

Rapport

Oppdragsgiver: **Bergen kommune**

Oppdrag: **Vurdering av skredfare fra Landåsfjellet**

Emne: **Risiko- og sårbarhetsanalyse
fase II**

Dato: **21. september 2006**

Rev. - Dato

Oppdrag- /
Rapportnr. **611003 - 1**

Oppdragsleder: **Tore Humstad** Sign.: *Tore Humstad*

Saksbehandlere: *for* **Tore Humstad og Unni Hagen** Sign.: *Tore Humstad*

Kontaktperson
hos Oppdragsgiver: **Ulf Sæterdal**

Sammendrag:

Bergen kommune skal utføre en risiko- og sårbarhetsanalyse (ROS-analyse) der skredfare for både bebygde og planlagt bebygde områder inngår. Norges Geologiske Undersøkelse (NGU) utførte fase I av denne ROS-analysen for hele kommunen våren 2006. Som en oppfølging til dette arbeidet har MULTICONSULT utført fase II for fjellsiden vest for Landåsfjellet i Bergen kommune. Dette området hadde NGU pekt på som potensielt skredfarlig.

I fase II er det gjort en gjennomgang av tilgjengelig skredhistorikk, utarbeidet helningskart, utført simulering av vannavrenning og steinspranghendelser, geoteknisk stabilitetsanalyse i tillegg til feltarbeid og studier av flyfoto.

Studier, analyser og simuleringer antyder en viss skredrisiko for bebyggelsen under denne fjellsiden. Det er utarbeidet fotomontasjer som illustrerer lokalisering av risikoområder for uønskede hendelser. Disse er systematisert videre i et risikodiagram med klassifisering av sannsynligheter for og konsekvenser av skredhendelsene. Vår vurdering er at risikoen er høyest for større og mindre steinsprang i fjellsiden. For reduksjon av risiko anbefales det at enkelte lokaliteter sikres mot steinsprang ved hjelp av fanggjerdar og/eller skredvoller. I rapporten gis et forslag til prioritering av disse tiltakene.

Det er ikke gjort funn som tyder på høy risiko for jord- og flomskred. Imidlertid er det gjort funn av noen løsmasseavsetninger som ligger steilt nok til at skred teoretisk sett kan inntreffe dersom andre forhold medvirker til dette. Selv om massene ligger stabilt i dag, vil vi på grunnlag av flere episoder med ekstrem nedbør de siste årene foreslå å gjøre noen supplerende undersøkelser i konkrete avsetninger. Disse kan gi grunnlag for mer presise stabilitetsberegninger og simuleringer. Slike beregninger kan i større grad ta hensyn til eventuelle klimaendringers innvirkning på grunnvanns- og avrenningsforhold. I rapporten gis et forslag til prioritering av disse undersøkelsene.

Slike analyser kan i stor grad effektiviseres med tilgang til godt kartgrunnlag. Det anbefales derfor å prioritere innsamling av høydeinformasjon i skredutsatte områder med mangelfulle høydedata.

Innholdsfortegnelse

1.	Innledning	5
1.1	Bakgrunn for analysen	5
1.2	Analyseobjekt, skredkildeområder og nedbørsfelt	6
1.3	Geologi, klima og vegetasjon	7
1.4	Om rapporten	8
2.	Skred og skredmekanismer	9
2.1	Årsaker til skred	9
2.2	Skredtyper	9
2.3	Utløsningsmekanismer	10
2.4	Stabiliserende faktorer	11
2.5	Virkning av skred på analyseobjektet	11
3.	Metoder	13
3.1	Skredhistorikk	13
3.2	Gradientanalyse	13
3.3	Simulering av vannavrenning	14
3.4	Flyfoto og skråfoto	14
3.5	Feltarbeid	15
3.6	Geoteknisk stabilitetsanalyse	15
3.7	Simulering av steinsprang	16
4.	Resultater	17
4.1	Skredhistorikk	17
4.2	Gradientanalyse	18
4.3	Simulering av vannavrenning	19
4.4	Flyfoto og skråfoto	21
4.5	Feltarbeid	21
4.6	Geoteknisk stabilitetsanalyse	28
4.7	Steinsprangsimulering	29
5.	Ingeniørgeologisk og geoteknisk vurdering av resultatene	31
5.1	Anvendte metoder	31
5.2	Effekt av skogen	31
5.3	Menneskelig påvirkning på naturlige prosesser i skråninger	32
5.4	Skred og klima	32
6.	Risiko- og sårbarhetsanalyse	33
6.1	Uønskede hendelser knyttet til skred	33
6.2	Konsekvensanalyse	33
6.3	Sannsynlighetsanalyse	34
6.4	Risikodiagram	34

6.5	Systematisering av risiko for analyseobjektet.....	35
6.6	Akseptkriterier	36
7.	Forvaltning av resultatene	38
7.1	Risikoreduserende tiltak.....	38
7.2	Planlegging og oppfølging.....	40
7.3	Varsling og evakuering	41
7.4	Videre kartlegging	41
	Referanser.....	42

Tegninger

611003-0 Oversiktskart

611003-1 RocFall profiler

Fotobilag

1. Hele analyseobjektet
2. Område A
3. Område B
4. Område C
5. Område D
6. Område E
7. Område F
8. Område G

Vedlegg

- A) Klimadata fra www.eklima.no
- B) Helningskart
- C) Vannansamlingskart
- D) Utsnitt av flyfoto
- E) Figurer fra analyse i STABIL v3
- F) Figurer fra analyse i RocFall v3.01
- G) Risikodiagram for skredfare fra Landåsfjellet

1. Innledning

1.1 Bakgrunn for analysen

Bergen kommune skal utføre en risiko- og sårbarhetsanalyse (ROS-analyse) der skredfare for bebygde og planlagt bebygde områder inngår. Norges geologiske undersøkelse (NGU) har foreslått for kommunen at denne ROS-analysen for skredfare skal deles inn i tre faser. Første fase består av en grovkartlegging der helningskart og flyfoto brukes sammen med enkle feltbefaringer for å ta ut områder der det potensielt kan være skredfare. Andre fase består av en detaljkartlegging og vurdering av farenivå i de områder som ble pekt ut i første fase. Tredje fase vil være å forvalte resultatene fra andre fase, herunder formidle resultatene og planlegge og gjennomføre sikring, eventuell overvåking og utarbeiding av beredskapsplan.

NGU utførte selv første fase av denne ROS-analysen på oppdrag for Bergen kommune våren 2006 (ref. /1/). Som en oppfølging til denne ble MULTICONSULT, i e-post fra Bergen kommune 31. mai 2006, forespurt å utføre fase II av ROS-analysen for enkelte områder som NGU pekte på som potensielt skredfarlige i fase I. I forespørselen ønskes en vurdering av skredfare og behov for sikring for følgende områder i dalsiden vest for Landåsfjellet i Bergen kommune:

- Kolstien 5-15
- Kolstien 17-43
- Kolstien 43D, E, F samt nye tomter
- Øvre Kolstien 25, 27, 28, 30, 32 og 34
- Kolstien 73-83
- Sollien 138-150

På grunn av at det er store forskjeller mellom de ulike skråningene, og dermed også variasjon i skredtyper og skredfare, har NGU foreslått å klassifisere naturlige skråninger i fire ulike klasser.

Disse er

1. Bratte naturlige skråninger utsatt for steinsprang ($>45^\circ$ og >10 m høye)
2. Lavere naturlige skråninger og menneskeskapte skjæringer utsatt for steinsprang ($>45^\circ$ og <10 m høye) der hus ligger tett inntil
3. Naturlige skråninger med fare for jordskred ($27-45^\circ$)
4. Fyllinger og menneskeskapte skjæringer i løsmasser.

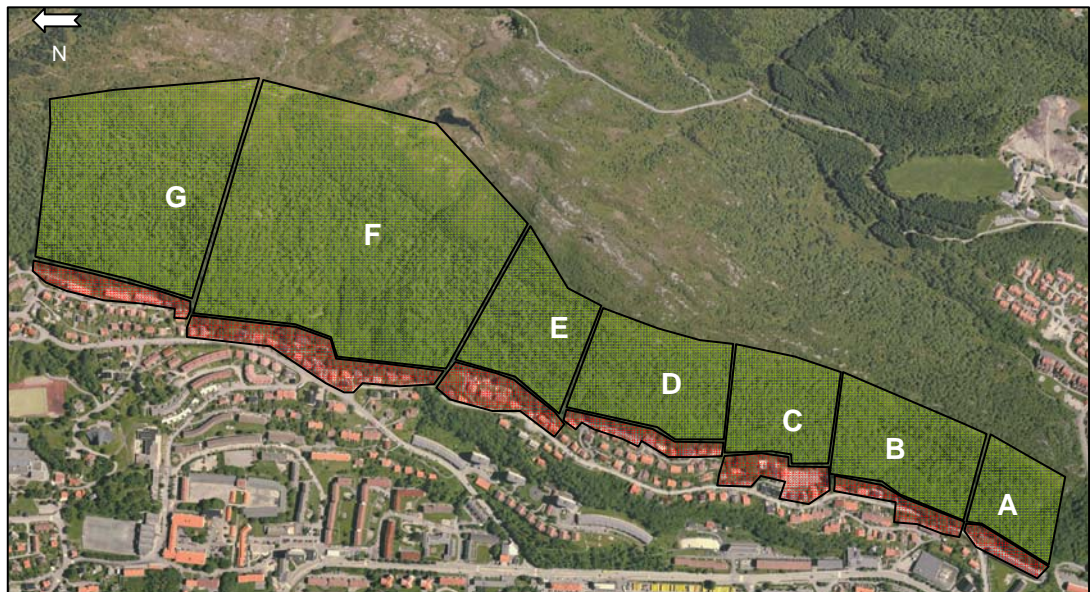
NGU har klassifisert skråningene ved de ovennevnte lokalitetene til å være av type 1 og 3 eller en kombinasjon av disse to. NGU anbefaler derfor at lokalitetene vurderes nærmere for steinsprang og jordskred.

1.2 Analyseobjekt, skredkildeområder og nedbørsfelt

Med bakgrunn i bestillingen og gjennom samtaler med oppdragsgiver underveis ble det besluttet å utføre en risiko- og sårbarhetsanalyse for skredfare for et noe utvidet område. Hele dalsiden mellom Landåsfjellet i øst og bebyggelsen vest inngår nå i denne utvidete analysen (se tegning 611003-0). Dette svarer nærmere bestemt til bebyggelsen langs Kolstien, Øvre Kolstien, midtre del av Landåslie og sørlige del av Sollie. Nordre begrensning er bekken som kommer ned fra Øvre Landåsdal (ved Sollie 138) og søndre begrensning er bekken som kommer ned fra Kolstiskardet (ved Kolstien 5). Dette utgjør en strekning på om lag 2,1 km.

Analyseobjektet i denne fase II av ROS-analysen omfatter dermed bebyggelsen som ligger direkte eksponert mot den avgrensede delen av fjellsiden samt utomhusareal og veier som ligger i tilknytning til denne bebyggelsen. Til analyseobjektet er det definert et tilhørende potensielt skredkildeområde som i dette tilfellet er hele fjellsiden mellom bebyggelsen (120-170 moh) til toppen av fjellryggen ved Landåsfjellet (240-400 moh).

For oversiktens skyld er analyseobjektet delt i sju delområder med sju tilhørende skredkildeområder (område A-G). Disse områdene er vist i figur 1 og i fotobilag 1.



Figur 1. Analyseobjektet er definert av bebyggelsen som er eksponert mot fjellsiden vest for Landåsfjellet. Dette er delt i sju delområder (rød skravur) med sju tilhørende potensielle skredkildeområder (grønn skravur).

Analyseobjektet og skredkildeområdene utgjør til sammen om lag 550 daa. Nedbørsfeltet som drenerer ned mot analyseobjektet utgjør til sammen om lag 850 daa. Dette inkluderer både fjellsiden ned mot bebyggelsen og myrer og søkk oppe på Landåsfjellet.

Analyseobjektet består av følgende delområder:

Område A:

Kolstien 5-15 og Kolstien 17 med tilhørende utomhusareal.

Område B:

Sofus Madsens veg 7, 9 og 11 og Kolstien 25, 27, 29 og 33 med tilhørende utomhusareal samt vegen mellom Kolstien 17 og 33.

Område C:

Kolstien 35, 37, 39, 41a-c, 43a, 43d, 43e og 43f, 45a og 45b med tilhørende utomhusareal, nye tomter (Kolstien 43 a-c) med tilkomstveg og vegen mellom Kolstien 35 og 45.

Område D:

Øvre Kolstien 2/4, 9/11, 13/15, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34 med tilhørende utomhusareal, vegen mellom Øvre Kolstien 2/4 og 34 samt enkelte garasjebygg oppført på oversiden av vegen.

Område E:

Kolstien 71 og 73 med tilhørende utomhusareal og lekeplass. Kolstien 77, 79, 81 og 83 med tilhørende utomhusareal, tilkomstveg og tilhørende garasjebygg oppført på oversiden av vegen. Kolstien 85a og 85b og vegen mellom Kolstien 71 og 85.

Område F:

Kolstien 93, 95, 97, 99, 101/103 med tilhørende utomhusareal og vegen mellom Kolstien 85 og krysset mot Landåslie. Landåslie 41, 43, 45A, 45C, 45D, 47, 49, 51, 53, 55, 57, 63, 65 med tilhørende utomhusareal og vegen mellom Landåslie 41 og 65.

Område G:

Sollie 138, 144, 146, 150, 156 med tilhørende utomhusareal og vegen fra krysset mellom Øvre Sollie og Sollie til Sollie 155.

1.3 Geologi, klima og vegetasjon

Berggrunnen i området består i hovedsak av båndet gneis, glimmerskifer, kvartsittskifer og grønnskifer med strøkretning parallelt med fjellsiden. Bergmassens lagdeling er markert og faller steilt og stedvis overhengende (ref. /2/). Svakhetssoner skjærer bergartens hovedstruktur i øst-vestretning og bidrar til enkelte avlastede blokker og flak i overflaten. Bergartenes struktur bidrar til markerte ujevnheter i fjellsiden, med terrasser som delvis holder igjen skredmasser og forvittringsjord.

Det er generelt lite løsmasser i området. Kvartærgeologisk kart (ref. /3/) over området angir bart fjell med noe skredmateriale. Observasjoner fra tidligere oppdrag viser at det i tillegg finnes noe overkonsolidert morene samt lommer av organisk jord innimellom skredmaterialet. Skredmaterialet er preget av bergartenes foliasjon ved at blokkene i hovedsak har en flakig form. Marin grense (høyeste havnivå etter siste istid) ligger i Bergen så lavt som om lag 50 m o.h., og det finnes derfor ikke marine sedimenter i det aktuelle området vest for Landåsfjellet.

Med bakgrunn i mye oppmerksomhet i samfunnsdebatten de siste årene om klimaendringer og en forventning om mer ekstremvær, har det i mediene vært mye fokus på skred og skredhyppighet. Forskere synes å være enige om at vi må forberede oss på mer ekstreme vær-situasjoner i framtiden. Vi tar i denne rapporten ikke stilling til hvilken skredfrekvens vi må forvente på grunnlag av klimaendringer, men vi tar til etterretning at mer ekstremvær nødvendigvis vil føre til at flere skred vil bli løst ut og at klimadata vil være viktige inngangsparametere både for å forutsi skredfare og for å forstå hvorfor skredene går.

For skredfare er nedbørsintensitet og frekvensen på fryse- og tinesykluser den viktigste klimainformasjonen. Den værstasjonen som ligger nærmest Landåsfjellet er 50540 Bergen/Florida som ligger 12 m o.h. Klimanormaler hentet fra Meteorologisk institutts klimadatabase (www.eklima.no) for denne stasjonen viser at nedbørsintensiteten er størst i perioden september – november og at gjennomsnittstemperaturen er lavest i månedsskiftet januar/februar. Ingen av middeltemperaturene for noen av månedene ligger under 0 °C, men siden området vest for Landåsfjellet ligger 200-400 m høyere, er det rimelig å anta at middeltemperaturen vil ligge nært 0°C i perioden desember – februar/mars. Værdata for Florida er gjengitt i vedlegg A.

Vegetasjonen i området over Kolstien er særlig i sør preget av edelløvskog som er gunstig eksponert mot vest. Slike skoger ligger ofte ved foten av høye fjellsider, særlig der berggrunnen er skifrig slik som vest for Landåsfjellet. Jordsmonnet er dannet på rasmateriale med innslag av forvittringsjord stedvis mellom bratte oppstikkende berghamrer. I skogbunnen finnes bregner, urter og gras (ref. /4/).

Over nordlige deler av Kolstien, midtre del av Landåslie, samt noen steder over sørlige del av Sollie finnes felt av plantet granskog mellom løvskogen. Denne granskogen ble sannsynligvis plantet på 1950- og 60-tallet. I bunnsjiktet er det generelt tynt med vegetasjon med unntak av moser.

1.4 Om rapporten

I denne rapporten gis en kort introduksjon til skred og skredmekanismer, valg av metoder og resultater av undersøkelsene. Disse resultatene drøftes og vurderingene benyttes videre i en systematisert risiko- og sårbarhetsanalyse for skredfare. Til slutt gis våre forslag til hvordan en kan gjøre analyseobjektet (bebyggelse, utomhusareal og veger) mer robust i forhold til skredfare.

2. Skred og skredmekanismer

2.1 Årsaker til skred

For at det skal gå skred må det for det første finnes skredfarlig materiale. For det andre må terrenget være tilstrekkelig bratt til at skredet kan løsne og utvikle seg. For det tredje må en utløsningsmekanisme sette materialet i bevegelse. Disse mekanismene er ofte knyttet til ekstreme situasjoner som endrer stabiliteten i massene.

2.2 Skredtyper

De ulike skredtypene er et resultat av ulike geologiske materialer som forekommer i helninger med ulik steilhet og som kan bli utløst av ulike mekanismer.

2.2.1 Fjellskred og steinsprang

Skred fra fast fjell kan sorteres i kategoriene fjellskred som er større bergstykker ($>1000 \text{ m}^3$ skredmasse) som løsner fra fjellsider, og steinsprang som er mindre steiner som løsner i bratthengene. Vi har i denne rapporten skilt mellom store ($100\text{-}1000 \text{ m}^3$), mellomstore ($10\text{-}100 \text{ m}^3$) og små ($<10 \text{ m}^3$) steinsprang. Denne grensegangen kan være noe kunstig da større blokker, særlig fra forvitret og lagdelt fjell, kan dele seg undervegs slik at bare enkelte stykker raser videre mens andre stykker blir liggende igjen langt oppe i rasbanen. Denne effekten vil bli tatt hensyn til i klassifisering av konsekvenser av skred i ROS-analysen.

Steinsprang trenger ikke nødvendigvis løsne bare fra fast fjell. Også løse enkeltblokker som ligger i urer og lier kan rase videre dersom de blir utsatt for en ny og/eller annen utløsningsmekanisme.

Fjellskred vil i mindre grad enn steinsprang bli bremsset opp av ujevnheter og vegetasjon langs skredbanen, iallfall dersom utraste blokker ikke deler seg i små deler. Konsekvensen vil ofte være en lengre utløpsdistanse for fjellskred enn for mindre steinsprang.

Steinsprangvifter har vanligvis en rasvinkel på om lag $40\text{-}45^\circ$. Det vil si at bergskrenter og løsmasseskråninger normalt må være steilere enn 45° for at fjellskred eller steinsprang kan forekomme. Dette avhenger imidlertid av både terrengforhold og formen på steinblokkene. Flakige steinblokker som ligger i urene er vanligvis mer stabile enn rundere blokker.

2.2.2 Jordskred

Jordskred er masser av stein, grus, sand og jord med varierende innhold av vann som kommer i bevegelse. Vannrike jordskred langs mindre og større vassdrag blir ofte kalt flomskred. Disse blir i denne rapporten skilt ut som en egen skredtype.

Jordskred blir oftest utløst i forbindelse med store nedbørsmengder over kort tid eller i kombinasjon med rask avrenning ved snøsmelting eller regnfall på delvis frossen jord. Jordskred utløses normalt i skrånninger med en gradient over 30° , men i områder uten skog kan det utløses jordskred i skrånninger som er ned mot 25° .

Jordskred opptrer i fjellsider med større eller mindre lommer av løsmasser. Aktuelle løsmasser i undersøkelsesområdet er morene eller forvittringsjord som består av varierende innhold av humus, torv, bergartsfragmenter og skredmateriale.

I det aktuelle området ved Landåsfjellet vil et bidrag til redusert jordskredfare være den ujevne bergoverflaten under de skrinne løsmassene. Videre vil rotsystemet i både den naturlige og den plantede skogen bidra til å holde løsmassene sammen i topplaget. Stor fasthet i jordlagene er som regel en fordel, bortsett fra situasjoner der grunnvann trenger inn under tette topplag og bygger opp høyt vanntrykk nedenfra (artesiske vanntrykk).

Av andre prosesser i løsmasser kan nevnes sakte bevegelser som jordsig og solifluksjon. Førstnevnte er en sakte krypbevegelse der tele løfter de øverste løsmassene normalt på overflaten ved frysing, mens tyngdekraften trekker de samme massene vertikalt ned ved tining. Resultatet av dette kan ses for eksempel som en bøy nederst på trestammene. Solifluksjon er bevegelse av tinede og vannmettede jordlag på toppen av frosset jord (tele eller permafrost). Sistnevnte er lite aktuelt for dagens klima i Bergen.

