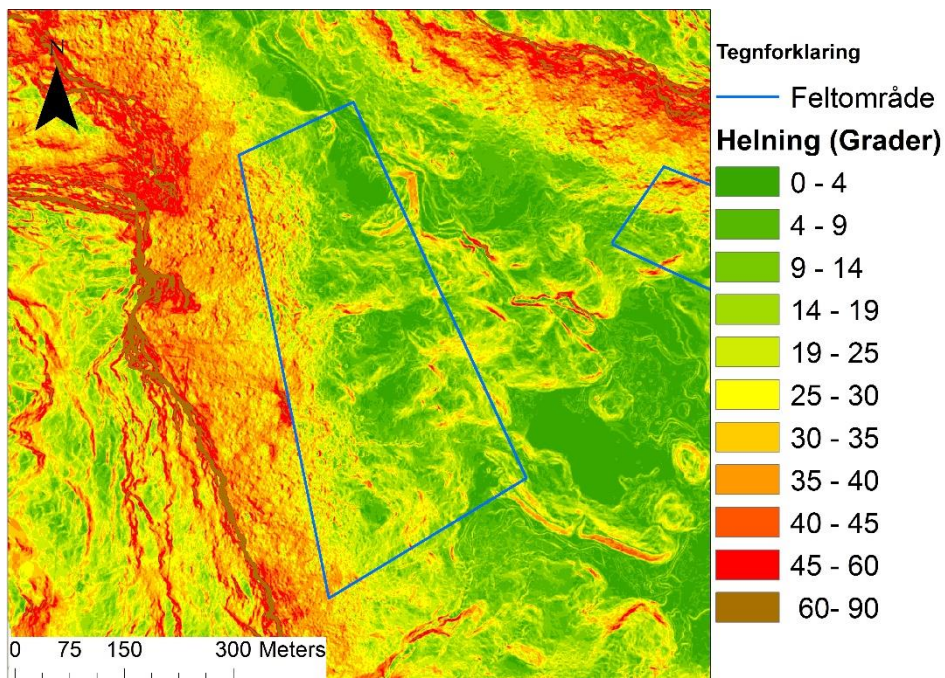
Løsneområdet for steinsprang er en tilnærmet vertikal fjellside med lite vegetasjon. Løsneområdet strekker seg opp til ca 1100 moh. Apex for steinura ligger ved ca 1050 moh, men denne varierer langs fjellsiden. Ura er delvis dekket av løsmasser i øvre del.

Løsmassene utenfor ura består av morenejord med et lag av lyng og mose ovenpå. Området utenfor urfoten er kupert, med flere rygger som går i øst-vestlig retning. Det undersøkte området har en bredde på ca 550 meter. Blokkene utenfor urfoten ligger på ca 880 moh.



Figur 110: Oversikt over lokalitet Fast 2.

Helningskart fra området (Figur 111), viser at kildeområdet for steinsprang har en helning på mellom 60° og 90° . Ura har en avtagende helning ned mot urfoten. Helningen i øvre del er mellom 35° og 40° , og i nedre del mellom 25° og 30° . Området utenfor urfoten har varierende helning. Det er områder som har en helning brattere enn 25° , men gjennomsnittet ligger mellom 4° og 9° .



Figur 111: Helningskart for Lokalitet Fast 2. Feltarbeid er utført i område markert med blått.

4.8.1 Beskrivelse av blokkene utenfor urfoten

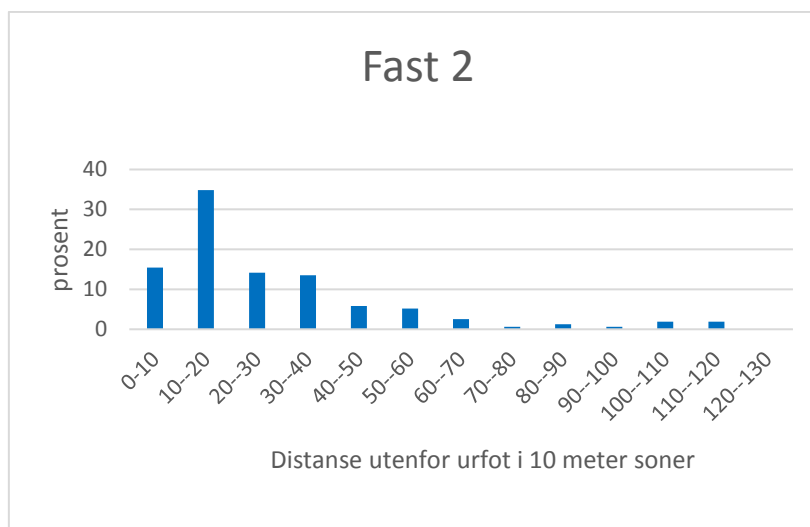
Ved denne lokaliteten er flere av blokkene flate og rektangulære, med store flater (Figur 112). Foruten dette forekommer det også blokker med ellipsoide form. Volum på blokker er ikke blitt estimert ved denne lokaliteten.



Figur 112: Relativt fersk blokk utenfor urfoten ved Fast 2.

4.8.2 Fordeling av steinsprang utenfor urfot

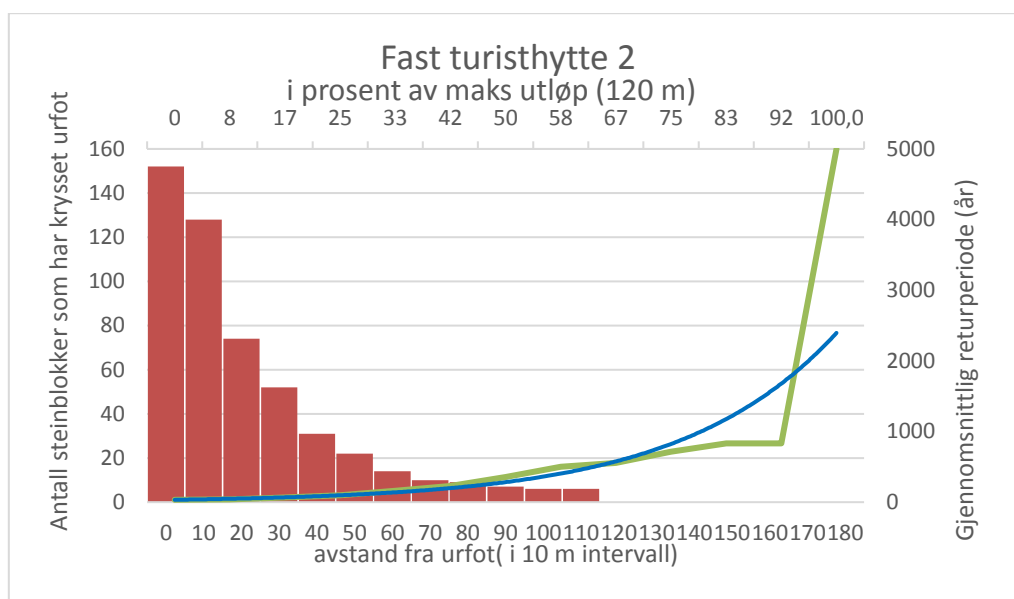
Ved Fast 2 er 157 blokker registrert utenfor urfoten. Av disse ligger 35 % i sone 10-20 m. Etter dette er det en jevn synkende fordeling ut fra urfoten, hvor 14 % av blokkene ligger både i 20-30 og 30-40 sonene. I sonene 40-50 m og 50-60 m, synker fordelingen til 6 og 5 %. I området 60-120 m utenfor urfoten, ligger 10 % av blokkene som er registrert. Blokkene med lengst utløp, ligger i sonen 110-120 m (Figur 113).



Figur 113: Prosent fordeling av steinsprang utenfor urfoten i forhold til alle registrerte blokker ved Fast 2.

4.8.3 Returperioder utenfor urfoten

Ved bruk av formel (8) i kapittel 3.2.3, er returperiodene utenfor urfoten, blitt estimert ved Fast 2 (Figur 114). Etter 20 meter synker antallet passerte blokker, og det estimert at det hvert 100 år vil falle blokker som når 30 meter utenfor urfoten. Det er estimert at det vil forekomme blokker som vil nå 110 meter ut hvert 1000 år. 5000 års grense settes ved maks utløp som er 120 meter (Tabell 13).



Figur 114: Kumulativ fordeling av registrerte steinsprang utenfor urfot og estimert returperiode basert på antall registrerte steinsprang (grønn) Ved Fast 2. Interpolert eksponentiell trendlinje (blå) er basert på estimerte returperioder (blå).

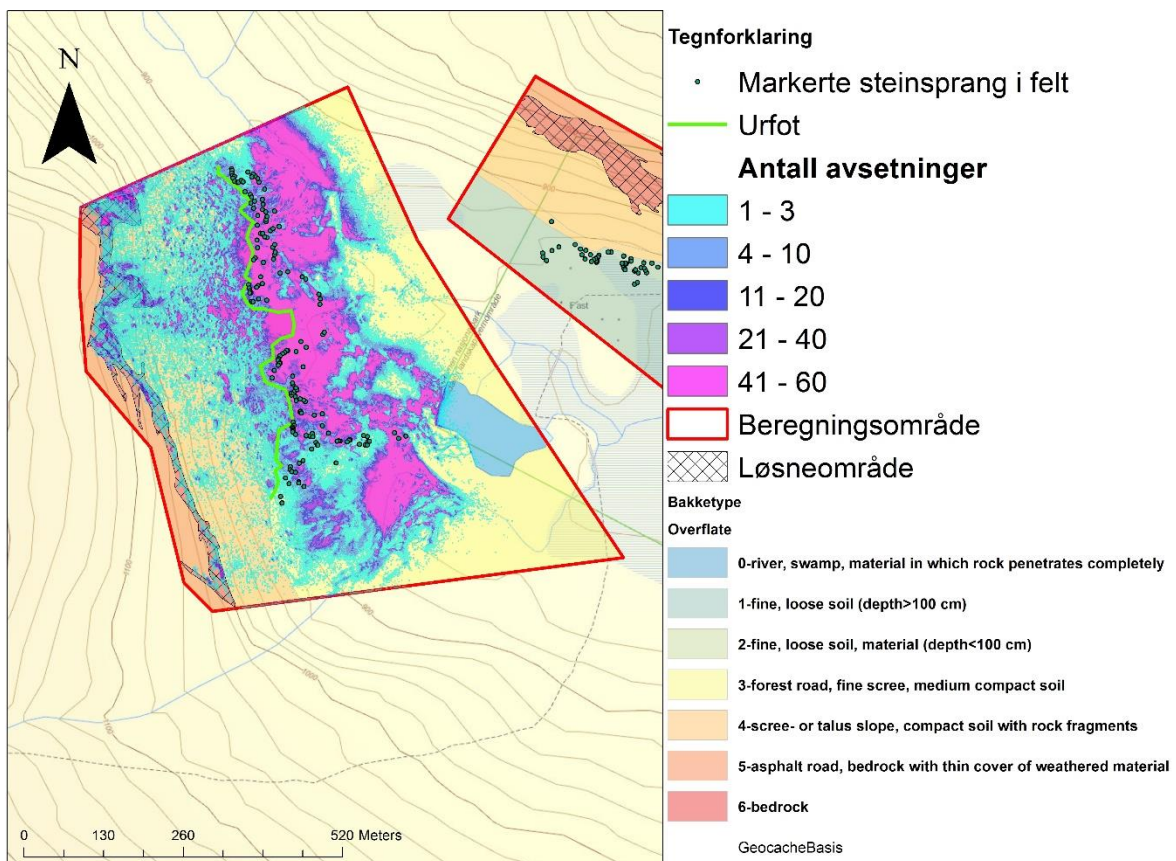
Tabell 13: Estimerte faresoner (TEK10) i distanse og prosent av maks utløp.