2.2.3 Flomskred

Flomskred trekkes i denne rapporten ut som en egen skredtype og defineres her til å gjelde skred i løsmasser rundt definerte eller nye bekke- og elveløp som resultat av ekstrem vannføring. Denne vannføringen bidrar under stigning av vannstanden til sterk nedsettelse av fastheten i de aktuelle løsmassene som raskt kan bli ustabile når en ytterligere økning i vannstanden bidrar til en slags spylingseffekt.

2.2.4 Kvikkleireskred

Kvikkleireskred kan gå ved påvirkning av kvikk marin leire for eksempel ved grave- og fyllingsarbeider. Kvikkleireskredene skiller seg fra jordskred ved at de kan løses ut i nesten flatt terreng ved at strukturen i leirmineralene bryter sammen og massene får en nærmest væskelignende konsistens. Slike skred forekommer i kvikkleireområder som ligger under marin grense. I Norge er de mest vanlige i Trøndelag og på Østlandet hvor disse grunnforholdene er hyppigst forekommende. Marin grense i Bergen ligger omtrent på 50 m o.h., og kvikkleireskred er derfor ikke en aktuell problemstilling i denne rapporten.

2.2.5 Snøskred

Snøskred skiller seg fra de andre skredtypene ved at skredmaterialet endrer seg fra år til år avhengig av snømengder, formen på snødekket, vind og temperatur. Snøskred kan deles inn i flakskred, tørre og våte løssnøskred, vannmettede sørpeskred og utfall av snøskavler. I utgangspunktet vil dagens klima i Bergen og den tette skogen i området omtalt i denne rapporten tilsi generelt begrenset snøskredfare. Dersom en i fremtiden får større snømengder kan det ikke utelukkes at snøskred kan forekomme fra tid til annen, selv om det er svært lite sannsynlig at slike skred skal kunne nå bebyggelsen. Snøskredfare vil derfor ikke bli nærmere vurdert i denne analysen.

2.2.6 Isras

Isras kan forekomme ved mildvær som etterfølger en lengre kuldeperiode. Risikoen for dette er størst i nærheten av fosser og ved fuktige fjellskjæringer, og denne skredtypen blir ikke nærmere vurdert i denne analysen.

2.3 Utløsningsmekanismer

Utløsningsmekanismer for skredtyper som er aktuelle for denne rapporten kan være situasjoner som er beskrevet i det følgende:

- Ekstremnedbør eller kraftig snøsmelting som gir ekstrem avrenning og økt grunnvannstilsig. Avrenningen kan føre til skred rundt bekke- og elveløp og utvasking langs nye vannveger, mens økt grunnvannstilsig kan gi nedsetting av fastheten i jordarter og oppbygging av vanntrykk langs lagdelingsflater i løsmasser og på sprekkeflater i berg.
- Vannansamlinger for øvrig, som oppstår ved overbelastning eller tetting av naturlige bekke- og elveløp og grøfter kan føre til at nye vannveger dannes og at løsmasser som er stabile i utgangspunktet blir ustabile. Dette kan skje f.eks. ved at greiner, kvister og blader legger seg mot innsnevninger i bekkeløpene eller mot bruer, rør og gjerder og tetter de naturlige vannvegene.
- Fryse- og tineprosesser som på grunn av at vann utvider seg ved frysing kan gi store trykk på sprekkeflater i bergmassen samt blokkbevegelser og jordsig i de øvre jordlagene som er utsatt for tele. Særlig ugunstig for fjellskred og steinsprang er situasjoner der frost etterfølges av rask tining og kraftig nedbør. Ved frostperioder kan nemlig vann som fyser tette dreneringskanalene, slik at rennende vann i etterfølgende mildværsperioder blokkeres av isen. Slik kan det bygges opp vanntrykk på sprekkeflatene.
- Menneskelig aktivitet kan være utløsende enten ved at turgåere kan komme i skade for å sette løse enkeltblokker i bevegelse og dermed forårsake mindre steinsprang, eller ved at graving, fylling og eksempelvis vegbygging og etablering av stier forstyrrer grunnvannsnivået, de naturlige vannvegene og stabiliteten generelt.
- Rotsprengning kan forårsake mindre steinsprang ved at røtter som vokser ned i sprekkeflater kan øve press på flatene og presse ut flak og mindre fragmenter.
- Jordskjelv kan utløse både steinsprang og jordskred.
- Langvarig forvitring av løsmasser og bergmasse kan bidra til sakte men gradvis nedsettelse av stabiliteten og nedsettelse av løsmassenes permeabilitet. Særlig kan kjemisk forvitring av foten av større bergstykker bidra til en sakte men sikker stabilitetsreduksjon. Imidlertid må ofte en av de andre mekanismene inntreffe før et ras eventuelt går.

Siden steinsprang, jordskred og flomskred er de mest aktuelle risiki for undersøkelsesområdet i denne rapporten, vil de mest aktuelle utløsningsmekanismene være de som mest sannsynlig kan bidra til at disse skredene forekommer. Disse vurderer vi hovedsakelig vil være ekstrem nedbør, vannansamlinger samt fryse- og tineprosesser. Jordskjelvaktivitet vil være mindre aktuelt på grunn av det beskjedne omfanget. Skredutløsning etter menneskelig aktivitet vil være mest aktuelt dersom det utføres grave- og fyllingsarbeider eller andre inngrep i den naturlige fjellsiden.

2.4 Stabiliserende faktorer

Som skredmotvirkende og stabiliserende faktorer er ujevnheter i terrenget og i bergoverflaten, skogens beskaffenhet og dreneringsmulighetene de viktigste faktorene.

2.5 Virkning av skred på analyseobjektet

Analyseobjektet består av boliger, utomhusareal og veger, samt mennesker og materiell som oppholder seg i disse områdene. Risikoen for de ulike elementene vil ha ulik størrelse fordi de ulike elementene har ulik sårbarhet.

Menneskelig oppholdstid er naturlig nok lengst inne i boligene, mens oppholdstiden langs vegene totalt sett er mye kortere. Videre er det lite sannsynlig at turgåere kan bli rammet av skred, da fjellskred og steinsprang går i bratte og utilgjengelige områder, mens jordskred oftest går i dårlig vær når sjansen for at turgåere er tilstede er minst. Oppholdstiden i utomhusarealet vil være lengst når været er godt og stabilt samtidig som rasfaren i disse periodene vanligvis er minst.

Vi antar at hovedbekymringene for negativ virkning på mennesker derfor vil være knyttet til større ødeleggende skred som treffer boliger om natten, og skred som treffer biler og busser som trafikkerer på vegene. Størst negativ virkning på materielle verdier vil på samme måte være knyttet til store ødeleggende skred som treffer boligene, og i noen grad til ødeleggelse av garasjer, parkerte kjøretøy og veger.

3. Metoder

Med bakgrunn i kjennskap til undersøkelsesområdet, forventede potensielle skredhendelser og tilgjengelig historikk og programvare er det gjort et utvalg av metoder for vurdering av skredfare. Disse er en gjennomgang av skredhistorikk, gradientanalyse av helninger i fjellsiden, simulering av vannavrenning i nedbørsfeltet, studier av flyfoto og skråfoto. Disse metodene har gitt grunnlag for innsats i felt. Observasjoner fra felt har videre sammen med tilgjengelig kartgrunnlag gitt utgangspunkt for en geoteknisk stabilitetsanalyse av utvalgte typiske løsmasser og steinsprangsimulering langs utvalgte profiler.

3.1 Skredhistorikk

Fra MULTICONSULTs egen oppdragsdatabase har vi funnet fram informasjon fra skredhendelser og sikringstiltak som NOTEBY AS har vært engasjert i.

Aktuelle skredhendelser:

- 22/11-1998: Fjellskred ved Kolstien 77-81 (ref./5/)
- 25/12-1998: Fjellskred ved Kolstien 27 (ref./6/)

Vurdering av sikringstiltak:

- Januar 1987: Sikring av Kolstien 27 (ref./7/)
- Juli 1987: Sikring av Kolstien 43 (ref./8/)
- November 2000: Kolstien 43 (ref./9/)

På Skrednett (www.skrednett.no) er det kun registrert én skredhendelse i det aktuelle området. Dette skredet ser ut til å sammenfalle med det ovennevnte skredet ved Kolstien 27.

3.2 Gradientanalyse

I samarbeid med Norkart AS og det utført en gradientanalyse som viser helningen i de ulike deler av de undersøkte skredkildeområdene. Analysen baserer seg helt og fullt på avstanden mellom og verdiene til høydekonturene i tilgjengelig kartgrunnlag og representeres gjennom fargekodete trekante i kartet. Nøyaktigheten vil være tilsvarende som nøyaktigheten på kartgrunnlaget. Tilgjengelig kartgrunnlag er kvalitetsmessig varierende og begrenset trolig på grunn av at kartproduksjonen stedvis har vært hindret av tett skog på benyttede flyfoto. Det vil derfor være store variasjoner i nøyaktigheten på helningskartet. Helningskartet for fase II har fått en finere oppløsning enn helningskartet for fase I (ref. /1/).

Analysen er gjennomført for å planlegge feltarbeidet ved å plukke ut deler av fjellsiden hvor det kan være fare for de ulike typer skred, identifisere mulige skredbaner og oppbremsingsområder. De utvalgte klassene er gjengitt i tabell 1.

Tabell 1: Helningsklasser benyttet i gradientanalysen

Helningsvinkler	Begrunnelse
> 45°	Områder der fjellskred og steinsprang normalt kan løsne
38 – 45°	Typisk skredbane for steinsprang og fjellskred. Potensiell jord- og flomskredfare dersom det finnes masser.
30 – 38°	Typisk løснеområde for flomskred og jordskred i vegetert område. Oppbremsingsområde for steinsprang
25 – 30°	Jordskredfare i masser med lite eller ingen vegetasjon
20 – 25°	Oppbremsingsområde for jord- og flomskred.
< 20°	Normalt ingen skredfare, men sakte krypbevegelser kan forekomme

3.3 Simulering av vannavrenning

Det er også utført en simulering av vannavrenning og –ansamlinger. Dette er utført etter en metode som er under utvikling av Norkart AS og Powersim Software AS, hvor førstnevnte leverer GIS-applikasjon mens sistnevnte utvikler simuleringsverktøyet. MULTICONSULT har samarbeidet med selskapene og gitt geofaglige innspill til prosessen.

I dette arbeidet er det benyttet en testversjon av programvaren *Powersim Studio* som baserer seg på terrengformene og foreløpig ikke på terrengoverflatens beskaffenhet. Testversjonen må sees på som en forenkling av virkeligheten og slik sett vil den fungere som én av flere metoder.

Som input til simuleringen ble det besluttet å se på ekstremnedbør til nedbørsfeltet for hele analyseobjektet. Dette omfatter arealet som drenerer ned mot bekker og tjern på toppen av Landåsfjellet som igjen drenerer ned mot analyseobjektet. I tillegg kommer naturligvis nedbør som faller i selve fjellsiden.

Som inngangsdata er benyttet værdata fra nedbørsperioden i september 2005. I denne perioden (14/9) gikk et jordskred ved Hatlestad terrasse i Bergen kommune hvor tre personer mistet livet. Nedbøren i denne perioden må anses som ekstrem, og den fungerer derfor som et eksempel på en ekstrem situasjon som kan gi rasfare også andre steder. Værstasjonen Bergen/Florida er den som ligger nærmest analyseobjektet, og data fra denne er benyttet direkte i simuleringen.

I de siste 30 dagene før raset gikk ble det på Bergen/Florida målt en gjennomsnittlig nedbør på 12,3 mm/døgn de 21 dagene hvor det var nedbør. I ni av dagene ble det ikke registrert nedbør i det hele tatt. De siste dagene før 14. september er det relativt lite nedbør. Ekstremnedbøren kom natt til 14. september. Denne ble på Bergen/Florida målt til 156 mm på ett døgn. I simuleringen er det lagt inn en topp i løpet av dette døgnet der det antas at 100 mm kom i løpet av fire timer. Nedbørsmengdene for Florida høsten 2005 er gjengitt sammen med øvrige klimadata i vedlegg A.

3.4 Flyfoto og skråfoto

Flyfoto er benyttet i første omgang for å dele opp analyseobjektet i praktiske enheter. Til dette er benyttet Bergen kommunes flyfoto som ligger ute på Hordaland fylkeskommunes karttjeneste på nett. Hele analyseobjektet er skissert på et slik flyfoto i fotobilag 1.

Da disse bildene er tatt sommerstid mens vegetasjonen var tett er det vanskelig å trekke ut nyttig geologisk informasjon ut av dem. Det ble derfor i samarbeid med Mercator Kart AS bestilt skannede flyfoto av en bildeserie fra 1951 fra sentralarkivet. Disse bildene ble bestilt med en forventning om mindre skog og plantefelt i skråningen samt åpnere beiteområder. Bildene ble studert stereografisk for å kunne identifisere landformer og geologiske avsetninger.

Som en del av arbeidet med denne rapporten ble også hele fjellsiden under Landåsfjellet fotografert med telelinse fra Løvstakken på motsatt side av Bergensdalen. Fotobilag 2-8 viser hele analyseobjektet.

3.5 Feltarbeid

Med bakgrunn i resultatene fra ovennevnte metoder, og delvis parallelt med disse prosessene, ble det utført feltarbeid i de mulige skredkildeområdene i august 2006.

De aktuelle områdene var noe utilgjengelige på grunn av tett skog, bratte skrenter, løse blokker og løse jordlag. Det var derfor ikke mulig å befare hele området innenfor avsatt tid. Det ble vurdert å bruke klatreutstyr for å få bedre oversikt i de øverste bratthengene, men dette ble forkastet ut fra en kost/nytte-vurdering.

Feltarbeidet tok foruten egne metoder også utgangspunkt i etterspurte avklaringer i rapporten fra fase I (ref. /1/)

3.6 Geoteknisk stabilitetsanalyse

I fjellsiden finnes både finstoffrik morene og skredmateriale med forvittringsjord. Disse avsetningene har ulike materialegenskaper. Sistnevnte finnes ofte som konvekse vifter i terrenget, mens førstnevnte ofte ligger mer jevnt fordelt i groper og søkk mot berggrunnen. Grunnvannet står vanligvis høyere i morene enn i skredvifter. Dette henger blant annet sammen med at skredmaterialet relativt sett har den største vannledningsevnen (størst hydraulisk konduktivitet), og vannet renner lettere gjennom massene uten at grunnvannet stiger. Slik sett vil grunnvannsstigning opp mot terrengoverflaten forekomme oftere i en morene, mens det må en stor flom til for en tilsvarende grunnvannsstigning i skredmaterialet. Tilsvarende vil en grunnvannsstigning ha større stabilitetsmessige konsekvenser i skredmaterialet enn i morenen.

Ut fra observasjoner fra felt og ovennevnte metoder ble det valgt ut et profil fra tilgjengelig kartgrunnlag for en generell geoteknisk stabilitetsanalyse og kontroll mot jordskredfare. Profilet tilsvarende profil F1 i vedlagte tegning 611003-1. Dette profilet er valgt ut fordi det i dette området antas å være størst løsmassemektighet og også fordi dette området ut fra terrengformen gir størst potensial for vannansamling.

Område F (fotobilag 1) er bratt og inneholder begge de ovennevnte løsmassematerialene. Analysen baserer seg på typiske data for morene. Det er ikke utført sonderinger eller prøvetakinger som bekrefter at morenen er overkonsolidert, men tidligere erfaringer fra Kolstien underbygger denne antagelsen. Den delen av profil F1 hvor det antas å ligge mest løsmasser har en helning på 34° øverst (fra kote 285) og 28° lenger nede (kote 225). Løsmassene er i de nedre delene formet som en vifte og vil kunne danne flere dreneringskanaler i terrenget ved flom. En opparbeidet sti med murer slynger seg oppover et åpent gressbevokst område bak boligene ved Kolstien 93-103 og Landåslie 45-53. Dette er trolig tidligere beite- og slåttemark.

I analysen er programvaren *Stabil v.3* (ref. /11/) benyttet. Dette er utviklet av MULTICONSULT for stabilitetsvurderinger av skråninger. Programmet baserer seg på grenselikevektmetoden eller lamellemetoden. Materialkoeffisienter for sikkerheten mot utglidning for valgte skjærflater i skråningen blir kontrollert.

For dette tilfellet er det på bakgrunn av erfaringer for morene valgt følgende materialparametere:

Attraksjon $a = 10 \text{ kPa}$

Friksjonsvinkel $\phi = 42^\circ$ ($\tan \phi = 0,90$)

Attraksjonsdelen kan variere svært mye i morene avhengig av forkonsolidering og korngradering. For svært overkonsolidert og finstoffholdig morene i Bergensområdet, gjerne kalt "Bergensleire", kan attraksjonen bli flere titalls ganger den valgte verdien.

Det er ventet at grunne glideflater er mest realistisk i dette tilfellet på grunn av antatt liten løsmassemekktighet og på grunn av typen løsmasser i området. Beregningsmessig er fjelldybden lagt til 10 meter under terreng, og denne virker derfor ikke inn på skjærflatene. To ulike tilfeller av grunnvannsstand er benyttet i beregningene: (1) tørt jordmateriale og (2) et ekstremtilfelle med grunnvannsnivået lagt opp mot terrengnivå.

3.7 Simulering av steinsprang

Det er valgt ut i alt 10 profiler langs skredkildeområdene over analyseobjektet for simulering av steinsprang i programvaren *RocFall v3.01* (ref. /12/). Profilene ligger alle i terreng der det finnes bratte, steile bergskrenter som kan være potensielle løснеområder for steinsprang. Det er observert urmasser og/eller andre tegn til nyere eller eldre steinsprangaktivitet i alle disse områdene. I noen av områdene finnes relativt ferske spor etter større eller mindre steinsprang. Profilene vises i plan på tegning 611003-1. For alle disse profilene er det kjørt steinsprangsimulering unntatt for profil F1 som er omtalt i forrige avsnitt.

Terrengprofilene er framstilt fra digitalt kartgrunnlag. Nøyaktigheten er begrenset i store deler av lia, på grunn av manglende innmåling i de tette vegeterte deler av arealet. Det ser ut til at kartgrunnlaget fra Bergen kommune har ulike tilnæringer til koteoppteigning, da kartlag med 5 m ekvidistanse i stor grad viser glatte, interpolerte koter, mens kartlag med 1 m ekvidistanse viser et antatt mer realistisk koteforløp der avstandene også varierer mer. Vi har også sammenliknet med et eldre rasterkart fra økonomisk serie (M 1:5000) for om mulig å inkludere flere detaljer i terrengoverflaten. De endelige profilene er til dels justert i henhold til dette kartgrunnlaget.

Alle simuleringene er for sammenlikningens skyld utført med samme inndata for steinsprangstørrelse og bevegelseskarakteristikker. Det er forutsatt en steinstørrelse på 1000 kg. Det er lagt inn en vertikal og en horisontal komponent på 0,5 m/s, og en rotasjon på 0 rad/s som utgangshastighet i løsnøyeblikket. Energitap som følge av støt og rotasjon undervegs i skredbanen er betraktet. Det er lagt inn egenskaper for de ulike og reelt observerte terrengtypene langs profilene. Dette er egenskaper knyttet til bar bergoverflate, oppstikkende berg, skredvifter med og uten vegetasjon og vegeterte lier for øvrig. Metoden gir noe konservative resultater fordi den i begrenset grad tar høyde for effekten av oppbremsing når steiner treffer trestammer i skogen. Hver simulering omfatter 50 steinspranghendelser.

4. Resultater

I dette kapitlet presenteres resultatene av de utførte metodene.

4.1 Skredhistorikk

De største skredene vi kjenner til er tidligere omtalt av NOTEBY AS (ref. /5/ og /6/). Disse gikk med 33 dagers mellomrom senhøsten 1998.

Det første var et 100 m³ stort steinskred fra en 10 m høy fjellskrent 20 m øst for tilkomstvegen ved Kolstien 77 og 79. Skredet inntraff 22/11-98 etter en dag med sterk nedbør som kom etter at det i forvegen hadde vært noen dager med frost. Øyenvitner observerte store vannmengder som skylte ned fjellsiden etter at raset gikk. Det antas at årsaken til skredet var langvarig forvitring langs dalsideparallell oppsprekking i en steil helning der utløsningsmekanismen var oppbygging av vanntrykk som følge av at normalt åpne og veldrenerte sprekkeflater var blokkert med is fra den foregående frostperioden. Mesteparten av skredmassene stoppet opp i fjellsiden mellom løsneområdet og vegen, men noen masser nådde vegen og skadet en parkert bil. Massene ble ryddet av vegen og NOTEBY AS vurderte at den kortsiktige risikoen for beboerne var tilstrekkelig lav til at beboerne kunne flytte inn igjen. Det ble imidlertid anbefalt at en på lang sikt burde øke rassikkerheten i området ved å anordne skredmassene til en 2 m høy voll, samt renske og boltesikre skrenten øverst mot løsneområdet (ref /5/). MULTICONSULT anbefalte senere, etter en mindre utglidning 27. mars 2006, at vollhøyden burde være noe høyere lengst nord, og at det fortsatt var behov for rensk og bolting (ref. /10/). Når foreliggende rapport skrives er sikringsarbeidene ikke ferdigstilt.