Returperiode	Distanse utenfor urfoten (m)	Prosent av maks utløp (120m)
100	30	25
1000	95-110	79-92
5000	120	100

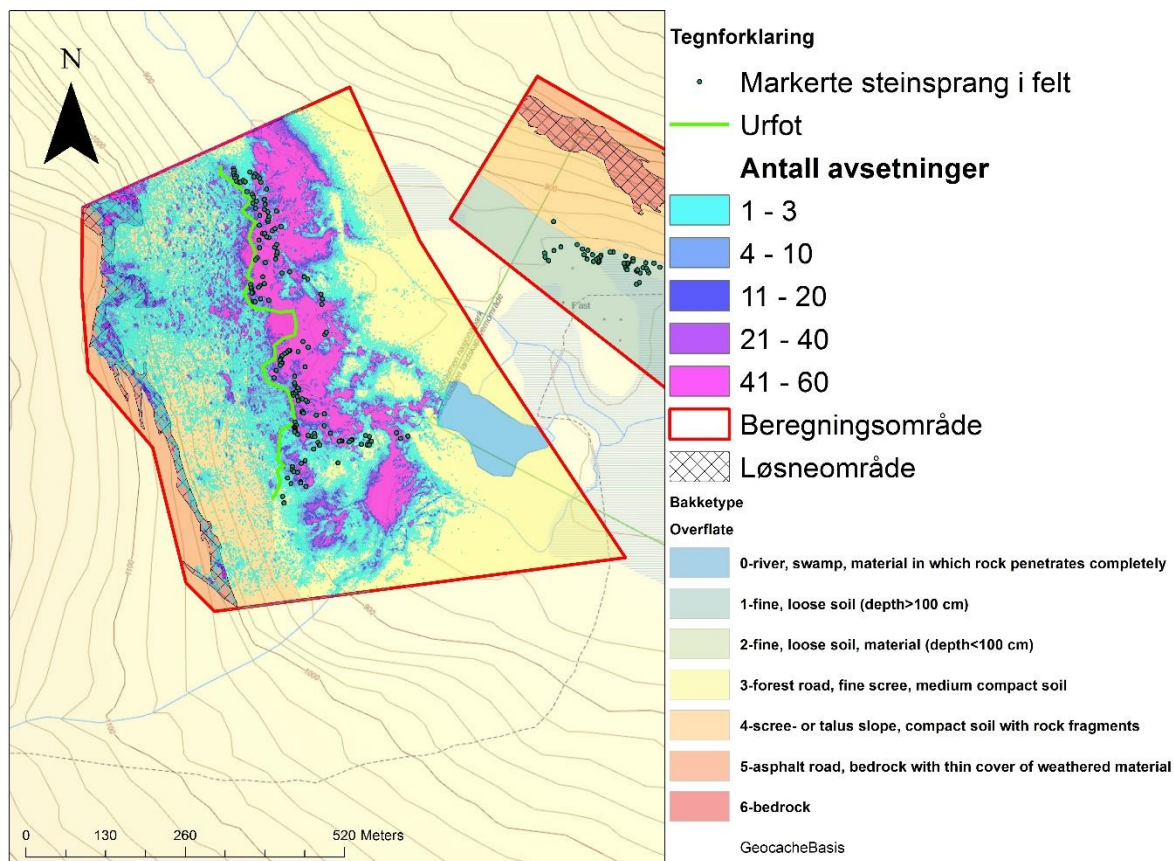
4.8.4 Rockyfor3D simuleringer

Rockyfor3D simuleringer ved Fast 2 (Figur 115 og Figur 116) viser at simuleringen med ellipsoide blokkform har et større antall blokker med lange utløp enn simuleringen med rektangulær form. Hovedandelen av blokkene avsettes i området 0-120 m utenfor urfoten, men antallet varierer utenfor ura. I den sørlige delen av feltområdet ligger hovedandelen av avsatte blokker i området 160-280 m utenfor urfoten. Et stort antall blokker når ikke utenfor ura, men flertallet av de avsatte blokkene har nådd utenfor.

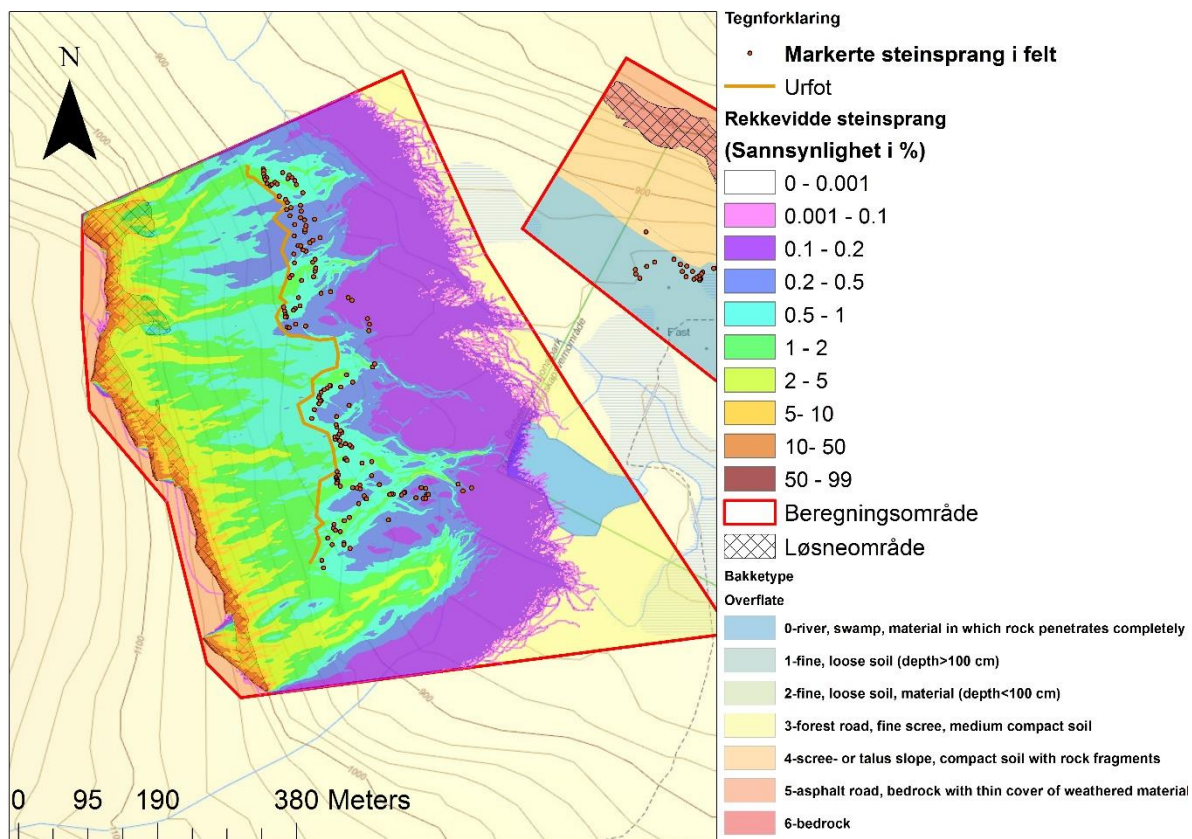
Ved Rekkeviddesannsynligheten i prosent (Figur 117 og Figur 118) er det flere områder hvor det er høyere sannsynlighet for at steinsprang kan ha lange utløp. Flere av blokkene som er markert i felt ligger i et slikt område, hvor det er 0,5-2 % sannsynlighet for at blokkene når ut.



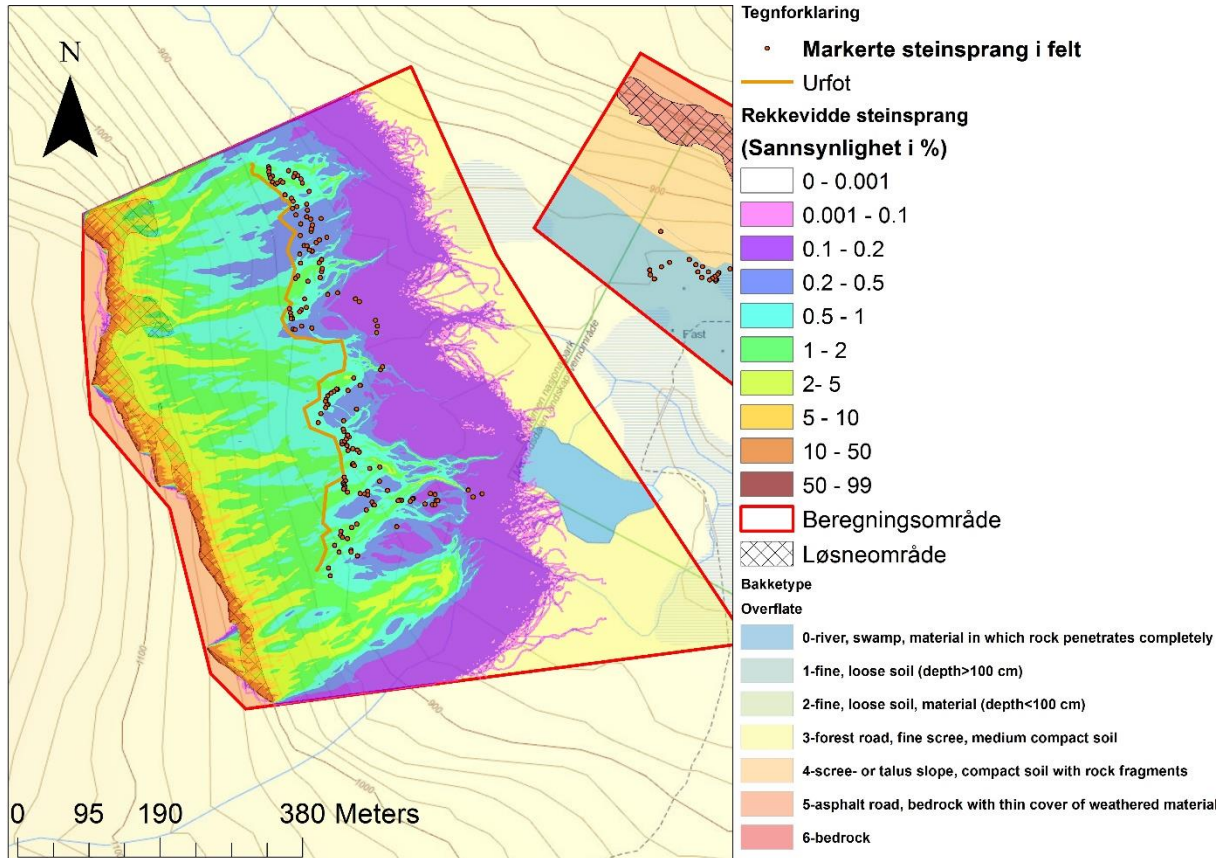
Figur 115: Antall avsetninger av simulerte steinsprang med ellipsoide form ved Fast 2.



Figur 116: Antall avsetninger av simulerte steinsprang med rektangulær form ved Fast 2.

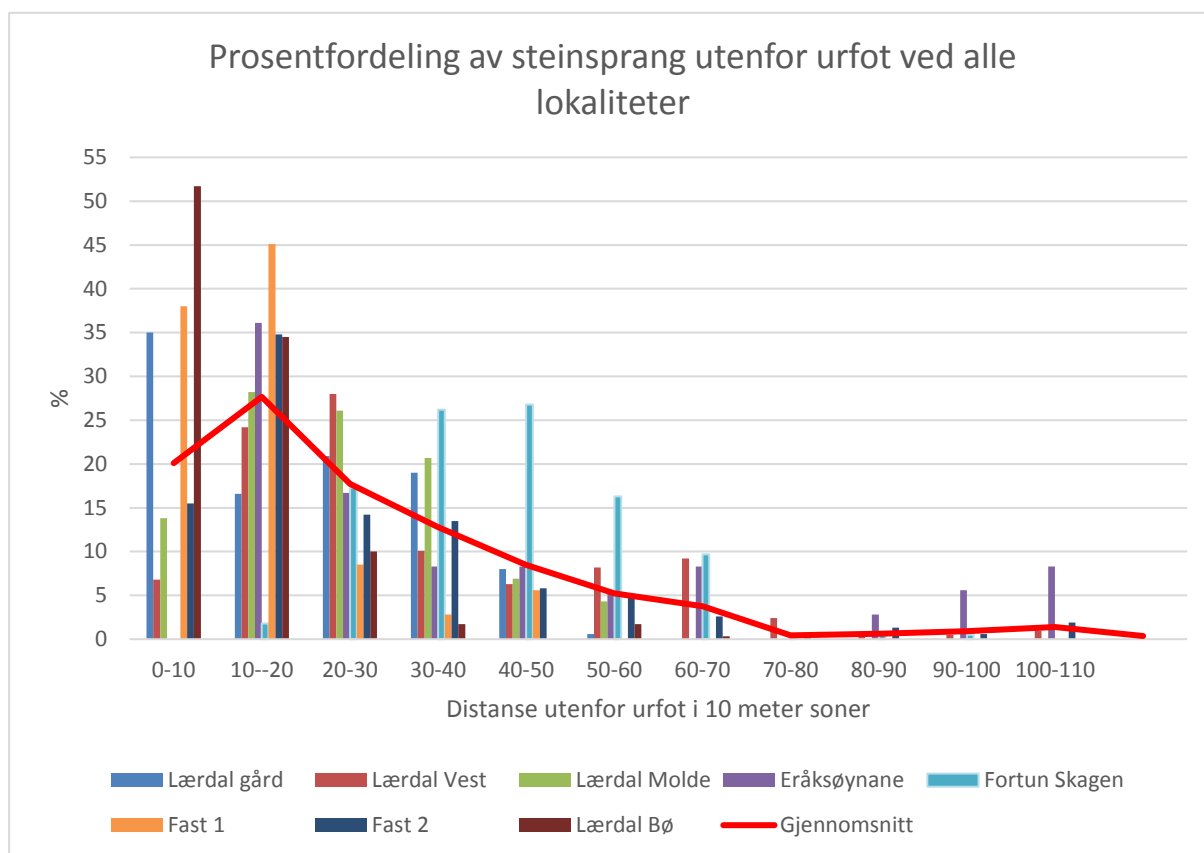


Figur 117: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der ellipsoide blokkform er benyttet, ved lokalitet Fast 2.