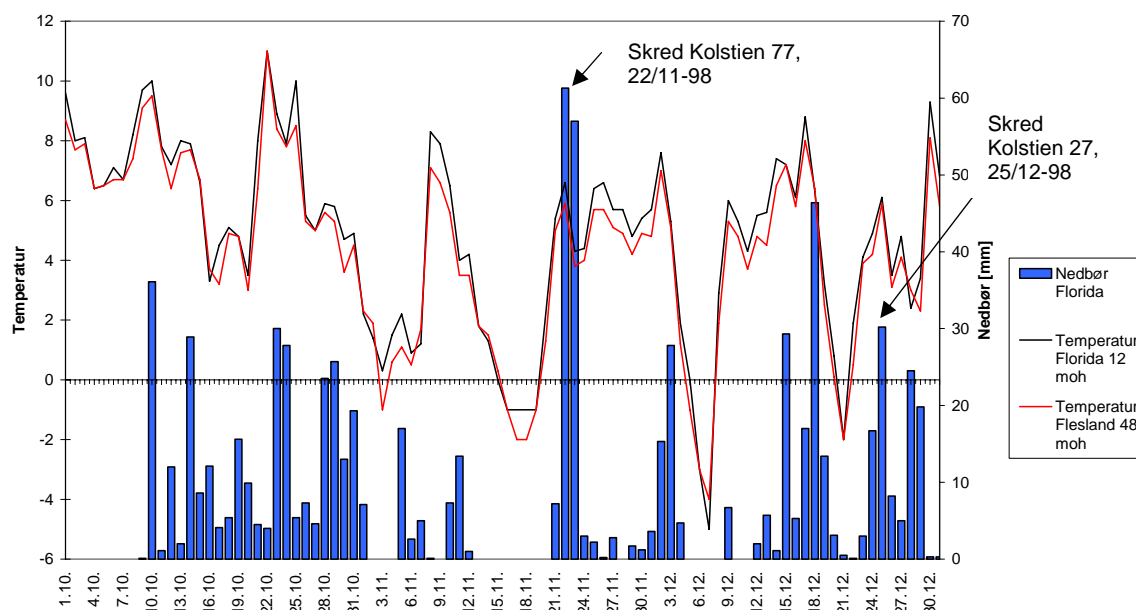
Det andre skredet løsnet i en fjellskrent 25/12-98 ca 100 m over Kolstien 27. Dette ble beregnet til å være 50 m³ stort. Også dette raset gikk langs forvitningsflater i bergmassen etter at relativt kraftig regnvær etterfulgte noen dager med frost og tining. Mesteparten av rasmassene ble liggende igjen på en utflating i terrenget mellom løsneområdet og boligen, men to blokker på til sammen 1 m³ nådde en rassikringskonstruksjon i utomhusarealet ved Kolstien 27 (ref./6/). Beboerne ble evakuert etter skredet, men ingen personer kom til skade og skadene på boligen var få og små. Faren for nye skred på kort sikt ble vurdert til å være tilstrekkelig lav til at beboerne raskt kunne flytte inn i boligen igjen. Sikringskonstruksjonen var på forhånd vurdert av NOTEBY AS i 1987 der den ble anbefalt dimensjonert for en gjenværende treffenergi på 2000 kJ (ref./7/). Etter erfaringene fra skredet anbefalte NOTEBY AS å oppjustere sikkerhetsmarginen ved å montere et 3 m høyt rassikringsgjerde i overkant av eksisterende mur (ref./6). Dette arbeidet er ikke utført når foreliggende rapport skrives.

For oversiktens skyld er klimadata fra værstasjonen Bergen/Florida relevant for begge disse skredene gjengitt i diagrammet i figur 2.

Når det gjelder tidligere vurderinger av sikringstiltak for Kolstien for øvrig, så kan det nevnes at NOTEBY i 1987 også anbefalte en sikringsvoll i bakkant av tomten Kolstien 43H. Denne ble anbefalt dimensjonert for en treffenergi på 2500 kJ (ref./8). Tomta er ennå ikke bebygd.

En ny vurdering ble gjort for fem planlagte boliger i det samme området i 2000. Det ble da anbefalt å bygge en støttekonstruksjon mot avgravd morene kombinert med steinsprangsikring dimensjonert for en treffenergi på 1500 kJ (ref./9/). Når foreliggende rapport skrives er det bygget en støttekonstruksjon av sammenbundne gabionkasser mot morenen, og en rasvoll av ytterligere gabionkasser med inntil 2 m overhøyde utenfor denne.

Værobservasjoner Florida - Bergen høsten 1998



Figur 2: Værdato fra Bergen/Florida høsten 1998. Diagrammet viser at særlig skredet 22/11 ble utløst etter kraftig nedbør som etterfulgte noen dager med frost. Det samme skjedde før skredet 25/12, men nedbørsmengden var da noe mindre. Temperaturkurven fra Florida (12 moh) er sammenstilt med temperaturkurven fra Flesland (48 moh).

4.2 Gradientanalyse

Gradientanalysen som er vedlagt denne rapporten (vedlegg B) viser at de steileste partiene med skråninger brattere enn 45° forekommer tette i område B, C og D og i noen grad i område A og E. Nøyaktigheten på helningskartet henger i stor grad sammen med nøyaktigheten i kartgrunnet.

I område A er de steileste skrentene lengst oppe i lia, og en utflating under skrentene bidrar i stor grad til å redusere sjansen for at steinsprang fra denne skrenten kan nå ned til Kolstien 5-15. Dette gjelder i noen grad også for Kolstien 17. Det finnes imidlertid mindre lokale brattheng også nedenfor disse utflatingene.

Også i område B finnes bratthengene lengst oppe i fjellsiden. Skråningen blir markert slakere (25-30°) over Kolstien 25 og deler av vegen mot sør, mens det generelt er steilere over Kolstien 27, 29 og 33 og lokalt ved vegen rett nord for Kolstien 17.

I område C er det generelt store innslag av skråninger brattere enn 45° i hele fjellsiden, og ekstra oppmerksomhet bør ut fra helningskartet rettes mot Kolstien 35, 43E, F og D samt de nye tomtene.

I område D er det generelt noe slakere, men enkelte framstikkende rygger danner høye og steile framspring over Øvre Kolstien 2/4, over garasjebygg langs vegen mellom nr 4 og nr 22 og til dels i skråningen over Øvre Kolstien 22.

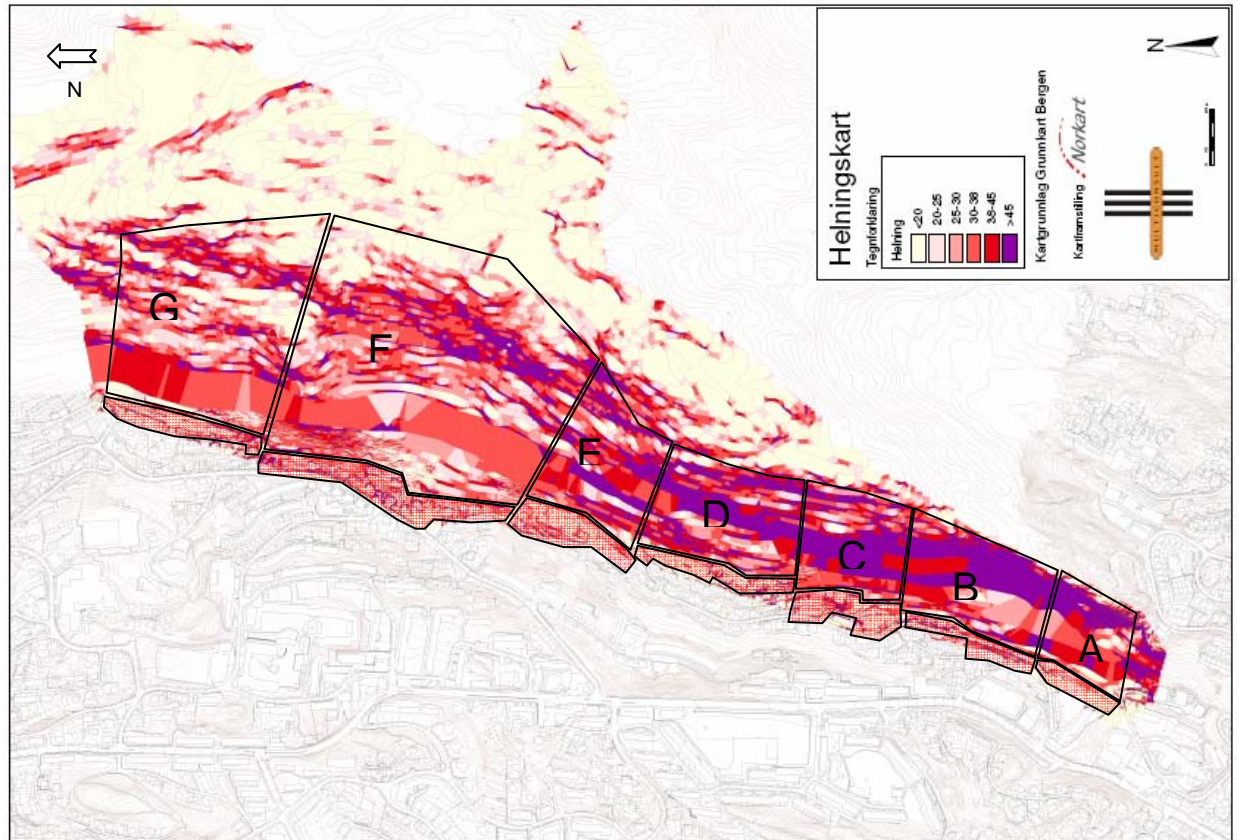
I område E er det flere utflatinger oppe i fjellsiden, men i de nedre deler er det steilest (>45°) i en skrent rett nord for skredgrova etter skredet fra 22/11-98. Dette tilsvarer skråningen øst for, og på motsatt side av tilkomstvegen ved Kolstien 79-81.

De ovennevnte lokaliteter bør få en spesiell oppmerksomhet i forhold til steinsprang.

I område F er det bare mindre lokale skrenter som er brattere enn 45°. I forhold til steinsprangfare mot bebyggelsen er et bratt heng om lag 50 m over Landåslien 57 mest iøynefallende.

I område E er kartgrunnlaget generelt tynt, men skråningen ser ut til å være noe i underkant av 45° ved Sollien 138, 140 og 144. Enkelte sprengte skjæringer gir lokale bratt heng.

Helningskartet er sammenstilt med denne rapportens områdeinndeling i figur 3.



Figur 3: De steileste skrentene ligger i område B, C og D ut fra helningskartet (som er gjengitt i fullt format i vedlegg B).

4.3 Simulering av vannavrenning

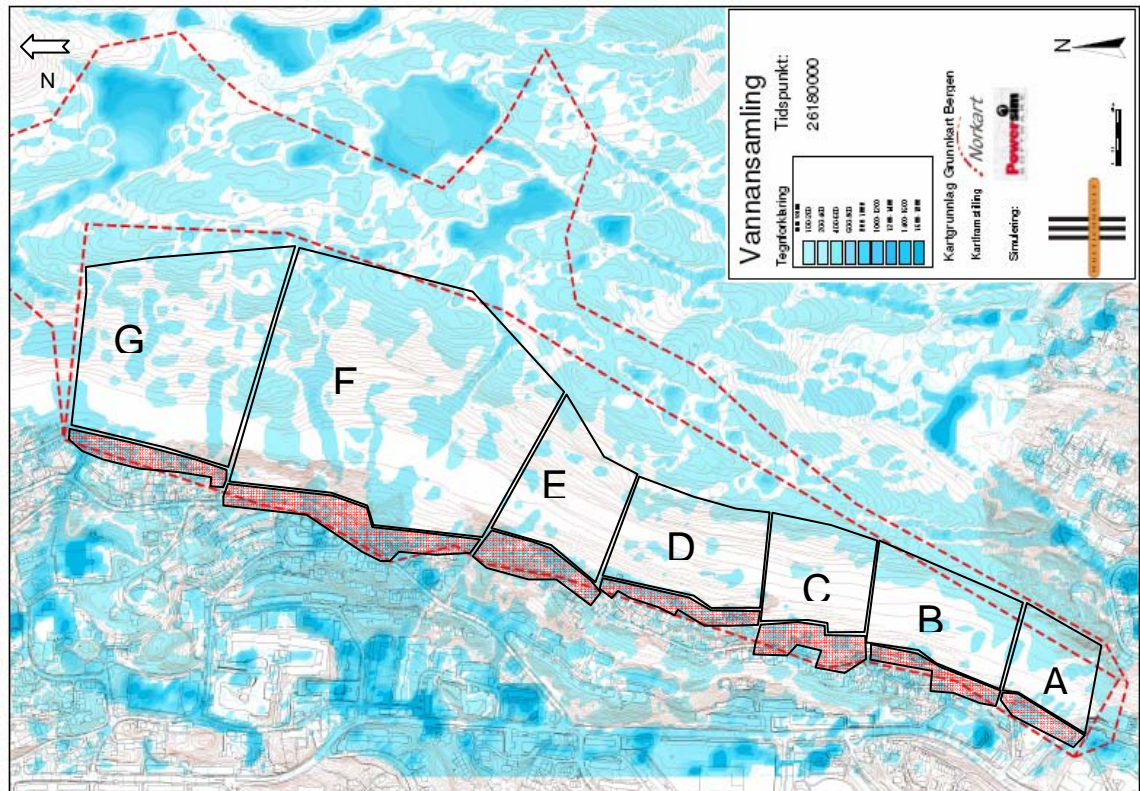
Resultatet av vannsimuleringene viser at de største vannansamlingene ved ekstremnedbør kan forventes i område F og G. De andre områdene har til sammenlikning små nedbørsfelt og vann i disse områdene stammer i større grad fra nedbør som faller i selve fjellsiden.

For område F antas de potensielt største vannmengdene å samle seg i og rundt bekkene som drenerer mellom Kolstien 103 og Landåslien 43C, nord for Landåslien 43D og nord for Landåslien 45D. Modellen antyder at en ved ekstremnedbør kan forvente at noe vann vil drenerer mot Landåslien 53 og 55.

I område G er det naturlig nok størst potensial for vannansamlinger rundt bekken som renner ned mot krysset mellom Øvre Sollien 7 og Sollien 138, men også en renneformasjon mellom Sollien 148 og 150 ser ut til å kunne lede en del vann ved ekstremnedbør.

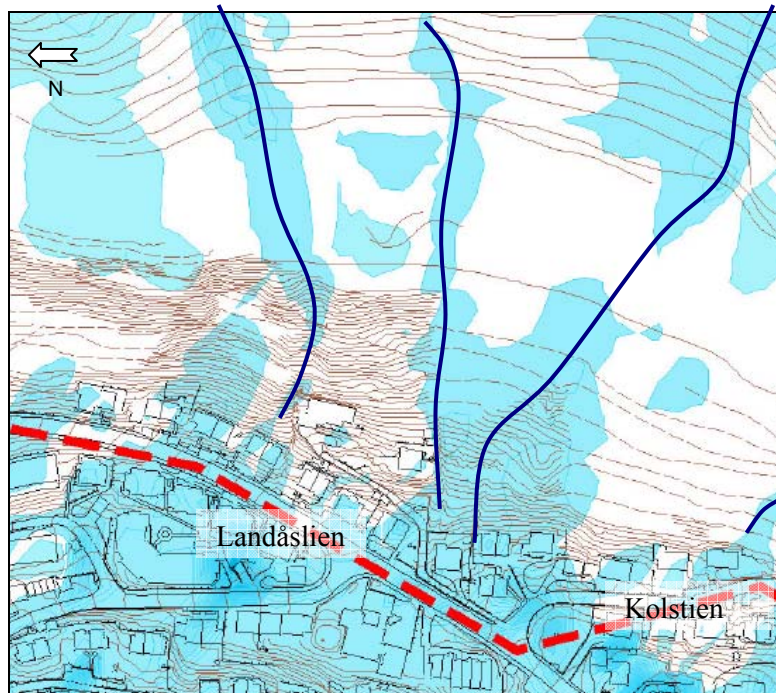
Modellen tar foreløpig ikke hensyn til raskere avrenning i områder med bart fjell, eller tregere respons ved grunnvannsinfiltrasjon til løsmasser, så det vil være naturlig å forvente en forsterket ansamling i soner med løsmasser i forhold til resultatene i denne simuleringen.

Et vannansamlingskart er gjengitt i vedlegg C og sammenstilt med områdeinndelingen i figur 4.



Figur 4: Helningskartet (som er gjengitt i fullt format i vedlegg C) viser at de største vannmengdene vil samle seg i område F og G.

Figur 5 viser et utsnitt som illustrerer forløpet til de største bekkene i området F.



Figur 5. Utsnitt av vannansamlingskart for området der Kolstien møter Landåslien (område F). Eksisterende vannveger er markert med heltrukne blå linje.

4.4 Flyfoto og skråfoto

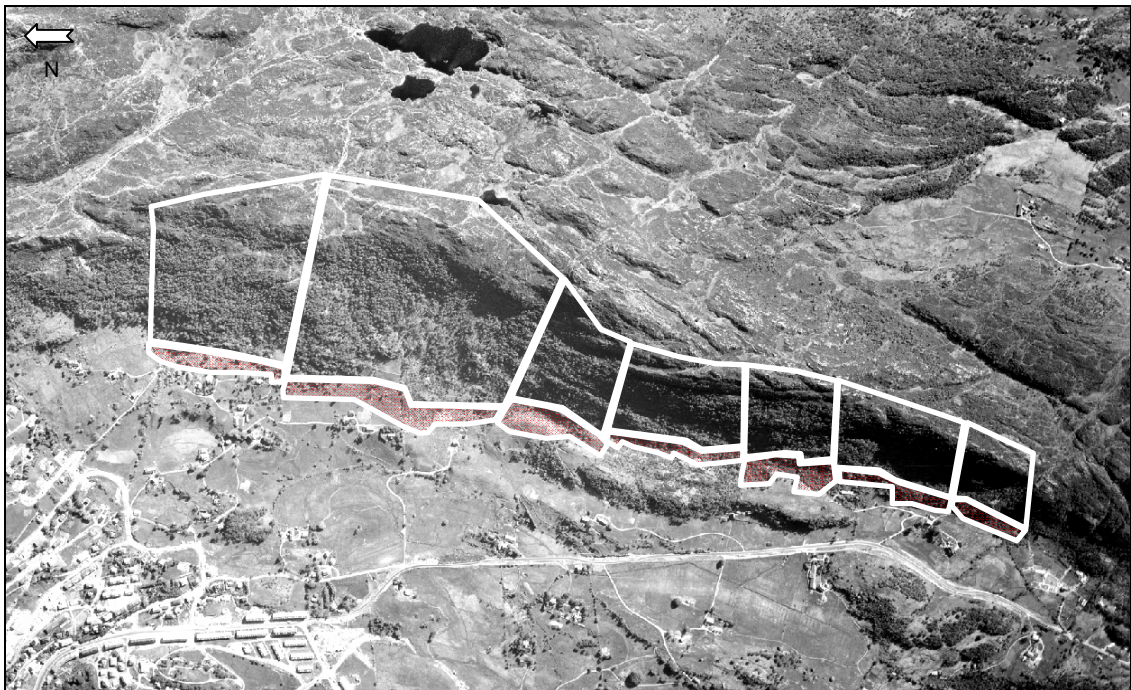
Flyfotoseriene fra 1951 (målestokk 1:15 000 og 1: 7 000) var tatt med normalvinkler, og ved stereografiske studier fikk de en begrenset vertikal overdrivelse. Det var derfor vanskelig å identifisere lommer av løsmasser på denne måten.

Bildene er likevel nyttige fordi det var vesentlig mindre tett skog på denne tiden enn det er i dag. Det er derfor mulig å se effekten av bergartens strøk gjennom vegetasjonen. Dette tilkjennegis blant annet av markerte fjellrygger på langs av fjellsiden i område B, C, D og E. Dette antyder at det bare finnes tynne lag av løsmasser her.

De største avsetningene ser ut til å være lokalisert i område F i tilknytning til en tidligere beite- og slåttemark. I område G er det få avsetninger oppe i fjellsiden, og de største avsetningene ligger like over der bebyggelsen i dag er plassert i Sollien.

Enkeltpblokker og spor etter steinsprang kan ses i store deler av fjellsiden.

Et utsnitt av et flyfoto som dekker hele det undersøkte området er gjengitt i vedlegg D og sammenstilt med områdeinndelingen i figur 6.



Figur 6: Flyfoto fra 1951 sammenstilt med områdeinndelingen i denne rapporten

4.5 Feltarbeid

Feltobservasjoner av skredavsetningene viser at denne fjellsiden har vært utsatt for et visst omfang av fjellskred og steinsprang siden istiden. Imidlertid er ingen av de observerte rasene særlig omfangsrrike sett i sammenheng med de steile fjellsidene. Det begrensede omfanget av løsmasser i fjellsiden for øvrig viser at det som måtte ha eksistert av morene i stor gard har vært utsatt for hyppige ras og utvasking under isavsmeltingen. Rasene har trolig avtatt med tiden etter isavsmeltingen.

Lagdelingen og sprekkesystemene i bergmassen definerer flakige blokker som vil rase fra tid til annen på grunn av pågående forvitring. Forvitring av bergmassen vil imidlertid også generelt bidra til at større blokker og flak vil dele seg opp i mindre stykker når de raser ut og blir utsatt for støt og rotasjon i skredbanen. Den flakige formen vil normalt bidra til å begrense utløpsdistansen, med mindre flakene roterer på høykant. Dette skal ha vært tilfelle ved skredet over Kolstien 27 (ref./6/).