Figur 118: Rekkevidde sannsynlighet i % for steinsprang simulert med Rockyfor3D, der rektangulær blokkform er benyttet, ved lokalitet Fast 2.

4.9 Oppsummering av feltresultater



Figur 119: Prosentfordeling av steinsprang utenfor urfoten ved alle lokaliteter.

Den generelle trenden ved alle lokalitetene er en synkende andel blokker med økende avstand fra urfoten (Figur 119). Det er i sonen 10-20 meter hvor den gjennomsnittlige andelen av steinsprang er størst, for alle lokalitetene. Ved de fleste lokaliteter minker andelen av blokker etter dette, og det er kun en liten andel som når 60 meter utenfor. Ved flere av områdene er det også en stor andel som ikke når 10 meter utenfor urfoten. Forskjeller og mulige årsaker til dette vil bli gjennomgått i kapittel 5.2.

Tabell 14: Morfologiske observasjoner ved de ulike feltlokalitetene.

Lokalitet	Lengste utløp utenfor urfot (m)	Vertikal høyde ur (m)	Horisontal utstrekning ur (m)	maksimal vertikal høyde blokk kan falle før den treffer ur (m)	Underlag utenfor urfot	Helning utenfor urfot	Bergart	Antall blokker utenfor urfot	Bredde på feltområde (m)
Molde	60	85	170	250	flomskredavsetninger	Relativt flatt utenfor urfot. Områder ned mot vei med helning på maksimalt 33 grader	Monzonitt	188	220
Lærdal Gård	55	100	145	380	Fluviale avsetninger	Relativt flatt. Maksimalt 7 grader helning	Monzonitt	163	75
Bø	65	45-70	100-200	440	flomskredavsetninger	Østlig del utenfor urfot er relativt flat. Mer kupert i vestlig område.	Monzonitt	290	220
Eråksøyane	106	140	230	230	Fluviale avsetninger	Relativt flatt. Maksimalt 7 grader helning	Monzonitt med overliggende lag av anortositt	36	324
Lærdal Vest	114	-	140	300	Svaberg med tynt lag av morene	stor variasjon som følge av svaberg	Gneis	207	535
Skagen	92	-	-	-	Fluviale avsetninger	Relativt flatt. Maksimalt 7 grader helning	Fyllitt	380	210
Fast 1	52	-	90	50	lyng og torv. Myrlandskap i østlig del	Relativt flatt. Maksimalt 5 grader	Glimmerskifer og fyllitt med overliggende lag av monzonitt	67	250
Fast 2	112	-	maksimalt 300	50	Morenefjord med lyng og mose over	Stor variasjon i helning. Fra 5-12 grader med områder hvor helning er opp til 24 grader	Kvartsitt	157	550

5 Diskusjon

5.1 Er faktorene som gir lange utløp, tilstede ved lokalitetene?

Noe av hensikten med denne oppgaven er å vurdere om det finnes felles faktorer, som er med å gi lange utløp for steinsprang. Derfor vil hver faktor som er nevnt i kap 2.4 bli vurdert basert på feltobservasjoner.

5.1.1 Underlaget

Løsmassene som finnes ved feltlokalitetene, varierer fra myr og morene oppe på fjellet, til fluviale avsetninger nede i dalføret. Registrerte steinsprang har kortest rekkevidde ved Fast 1 (lengste utløp 52 m utenfor urfoten). Løsmassene i dette området består av torv og myr, som vil absorbere mye av den kinetiske energien til en blokk i bevegelse (Domaas og Grimstad, 2014). Ved Fast 1 ligger også blokkene delvis begravet i underlaget. Ved Lærdal Gård er lengste utløp målt til 55 m utenfor urfoten, men her består underlaget av fluviale avsetninger (sand). Eråksøynane og Skagen har fluviale avsetninger utenfor urfoten som ved Lærdal Gård, men her har blokkene med lengst utløp nådd over 100 meter utenfor urfoten. Lærdal Vest er det eneste området som har bart fjell utenfor urfoten. Dette er også et av områdene med lengst utløp. Hvis en blokk kolliderer med fast fjell, vil lite av energien absorberes, og blokkene vil opprettholde bevegelsen. Blokkene ved Bø og Molde ligger på tidligere avsatte flomskredvifter. Lengste utløp ved begge lokalitetene ligger på 60-65 meter.

Om demping ved underlaget utenfor urfoten er en avgjørende faktor for lange utløp, er usikkert. Blokker som havner i myr, vil mest sannsynlig «suges» fast i underlaget, og ved Fast 1 må den viktigste faktoren som er med å begrense utløpet, være nettopp dette.

5.1.2 Blokkstørrelse og form

En av hypotesene i oppgaven er at de største blokkene når lengst utenfor urfoten. Sammenlignes blokkene utenfor urfoten med materialet som ligger i ura, så stemmer dette ved alle lokalitetene. Hvis en kun sammenligner volumet på blokkene som har nådd utenfor urfoten, stemmer ikke dette nødvendigvis.

Ved Eråksøyane og Molde er det ikke blokken med størst volum som har nådd lengst utenfor urfoten. Ved Bø ligger den største blokken i nedre del av ura. Som nevnt i 2.4.4 sier Petje et al. (2005), at større blokker vil synke dypere i underlaget som kan være tilfellet ved Bø.

Derimot ved lokalitet Fast 1 er det blokken med det største volumet som har reist lengst, i et område med et underlag av myr. Denne ligger også delvis begravet i underlaget.

Som Petje et al. (2005) sier, kan blokker kollidere med hindringer, og det er observert ved flere lokaliteter at blokkene ligger i små grupper utenfor urfoten. Større blokker som allerede er avsatt kan fungere som hindringer for andre blokker som er på vei ned, og stanse bevegelsen deres ved kollisjon.

Formen til blokkene som har nådd utenfor urfoten varierer. Blokkene har irregulære former som er vanskelig å definere. Den enkleste formen å bruke på disse blokkene er enten ellipsoider eller rektangulære, men dette blir en stor forenkling. Blokkene som har nådd lengst ut ved alle områdene er ikke kantede, men har heller runde sider og store flater. Mange av blokkene er også kompakte og ikke avlange i form. Ved Skagen har en av blokkene med lengst utløp, store flater og rektangulær form (Figur 91). Denne blokken har mest sannsynlig oppnådd høy rotasjon om den minste akselen, og beveget seg som et hjul. Hvis blokkene klarer å oppnå denne typen bevegelse vil utløpene bli lange (Domaas og Grimstad, 2014). Det kan dermed tyde på at blokker som når lengst ut har fått kraftig rotasjon, og at dette er en mer avgjørende faktor for lange utløp enn form og størrelse.

Befaringene viser at flertallet av blokkene som ligger utenfor urfoten, har en ting til felles, de har enten lik størrelse som blokkene i ura, eller større. Det ligger blokker utenfor urene med lite volum, men disse er i mindretall.

Flere av blokkene som var avsatt i ura ved Fast 2 var tilnærmet rektangulære blokker. Kildeområdet ved Fast 2 er det eneste som har en berggrunn bestående av kvartsitt. Både berggrunn og sprekkemønster vil være med å påvirke formen på blokkene som løsner, og oppknusningen nedover skredbanen.

Det er så å si umulig å finne en sammenheng mellom form og størrelse på blokkene utenfor urfoten. Det ble forsøkt å måle hvordan blokkstørrelsen endret seg ut fra urfoten, men det fantes ingen sammenheng mellom hverken økende eller minkende blokkstørrelse.

5.1.3 Urdannelser og ruhet ved lokalitetene

Ruheten til underlaget, er med å skape hulrom eller potensielle «feller» hvor blokkene kan falle til ro (Statham, 1976). I områder med grove steinurer som inneholder store blokker, bør det derfor være vanskeligere for blokkene å kunne passere urfoten. Feltobservasjoner viser at Lærdal Vest er det området i Lærdalen, hvor det ligger færrest antall blokker utenfor urfoten. Ura ved Lærdal Vest hadde de største blokkene som ble observert (Figur 79), og disse kan opptre som naturlige barrierer for fremtidige steinsprang. I fjellsiden ved Molde var også utløpene til steinsprang lengre i områdene hvor urdannelsene var mindre. Dette kan tyde på at i områder hvor det er store urdannelser med stort blokkvolum, er det lavere sannsynlighet for at blokkene vil nå utenfor urfoten.

5.1.4 Helning utenfor urfoten

Fast 2 er det området som har størst variasjon i helning utenfor urfoten. Dette er også et av områdene som har lange utløp (maks utløp på over 110 m). Utenfor ura ved Bø er helningen brattere i den vestlige delen, sammenlignet med den østlige. Det er observert at blokkene i den vestlige delen har lengre utløp enn blokkene i den østlige. Dette er observasjoner som argumenterer for at helningen utenfor urfoten kan være en viktig faktor som gir lange utløp (Domaas, 1994). Lokaliteten som ikke stemmer med dette er ved Eråksøynane. Dette området har som tidligere nevnt utløp på over 100 meter utenfor urfoten, men her er utløpsområdet tilnærmet flatt. Hvordan området så ut før veien ble bygget, er ukjent.

Helningen utenfor urfoten er relativt slak ved de undersøkte områdene. Disse egner seg dårlig til å kunne begrunne hvordan helningen vil være med å påvirke utløpene, siden det er tidligere observert at utløpene vil bli lange når helningen er brattere enn 15° (Domaas, 1994).

5.1.5 Potensiell fallhøyde

Ved Bø og Lærdal Vest består løseområdet av tilnærmede vertikale fjellsider, med helninger brattere enn 60° . Her kan blokkene ha lange fallhøyder før de treffer underlaget. Dette tilsier at blokkene som løsner, mest sannsynlig vil bevege seg ned mot ura i form av fritt fall eller spretting (Figur 8). Det er tidligere nevnt i kapittel 2.4.2 at fallhøyde er av begrenset betydning for lange utløp, siden den første kollisjonen med ura vil være med å absorbere 85-90 % av den kinetiske energien (Hungr et al., 1989). Ved Bø har lengste blokk nådd 65 meter utenfor urfoten, mens ved Lærdal Vest ligger lengste blokk 115 meter utenfor. Fast 1 er det området som har den laveste potensielle fallhøyden, ned til den øvre grensen av ura. Her har også blokkene nådd kortest. Det ikke kjent hvor blokkene har løsnet fra fjellsiden i de undersøkte områdene. Det blir derfor vanskelig å avgjøre om fallhøyden vil gi lange utløp.

5.1.6 Oppsummering

Selv om de undersøkte områdene ligger i samme regionale område, viser de variasjon i morfologisk karakter. Feltarbeidet viser at dempingen ved underlaget vil være med å begrense utløpet i områder med myr, men i andre områder varierer lengden på utløpene selv om de har lik type løsmasser utenfor urfoten.

Volumet på blokkene som har passert urfoten er større enn materialet som ligger i ura. Områder som har urdannelser med store blokker, vil være med å begrense utløpene for steinsprang sammenlignet med områder som har mindre urdannelser. Det er ikke nødvendigvis de største blokkene som har nådd lengst utenfor urfoten ved de undersøkte områdene. En faktor som er viktigere enn form og størrelse må dermed være blokkenes evne til å oppnå høy rotasjon og bevegelse som et hjul. Dette kan føre til lange sprang og energien kan opprettholdes enklere (Domaas og Grimstad, 2014).

Det er observert at blokkene ved Bø hadde et lengre utløp i områder med brattere helning utenfor urfoten. Siden de fleste undersøkte områdene har en relativ slak helning utenfor urfoten, er det derfor ikke et godt nok grunnlag til å kunne si om helning alene vil gi lange utløp for steinsprang.

Det er ukjent hvor i fjellsiden blokkene har løsnet fra, og det kan derfor ikke begrunnes om en høy potensiell fallhøyde vil kunne gi lange utløp. Teorien tilsier at dette ikke vil være av betydning (Hungr et al., 1989).

5.2 Hvordan fordeler steinsprangene seg utenfor urfoten?

En del av denne oppgaven er å se hvordan steinsprang fordeler seg i utenfor urfoten. Dette er blitt gjort ved alle lokalitetene ved bruk av metoden som er forklart i kapittel 3.2.2.

Resultatene viser at den relative andelen steinsprang, minker med en økende avstand fra urfoten (Figur 119). Det er likevel lokale variasjoner ved lokalitetene som er besøkt, og alle har ikke en lineær nedgang med økende avstand fra urfoten. Ved flere av lokalitetene (Eråksøynane) er det enkelte soner hvor det ikke forekommer steinsprang, men hvor andelen øker lenger ut fra urfoten. Flere av områdene har også en jevn andel i de nærmeste sonene ut fra urfoten, men som drastisk blir lavere etter en viss distanse utenfor urfoten (Lærdal Gård, Bø og Fast 1).