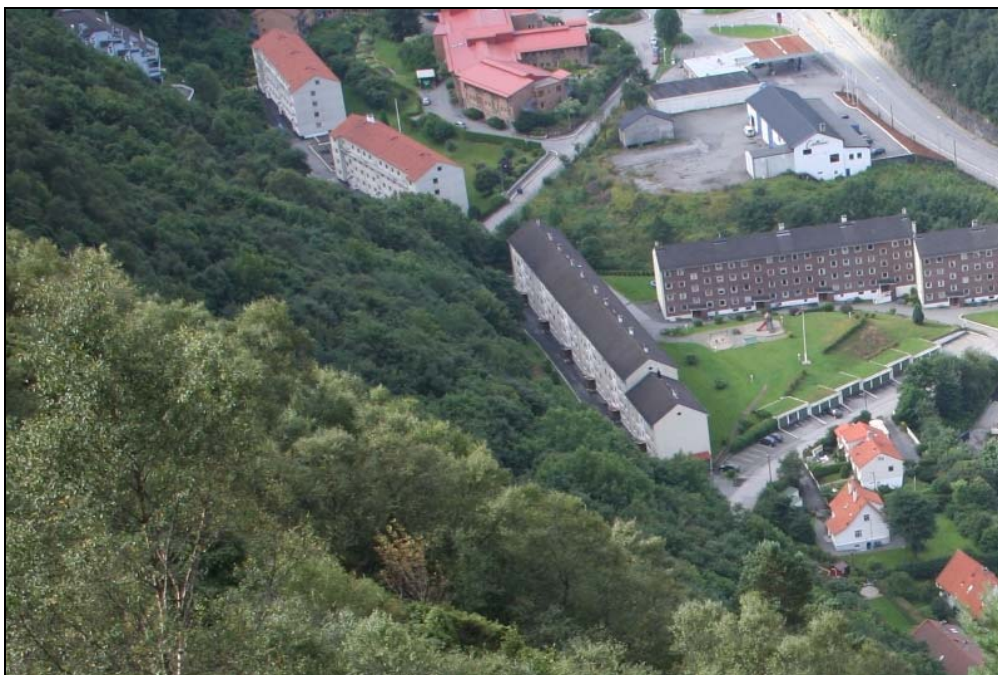
I det følgende nevnes enkelte relevante observasjoner fra de ulike områdene:

Område A:

Skråningen i området består lengst opp av steile fjellskrenter. Umiddelbart under disse finnes både uvegeterte og skogkledde skredvifter som har blitt matet med skredmateriale fra skrentene. Under de steile skrentene er skråningen nærmere 30° (se figur 7). Bekken som kommer ned fra Kolstiskardet lengst sørøst er ledet mot sørsiden av Kolstien 5 ved hjelp av en støpt ledevoll av betong. Spor i terrenget viser at det fra tid til annen også drenerer mindre vannmengder mot Kolstien 15 i nord.

Det er generelt skrint med løsmasser i området, men to vifter av skredavsetninger går ned mot hver ende av boligblokken (hhv Kolstien 5 og 15). Foten av viftene er delvis kuttet av en støttemur på østsiden av boligblokken. Mellom viftene stikker det opp en steilere fjellskrent med overheng (langs fallet på lagdelingen). I underkant av denne, i overgangen mellom fjellsiden og det opparbeidede utomhusarealet ved boligblokken, er det satt opp et gjerde med kraftige bjelker. Det er usikkert hvorfor dette er satt opp, men det vil i alle fall ha en positiv effekt i å stoppe opp mindre steinsprang. Dette gjerdet er mangelfullt vedlikeholdt, og delvis er den gunstige overhøyden som gjerdet ville gitt begrenset av at skrot og organisk avfall er etterlatt i bakkant av gjerdet. Det slake utomhusarealet mellom boligblokken og fjellsiden gir i seg selv en gunstig oppbremsingseffekt for eventuelle skred.

Over Kolstien 17 er størrelsen på utomhusarealet mellom fjellsiden og boligen mindre. Skråningen bak bolig, garasje og veg er i underkant av 45°. Avsetninger av organisk jord med innslag av flakige steinblokker finnes både over bolig og garasje. Avsetningene ser for øvrig ut til å være godt drenerte.



Figur 7: Boligblokken Kolstien 5-15 (midt i bildet) sett fra Landåsfjellet. Kolstien 17 er dekt av løvskog..

Område B:

De bratte skrentene opp mot toppen av område B er typiske kildeområder for større og mindre steinsprang (se figur 8). Det var fra en av disse skrentene det raste ut et flak på 50 m³ i 1998 (ref./6/). I underkant av disse skrentene er det bygget en rasvoll som virker beskyttende for Kolstien 25. Også ved Kolstien 27 er det satt opp en sikringskonstruksjon, men anbefalinger fra NOTEBY AS i 1998 for utbedring av denne (ref./6/) er ikke fulgt. Over Kolstien 29 og 33 og garasjer mellom disse boligene er det observert framstikkende bergparti med steile og delvis jordfylte sprekkeflater. Det er steilt utomhusareal i bakkant av flere av boligene og oppbremsingseffekten av utflating i utomhusarealene er begrenset.



Figur 8: Fjellsiden over Kolstien 25 – 33. Kildeområdet for skredet 25/12-98 er markert.

Område C:

Bak Kolstien 45D og de nye tilstøtende tomtene mot sør er det satt opp en støttekonstruksjon mot en graveskråning mot fjellsiden. Denne er kombinert med en steinsprangvoll av gabioner med inntil 2 m overhøyde på motstående side. I vollen er det observert flere små steinblokker som trolig er samlet opp over de siste 2-3 årene, men også her er det etterlatt skrot og organisk avfall i vollen. Lengst sør i vollen har det nylig vært en utgliding der løsmasser fra terrenget har sklidd ned i vollen slik at de sørligste delene har fått en utilfredsstillende overhøyde (se figur 9). I overkant av denne sørlige delen av vollen er det dessuten observert et overhengende og oppsprukket bergparti.

Over Kolstien 43 E og F når en skredvifte med forholdsvis grove blokker helt ned til bebyggelsen. Ved disse to boligene er det ikke utført noen rassikring.



Figur 9: Utglidning i rasvoll ved Kolstien 43 (nye tomter)

Område D:

I område D er det observert ferske spor etter steinsprang fra en forvitret bergskrent på toppen av en renne over Øvre Kolstien 2/4. De utraste blokkene ser ut til å være relativt små ($< 1 \text{ m}^3$). Dette bolighuset er imidlertid beskyttet mot steinsprang ved hjelp av en gunstig plassert og større steinsprangblokk som er tilført fyllmasser mot sidene. Dette utgjør en ca 2 m høy fangvoll.

Herfra og sørover mot Øvre Kolstien 22 ligger vegen plassert over bebyggelsen, og slik sett er det etablert en form for sikkerhetssone mellom boligene og fjellsiden. Imidlertid finnes det steile og oppsprukne bergpartier over vegen ved noen postkassestativ, over enkelte garasjebygg og til dels også ved boligen Kolstien 22 som ligger på oversiden av vegen. Over Kolstien 26, 28, 32 og 34 er det generelt slakere. Her er observert forvitningsmasse, noe morene og enkeltinnslag av steinsprangblokker. Det er etablert dreneringskanaler i massene for håndtering av flomvann.

Område D er vist i figur 10.



Figur 10: Fjellsiden over Øvre Kolstien

Område E:

Bak Kolstien 71 og 73 er det observert masser fra et eldre fjellskred. Dette har stoppet opp på en utflating av terrenget bak huset og de grove blokkene fungerer i dag til dels som en buffer mot mindre steinsprang mot husene. På en lekeplass nord for Kolstien 73 ligger en steinsprangblokk på om lag 1 m^3 .

Ved Kolstien 77 gikk det som tidligere nevnt et skred i 1998 (se figur 11). Sikringstiltak anbefalt av NOTEBY AS og MULTICONSULT AS i hhv. 1998 og 2006 (ref./5/ og /10/) er ikke ferdigstilt. En del løse blokker i toppen av skredgrova er fortsatt usikret.

Det er videre observert grove blokker i den nederste delen av fjellsiden over Kolstien 79 og 81. Det er lite trolig at disse kan treffe boligene dersom de raser videre herfra. Tilkomstvegen til boligene i Kolstien 77-83 er gitt en fornuftig plassering mellom fjellsiden og boligene og fungerer som en sikkerhetssone. Skredrisikoen her gjelder derfor først og fremst risiko for materielle verdier i form av garasjer og boder på oversiden av tilkomstvegen, samt eventuelt menneskelig opphold på veien.



Figur 11: Skredmasser ved Kolstien 77

Område F:

Område øst for krysset mellom Landåslien og Kolstien (se figur 12) omfatter de største løsmasseavsetningene, og området vil også på grunn av drenering fra nedbørsfeltet på Landåsfjellet samle de største vannmengdene. Spor etter flomskred er observert rundt boligene i Kolstien 99, 101/103 og Landåslien 43. Disse boligene ligger tett inntil en bekk som drenerer fra et tjern- og myrområde oppe på Landåsfjellet (denne ledes inn mellom Kolstien 103 og Landåslien 43) og en mindre bekk som renner gjennom morenemasser nord for et plantefelt i dette området. Sistnevnte ledes inn på nordsiden av Landåslien 43. Se figur 5 og vedlegg C.

En befaring oppe i fjellsiden viser at bekken som drenerer fra tjernet følger en markert kløft øverst i fjellsiden (helning $>45^\circ$). Lengre nede følger bekken loddlinja i terrenget og renner delvis under urmasser i den midterste delen av fjellsiden (helning $38-45^\circ$). Vi vurderer det som lite sannsynlig at bekken vil kunne skifte løp i dette området – selv i en flomsituasjon. Lenger nede mot bebyggelsen derimot, der terrenget blir noe slakere ($25-38^\circ$), kan det forventes at bekken vil flomme over ved ekstremnedbør.

I bekken som renner nord for plantefeltet er det observert, til denne fjellsiden å være, relativt dype erosjonsspor i morenemassene. Dybden i bekken antyder at det delvis er mer enn 5 m mektighet på morenen. Disse massene antas å ha gitt et betydelig bidrag til den nevnte flomskredviften ned mot bebyggelsen. Denne observasjonen medførte at dette området ble valgt ut for videre vurdering og en forenklet geoteknisk stabilitetsanalyse (se avsnitt 3.6 og 4.6). Denne bekken drenerer ikke vann fra nedbørsfeltene på toppen av fjellet, men samler utelukkende vann som faller i fjellsiden.

En større bekk drenerer også på nordsiden av Landåslien 45D. Denne bekken renner i de nederste deler på grunne løsmasseavsetninger og krysser stiene som slynger seg oppover i tidligere beite- og slåttemark. Det er en viss sannsynlighet for at bekken i en flomsituasjon kan drenere delvis inn mot Landåslien 51 og Landåslien 45D, der sistnevnte ligger plassert meget tett inntil skråningen og bekken.

I bakkant av Landåslien 57 stikker en fjellskrent opp mellom løsmassene. Noe løs stein medfører en viss steinsprangfare fra denne skrenten, men en grov og forholdsvis stor skredvifte på en avflating i underkant av skrenten antas å stoppe de fleste steinsprang. Nedenfor skrenten, og på begge sider av urmassene, er det videre observert en 35°-40° bratt løsmasseavsetning med ukjent mektighet. Denne forgreiner seg nedover lia mellom Landåslien 53 og 65. Tjukke trestammer med markert bøy over røttene antyder et betydelig jordsig i denne skråningen.

Det finnes generelt i område F bare små og beskjedne inngrep i det naturlige terrenget. Det er lite sannsynlig at menneskeskapt inngrep her i seg selv vil bidra til skredutløsning. Noen stier kan til en viss grad forstyrre den naturlige dreneringen, men observasjoner viser at dette bare vil forekomme i beskjeden grad. Fokus bør derfor rettes mot hva som skjer med løsmassene, grunnvannsnivået og de naturlige vannvegene ved en ekstrem nedbørsituasjon.



Figur 12: Landåslien sett fra Landåsfjellet

Område G:

I dette området er den største vannvegen lokalisert lengst nord i analyseområdet, nemlig nord for Sollien 138. Tett inntil denne bekken ligger en flomskredvifte. Her er det lite vegetasjon, enkelte rotvelt og spor etter ferske men mindre bevegelser.

Bøyde stammer på trær i skråningen over Sollien 138 og 140 viser at det er en del jordsig i løsmasseavsetningene, som for øvrig antas å være av beskjeden mektighet (se figur 13).

En utflating mellom de nederste deler av lia og de øverste deler av fjellsiden medfører at steinsprangfaren i stor grad begrenser seg til lokale skrenter og bevegelse i urmasser. Over Sollien 144 er det satt opp et fanggjerde. Også ved denne sikringskonstruksjonen er det etterlatt et betydelig omfang organisk avfall.

Ved Sollien 148 og 150 er det observert en utflating av terrenget i bakkant av boligene, og dette bidrar til å begrense steinsprangfare her. Imidlertid finnes løsmasser av ukjent mektighet, men mektigheten ser ut til å avta mot sør ettersom bart berg er eksponert sør for Sollien 150. I bakkant av et garasjebygg i Sollien 155 leder en renneformasjon ned mot utomhusarealet. Spor i terrenget viser at en langs denne renna kan forvente både flomvannsføring og mindre steinsprang.



Figur 13: Sig i løsmasser ved Sollien 138

4.6 Geoteknisk stabilitetsanalyse

Beregningsresultatene fra de forenklede geotekniske analysene basert på feltobservasjoner og erfaringsparametere har gitt følgende minste materialkoeffisienter:

- Lav grunnvannstand: 1,68
- Høy grunnvannstand: Ned mot 1,0

Geometrien på snitt av skråningen og de aktuelle glideflatene er vist i vedlegg E.

Resultatene viser at ved et normalt tilfelle, med normal grunnvannstand, ligger skråningen stabilt med de gitte antakelsene. Sikkerheten er derimot mindre ved ekstremtilfeller der grunnvannet stiger helt opp mot terrengnivå. Dette inntreffer trolig sjelden, men observasjoner av flomskredvifter og erosjon i avsetningene viser at skred ved en slik stigning av grunnvannet historisk sett har funnet sted.

Det må presiseres at beregningene er basert på antatte jordparametere/erfaringsdata. En reduksjon av sikkerheten knyttet til en hevet grunnvannstand er vanskelig å relatere til dagens situasjon da det ikke foreligger informasjon om grunnvannstanden verken for normalsituasjoner eller ekstremsituasjoner. Slik grunnvannsinformasjon kan imidlertid måles over tid ved bruk av for eksempel piezometre (se avsnitt 7.1).

Som ventet blir stabiliteten mer kritisk med store vannmengder tilført området. Selv om analysen er utført med inngangsparametere for morene, vil det teoretisk sett kunne bli vel så kritisk også for stabiliteten i skredmaterialet dersom grunnvannet stiger opp mot terrengoverflaten. Erfaringer viser imidlertid at begge disse avsetningstypene har gjennomgått flere situasjoner med ekstremnedbør uten at det har gått ras av den grunn. I perioder med mye nedbør er det like fullt viktig at dreneringen av området fungerer godt. Dette både for å hindre eventuell påvirkning av grunnvannstanden og negativ effekt av graving i overflaten. Det er generelt vanskelig å fastslå hvor mye grunnvannet kan bli påvirket ved store nedbørmengder, og hvor høy grunnvannstand som må til for å gjøre disse skråningene ustabile, men mer presise beregninger kan utføres med nærmere kjennskap til løsmassefordeling og grunnvannsforhold.

Generelt vil det være uheldig å gjøre inngrep i morenemassene. Morenen er sannsynligvis meget fast lagret i nåværende tilstand. En slik antatt overkonsolidert lagring er gunstig stabilitetsmessig, og forholdene vil være umulig å gjenskape etter for eksempel gravearbeider.

4.7 Steinsprangsimulering

Sammenfattet viser simuleringene at steinsprang utløst fra lokale brattheng i lia kan med de gitte forutsetningene få utløpslengder helt ned mot boligene og/eller veger og utomhusareal. Det er variasjoner mellom de ulike profilene.

I område A er det en avflating i terrenget ovenfor Kolstien 5-15. Steinsprang fra høye løseområder vil sannsynligvis bli bremsert opp på denne flaten. Lenger nord blir utløpslengden større. Enkelte steinsprang kan nå helt til utomhusarealet. Kolstien 17 med utomhusareal er noe mer utsatt for steinsprang enn naboblokken i sør.

I område B er det lengst sør få hus på oversiden av vegen. Steinsprang ser ut til å få liten oppbremsing i terrenget, og skredene vil delvis komme helt ned i vegen og stanse på vegarealet ettersom det er bygget en mur mellom Kolstien og Sofus Madsens veg. Simuleringen tar imidlertid ikke hensyn til at det stedvis er overhøyde også på støttemurer i skjæringen øst for vegen. Det er mulig at denne muren kan forhindre at mindre steinsprang når vegen. Dette gjelder enkelte deler av vegstrekningen mellom Kolstien 17 og Kolstien 25. Husene på oversiden av vegen (Kolstien 25-33) med utomhusareal er ut fra simuleringene utsatt for steinsprang. Det bør nevnes at simuleringene er basert tilgjengelig kartgrunnlag, og de registrerte utløpsdistansene tar dermed ikke hensyn til sikringstiltakene som er utført over Kolstien 25 og 27.

I område C kan steinsprangene, dersom en ikke tar hensyn til sikringsvollen over Kolstien 43D og de nye tomtene få utløpslengder som går ned mot disse boligene/tomtene. Kolstien 35, 37, 39 vil så lenge de nye tomtene ikke er bebygde også være utsatt dersom en ikke tar hensyn til skredvollen.

I område D kan steinsprang få utløpslengder ned mot nordre del av vegen i Øvre Kolstien (nr 2-22) samt boliger og utomhusareal på oversiden av den sørlige del av vegen (nr 22-34). Garasjebygg på oversiden av vegen mellom Øvre Kolstien 4 og 22 ser også ut til å være utsatt for steinsprang.

I område E kan steinsprang få utløpslengde helt ned mot tomter og hus på oversiden av Kolstien 71 – 83. Mest utsatt for steinsprang er garasjer, utomhusareal og tilkomstveg øst for Kolstien 77-83.

For område F er det ikke utført steinsprangsimuleringer.

I område G kan steinsprang få utløpslengde ned mot boliger og utomhusareal på oversiden av Sollien. På grunn av en avflating midt i fjellsiden forventes eventuelle steinsprang å begrense seg til lokale utfall fra skrenter og urer i nærheten av husene. Vegen mellom Sollien 138 og 155 er generelt beskyttet av husklyngen over. Unntak gjelder for området rundt krysset mellom Sollien og Øvre Sollien.

Utregnede profiler med histogram som viser sannsynlige utløpslengder, og linjediagram som viser sannsynlig fordeling av kinetisk energi for utraste blokker, er presentert i vedlegg F.

Observasjoner fra felt og erfaringer fra liknende studier viser at energimengdene og utløpsdistansene ikke i tilstrekkelig grad tar hensyn til effekten av den tette skogen. Dette medvirker til at resultatene blir noe overdrevne.

Vi antar ut fra simuleringene og ovennevnte vurdering at energimengdene på blokker på 1000 kg (tilsvarende små steinsprang $< 1 \text{ m}^3$) kan komme opp mot 100-300 kJ ved avflatinger hvor det vil være naturlig å sette opp sikring mot steinsprang. Dersom vi betrakter uønskede hendelser som fjellskred ($> 1000 \text{ m}^3$), store steinsprang (100 – 1000 m^3) og mellomstore steinsprang (10-100 m^3), og antar at eventuelle skred vil dele seg i mindre blokker, slik at største blokk som kan treffe infrastruktur vil være 12 000 kg, så viser simuleringen at eventuelle sikringsmidler bør dimensjoneres for en treffenergi på anslagsvis 1000 – 2000 kJ.

Spranghøydene er generelt små, men lokale brattheng medfører at eventuelle sikringsmidler generelt bør gis en overhøyde i forhold til terrenget på 1,5 – 3 m. Endelig dimensjonering og plassering av eventuelle fanggjerdar bør imidlertid gjøres på grunnlag av feltilpasninger og best mulig kartgrunnlag.

5. Ingeniørgeologisk og geoteknisk vurdering av resultatene

5.1 Anvendte metoder

Som bakgrunn for vurderingene i denne rapporten er skredkjennskap, helningskart, vannsimulering, flyfoto, geoteknisk stabilitetsanalyse og steinsprangsimulering benyttet som metoder i tillegg til feltarbeid. Etter vår vurdering bidrar denne helheten til en god oversikt over egenskaper ved det undersøkte området.

Observasjoner, simuleringer og analyseresultater viser at den undersøkte fjellsiden stedvis vil være utsatt for skredrisiko ved ulike forutsetninger. Risiko kan ha ulik størrelse knyttet til hvilken infrastruktur som eventuelt vil bli rammet, men risikovurderingene må også knyttes til usikkerheter i grunnlaget for vurderingene.

I de gjennomførte undersøkelsene er de største usikkerhetene knyttet til vanskelig tilkomst til konkrete skredkilder i de øverste bratthengene, og mangelfull kunnskap om detaljtopografi og løsmassemektinger i forsenkninger mellom fjellryggene. Det er videre knyttet usikkerhet til egenskaper ved grunnvannet. Spesielt gjelder dette hvorvidt det kan oppstå artesisk vanntrykk, altså vanntrykkoppbygging under tette topplag. Samtidig må vurderingene av den forventede utviklingen av skredfaren i området basere seg på noen antakelser basert på erfaringer og kjennskap til samspillet mellom klima og skredfare. Ved en vurdering av behov for sikring og videre undersøkelser av området, må det tas høyde for en slik usikkerhet.