Antallet blokker som ligger utenfor urfoten varierer ved de undersøkte områdene (Tabell 14). Dette tyder på at det er stor variasjon i hvor ofte det løsner blokker fra fjellssidene. Antall blokker utenfor urfoten kan brukes for å vurdere hyppigheten av utfall.

Ved de fleste lokalitetene ligger hovedandelen av blokkene i området 10-20 meter utenfor urfoten. Dette tyder på at blokkene må ha høy energi når de passerer urfoten, og at steinura ikke er med å absorbere all energien til blokkene. 35 % av blokkene ved Bø (Figur 55) faller til ro under 10 meter utenfor urfoten. Dette tyder på at ura absorberer mye av energien til steinsprang ved denne lokaliteten, og begrenser utløpene.

Hvordan blokkene har beveget seg utenfor urfoten er ikke kjent. Med tanke på at underlaget er relativt flatt ved de fleste områdene, tilsier teorien (Figur 8) at den mest sannsynlige type bevegelse enten vil foregå ved spretting eller rulling.

Skagen har en fordeling av steinsprang som skiller seg ut fra andre undersøkte områder. Her ligger over 50 % av registrerte steinsprang, mellom 30-40 meter utenfor urfoten. Fordelingen avtar både mot og fra urfoten. Dette tyder på at ura ikke påvirker utløpene i så stor grad som ved den andre lokalitetene, og at mye av energien blir bevart ned skredbanen. Området er også det eneste hvor steinuren var dekket av vegetasjon og hvor fjellside hadde et bratt parti ovenfor urfoten. Hvis steinsprang kolliderer med dette partiet, kan sprangene bli lange og blokkene kan unngå å kolliderer med ura. Det er tidligere observert at steinsprang kan ha sprang på over 40 meter nedover en fjellside (Domaas og Grimstad, 2014). Dette kan være en årsak til at flertallet

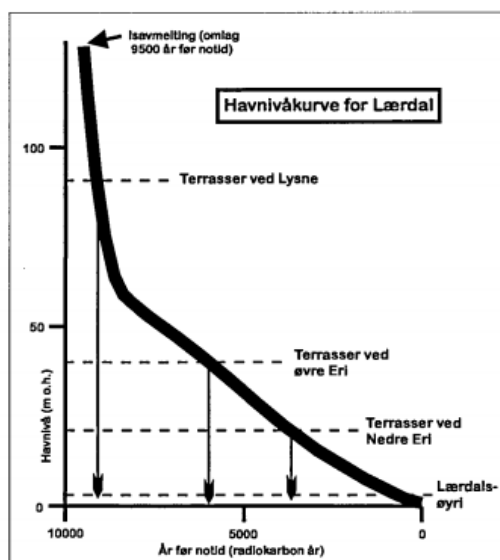
av blokkene har lange utløp ved Skagen, og at blokkene kan opprettholde bevegelsen utenfor ura.

5.3 Estimerte returperioder

Estimerte returperioder baserer seg på antall blokker som har passert en viss distanse utenfor urfoten, i en bestemt tidsperiode (kapitel 3.2.3). Returperiodene vil avhenge av hvilken tidsperiode som benyttes, hvordan blokkene ligger fordelt utenfor urfoten og antallet blokker. Et høyt antall blokker utenfor urfoten, tyder på at det løsner steinsprang fra fjellsiden ofte, mens i områder hvor det løsner få steinsprang, vil antallet være lavere.

Ved denne estimeringen er 5000 år blitt brukt som tidsperiode. En grov antagelse generelt er at Norge har vært isfritt i om lag 10 000 år. Hvis denne perioden brukes ved estimeringer vil faresonene reduseres ytterligere, men usikkerheten vil også bli større.

Forholdene har nødvendigvis ikke vært likt ved alle områdene siden siste istid. Havnivået ved Lærdalen var høyere enn det er i dag (Figur 120), og elveslettene kan være yngre enn 5000 år (Blikra og Aa, 1996). Dermed kan blokkene ha blitt avsatt under andre forhold enn de som finnes i dag. Kunnskap om hvor lenge det har foregått steinsprang vil derfor være en viktig faktor ved denne type faresonekartlegging.



Figur 120: havnivåkurve for Lærdal (Blikra og Aa, 1996).

Estimerte returperioder tar ikke hensyn til hvor i terrenget steinsprang vil foretrekke å bevege seg, eller volum og blokkform. De baserer seg kun på antall blokker som har passert urfoten, men feltobservasjoner viser også at det ikke er blokkene med det største volumet som nødvendigvis når lengst ut.

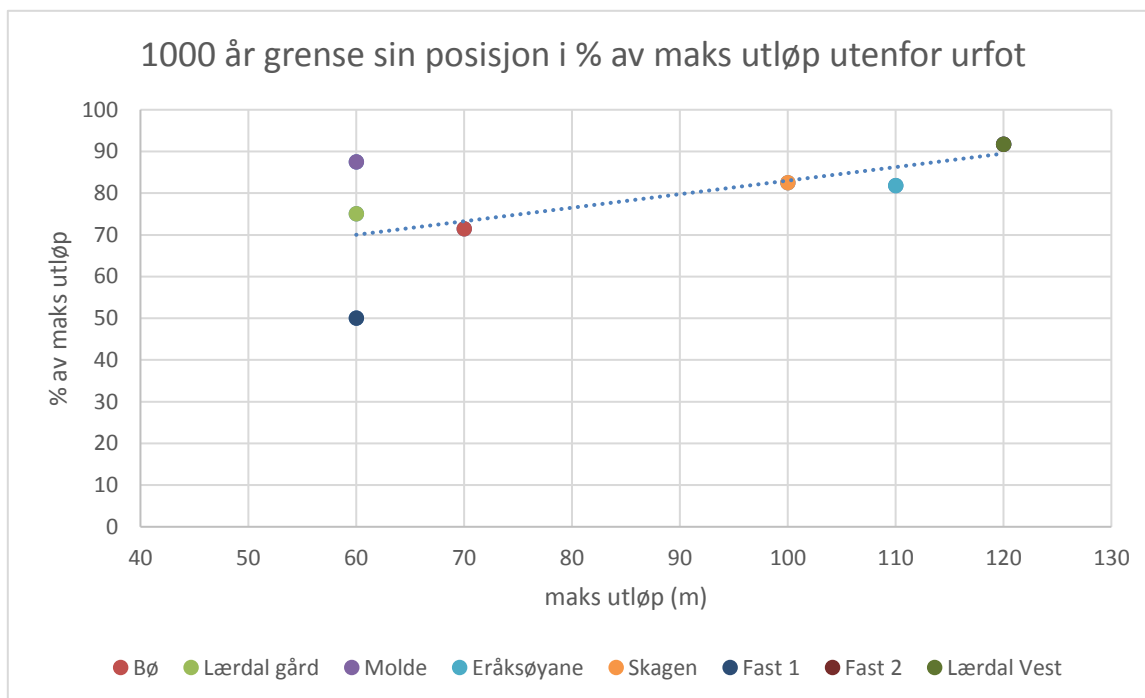
Ved de fleste områdene vil faresonen for returperiode på 1000 år, i gjennomsnitt ligge mellom 70 og 90 % av det maksimale utløpet. Unntaket er ved Fast 1, hvor den er 50 % av det maksimale utløpet. Tidligere er det estimert at faresonen med returperiode på 1000 år i gjennomsnitt er ca 60-70 % av maksimal utløpsdistanse (Domaas, 2002). Estimeringer i denne oppgaven er høyere enn dette, men utbredelsen av faresone 1000 varierer mellom hver av de undersøkte områdene.

En enkel regresjonsanalyse som er basert på de estimerte returperiodene ved alle lokalitetene (Figur 121), viser at grensen for returperioden på 1000 år (S_2), i prosent av maks utløp, kan grovt anslås ved formel:

$$S_2 = 0.32x + 50 \quad (9)$$

Hvor x er distansen til lengste utløp utenfor urfoten ved området som skal kartlegges.

Denne analysen er kun basert på åtte lokaliteter, og det er usikkert hvordan denne metoden stemmer ved andre områder. Bredden på feltområdene varierer fra 70-500 meter og den fungerer kun i områder hvor maksimal rekkevidde ikke er høyere enn 120 m utenfor urfoten. Denne modellen har et begrenset datagrunnlag og det trengs data fra flere lokaliteter med større variasjon, for å kunne etablere modellen som et verktøy i faresonekartlegging. Det må selvfølgelig tas hensyn til hvor i terrenget steinsprangene mest sannsynlig vil bevege seg, og vurdering av blokkstørrelse



Figur 121: Regresjonsanalyse basert på estimerte 1000 års returperioder fra alle lokalitetene.

Ved alle lokalitetene er faresone 5000 satt ved 10 meter grensen som ingen steinsprang har passert. Siden det mest sannsynlig har foregått steinsprangaktivitet over en lang tidsperiode ved de ulike lokalitetene, burde det være rimelig å anta at blokker i framtiden ikke vil kunne nå lenger ut enn det som allerede ligger i terrenget, men dette er selvfølgelig aldri sikkert. Her kommer viktigheten ved dokumentasjon av tidligere skredhendelser inn, siden tidligere blokker kan være flyttet eller fjernet. Ved Lærdal Gård er det rapportert om en blokk som traff fjøsveggen (Blikra og Aa, 1996). Ved samtale med beboerne på gården fortalte de at det kom en blokk gjennom taket på fjøset, noe som i denne oppgaven er antatt å være fragment fra et steinsprang som tidligere har kollidert med en tidligere avsatte blokk. Hvis dette var et steinsprang, bør faresone 5000 settes lengre ut. Det er vanskelig å plassere faresoner etter fragmenter fra steinsprang. Tidligere observasjoner har vist at slike fragmenter kan oppnå hastigheter på over 40 m/s, og sprang på over 100 meter (Domaas og Grimstad, 2014). Det bør dermed informeres om steder hvor slike fragmenter kan forekomme i tillegg til normal steinsprangaktivitet.

5.4 Rockyfor3D simuleringer

Alle simuleringene med Rockyfor3D har lengre utløp enn det som ble observert i felt. Ved flere av lokalitetene nådde også de simulerte blokkene utenfor beregningsområdet. Resultatene viser at ekstremutløpene med Rockyfor3D (blokkene som hadde lengst utløp), var over 50 % lengre enn det som ble observert i felt (Tabell 15). Områdene hvor simuleringene stemte best med feltobservasjoner, var ved Eråksøynane, Lærdal Vest og Fast 1. Ved Eråksøynane viser likevel beregningene at de lengste utløpene er over 80 meter lengre enn feltregistreringene. Ved Lærdal Vest ble det store flertallet av de simulerte blokkene avsatt i ura, og ved Fast 1 ble hovedandelen av de simulerte blokkene avsatt hvor de registrerte blokkene fra felt ligger. Ved Fast 1 var det likevel simulerte utløp som var over 50 % lengre enn feltregistreringer.

Når registrerte blokker ble lagt over simuleringene, viste det seg at de registrerte blokkene sjeldent lå i områder hvor det var under 0,2 % sannsynlighet for at simulerte blokker kunne nå ut. Denne observasjonen gikk igjen ved de fleste lokalitetene. En nominell årlig sannsynlighet på 0,2 % tilsvarer en returperiode på 5 år. Dette tilsier at alle de tre faresonene i TEK10 vil ligge utenfor området med de registrerte blokkene i Rockyfor3D simuleringene, og at faresonene vil bli overestimerte sammenlignet med returperioder basert på feltundersøkelser. Ved senere bruk av Rockyfor3D i faresonekartlegginger, er dette en nyttig observasjon. Denne observasjonen er basert på simuleringer med 1000 blokker per løsnecelle. Rekkeviddesannsynligheten i % baserer seg på antall simulerte blokker fra kildeområdet (Tabell 4), og antall simulerte blokker vil være med å påvirke rekkeviddesannsynligheten.

Tabell 15: Sammenligning mellom de lengste utløpene i felt og simulerte utløp.

Lokalitet	Lengste observerte utløp i felt (m)	Lengste simulerte utløp i Rockyfor3D (m)
Molde, Lærdal	60	over 215
Lærdal Gård	55	200
Bø, Lærdal	65	over 200
Eråksøynane	106	184
Lærdal Vest	114	250
Skagen, Fortun	92	over 134
Fast 1	52	over 130
Fast 2	112	over 300

I de neste delkapitlene vil hva som kan være årsakene til at Rockyfor3D overestimerer utløpene ved alle simuleringer, bli diskutert.

5.4.1 Blokkform

Som tidligere nevnt, gir kjøring med ellipsoideform lengre utløp enn kjøring med rektangulær blokkform. Teorien sier at blokker med en rundere form bruker mindre energi på å bevege seg sammenlignet med rektangulære blokker (Schioldrop, 1988). Dette tar Rockyfor3D hensyn til. Blokkformene som brukes i Rockyfor3D er tilnærmet perfekte og dette stemmer sjelden med virkeligheten. Siden det ikke er mulig å legge inn en realistisk blokkform i beregningene bidrar dette til at modellen overestimerer utløpene.

5.4.2 Blokkvolum

Volumet til de simulerte blokkene er basert på feltobservasjoner. Siden volumet på blokkene som hadde passert urfoten, hadde stor variasjon ved alle lokalitetene, ble det derfor brukt en realistisk variasjon av blokkstørrelse med 50 % ved alle simuleringer.

Blokkene med ellipsoide form gikk lengre enn de rektangulære blokkene, selv om de rektangulære hadde dobbelt så stort volum. Dette vises tydelig ved Eråksøynane (Figur 71 og Figur 72).

I Rockyfor3D estimeres volum ved dimensjonen til sidelengdene ($d_1 \times d_2 \times d_3$). Siden det er vanskelig å gi et korrekt volum på blokkene fra feltarbeidet på grunn av den uregelmessige formen, vil de tilsvarende simulerte blokkene ha et større volum. Dette gir de simulerte blokkene en høyere kinetisk energi, med lange utløp som resultat.

5.4.3 Bakketyper og parameterverdier

Det er kun åtte bakketyper man kan velge mellom i Rockyfor3D (vedlegg A). Bakketyperne er basert på generaliserte restitusjons verdier, og hvis disse er for høye, vil kollisjonen med underlaget absorbere for lite energi. Dette gjør at blokkene ikke vil bremses av underlaget, og at de kan opprettholde bevegelsen. I oppgaven er det ikke lagt vekt på å fininnstille restitusjonsverdiene ut fra observasjonene for å teste optimale resultater, men kun benyttet standardverdier med justeringer fra feltobservasjoner.

Dersom beregningsverdiene til Rockyfor3D hadde vært basert på flyfoto, ville feilmarginene for analysen være større. Dette gjelder særlig arealavgrensingen til urene og spesielt urfoten hvor vegetasjonen dekker det meste.

Simuleringene fra Lærdal Vest stemte overaskende bra med det som ble observert i felt. Her ble det store flertallet av blokkene avsatt i ura ved begge simuleringene. Ura i dette området hadde svært store blokker ved urfoten og derfor ble det lagt inn høye parameterverdier som skulle representere dette. Om det er høye parameterverdier i nedre del av ura som begrenser utløpet kan ikke bekreftes med bare to simuleringer.

Ved Fast 1 ble bakketypen som tilsvarer myr eller elv benyttet. Her ble hovedandelen av de simulerte blokkene avsatt i samme område som de registrerte blokkene. Det var likevel flere utløp som gikk dobbelt så langt ut som feltregistreringene.

I dag brukes Rockyfor3D som et hjelpemiddel for å vurdere rekkevidden av steinsprang ved faresonekartlegginger (Hefre et al., 2015b). Ofte blir disse simuleringene basert på feltarbeid og de anbefalte verdiene som finnes i brukermanualen (Domaas, pers.komm, 2017). Erfaringen med bruken av disse parameterne er at de ikke representerer virkeligheten fordi hovedandelen av de simulerte blokkene forserer ura, og avsettes utenfor. Feltarbeidet viser at de fleste steinsprangene stopper i ura og bygger opp denne, og det er kun ekstremutløpene som vil nå utenfor (Luckman, 2013). argumentet imot dette er selvfølgelig at blokkstørrelsen som er brukt ved simuleringene er altfor stor.

5.4.4 Løsneområdet

Ved Rockyfor3D simuleringer er valgt kildeområdet basert på helning i høydmodellene. Denne metoden stemte godt med de potensielle kildeområdene som ble observert i felt. Dette kan likevel være en svakhet i simuleringene, siden det er flere faktorer enn helning som gjør at blokker kan løsne fra fjellsidene (Domaas og Grimstad, 2014).

5.4.5 Oppløsning på høydemodeller

Området hvor simuleringene stemte best med virkeligheten var ved Eråksøynane, Fast 1 og Lærdal Vest. Eråksøynane var det eneste området hvor høydemodellen hadde en oppløsning på 5x5m. Det må likevel tas i betraktning, at skredvollen utenfor ura forekommer i høydemodellen, og at denne vil være med å begrense utløpet for de simulerte blokkene. Utenom at prosesseringen av 1x1m resultatene tok lengre tid, var det ingen merkbar forskjell mellom simuleringene med 2x2m og 1x1m høydemodeller.

5.4.6 Andre faktorer

Oppknusning

Rockyfor3D tar ikke hensyn til at blokkene kan deles i flere fragmenter nedover skredbanen. Dette er en faktor som er med å fjerne kinetisk energi fra blokker i bevegelse (Petje et al., 2005), og vil være med å kunne gi kortere utløp.

Initiert fallhøyde

Det er ikke simulert med initiert fallhøyde ved noen av simuleringene. Det er derfor ikke vurdert hvorvidt dette påvirker utløpslengden.

Vegetasjon i terrenget

Det er ikke blitt simulert med vegetasjon i terrenget. Ved Skagen er hele fjellsiden dekket av vegetasjon, som vil være med å bremse utløpene i virkeligheten. I arbeidet med å utvikle Rockyfor3D ble det utført feltforsøk med å slippe steinblokker gjennom et skogparti i bratt terreng (Berger og Dorren, 2007). Det er viktig å merke seg at for større blokker har skogen begrenset effekt.

5.4.7 Bruk av Rockyfor3D i faresonekartlegging

Faresonekartlegging foregår ofte i regional skala og feltobservasjoner viser at områder som ligger i samme region, har forskjellige løsmasser og at blokkstørrelsen varierer i urene. Terrengparametere vil derfor bli altfor generaliserte i modellberegningene og tar ikke tilstrekkelig hensyn til de lokale faktorene som er observert ved hver enkelt lokalitet.

Siden Rockyfor3D allerede med parametere som er basert på felldata overestimerer utløp, vil det være uakseptabelt å basere en faresonekartlegging kun på en modelleringsanalyse hvor det ikke er foretatt vurderinger i felt.

5.5 Usikkerhet og feilkilder ved feltarbeid

I feltarbeidet ble blokker utenfor urfoten markert med GPS. Når dette senere ble lagt inn i ArcGIS ble det observert at punktene til tider kunne ha en unøyaktighet på opptil fem meter. Dette ble justert, men må tas i betraktning ved fordelingen av steinsprang utenfor urfoten siden GPS punktet kan ligge i feil 10 meter sone.

På grunn av den irregulære formen som de fleste blokkene hadde, var det vanskelig å kunne gi et korrekt estimat av blokkvolum. Der hvor blokkstørrelsen ble registrert, må dette tas i betraktning.

Tidligere avsatte blokker kan være ryddet eller fjernet fra områdene. Det er en usikkerhet ved fordelingen av steinsprang utenfor urfoten, og ved de estimerte returperiodene. Hvis registrerte blokker ikke er steinsprang, vil dette føre til lavere estimerte returperioder, siden blokkene vil være med estimeringen (formel 8). Hvis tidligere steinsprang er blitt fjernet vil dette gi faresoner med større utbredelse i terrenget.

Områdene ved Fast turisthytte ble valgt, siden dette er områder hvor det er liten sannsynlighet for at blokkene er blitt flyttet eller fjernet på grunn av jordbruk. Derimot er området ved Fast preget av store moreneforekomster som gjorde det vanskelig å skille steinsprang fra moreneblokker. Grunnregelen for å skille steinsprang fra morene, er ved å se på rundingsgraden til blokkene (Domaas og Grimstad, 2014). Moreneblokker som ikke er blitt transportert langt før de ble avsatt av isen og som er av samme bergart som ellers i området, er nesten umulig å skille fra steinsprang (Figur 122). Ved flere av områdene er det også flomskredavsetninger som blokkene kan ha opphav fra.



Figur 122: Rundingsgraden til blokken nederst til høyre i bildet, tilsier at den mest sannsynlig er blitt transportert med isen. Bildet er tatt ved lokalitet Lærdal Vest. Foto: Ulrik Domaas (NGI).

Blokkene som ligger utenfor urfoten har nødvendigvis ikke falt ned enkeltvis. De kan ha kommet ned som steinskred, som kan være med å øke utløp når blokkene beveger seg i en samlet masse (Jørstad, 1979). Dette er en svakhet ved å kun basere faresoner på blokker som ligger utenfor urfoten.

5.6 Hvordan kan dette være med å redusere usikkerhet knyttet til faresonekartlegging?

En av hensiktene med denne oppgaven var å få en bedre forståelse av faktorene som er med å gi lange utløp utenfor urfoten. Dette viste seg å være en vanskeligere oppgave en antatt. Feltobservasjonene viste at selv om flere av områdene ligger i samme regionale område, er det morfologiske forskjeller mellom alle lokalitetene. Dette viser at alle områder bør behandles enkeltvis ved en skredfarekartlegging. Hvis det skal trekkes fram en faktor som alle områdene har til felles, er det at blokkene som har nådd utenfor urfoten, er større i volum, sammenlignet med materialet i ura. Derfor kan blokkstørrelse som ligger i ura, være en indikasjon, på volumet til blokkene som vil passere urfoten i fremtiden.

Feltobservasjoner viser at steinsprang har kortere utløp i områder med urdannelser som består av store blokker. Dette må tas i betraktning når det utføres feltarbeid.

Hvordan steinsprangene ligger utenfor urfoten, sier noe om hvor mye ura er med å bremse blokkenes utløp. I områdene hvor flertallet av steinsprangene ikke avsettes rett utenfor ura, tyder dette på at blokkene fortsatt har høy energi når de passerer urfoten. Tilbakeberegning av blokkenes energi utenfor urfoten, kan brukes eksempelvis til dimensjonering av skredvoller.

Ved å bruke formel (8) til å estimere faresoner utenfor urfoten, vil dette gi mindre konservative faresoner enn aktsomhetskartene (Figur 2), som kun er basert på empiriske beregninger.

Rockyfor3D simuleringene viser at utløpene blir overestimert selv med parametere som er basert på feltarbeid. En modell er en forenklet versjon av virkeligheten og hvis Rockyfor3D skal kunne gi bedre estimeringer av utløp og sannsynlighet, bør det foretas en sensitivitetsstudie av parameterne i simuleringene.

Rockyfor3D bør dermed ikke brukes alene ved en faresonekartlegging, men det kan fungere godt som et hjelpemiddel for å anta hvor det er mest sannsynlig at blokkene vil bevege seg i terrenget.

6 Konklusjon

Basert på feltarbeid fra åtte lokaliteter og 16 simuleringer med Rockyfor3D trekkes følgende konklusjoner:

- Steinsprangenes evne til å oppnå høy rotasjon og rulling ser ut til å være en mer avgjørende faktor for lange utløp enn stort blokkvolum. Feltarbeidet viser at det ikke er blokkene med størst volum som nødvendigvis når lengst utenfor urfoten.
- I områder med myr er underlaget med å begrense utløpene for steinsprang. I andre områder er ikke type underlag en faktor alene som er med å påvirke utløpet. De undersøkte områdene egnet seg dårlig for å begrunne om helning utenfor urfoten vil gi lange utløp. Det er ikke grunnlag for å si om potensiell fallhøyde vil være med å gi lange utløp basert på feltobservasjoner.
- Steinsprangene som passerer urfoten er større enn materialet i ura, og urer med store blokker er med å begrense utløpene.
- Estimerte returperioder viser at faresone 1000 (S2) ligger mellom 70 og 90 % av det maksimale utløpet ved de undersøkte områdene. Basert på åtte observasjoner er det utviklet en modell for setting av faresone 1000 (S2). Det trengs et bedre datagrunnlag hvis denne modellen skal brukes som et verktøy i fremtidige faresonekartlegginger
- Fordelingen av steinsprang utenfor urfoten viser at det er i sonen 10-20 meter utenfor urfoten hvor andelen av registrerte blokker er størst. Etter dette avtar forekomsten av registrerte blokker. Det er variasjoner mellom de undersøkte områdene og ved flere av lokalitetene ligger den høyeste andelen av steinsprang under 10 meter utenfor urfoten, mens ved andre er andelen størst 40 meter utenfor. Analyse av blokkfordelingen kan gi et viktig bidrag til bestemmelse av returperiode og til plassering av faresoner knyttet til kravene i byggteknisk forskrift (TEK10).

- Ved alle lokalitetene er det blitt kjørt steinsprang simuleringer med programmet Rockyfor3D. Selv med anbefalte inngangsparametere som er basert på observasjoner i felt, overestimerer Rockyfor3D utløp. Ved flere av simuleringene viser beregningene at det avsettes blokker som ligger dobbelt så langt utenfor urfoten i forhold til feltregistreringer. Blokker med ellipsoideform hadde lengre utløp enn med rektangulær blokkform. Simuleringene viser at de registrerte blokkene fra felt sjeldent ligger i områder hvor det er under 0,2 % sannsynlighet for at simulerte kan nå ut. Det er kjørt 1000 blokker per løsnecelle ved simuleringene. Hvis faresonene kun er basert på modellering vil dette føre til konservative faresoner.
- For at faresonevurderingene skal bli så korrekte som mulig, bør det fokuseres på den lokale geomorfologien. Det må derfor utføres grundig feltarbeid ved en faresonevurdering for at faresonene ikke skal bli overestimerte.