Usikkerhetene for dette og lignende oppdrag kunne vært begrenset ved bruk av geotekniske og/eller geofysiske undersøkelser av løsmasseavsetninger, laserskanning av topografi og produksjon av mer detaljerte kart, samt videofilming og fotografering fra helikopter. Dette kan gjøres samlet og overordnet for hele kommunen for å spare tid og penger.

5.2 Effekt av skogen

Den tette løvskogen har bidratt til at det har vært vanskelig å få god oversikt i felt, men dette er i stor grad kompensert for ved hjelp av helningskart, vannsimulering og flyfoto.

Skogen er observert å ha en generell positiv effekt på oppbremsing av steinsprang, og røttene bidrar til å holde på jord. Den negative effekten vil være at skogen også gir et bidrag til produksjon av organisk jord etter hvert som trær og for så vidt også andre planter råtner. Dette er en akkumulasjonsprosess som pågår kontinuerlig, og denne prosessen bidrar til at skråninger som virker sikre i forhold til dagens forhold kan bli ustabile i forhold til jordskred på lang sikt.

Rotvelt ved kraftig vind kan bidra til at mindre steiner som hviler mot stammer eller sitter løst i jord bundet i røtter kan settes i bevegelse. Rotvelt danner før øvrig i seg selv barrierer for steinsprang. Generelt vil skogen være et positivt bidrag mot skredfare i dette området. Man bør derfor etter vår vurdering være restriktive mot flatehogst og jobbe for å forebygge skogbrann. Hogst av enkeltrær er mindre problematisk. For å redusere produksjon av organisk jord og ikke minst blokkering av vannveger, vil det derimot gi en positiv effekt mot skredfare med periodevis opprydding av død skog samt greiner og kvister som potensielt kan blokkere vannvegene.

5.3 Menneskelig påvirkning på naturlige prosesser i skråninger

Vårt inntrykk er at det generelt er utført få inngrep i de naturlige skråningene som vil ha noen betydning for skredfaren. Vi forventer derfor få overraskelser knyttet til menneskeskapt påvirkning av drenering og stabilitet av masser, dersom vi ser bort fra lokale utglidninger av støttemurer og graveskråninger umiddelbart inntil husene, som vi ikke har hatt mulighet til å detaljstudere i dette oppdraget.

Ut fra ovennevnte vurdering vil det være fornuftig å begrense ytterligere inngrep i den naturlige fjellsiden uten på forhånd å utrede og dokumentere konsekvenser for grunnvann, avrenning og stabilitet.

5.4 Skred og klima

Ut fra kjennskap til geologien, utløsningsmekanismene og skredhistorikken vil faren for jord- og flomskred typisk være størst når det er mest vann tilstede. Ut fra klimadataene gjengitt i vedlegg A vil risikoen vil være størst i perioden fra september til desember. Tilsvarende vil risikoen være minst i perioden fra april til juli.

Utløsningsmekanismene for fjellskred og steinsprang er noe mer kompliserte enn for jord- og flomskred, men erfaringsmessig er de i større grad knyttet til fryse- og tineprosesser. Ut fra temperaturdiagrammet i vedlegg A antas disse å være mest aktive fra midten av november til midten av mars. Som vi har sett vil det være spesielt ugunstig med mildvær og kraftige regnskylt umiddelbart etter en frostperiode. Store nedbørsmengder er også i seg selv ugunstig. Vi antar derfor at risikoen for fjellskred og steinsprang er størst i perioden fra september til mars, med en topp i november/desember.

Ut fra undersøkelsene og basert på dagens klima kan vi anta at steinsprang vil forekomme hyppigere enn jord- og flomskred i det undersøkte området. Konsekvensene av sistnevnte vil imidlertid normalt være mer alvorlige. Usikkerhetene forbundet med jord- og flomskred er også større enn for steinsprang. Dette medfører at man ut fra dagens kunnskap allerede kan planlegge og utføre en del sikringstiltak mot steinsprang, mens det kan være fornuftig å undersøke de mest potensielle jordskredområdene ytterligere før eventuelle tiltak iverksettes.

6. Risiko- og sårbarhetsanalyse

Til tross for noen usikkerheter i foreliggende undersøkelser gir informasjonen samlet i dette arbeidet et godt grunnlag for å jobbe videre med en risikovurdering for de enkelte deler av analyseobjektet. En systematisert risiko- og sårbarhetsanalyse er gjennomført i dette kapitlet. Vi betrakter her risiko som et produkt av konsekvenser av uønskede hendelser og sannsynligheten for at de skal inntreffe. Analysen er basert på norsk standard NS 5814.

6.1 Uønskede hendelser knyttet til skred

I forbindelse med utvalget av uønskede hendelser som inngår i ROS-analysen understrekes det at denne rapporten er en vurdering av skredfare. Andre typer risiki som brann, trafikkskade osv. er derfor naturlig nok ikke tatt med. Risiko for skog- og lynnbrann er heller ikke tatt med, selv om dette indirekte kan få betydning for skredfaren. Det samme gjelder risiko for at det blir utført menneskelige inngrep og/eller flatehogst som kan øke skredfaren. Det siste kan i stor grad styres av samfunnet blant annet ut fra vurderingen i denne rapporten.

Uønskede hendelser som både har små konsekvenser og liten sannsynlighet er også utelukket for å ikke gjøre analysen unødvendig omfattende. Dette gjelder blant annet snøskred, isras samt steinsprang og fjellskred fra områder som ikke kan nå bebyggelsen. Trevelt over boliger og veger er heller ikke betraktet, selv om dette i ytterste forstand kan betraktes som en form for skred. Øvrige negative effekter av flom, bortsett fra flomskred, er også utelukket i denne vurderingen.

Vi har i undersøkelsene ikke funnet konkrete lokaliteter som kan forårsake fjellskred med mer enn 1000 m³ skredmasse. Vi begrenser derfor vurderingen av uønskede skredhendelser fra fast fjell til steinsprang med mindre enn 1000 m³ skredmasse.

De uønskede hendelsene som inngår i denne analysen er sortert på de aktuelle områdene og gjengitt i tabell 2.

Tabell 2: Uønskede hendelser sortert på områder

Uønskede skredhendelser		Delområde av analyseobjektet						
		A	B	C	D	E	F	G
1	Fjellskred > 1000 m ³							
2	Større steinsprang 100 – 1000 m ³	X	X	X	X	X	X	X
3	Mellomstort steinsprang 10 – 100 m ³				X	X	X	
4	Mindre steinsprang < 10 m ³	X	X	X	X	X	X	X
5	Jordskred	X	X	X	X		X	X
6	Flomskred	X					X	X

6.2 Konsekvensanalyse

Konsekvensanalysen er utført først slik at den etterfølgende sannsynlighetsvurderingen beskriver sannsynligheten for at en hendelse med en gitt konsekvens skal forekomme. Vi har i analysen benyttet oss av en tekstlig inndeling av konsekvensklasser som skiller mellom skader på personell og materiell slik dette er gjengitt i tabell 3.

Tabell 3: Inndeling i konsekvensklasser

Konsekvens-kategori	Konsekvens-klasse	Skader på personell	Skader på materiell
K1	Ubetydelig	Ubetydelige	Ubetydelige
K2	Liten	Få og små	Få og små
K3	Farlig	Alvorlige skader	Alvorlige skader
K4	Alvorlig	Alvorlige skader / noen døde	Materielle ødeleggelse
K5	Katastrofal	Store skader / mange døde	Store materielle ødeleggelse

6.3 Sannsynlighetsanalyse

Sannsynlighetsanalysen baserer seg på årsakene til at hendelsene inntreffer og forutsier frekvensen av hendelser med konsekvenser gitt fra konsekvensanalysen. De valgte frekvensene er basert på antall hendelser sett i ettårs-, tiårs-, hundreårs- og tusenårsperspektiv.

Med en slik inndeling kan man sammenlikne deler av ROS-analysen direkte mot de kvantifiserte kravene i Plan- og bygningsloven der blant annet tusenårsskredet er dimensjonerende for boliger med tilhørende utomhusareal mens hundreårsskredet er dimensjonerende for garasjer og lagerskur.

Vi har i analysen benyttet oss av sannsynlighetsklasser slik de er angitt i tabell 4. Disse er uavhengige av om konsekvensen gjelder skader på personell eller materiell.

Tabell 4: Inndeling i sannsynlighetsklasser

Sannsynlighets- kategori	Grad av sannsynlighet	Frekvens (predikert antall hendelser pr tidsrom)
S1	Lite/minst sannsynlig	Mindre enn én hendelse pr 1000 år
S2	Mindre sannsynlig	Mellom én hendelse pr 100 år og én hendelse pr 1000 år
S3	Sannsynlig	Mellom én hendelse pr 10 år og én hendelse pr 100 år
S4	Meget sannsynlig	Mellom én hendelse pr ett år og én hendelse pr 10 år
S5	Svært/mest sannsynlig	Mer enn én hendelse pr ett år

6.4 Risikodiagram

Etter vurdering av konsekvenser og sannsynligheter kan risiko defineres ut fra en systematisering av kategoriene. Vi har i denne rapporten benyttet et risikodiagram som vist i tabell 5.

Tabell 5: Risikodiagram

RISIKODIAGRAM FOR UØNSKEDE HENDELSER, SKRED					
SANNSYNLIGHET	KONSEKVENNS				
	K1 Ubetyde- lig	K2 Liten	K3 Farlig	K4 Alvorlig	K5 Katastrofalt
S5 - Svært/mest sannsynlig					
S4 - Meget sannsynlig					
S3 - Sannsynlig					
S2 - Mindre sannsynlig					
S1 - Lite sannsynlig					



Lav risiko

Avbøtende tiltak gjennomføres bare når kost/nytte-vurderingen tilsier det



Middels risiko

Akseptabel risiko. Avbøtende tiltak iverksettes dersom effekten er stor og ulempene/kostnadene små



Høy risiko

Uakseptabel risiko. Avbøtende tiltak er nødvendig

6.5 Systematisering av risiko for analyseobjektet

Aktuelle uønskede hendelser for de ulike områdene er visualisert i fotobilag 2-8.

Hendelsene er navngitt i henhold til områdeinndelingen (fotobilag 1) og nummereringen av hendelsene (tabell 2). Bokstaven angir hvilket område det er snakk om. Det første sifferet angir type hendelse, mens det siste sifferet er et løpenummer for den aktuelle type hendelse innenfor området. Eksempelvis vil hendelse B3.2 være lokalisert til område B, det beskriver en hendelse av type 3 (altså et mellomstort steinsprang 10-100 m³ i henhold til tabell 2) og det er det andre steinspranget av denne typen som er vurdert i dette området .




Den utførte klassifiseringen i konsekvens- og sannsynlighetsklasser er vist i vedlegg G. Resultatet av klassifiseringen er også vist i tabell 6.

Av risikodiagrammet i vedlegget framgår det at risikoen er vurdert å være høyest for store steinsprang i området over Kolstien 27, 29 og 33 og mellomstore steinsprang fra skredgropa ved Kolstien 77. Videre knyttes det middels risiko til jord- og flomskred i område F og G, og enkelte steinspranghendelser i område A, B, C, D, og G.

Resultatet av analysen brukes videre i forslag til risikoreducerende tiltak i avsnitt 7.1.

Tabell 6: Risikodiagram for skredfare fra Landåsfjellet (kodene viser til uønskede hendelser skissert i fotobilag 2-8)

RISIKODIAGRAM FOR UØNSKEDE HENDELSER, SKRED					
SANNSYNLIGHET	KONSEKVENNS				
	K1 Ubetydelig	K2 Liten	K3 Farlig	K4 Alvorlig	K5 Katastrofalt
S5 - Svært/mest sannsynlig	C4.3				
S4 - Meget sannsynlig	D4.1, F4.2	C4.1, E3.1, E4.4	E3.1*		
S3 - Sannsynlig	E4.1, E4.2, F4.1, G4.3	A4.2, B2.2, B4.2, D3.1, D4.2, E4.1*, E4.2*, F3.1, G4.1, G4.2, G4.4	A4.1, B2.3, B4.1, B4.3, C2.1, D4.2*, D4.3, E4.3	B2.1	
S2 - Mindre sannsynlig		A2.2, A6.1, B5.1, D2.1, D2.2, E2.1, E2.2, E2.3, E2.4, F2.1	A2.1, A5.1, C2.2, D2.2*, D2.3, D5.4, E2.2*, E2.3*	G6.1	
S1 - Lite sannsynlig		A5.1, B5.2, B5.3, D5.1, D5.2, E5.1, E5.2, G2.1	D5.2*, D5.3, E5.2*, E5.3, F6.2	F5.1, F5.3, G5.1, G5.1	F5.2, F6.1

	Lav risiko		Middels risiko		Høy risiko
	Avbøtende tiltak gjennomføres bare når kost/nytte-vurderingen tilsier det		Akseptabel risiko. Avbøtende tiltak iverksettes dersom effekten er stor og ulempene/kostnadene små		Uakseptabel risiko. Avbøtende tiltak er nødvendig

6.6 Akseptkriterier

Ved en vurdering av hvilke tiltak som eventuelt skal iverksettes for å redusere risikoen vil det være naturlig definere hvilke akseptkriterier som skal gjelde. Skredfarevurderinger for planlagt bebyggelse baserer seg på de kvantifiserte kravene i tekniske forskrifter til plan og bygningsloven. Der heter det at sikkerheten mot skred antas å være tilfredsstillende når ødeleggende skred mot byggverk i sikkerhetsklasse 3 (boliger med tilhørende utomhus bruksareal) har mindre årlig nominell sannsynlighet enn én hendelse pr 1000 år. Dette tilsvarer sannsynlighetsklasse S1 i denne analysen. Det er derimot ikke definert en tilhørende konsekvensklasse som tar utgangspunkt i energimengder i skredet, effekt av sikringstiltak og utforming av utomhusareal og bygg.

Plan- og bygningsloven stiller altså krav til planlagt bebyggelse. Det finnes ikke tilsvarende kvantifiserte krav til eksisterende bebyggelse.

Det vil være opp til samfunnet ved beboerne og/eller de lokale myndigheter å beslutte hvilke krav til sikkerhet som skal gjelde for eksisterende bebyggelse og hvilket risikonivå som skal aksepteres. I denne sammenheng vil det være naturlig å sammenlikne skredrisikoen med andre typer risiki som beboerne vil være utsatt for i hverdagen.

Selv om det ikke finnes en klar definisjon på hva som er akseptert risiko, vil vi basert på erfaring gi noen generelle forslag til hvordan resultatene fra denne analysen kan forvaltes med tanke på å heve sikkerhetsnivået. Dette blir gjort i kapittel 7.

7. Forvaltning av resultatene

I dette kapitlet gis noen forslag til hvordan resultatene fra denne rapporten kan benyttes videre i fase III av ROS-analysen.

7.1 Risikoreducerende tiltak

Med bakgrunn i identifisert risiko vil vi i dette avsnittet gi noen generelle forslag til tiltak og nye undersøkelser som kan bidra til å heve sikkerheten mot skred og redusere usikkerheten i foreliggende vurderinger.

Med bakgrunn i manglende henvisninger til hvilken kvantifisert risiko som kan aksepteres, tar vi i denne rapporten ikke stilling til når det skal settes sluttstrek for eventuelle tiltak og undersøkelser. I stedet gir vi vårt forslag til en prioritet på tiltakene og undersøkelsene ut fra vår oppfatning av risikoen, samtidig som vi angir formålet med de ulike tiltakene og undersøkelsene.

De prioriterte sikringstiltakene er valgt ut fra størrelsen på risikoen, sikkerheten i analysen og kompleksiteten i tiltakene. Tiltak mot jord- og flomskredfare er normalt mer komplekse enn tilsvarende mot fjellskred og steinsprang. Når i tillegg usikkerheten er størst knyttet til jord- og flomskred vil nærmere undersøkelser være mer aktuelt for førstnevnte enn for sistnevnte.

7.1.1 Sikringstiltak mot fjellskred og steinsprang

Ut fra identifisering av steinsprangfare omtalt i denne rapporten foreslår vi følgende prioritering på eventuelle tiltak for heving av sikkerhetsnivået:

1. Sikring av boligene Kolstien 27, 29 og 33 samt vegen under, i fall eventuelle steinsprang skulle passere. Sikringen kan utføres i form av et fanggjerd med anslagsvis 3 m overhøyde i forhold til terrenget. Det antas at kapasiteten må tilpasses en treffenergi på 1500 – 2000 kJ. Fanggjerdet bør i utgangspunktet plasseres bak boligene og så langt ned i fjellsiden som mulig slik at det også fanger opp løse blokker i nærheten av boligene. En viss avstand til boligene bør det imidlertid være på grunn av elastiske deformasjoner ved demping av eventuelle steinmasser. En tilpasning mot eksisterende skredvoll over de nye tomtene ved Kolstien 43 vil være fornuftig for å sikre overlapping mellom de ulike tiltakene.
2. Sikring av Kolstien 77 med underliggende tilkomstveg, mot steinsprang fra skredgrop. Sikringen anbefales utført som en voll anordnet av skredmasser som beskrevet tidligere (ref. /5/ og ref. /10/) med en mulig forlengelse mot lekeplass ved Kolstien 73 for å heve sikkerheten også der.
3. Vedlikehold av skredvollen ved Kolstien 43 (nye tomter). Her ligger det jordmasser etter en utglidning i sørlig del av vollen. Disse bør fjernes, og det bør kontrolleres at vollen har en overhøyde på 2 m i forhold til terreng. Vedlikehold av vollen kan altså gjøres med forholdsvis enkle grep. Dette vil heve sikkerheten for de nye tomtene og dessuten for Kolstien 35 så lenge de nye tomtene ikke er bygget ut. Vollen bør ellers renskes for etterlatt skrot som ligger der i dag.

4. Sikring av Kolstien 43 E og F mot større steinsprang. Det er usikkert hvordan sikringen bør utføres, men aktuelle alternativer er enkel anordning av eksisterende skredmasser samt noe tilkjøring av grove masser som supplement for etablering av en veldrenert voll.
5. Vedlikehold og restaurering av eksisterende rassikringsgjerde av tre i bakkant av Kolstien 5-15. Dette inkluderer opprydding og rensk bak gjerdet slik at tilstrekkelig overhøyde ivaretas.
6. Sikring av vegstrekningen Øvre Kolstien 4 – 22 samt garasjebygg langs vegen og bolighus i Øvre Kolstien 22. Tiltaket vil i hovedsak øke sikkerheten for opphold langs vegstrekningen og for materielle verdier i form av garasjebygg på oversiden av vegen. I tillegg vil tiltaket heve sikkerheten for boligene på nedsiden av vegen og boligen i Øvre Kolstien 22 dersom tiltaket forlenges til også å inkludere denne. Sikringstiltaket må tilpasses stedlige forhold, og fanggjerde kan være en aktuell løsning.
7. Sikring av tilkomstveg, garasjebygg/boder og utomhusareal ved Kolstien 79, 81 og 83. Fanggjerde i skråningen øst for boligene kan være en aktuell metode.

Generelt vil det være fornuftig å fjerne skrot og organisk avfall som er etterlatt i flere av de eksisterende sikringskonstruksjonene.

7.1.2 Tiltak mot jord- og flomskredfare

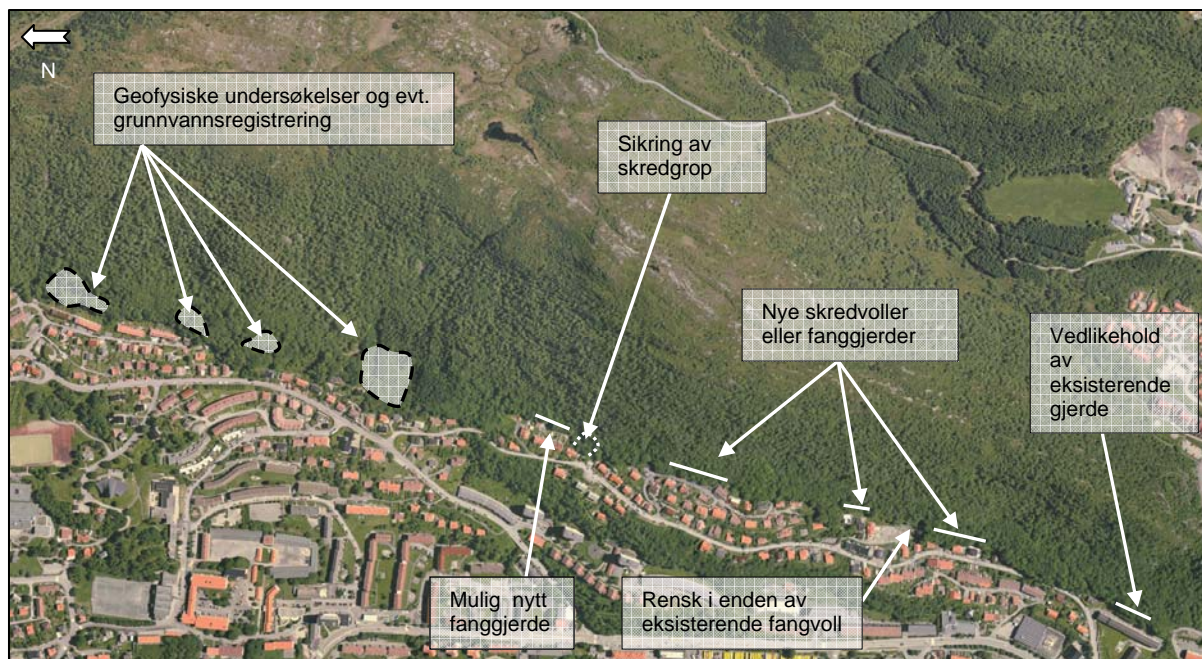
Tiltak mot jord- og skredfare vil ofte være knyttet til god drenering og i ytterste konsekvens en plan for evakuering knyttet til varsel om eller registrering av ekstremnedbør. Vi har ikke til nå gjort funn av akutt jord- og flomskredfare som burde medføre en slik evakueringsplan på nåværende tidspunkt. Men siden flere av skråningene både ut fra geologi og topografi teoretisk sett kan bli ustabile dersom andre forhold medvirker til dette, vil risikoreducerende tiltak i dette tilfellet foreløpig dreie seg om en datainnsamling som kan gi grunnlag for mer presise beregninger.

Vi foreslår følgende tiltak i prioritert rekkefølge:

1. Geofysiske undersøkelser av løsmasser øst for strekningen mellom Kolstien 99 og Landåslie 45D. Undersøkelsene utføres for å kartlegge løsmassenes utbredelse mot dypet, og egenskaper knyttet til den underliggende bergoverflaten. Resultatet fra undersøkelsene kan benyttes for en innledende oppdatering av skredfarevurderingen. Om nødvendig kan supplerende grunnundersøkelser samt grunnvannsregistrering over tid gi verdifulle inngangsparametere for geoteknisk stabilitetsberegning. Grunnvannsregistreringen kan foregå ved utsetting av piezometere. Logging og eventuell fjernavlesing av data fra disse vil kunne vise en sammenheng mellom nedbørsintensitet og endringer i grunnvannstanden.
2. Geofysiske undersøkelser og grunnvannsregistrering i løsmasser øst/nordøst for Sollien 138 etter samme prinsipp som over.
3. Geofysiske undersøkelser og grunnvannsregistrering i løsmasser øst for Landåslie 57 etter samme prinsipp som over.
4. Geofysiske undersøkelser og grunnvannsregistrering i løsmasser øst for Sollien 150 etter samme prinsipp som over.

En mulig framgangsmåte kan være å utføre undersøkelsene angitt i første prioritet og evaluere nytteverdien av disse før man går videre til de neste områdene.

Aktuelle sikringstiltak og supplerende undersøkelser er oppsummert i figur 14.



Figur 14: Oversikt over aktuelle risikoreducerende tiltak

7.2 Planlegging og oppfølging

Som en oppfølging av dette arbeidet og som støtte til videre planlegging og regulering av området og senere skredfarevurderinger foreslår vi at denne rapporten brukes aktivt som et verktøy og at den oppdateres dersom en gjør seg nye erfaringer fra inntrufne uønskede hendelser og fra ny datainnsamling.

Stikkordsmessig, og uten og ta stilling til hvem som eventuelt burde utføre de ulike oppgavene foreslår vi følgende prosesser for videre oppfølging:

- Det bør utvikles en enkel metodikk for registrering av større uønskede skredhendelser der lokalisering, skredtidspunkt, volum, løseområde, utløpsdistanse, skredtype og eventuelle skader registreres. Dette bør samordnes med Norges Geologiske Undersøkelse sin nasjonale skredatabase på nett (www.skrednett.no).
- For mindre steinsprang bør antall nedfall i voller registreres med jevne mellomrom, for eksempel en gang i året, for å dokumentere effekten av tiltakene som er iverksatt.

- Dreneringen i området bør vedlikeholdes og etterses slik av vannvegene holdes åpne også under ekstremnedbør. Skredutsatte løsmasseskråninger og vannveger bør befares rutinemessig etter ekstremnedbør for dokumentasjon på hva som skjer med løsmasser og vannveier ved flomvannføring. Denne prosessen kan utløses ved registrering av en viss mengde ekstremnedbør, for eksempel ved døgnedbør på 100 mm.
- I en eventuell generell vedlikeholdsplan for skogen i fjellsiden bør det tas i betraktning at skogbrann og flatehogst generelt vil ha en uønsket effekt for skredfaren, mens fjerning av døde trær og rått vegetasjon generelt vil ha en positiv effekt.

7.3 Varsling og evakuering

Evakuering og varsling vil være mer aktuelt for jord- og flomskred enn for fjellskred og steinsprang ettersom førstnevnte er mer direkte knyttet mot klimaparametere, foregår etter mer forutsigbare skredbaner, og de er vanskeligere å sikre seg mot enn sistnevnte. Steinsprangene vil forekomme på mer sporadiske tidspunkt og langs noe mer tilfeldige skredbaner enn jordskredene.

Selv om kjente kombinasjoner av nedbør og temperatur generelt øker risikoen for jord- og flomskred, har vi ikke i dette arbeidet gjort funn som direkte knytter risikoen til konkrete klimaparametere. Videre foreligger ikke data som gir tilstrekkelig godt grunnlag for å forutsi en slik konkret sammenheng. Det vil derfor være vanskelig å definere hvilke boliger som burde falle inn under eventuelle varslings- og evakueringsrutiner på det nåværende tidspunkt.

Vi foreslår at utarbeidelsen av eventuelle varslings- og evakueringsplaner, hvis det skulle vise seg å bli behov for slike, tar hensyn til supplerende geofysiske undersøkelser av løsmassene i dette analyseområdet og eventuelt oppfølgende grunnvannsregistrering og geotekniske stabilitetsanalyser basert på disse. En overordnet plan for hele kommunen som tar hensyn til resultater fra øvrige analyseobjekter vil trolig være fornuftig.

En eventuell varslings- og evakueringsplan kan eksempelvis effektueres på grunnlag av værmeldinger, fjernavlesning fra meteorologiske målestasjoner og/eller fjernavlesning av grunnvannsmålinger i de aktuelle løsmasseskråningene.

Ellers kan det være verdt å merke seg hvilke tidspunkt av året der sannsynligheten for skred antas å være størst (se avsnitt 5.4)

7.4 Videre kartlegging

For skredfarevurderinger andre steder i kommunen anbefaler vi at det tas hensyn til at metoder for kartlegging over store områder i stor grad baserer seg på tilgjengelig kartgrunnlag i tillegg til feltobservasjoner.

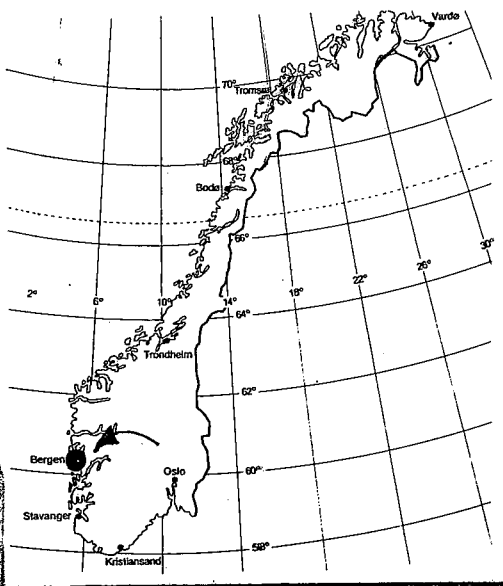
Der tett skog har vanskeliggjort kartleggingen kan det være en mulighet å utføre supplerende topografisk kartlegging ved hjelp av laserskanning for eksempel fra helikopter. Videofilming og fotografering av de mest utilgjengelige områdene vil være et nyttig hjelpemiddel. Dette bør utføres i vintersesongen når det ikke er løv på trærne. For mye snø vil være negativt fordi det kan dekke over viktig geologisk informasjon, mens små mengder nysnø vil bidra positivt til å forsterke kontrastene på strukturer i terrenget.

Dersom det utføres helikopterbefaring av øvrige analyseobjekter i kommunen, anbefaler vi at også Landåsfjellet tas med. Dette vil utgjøre et godt supplement til vurderingene i denne rapporten.

Eldre fly- og landskapsfoto tatt i perioder med mindre skog enn i dag vil for øvrig utgjøre nyttige bidrag til en best mulig geologisk og topografisk oversikt over områdene. Det er derfor viktig å ta vare på slikt materiale og gjøre det tilgjengelig for videre oppfølging og analyse.

Referanser

1. Norges geologiske undersøkelse (2006). Potensielt skredfarlige områder i Bergen kommune. Delrapport 1. 2006.043
2. Ragnhildstveit, J., og Helliksen, D. (1997): Geologisk kart over Norge, berggrunnskart Bergen M 1:250 000. Norges Geologiske Undersøkelse
3. Thoresen, M. K., Lien, R., Sønstegaard, E. og Aa, A. R. (1995): Hordaland fylke, kvartærgeologisk kart 1:250 000. Norges geologiske undersøkelse
4. Moe, B. (2002). Botanisk undersøkelse av Byfjellene i Bergen. Miljø, byutvikling og tekniske tjenester, Bergen kommune.
5. NOTEBY AS (1998): Ras Kolstien 77-81. Beskrivelse – Risikovurdering – Sikring. Rapport 52327-1, 7. desember 1998
6. NOTEBY AS (1998): Kolstien 27. Ras 25.12.98. Notat 51403, 28. desember 1998
7. NOTEBY AS (1987): Kolstien, tomt nr 27, sikringstiltak. Rapport 39107, 8. januar 1987
8. NOTEBY AS (1987): Kolstien 43 H. Rasrisikovurdering. Rapport 36190, 4. juli 1987
9. NOTEBY AS (2000): Kolstien 43. Rassikring. Rapport 400439-1, 23. november 2000
10. MULTICONSULT (2006): Kolstien 77-81. Rasfarevurdering. Notat 610842-2
11. NOTEBY (2004): «STABIL v 3.0. A program for Stability Analysis of Slopes. User's manual. Rev. 1. 69. pages. Report no. 100105-1.
12. Stevens, W. D. (1998): RocFall: a Tool for Probabilistic Analysis, Design of Remedial Measures and Prediction of Rockfalls. A thesis submitted in conformity with the requirements for the degree of Master of Applied Science, Graduate Department of Civil Engineering, University of Toronto.



**BERGEN KOMMUNE
SKREDFARE FRA LANDÅSFJELLET
RISIKO- OG SÅRBARHETSANALYSE, FASE II**

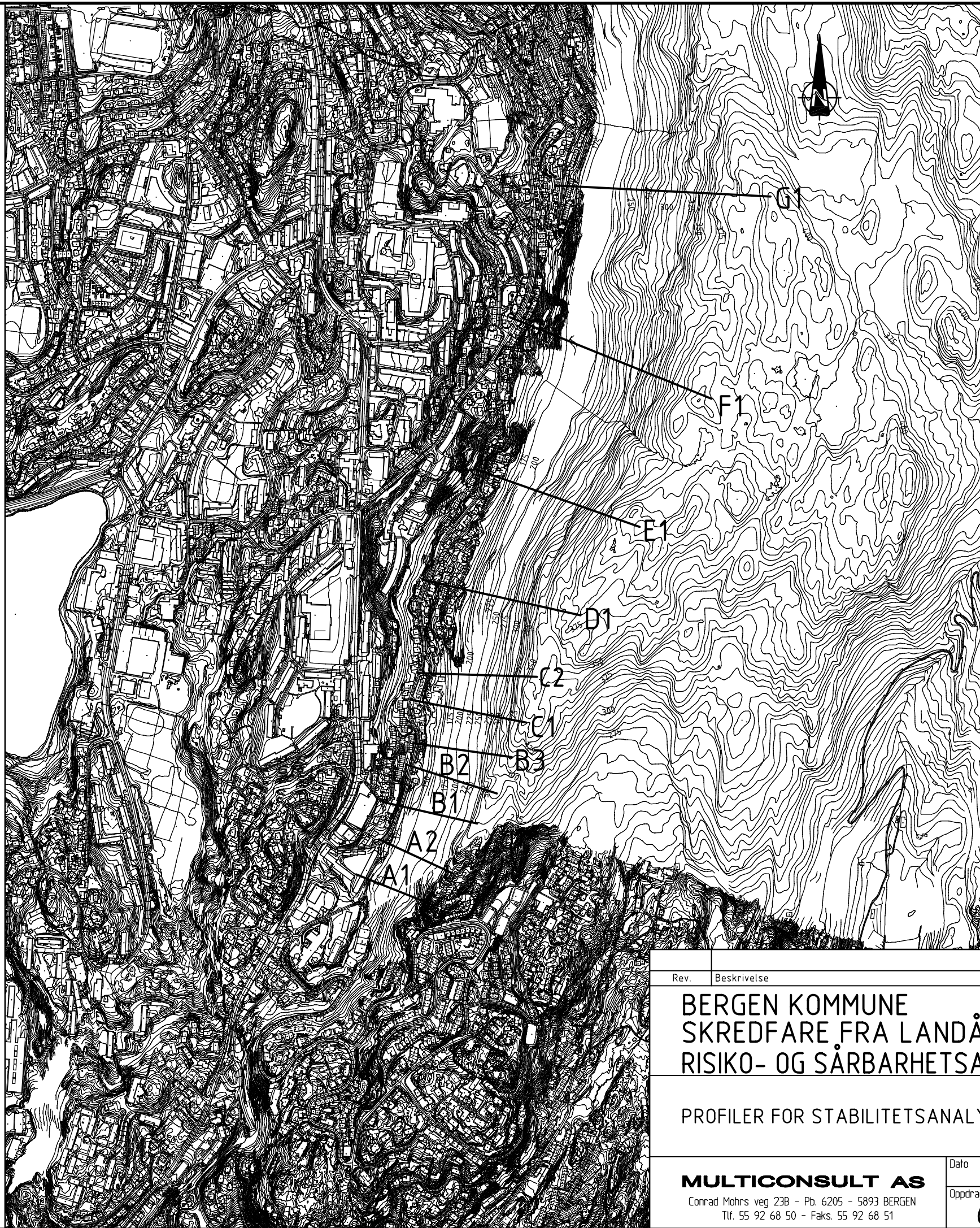
OVERSIKTSKART

Original format	Fag
Tegningens filnavn	
Underlagets filnavn	
Målestokk	
1:50000	

MULTICONSULT AS

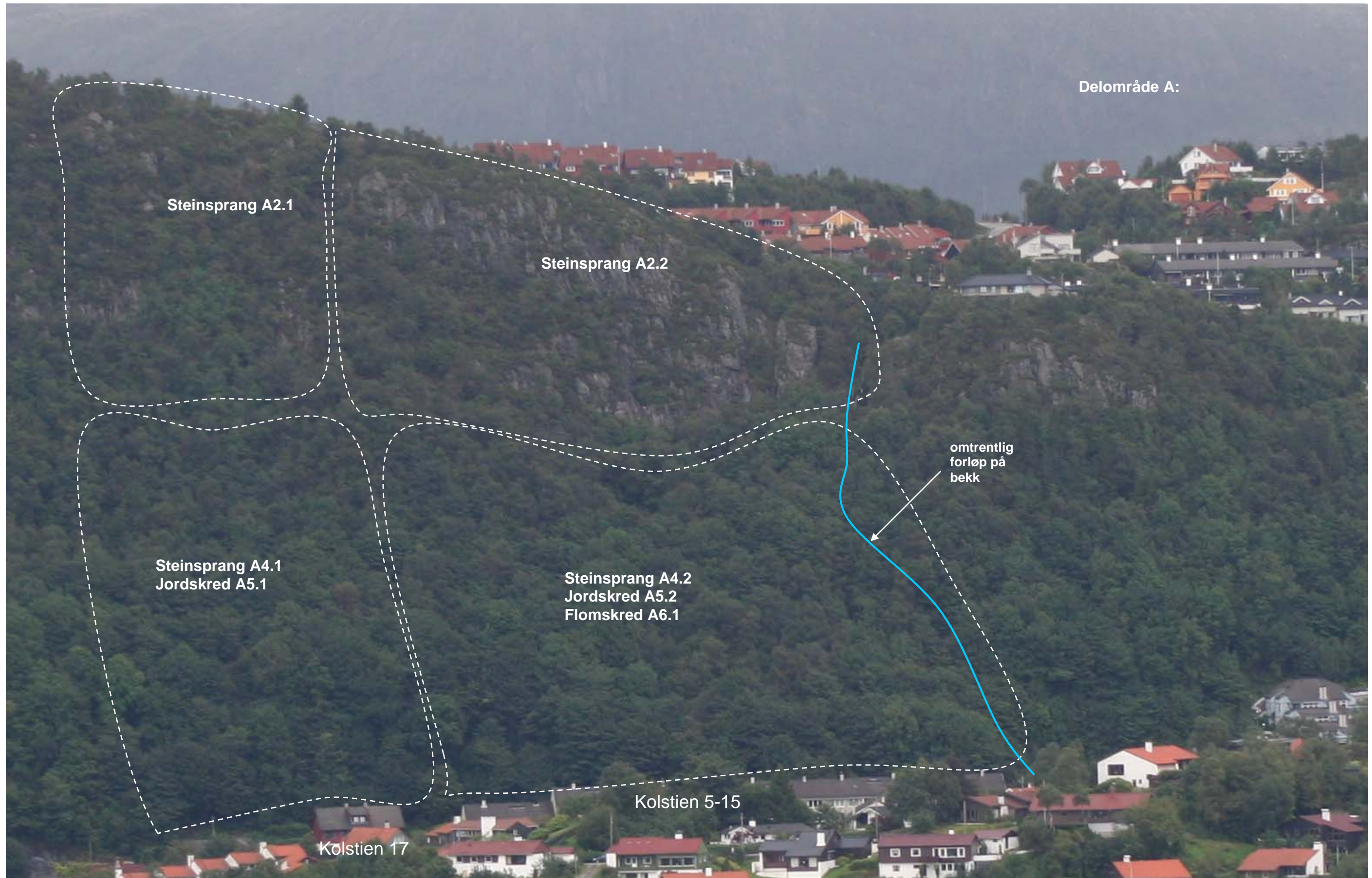
Conrad Mohrs veg 23B - Pb. 6205 - 5893 BERGEN
Tlf.: 55 92 68 50 - Faks: 55 92 68 51

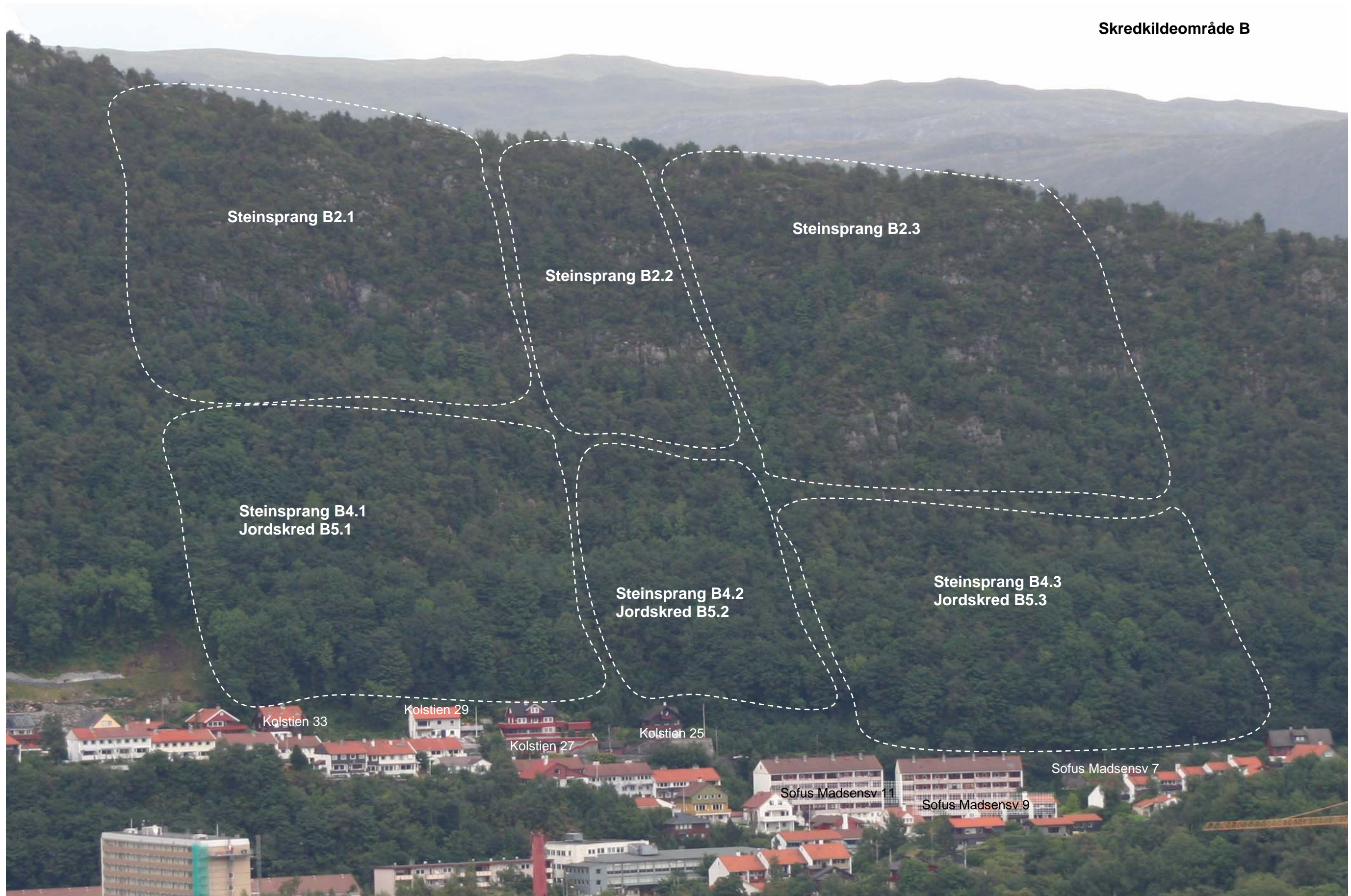
Dato	18.09.06	Konstr./Tegnet / JSB	Kontrollert	Godkjent
Oppdragsnr.	611003	Tegningsnr.	0	Rev.