7 Anbefalt videre arbeid

Testing av hvordan forskjellige parameterverdier er med å påvirke de modellerte utløpene med Rockyfor3D, har ikke vært fokus i denne oppgaven. Erfaringer med Rockyfor3D fra denne oppgaven, er at den overestimerer utløp med de generaliserte bakketyperne som er justert etter feltobservasjoner. Det anbefales derfor at det bør foretas mer testing av hvilke parametere som representerer virkeligheten best hvis denne skal brukes i framtidige faresonekartlegginger.

NGI vurderer bruk av simuleringsprogrammet RAMMS Rockfall i fremtiden, og feltdata fra denne oppgaven vil bli benyttet i uttestingen av dette programmet.

Det er ikke blitt fokusert på utfalls sannsynlighet i denne oppgaven, og hvor stor andel av blokkene som stopper i og forserer urfoten. Eksempelvis om det løsner en blokk fra fjellsiden hvert tiende år og 90 % av blokkene som løsner fra området stopper i ura, vil sannsynligheten for at en blokk som løsner, og samtidig går utenfor urfoten være $1/10 * 1/10 = 1/100$ per år. Faresone S1 (TEK10) kan dermed settes ved urfoten i slike tilfeller. Mer kunnskap om utfallssannsynlighet og andelen av steinsprangene som faktisk når utenfor urfoten, vil være gode bidrag til mer realistiske faresoner ved kartlegging.

Flere personer som ble intervjuet under feltarbeidet mente at steinsprang som løsnet på vinterstid, hadde lengre utløp enn steinsprangene som løsnet på sommeren. Dette skyldes mest sannsynlig frost i bakken og mindre demping mot underlaget. Kunnskap om hvor stor påvirkning telen i bakken har for utløpet til steinsprang, vil bidra til å nyansere resultatene ytterligere.

Litteraturliste






- BERGER, F. & DORREN, L. K. 2007. Principles of the tool Rockfor. net for quantifying the rockfall hazard below a protection forest. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 158, 157-165.
- BERGSTRØM, B. 1975. Deglasiasjonsforløpet i Aurlandsdalen og områdene omkring Vest Norge. *Norges Geologiske Undersøkelse NGU*, 317, 33-69.
- BJORDAL, H., DOMAAS, U., HOLMØY, K. H., MOEN, K., FARESTVEIT, N., EBELTOFT, R. G., NILSEN, M. W., LARSEN, J. O. & FRÆKALAND, S. H. 2011. Sikring av veger mot steinskred. *Vegdirektoratet*, 601995, 75.
- BLIKRA, L. H. & AA, A. R. 1996. Skredfarekartlegging i Lærdal i samband med den nye stamveien Oslo-Bergen. *NGU-rapport*, 96.055, 60.
- BRAATHEN, A., BLIKRA, L. H., BERG, S. S. & KARLSEN, F. 2004. Rock-slope failures of Norway, type, geometry deformation mechanisms and stability. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 84, 67-88.
- BRYHNI, I. 2015. *Peneplan* [Online]. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/peneplan> [Oppsøkt 27.09 2016].
- DIREKTORATET FOR BYGGKVALITET 2016. Veiledning om tekniske krav til byggverk- § 7-3. Sikkerhet mot skred. *Direktoratet for Byggkvalitet*, 9.
- DOMAAS, U. 1994. Geometrical methods of calculating rockfall range. *NGI Rapport*, 585910--1, 1-21.
- DOMAAS, U. 2002. Vurdering av hyppighet av steinsprang over vegtrasè ved Eråksøyane, Lærdal. *NGI Rapport* 961045, 7.
- DOMAAS, U. & GRIMSTAD, E. 2014. Fjell- og steinskred. In: HØEG, K., KARLSRUD, K. & LIED, K. (eds.) *Skred- Skredfare og sikringstiltak*. Oslo: Norges Geotekniske Institutt og Universitetsforlaget.
- DORREN, L. 2015. Rockyfor3D (v5. 2) Revealed—Transparent Description of the Complete 3D Rockfall Model. *ecorisQ paper* (www.ecorisq.org), 32.
- DORREN, L., DOMAAS, U., KRONHOLM, K. & LABIOUSE, V. 2011. Methods for Predicting Rockfall Trajectories and Run-out Zones. In: LAMBERT, S. & NICOT, F. (eds.) *Rockfall engineering*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- DORREN, L. K. 2003. A review of rockfall mechanics and modelling approaches. *Progress in Physical Geography*, 27, 69-87.
- FOSSEN, H. & GABRIELSEN, R. 2005. Brudd og bruddannelse: sprø deformasjon. In: FOSSEN, H. & GABRIELSEN, R. (eds.) *Strukturgeologi*. Bergen: Fagbokforlaget.
- HEFRE, H., HETLAND EKSETH, K. H., HØYDAL, Ø. A. & VERNANG, T. 2015a. Skredkartlegging i Lærdal- Faresonekartlegging for skred for utvalgte områder i Lærdal kommune. *NGI Rapport*, 20150383-01-R, 67.
- HEFRE, H., KVELDSVIK, V. & HETLAND EKSETH, K. H. 2015b. Modellering av steinsprang- Erfaringer og utfordringer. *Bergmekanikkdagen*. Oslo.
- HEIDENREICH, B. 2004. *Small-and half-scale experimental studies of rockfall impacts on sandy slopes*. Citeseer.
- HIGHLAND, L. & BOBROWSKY, P. T. 2008. *The landslide handbook: A guide to understanding landslides*, US Geological Survey Reston.
- HUNGR, O., EVANS, S. G., TRANSPORTATION DEVELOPMENT CENTRE (CANADA), GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA. TERRAIN SCIENCES DIVISION., THURBER CONSULTANTS LTD. & CANADA. TRANSPORT CANADA. 1989. *Engineering aspects of rockfall hazards in Canada*, Vancouver, B.C., Thurber Consultants Ltd.







- HUNGR, O., LEROUEIL, S. & PICARELLI, L. 2014. The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11, 167-194.
- JØRSTAD, F. 1979. Veiledning ved undersøkelser av og sikring mot steinskred. *Norges Geotekniske Institutt NGI*, 54705-1, 139.
- LIED, K. 2014. Innledning og historikk. In: HØEG, K., KARLSRUD, K. & LIED, K. (eds.) *Skred- Skredfare og sikringstiltak*. Oslo: Norges Geotekniske Institutt NGI og Universitetsforlaget.
- LUCKMAN, B. 2013. Talus Slopes. In: ELIAS, S. A. (ed.) *The Encyclopedia of Quaternary Science*. Amsterdam: Elsevier.
- MOEN, K. & HUMSTAD, T. 2009. Rv. 70 Oppdølstranda- Rock fall incidents, risk evaluation, rock support. *Fjellsprenningsteknikk, Bergmekanikk, Bergmekanikk/Geoteknikk*, 27.
- NGI 2013. InfraRisk: Impacts of extreme weather events on infrastructure in Norway. *Norges Geotekniske Institutt*
- 20091808-01-R, 94.
- NGI. 2017. *Stein- og fjellskred* [Online]. Tilgjengelig fra: <https://www.ngi.no/Tjenester/Fagekspertise-A-AA/Stein-og-fjellskred> [Oppsøkt 13.01 2017].
- NORDGULEN, Ø. & ANDRESEN, A. 2006. Jordas urtid. In: RAMBERG, I. B., BRYHNI, I. & NØTTVEDT, A. (eds.) *Landet blir til*. Trondheim: Norsk Geologisk Forening.
- NVE 2011. Kartlegging og vurdering av skredfare i arealplaner. *Vedlegg 2 til NVEs retningslinjer: Flom- og skredfare i arealplaner*, 45.
- NVE. 2016. *Om skred* [Online]. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/flaum-og-skred/om-skred/> [Oppsøkt 05.05 2017].
- NVE. 2017. *Aktsomhetskart for snø- og steinskred (NGI)* [Online]. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/flaum-og-skred/kartlegging/aktsemdkart/aktsomhetskart-for-sno-og-steinskred-ngi/> [Oppsøkt 15.05 2017].
- PETJE, U., RIBIČIČ, M. & MIKOŠ, M. 2005. Computer simulation of stone falls and rockfalls. *Acta geographica slovenica*, 45, 93-120.
- SANDERSEN, F., BAKKEHØI, S., HESTNES, E. & LIED, K. 1997. The influence of meteorological factors on the initiation of debris flows, rockfalls, rockslides and rockmass stability. *Publikasjon-Norges Geotekniske Institutt*, 201, 97-114.
- SCHIELDROP, B. 1977. Dynamiske Regnemodeller for Steinskred. *NGI Rapport*
- 58300-3, 7.
- SCHIELDROP, B. 1988. Mangekanters bevegelse på skråplan av Siv.ing. Bonsak Schieldrop. *Intern rapport Norges Geotekniske Institutt*, 58500-4, 44.
- SINTEF. 2017. Materialdata for naturstein. Typiske verdier. Available: https://sintef.no/globalassets/upload/teknologi_og_samfunn/berg-og-geoteknikk/lister/typiske-materialdata-for-naturstein.pdf.
- SPJELDNÆS, N. 2015. *Forvitring* [Online]. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/forvitring> [Oppsøkt 23.02 2017].
- STATHAM, I. 1976. A scree slope rockfall model. *Earth Surface Processes*, 1, 43-62.
- TURNER, A. & DUFFY, J. 2012. Evaluation of rockfall mechanics. In: TURNER, A. K. & SCHUSTER, R. L. (eds.) *Rockfall: Characterization and control*. Washington DC
- Transportation Research Board, National Academy of Sciences.
- TURNER, A. K. & SCHUSTER, R. L. 2012. *Rockfall: characterization and control*, Transport Research Board of the National academies.



- UIB. 2010. *Geofare* [Online]. Tilgjengelig fra: <http://www.uib.no/fg/mgg/54495/geofare>
[Oppsøkt 01.12 2016].
- VEGDIREKTORATET 2014. Flom og sørpeskred. *Veiledning- Håndbok V139*, 99.
- VORREN, T. O. 1973. Glacial geology of the area between Jostedalsbreen and Jotunheimen, South Norway. *Norges Geologiske Undersøkelse*, 291, 1-46.

Vedlegg

Vedlegg A: Eksempler ved parameterverdier for ulike bakketyper (Dorren, 2015)

Photo	rg70	rg20	rg10	soiltype
	0	0	0.05	6
	0	0.05	0.1	5
	0.25	0.5	0.9	4
	0.03	0.05	0.05	3
	0.05	0.05	0.1	4

	0.05	0.1	0.2	4
	0.03	0.03	0.03	3
	0	0	0.05	3
	0	0	0	7
	0.15	0.15	0.25	4
	0.1	0.35	0.15	4

	0	0	0	1
	100	100	100	0

Vedlegg B: Bakketyper og ruhetsverdier i Rockyfor3D simuleringer

Lokalitet: Molde			
Bakketype	RG10	RG20	RG70
1/dalføre	0	0	0
2/ vifte utenfor ur	0.15	0.1	0.03
4/ nedre del ur	0.9	0.5	0.25
4/ øvre del ur	0.25	0.15	0.15
6/løseområde	0.05	0	0
5/ Grunnfjell med tynt lag av løsmasser	0.1	0.05	0.0

Lokalitet: Lærdal Gård			
Bakketype	RG70	RG20	RG10
1/ område utenfor urfot	0	0	0
4/ nedre del ur	0,25	0,5	0,9
4/ øvre del ur	0.05	0.1	0,2
6/løseområde	0,03	0,1	0.15
5/ Grunnfjell med tynt lag av løsmasser	0.0	0.05	0.1

Lokalitet: Bø			
Bakketype	RG10	RG20	RG70
1/ område utenfor ur	0.15	0.1	0.03
4/ nedre del ur	0.9	0.5	0.25
4/ øvre del ur	0.25	0.15	0.15
6/løseområde	0.05	0	0
5/ Grunnfjell med tynt lag av løsmasser	0.1	0.05	0

Lokalitet: Eråksøyane			
Bakketype	RG70	RG20	RG10
1/ område utenfor ur	0	0	0
4/ nedre del ur	0.1	0.4	1
4/ øvre del ur	0.1	0.2	0.4
6/løsneområde	0	0	0.05
5/ Grunnfjell med tynt lag av løsmasser	0.03	0.1	0.15

Lokalitet: Lærdal Vest			
Bakketype	RG10	RG20	RG70
5/ område utenfor ur. Svaberg	0.1	0.05	0
4/ nedre del ur	7	3	1
4/ øvre del ur	0.9	0.5	0.25
6/løsneområde	0.05	0	0
5/ Grunnfjell med tynt lag av løsmasser	0.15	0.1	0.03

Lokalitet: Skagen			
Bakketype	RG10	RG20	RG70
1/ område utenfor ur	0	0	0
4/ skog og ur	0.15	0.35	0.1
6/løsneområde	0.05	0	0
5/ Grunnfjell med tynt lag av løsmasser	0.1	0.05	0.0