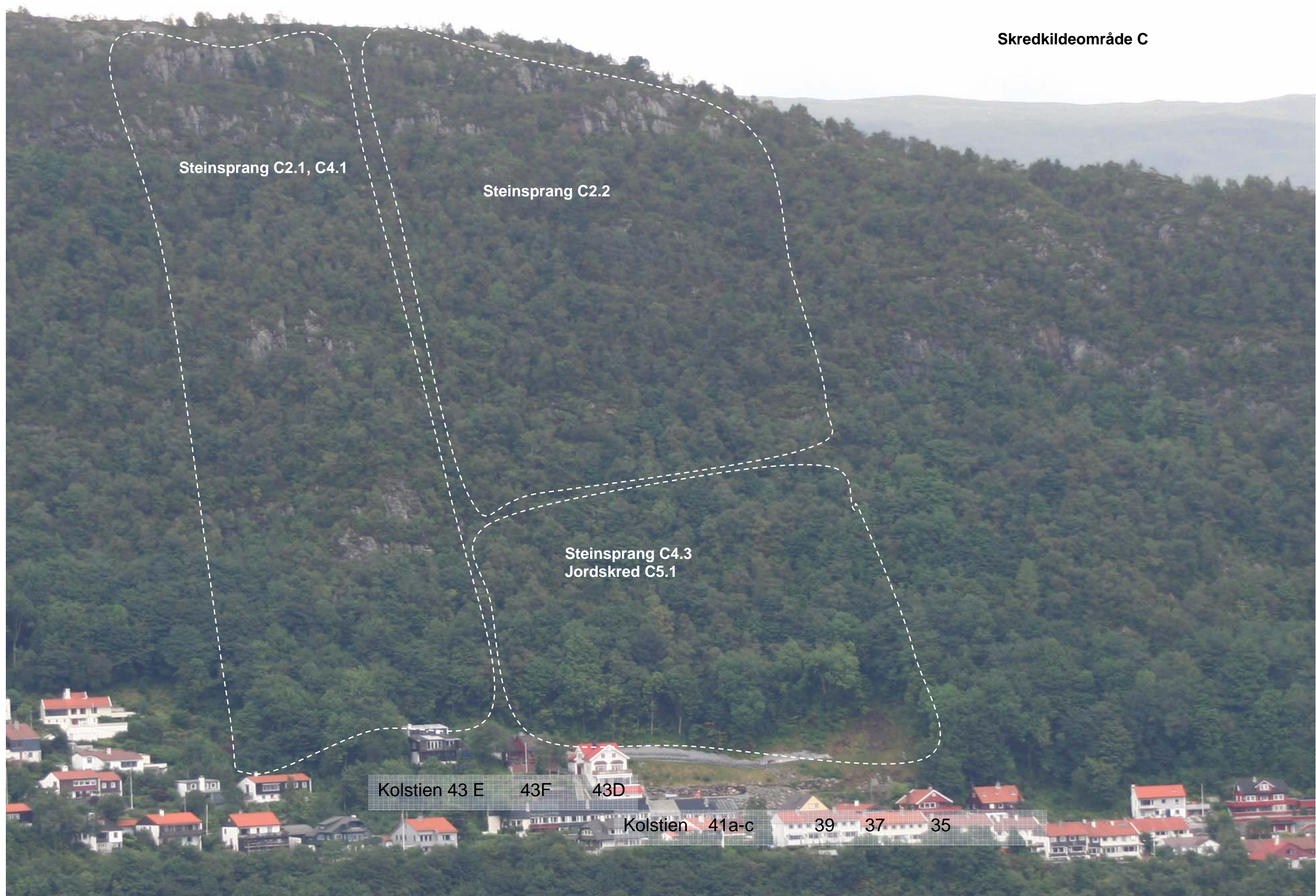


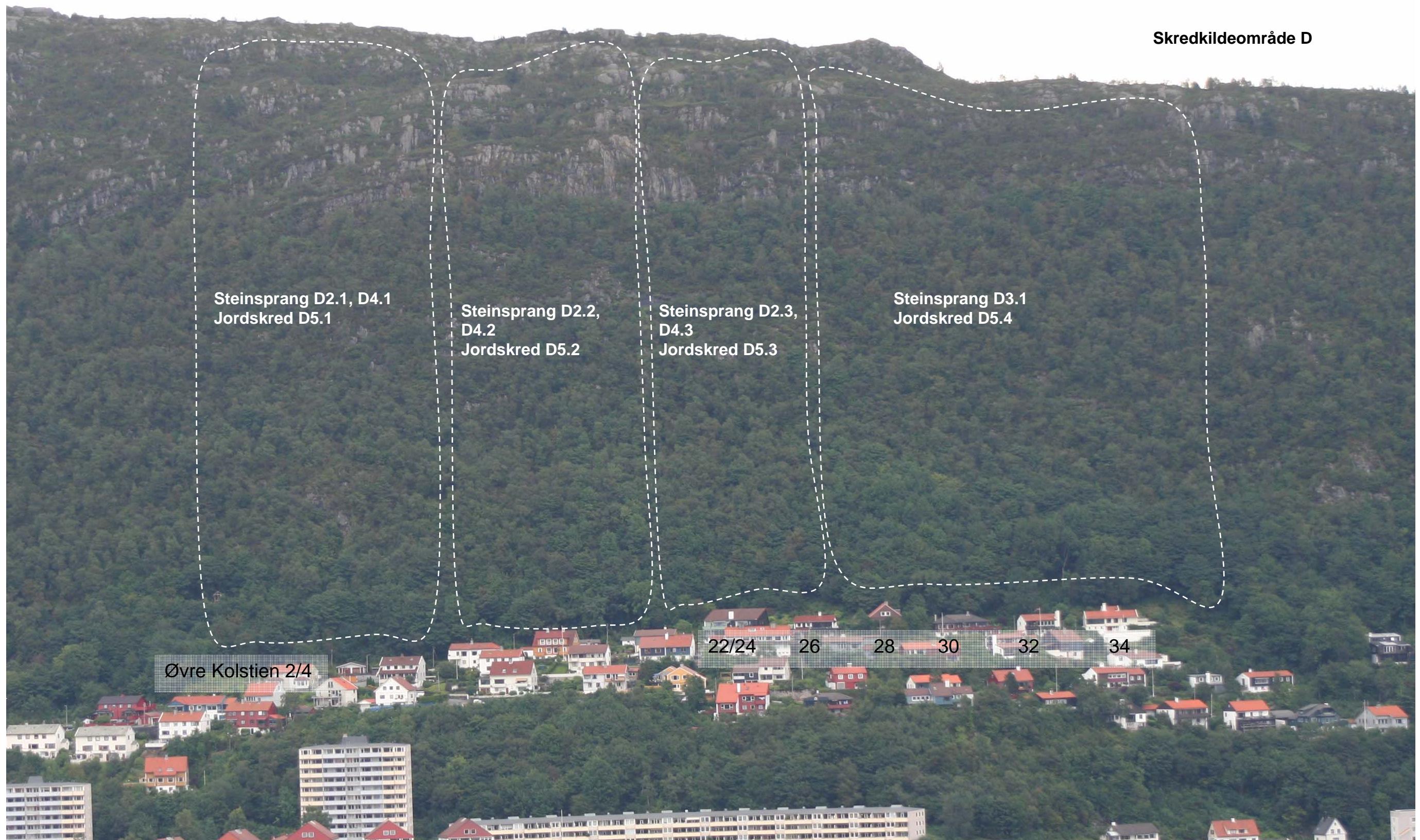
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
	BERGEN KOMMUNE SKREDFARE FRA LANDÅSFJELLET RISIKO- OG SÅRBARHETSANALYSE, FASE II	Original format A3	Fag INGENIØRGEOLOGI		
		Tegningens filnavn 0:1611003-GEOPLOT TERRENG-TEGNINGER-1			
	PROFILER FOR STABILITETSANALYSER	Målestokk 1:10000			
MULTICONSULT AS Conrad Mohrs veg 23B - Pb. 6205 - 5893 BERGEN Tlf. 55 92 68 50 - Faks. 55 92 68 51		Dato 18.09.06	Konstr./Tegnet /JSB	Kontrollert	Godkjent
		Oppdragsnr. 611003	Tegningsnr.	1	Rev.