Lokalitet: Fast 1			
Bakketype	RG70	RG20	RG10
0/ område utenfor ur	0.03	0.1	0.15
4/ nedre del ur	0.25	0.5	0.9
4/ øvre del ur	0.05	0.1	0.2
6/løsneområde	0	0	0.05
5/ Grunnfjell med tynt lag av løsmasser	0.03	0.1	0.15

Lokalitet: Fast 2			
Bakketype	RG70	RG20	RG10
3/ område utenfor ur	0	0	0.05
0/innsjø	100	100	100
4/ur	0.1	0.2	0.4
6/løsneområde	0	0	0.05
5/ Grunnfjell med tynt lag av løsmasser	0	0.05	0.1

Vedlegg C: Blokkstørrelser brukt i Rockyfor3D

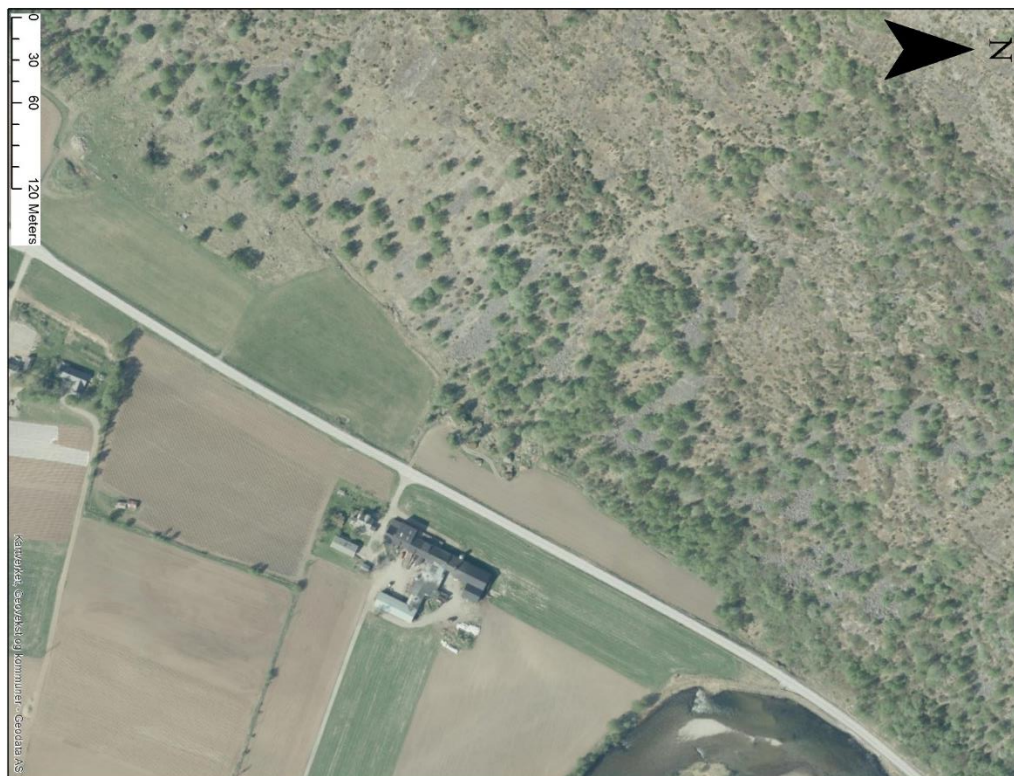
Lokalitet	Blokkdimensjoner (m)			Gjennomsnittlig blokkvolum volum (m3)
	D1	D2	D3	
Molde, Kjøring ellipsoide	3	3	2	5
Molde, Kjøring rektangulær	2	2	1,5	6
Lærdal Gård, Kjøring ellipsoide	2	2	2	4
Lærdal Gård, Kjøring rektangulær	2	2	2	8
Bø, Kjøring ellipsoide	2	2	3	6
Bø, Kjøring rektangulær	2	3	1	6
Eråksøynane, Kjøring ellipsoide	2	3	3	3
Eråksøynane, Kjøring rektangulær	2,5	2	1	5
Lærdal Vest, Kjøring ellipsoide	3	2	1	6
Lærdal Vest, Kjøring rektangulær	3	2	1	6
Skagen, kjøring ellipsoide	3	2	1,5	5
Skagen, kjøring rektangulær	1,5	1,5	2	4,5
Fast 1, Kjøring ellipsoide	2	2	1	2
Fast 1, kjøring rektangulær	2	2	1	2
Fast 2, kjøring ellipsoide	2	2	1,5	3
Fast 2, kjøring rektangulær	2	2	1,5	6

Vedlegg D: Flyfoto fra de undersøkte områdene

Molde, Lærdal



Lærdal Gård



Bø, Lærdal



Eråksøynane



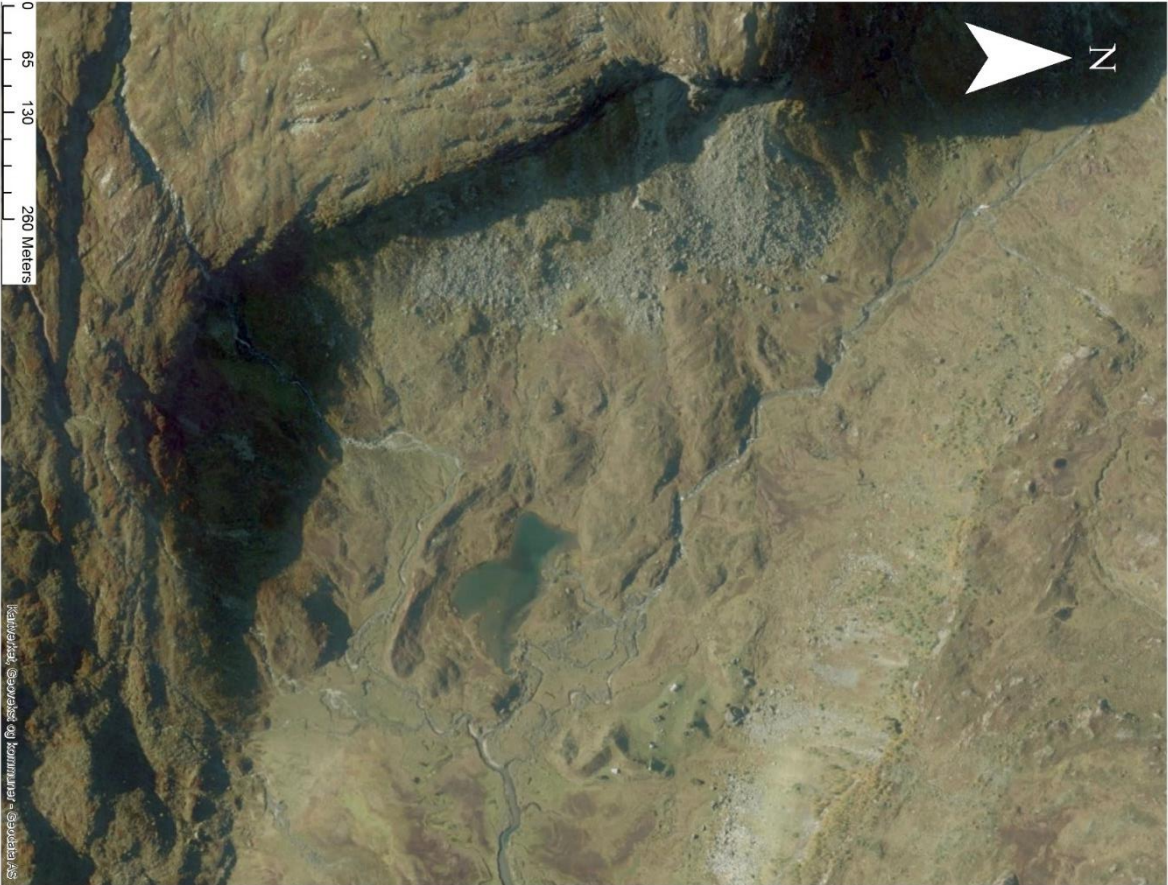
Lærdal Vest



Skagen, Fortun

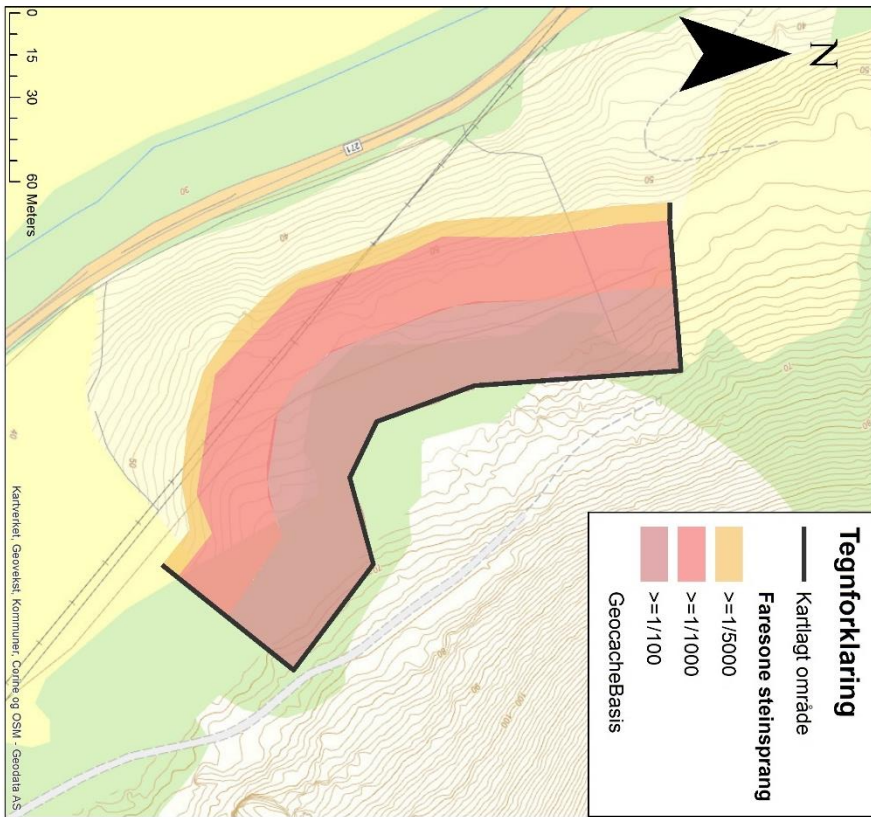


Fast

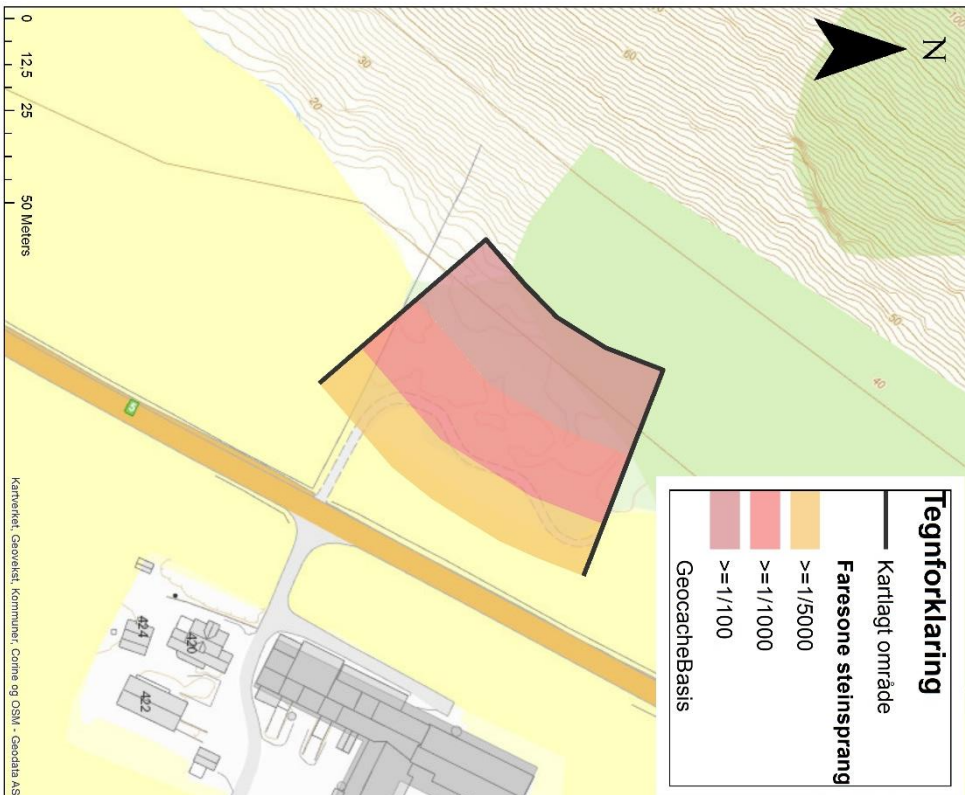


Vedlegg E: Faresonekart ved de undersøkte områdene

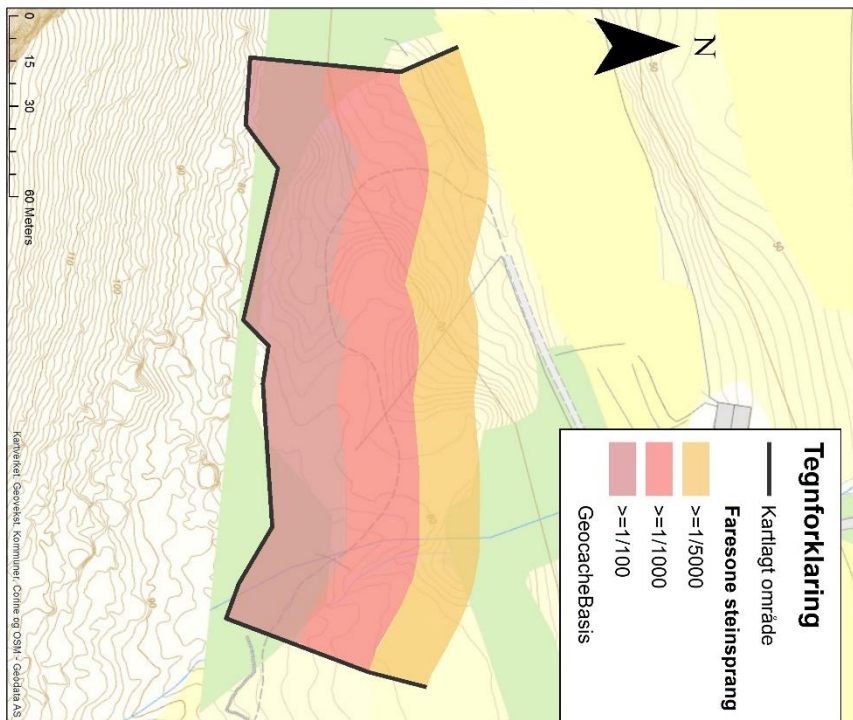
Molde, Lærdal



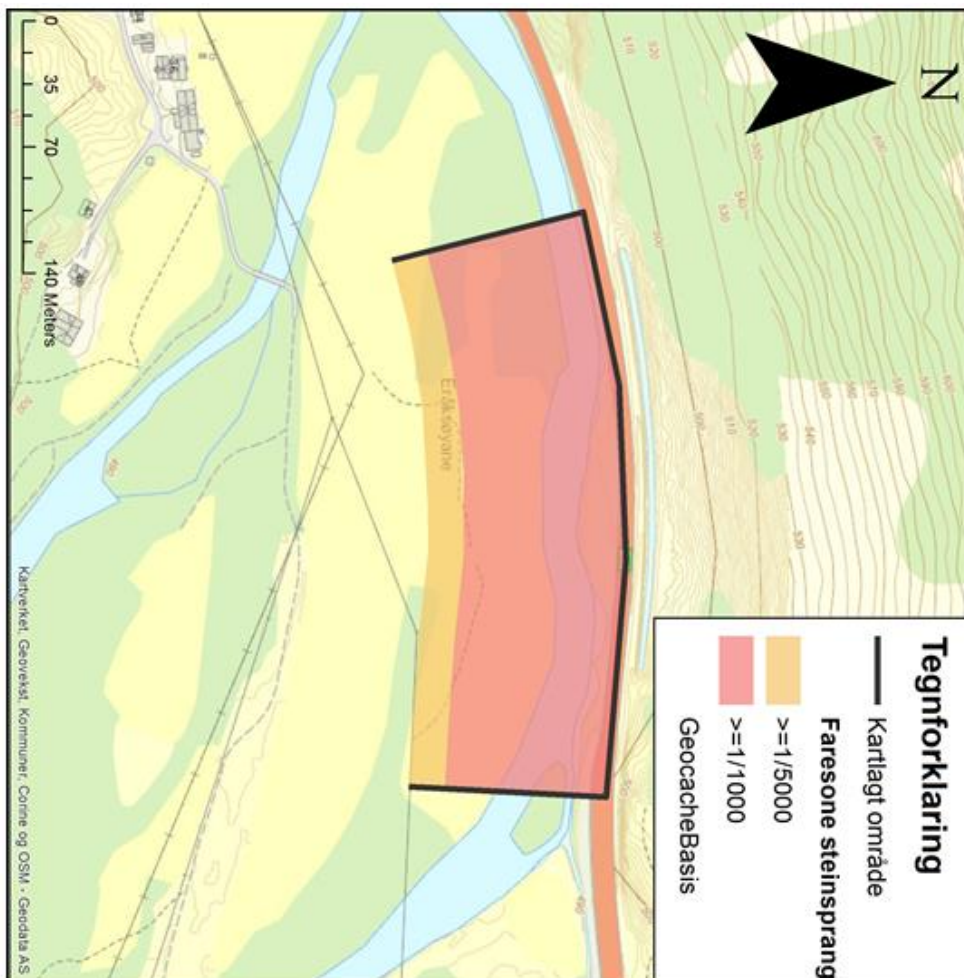
Lærdal Gård



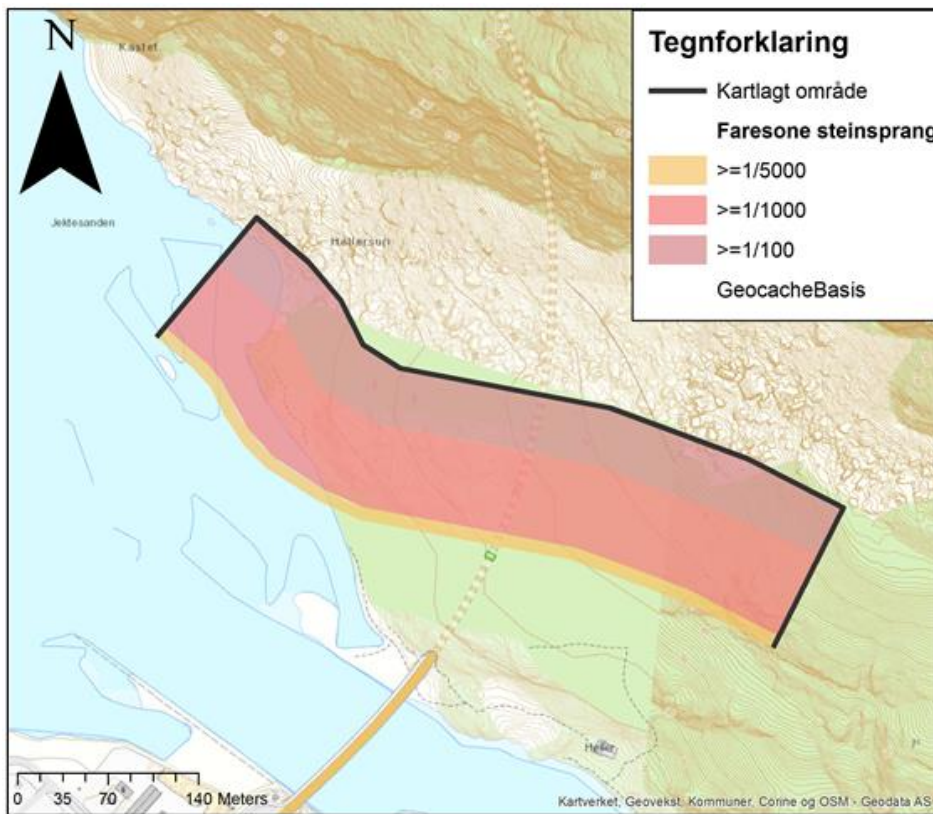
Bø, Lærdal



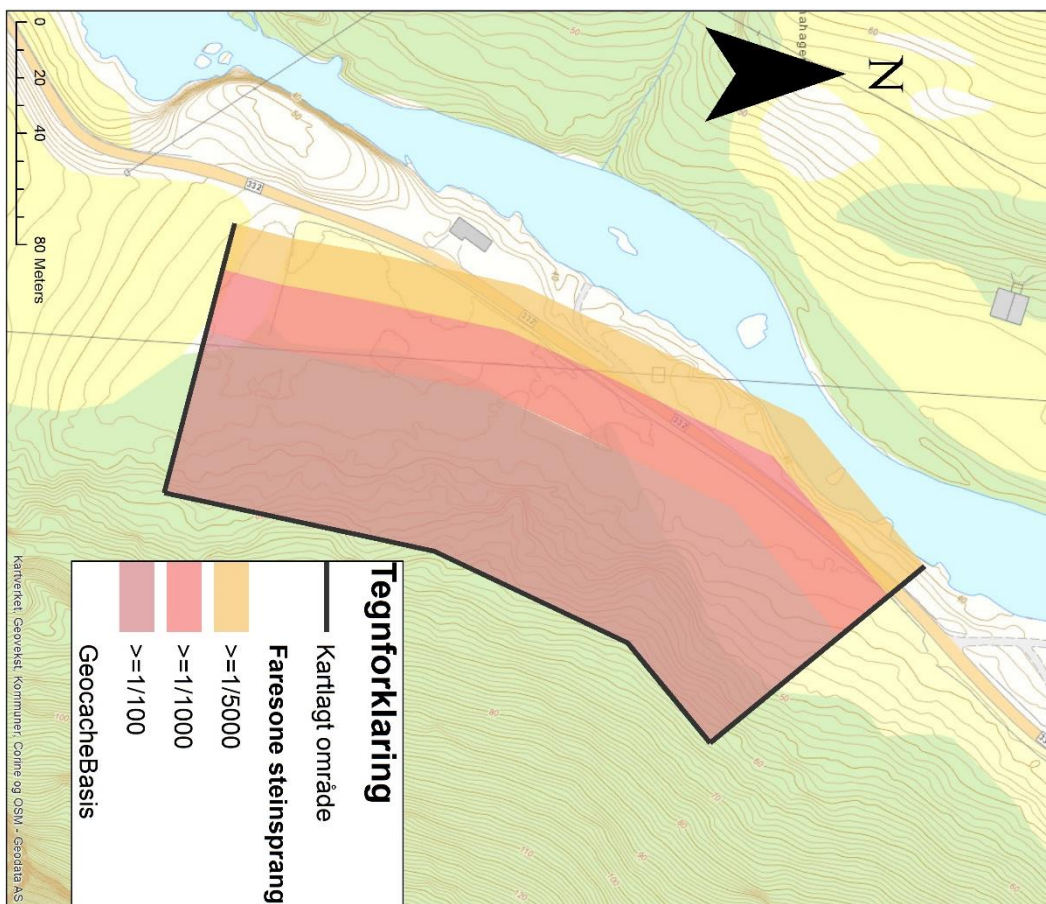
Eråksøyane



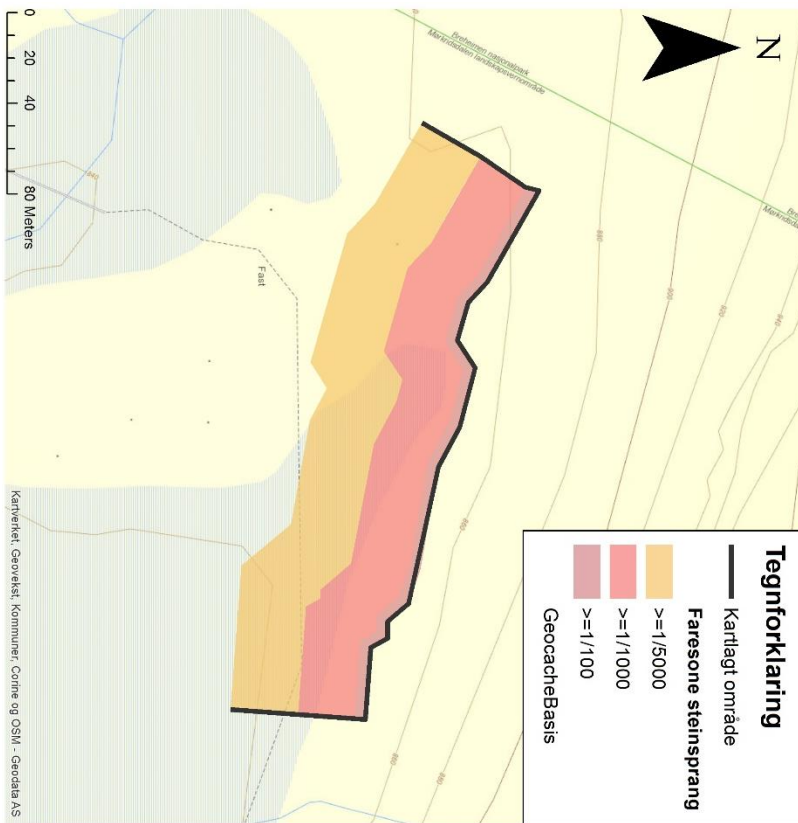
Lærdal Vest



Skagen, Fortun



Fast 1



Fast 2