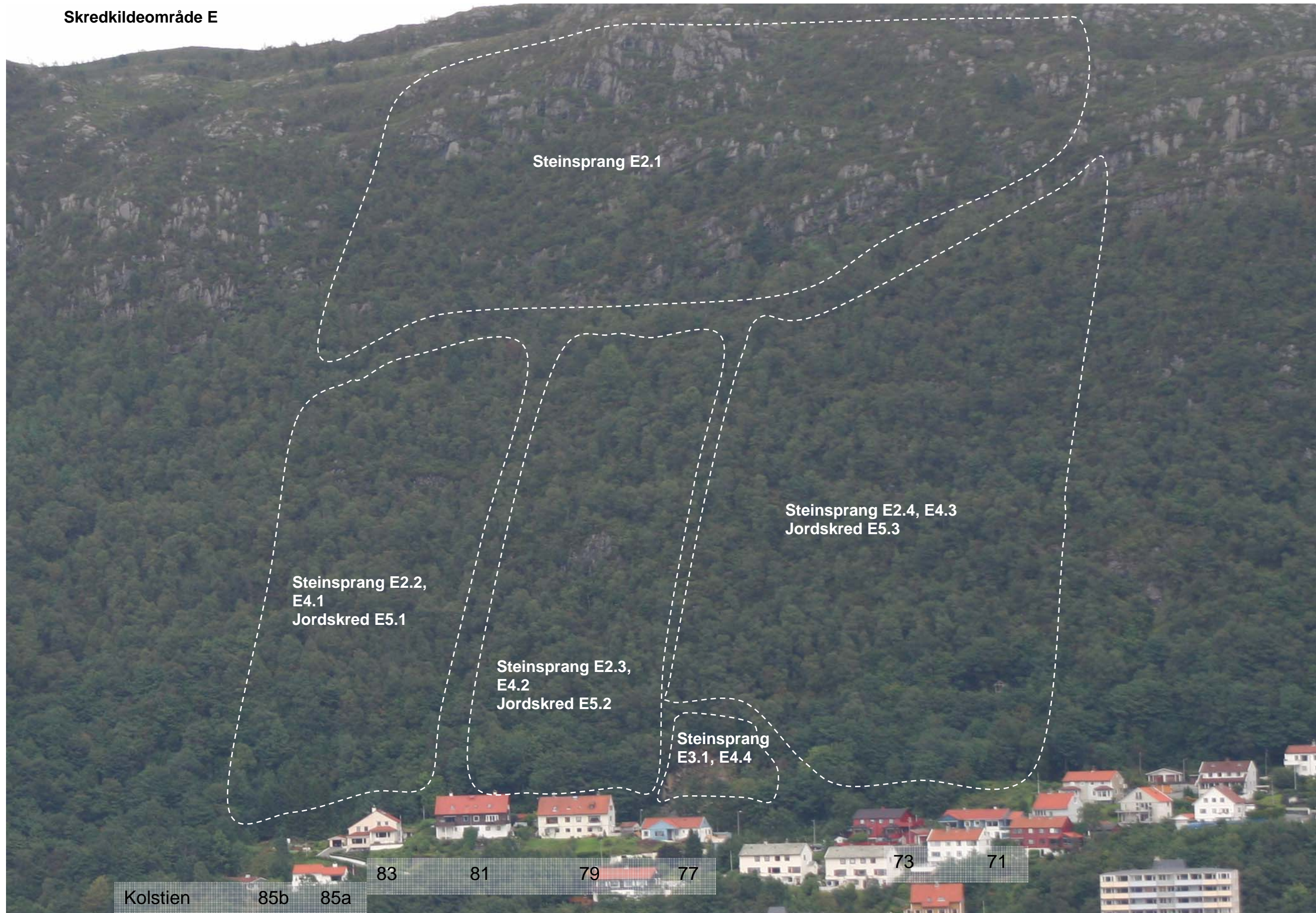


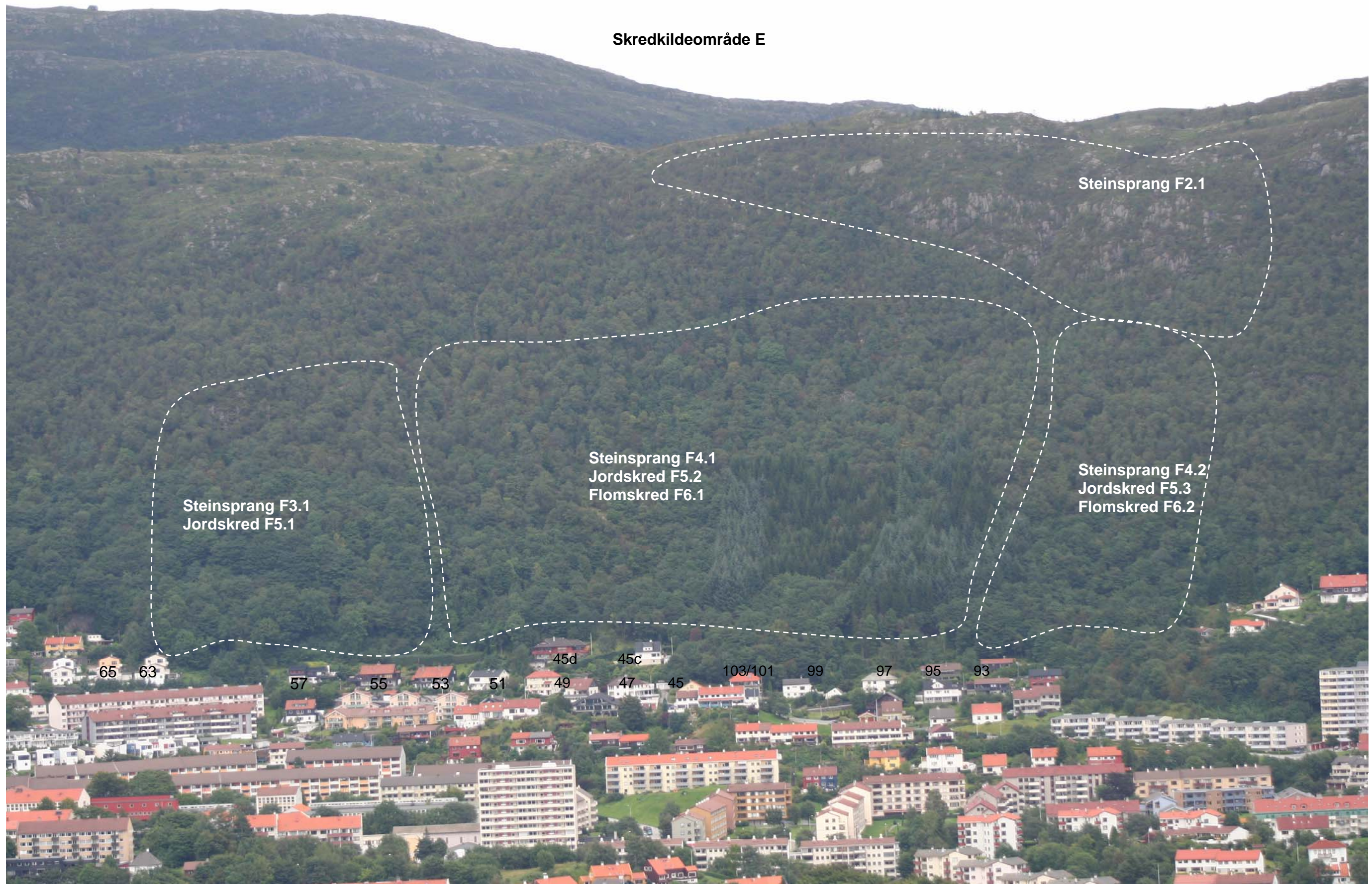


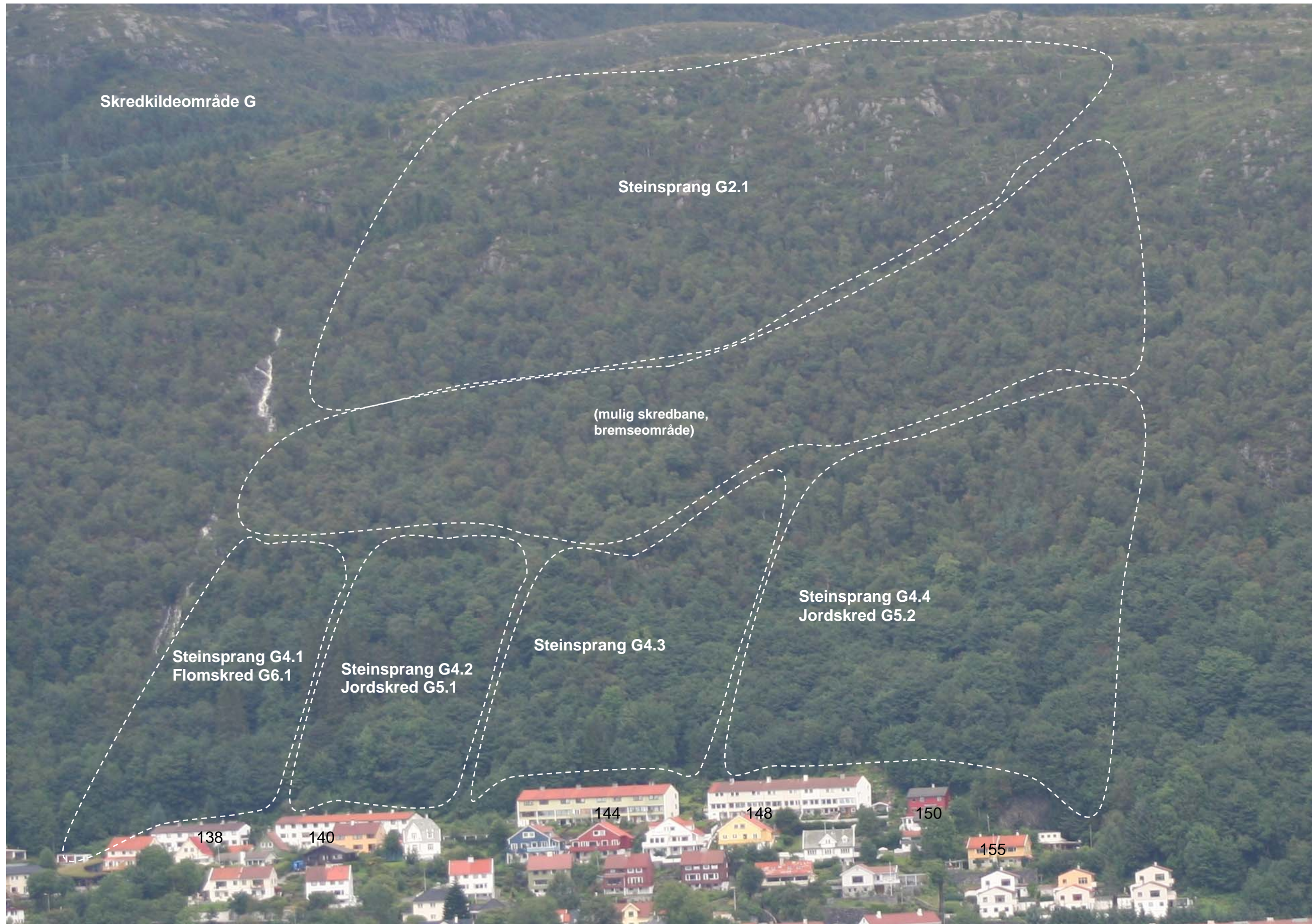








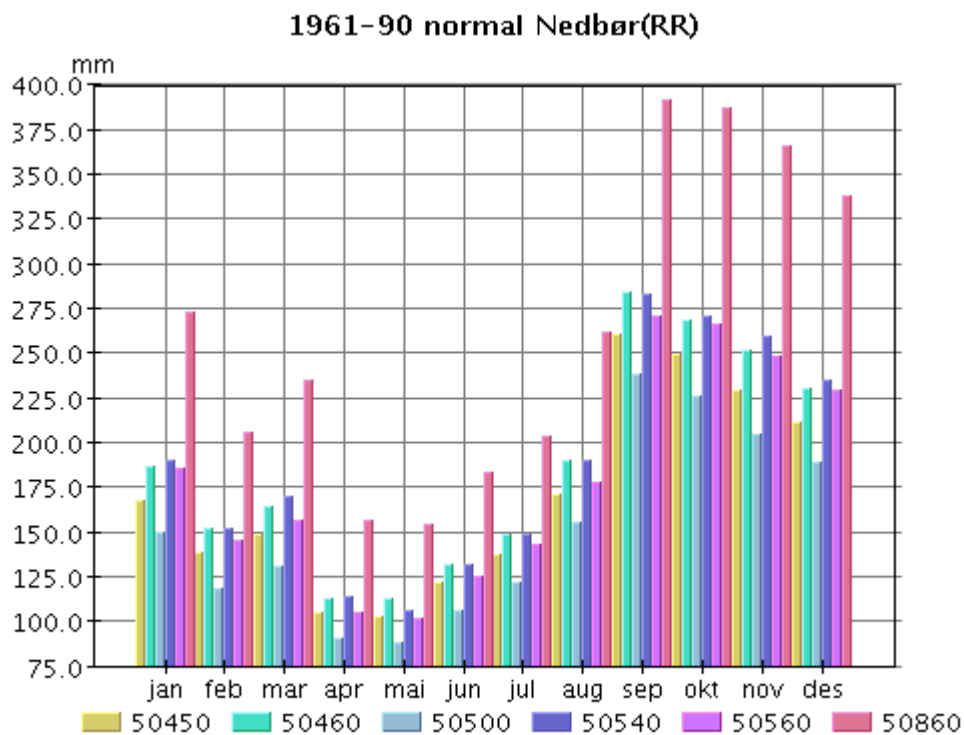




Vedleggsliste

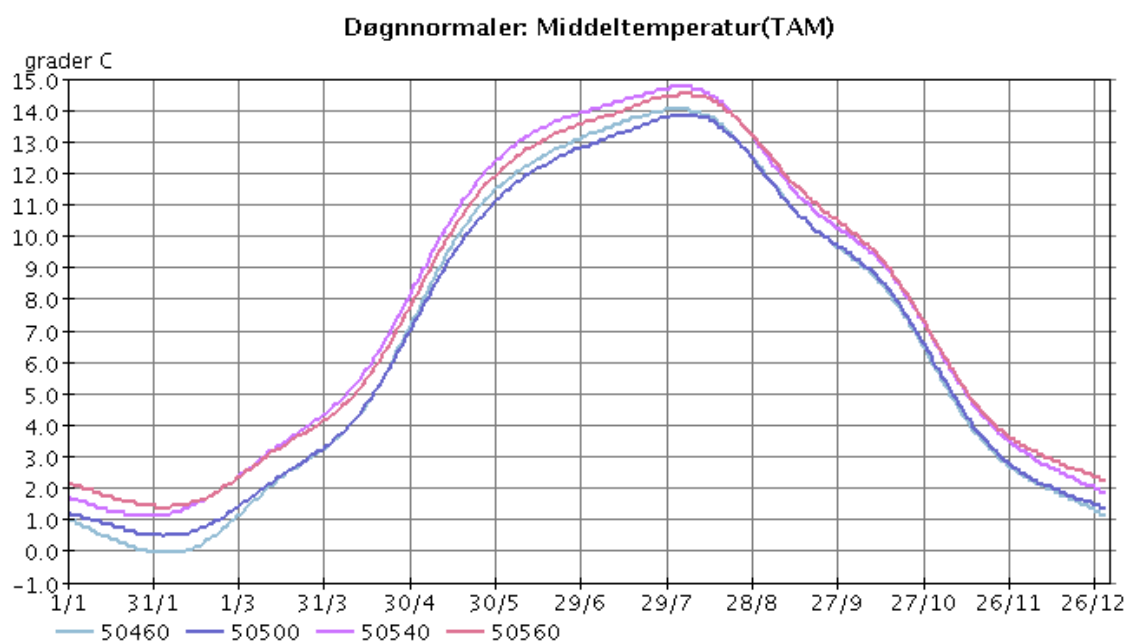
- A) Klimadata fra www.eklima.no
- B) Helningskart
- C) Vannansamlingskart
- D) Utsnitt av flyfoto
- E) Figurer fra analyse i STABIL v3
- F) Figurer fra analyse i RocFall v3.01
- G) Risikodiagram for skredfare fra Landåsfjellet

Klimanormaler nedbør (1961-1990)



Nedbørnormal for Bergen. 50450: Fana/Stend (54 moh), 50460: Fana/Forsøksstasjon (48 moh), 50500 Flesland (48 moh), 50540 Bergen/Florida (12 moh), 50560: Bergen/Fredriksberg (41 moh), 50860: Gullfjell/Osavann (410 moh). Kilde: Meteorologisk Institutt, www.eklima.no

Klimanormaler temperatur (1961-1990)



Temperaturnormaler for Bergen. 50460: Fana/Forsøksstasjon (48 moh), 50500 Flesland (48 moh), 50540 Bergen/Florida (12 moh), 50560: Bergen/Fredriksberg (41 moh). Kilde: Meteorologisk Institutt, www.eklima.no

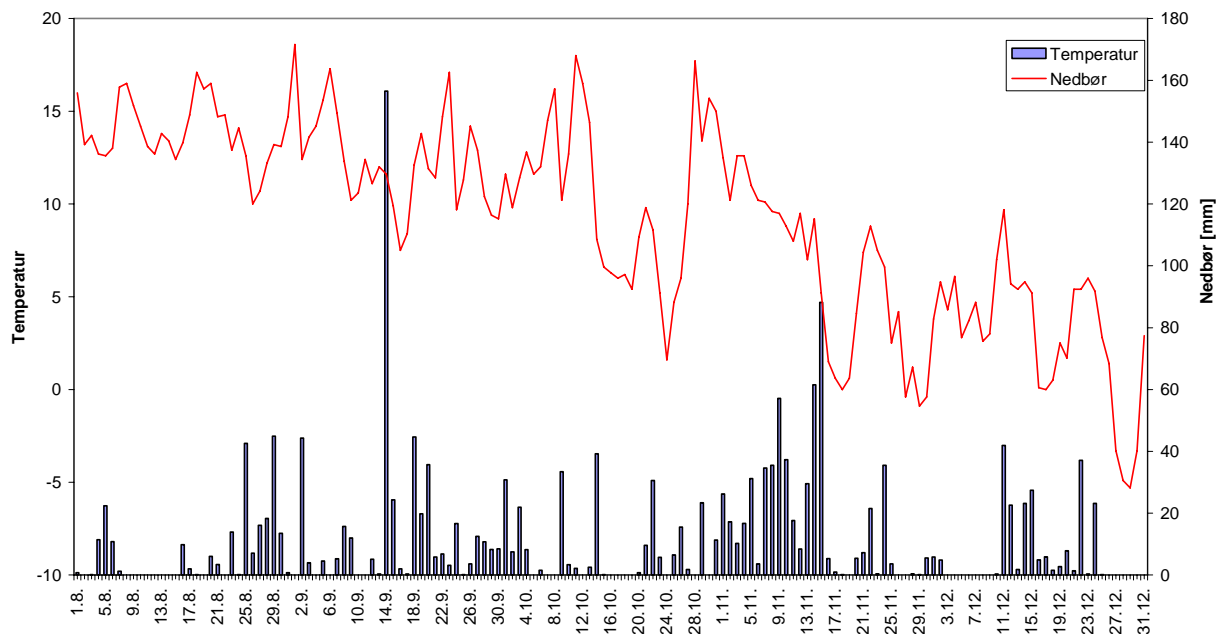
Ekstremverdier døgnnedbør – registrert på 50540 Bergen/Florida (1983-2005)

	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	MAX
1983	64,8	12,5	67,1	24,4	30,4	29,3	18,6	45,4	64,8	92,3	37	48,4	92,3
1984	40,9	22,8	19,1	49,4	9,2	23,8	11,8	57	22,9	55,3	58,6	54	58,6
1985	21,1	47,8	46,6	15,4	15,2	16,2	39,4	35,2	31,4	39,9	23,6	32,3	47,8
1986	34,7	4,1	38,4	6	25,6	26,4	45,7	20,3	62,8	58,1	58,9	39,1	62,8
1987	17	35,5	25,5	28	21,4	10,4	16,9	35,9	35,2	36,9	27,1	32,9	36,9
1988	38,8	28,2	18,8	48,8	20,5	14,4	31	54,7	62,3	39,5	48,9	39,9	62,3
1989	65,2	27,8	41,1	9,4	26,8	55,6	26,5	71,8	52,9	22,8	17,5	30,5	71,8
1990	27,9	27,3	51,9	35,7	12,3	30,5	23	35,7	67,9	83,6	30,5	52,4	83,6
1991	29,1	40,2	55,3	39,5	17,8	41,6	34,8	30,8	50,8	39,3	64,8	59,2	64,8
1992	88	60,8	38	20,8	39,4	11,2	25,2	38,3	35,3	16,6	48,4	63,1	88
1993	35,9	34	32	14,2	23,6	29,7	28,7	28,8	28,4	40	19,8	65,4	65,4
1994	60,3	4,2	49,7	35,6	44,6	46,9	40,7	31	36,9	57,9	27,4	77	77
1995	32,5	54,9	71,8	38,4	26,3	17,5	50,5	33,4	43,4	104,4	45,1	47	104,4
1996	6,8	50	22,9	18,1	16,5	27,3	26,2	25,7	24,1	79,8	28,2	51,1	79,8
1997	36,4	41,6	46,6	31,1	25,2	27	28,4	26	46,7	32,8	35,3	28,4	46,7
1998	33,9	71	34,9	16,4	11,8	27,5	30	40,2	15,2	36,1	61,3	46,4	71
1999	36,7	44,7	64,8	67,7	25,3	69,2	58	35,5	38,8	32,4	58,9	40,7	69,2
2000	60,8	60,2	31,5	29,1	22,8	37	23,4	37,9	31,7	39,9	21,6	28,6	60,8
2001	17,4	20,8	29,6	18,7	11,9	32,6	41,6	47,2	30,3	36	46,3	55,9	55,9
2002	23,6	31,5	32	30	28,5	39,5	57	71,6	48	28,7	34,7	12,9	71,6
2003	43	25,3	25,6	34,3	32,1	40,9	30,9	36,8	66,9	26,4	28,9	57,6	66,9
2004	27,4	19,2	22,3	29,9	27,1	33,7	44,6	45,5	64,6	33,6	66,2	89,7	89,7
2005	51,5	38,7	49,1	41,9	17,6	19,5	22,3	44,9	156,5	39,2	88,2	41,9	156,5
MAX	88	71	71,8	67,7	44,6	69,2	58	71,8	156,5	104,4	88,2	89,7	
År	1992	1998	1995	1999	1994	1999	1999	1989	2005	1995	2005	2004	

Kilde: Meteorologisk Institutt, www.eklima.no

Klimadata fra Bergen/Florida høsten 2005
(ref. jordskred Hatlestad 14/9-05 og Hetlebakke 14/11-05)

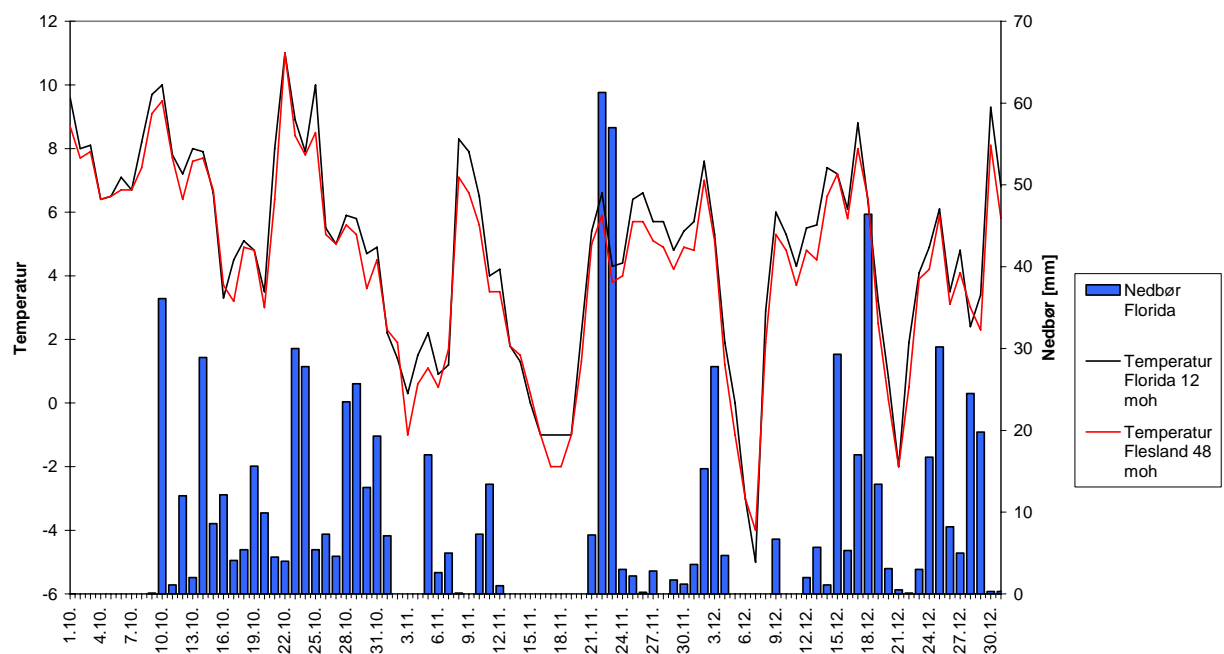
Klima Bergen/Florida høsten 2005



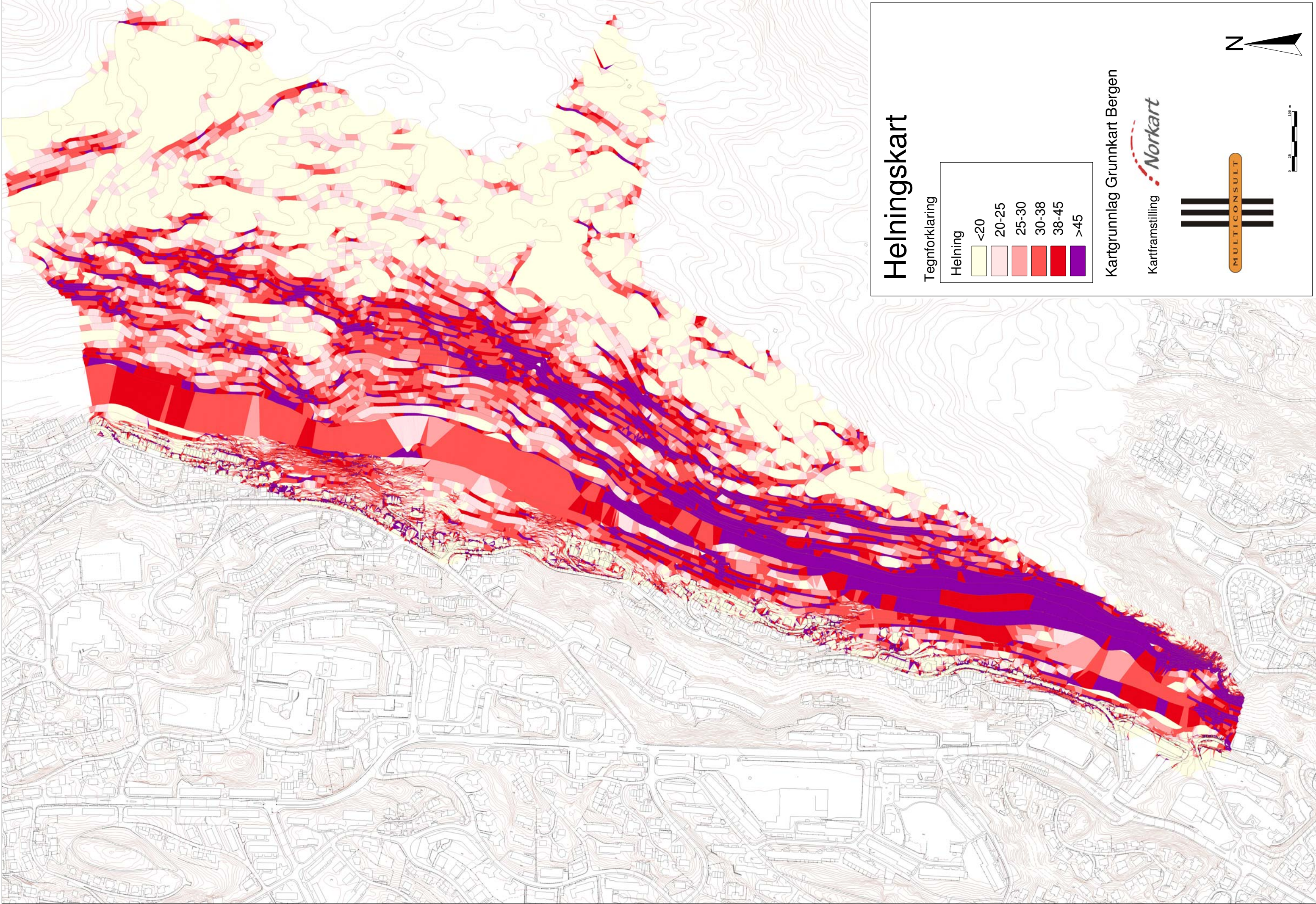
Kilde: Meteorologisk Institutt, www.eklima.no

Klimadata fra Bergen/Florida senhøsten 1998
(ref. steinsprang ved Kolstien; 77 22/11-98 og Kolstien 27; 25/12-98)

Værobservasjoner Florida - Bergen høsten 1998



Kilde: Meteorologisk Institutt, www.eklima.no



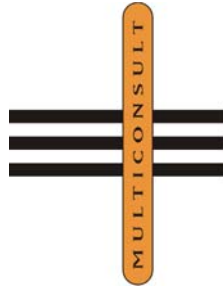
Helningskart

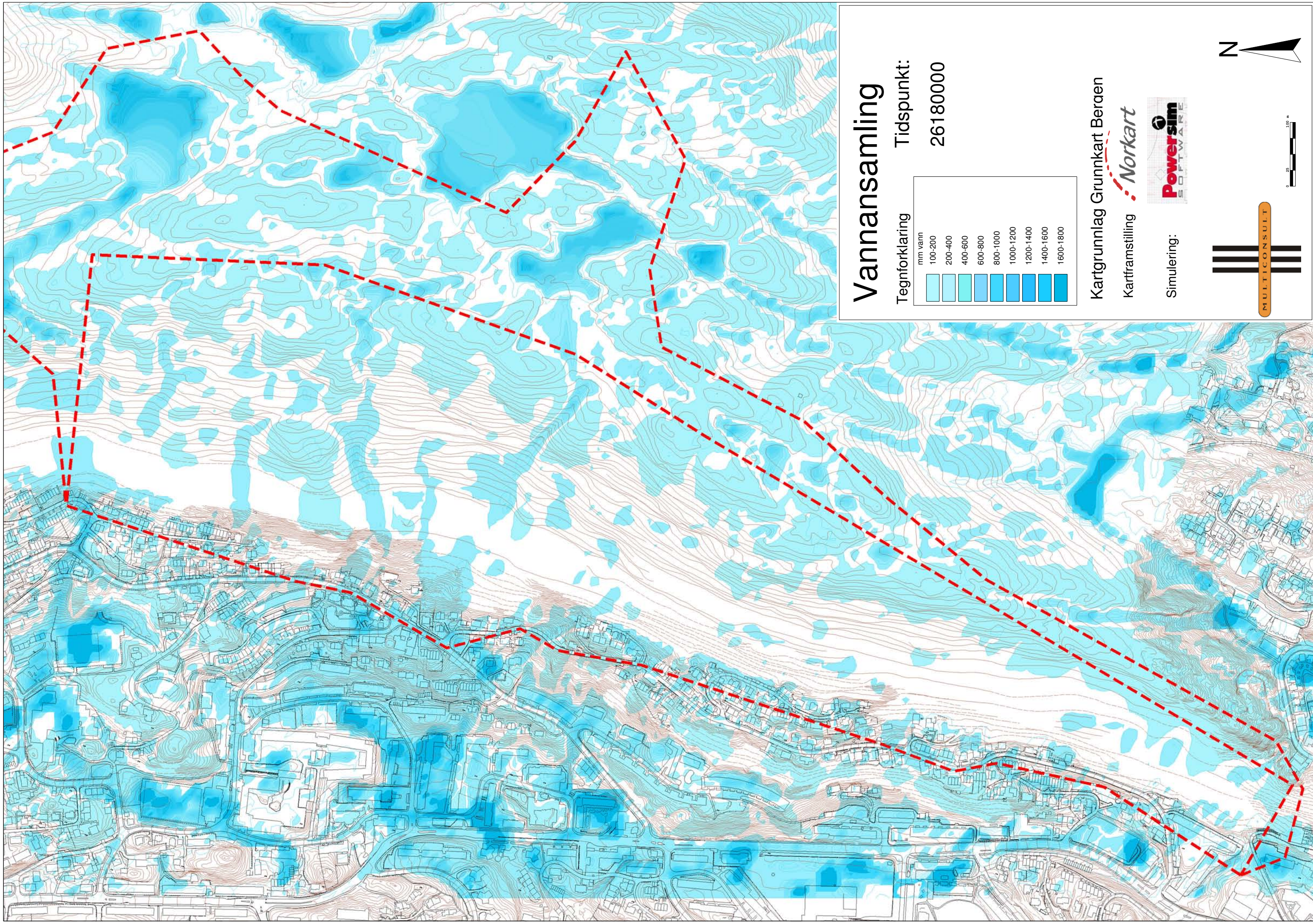
Tegnforklaring

Helning	Color
<20	Yellow
20-25	Light Pink
25-30	Light Red
30-38	Red
38-45	Dark Red
>45	Purple

Kartgrunnlag Grunnkart Bergen

Kartframstilling *Norkart*

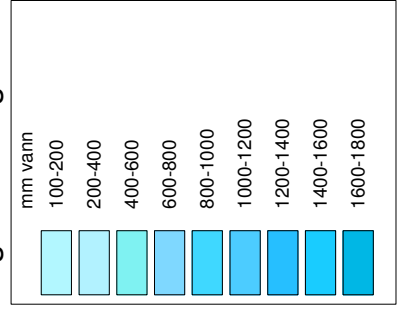




Vannansamling

Tidspunkt:
26180000

Tegnforklaring



Kartgrunnlag Grunnkart Beraen

Kartframstilling **Norkart**

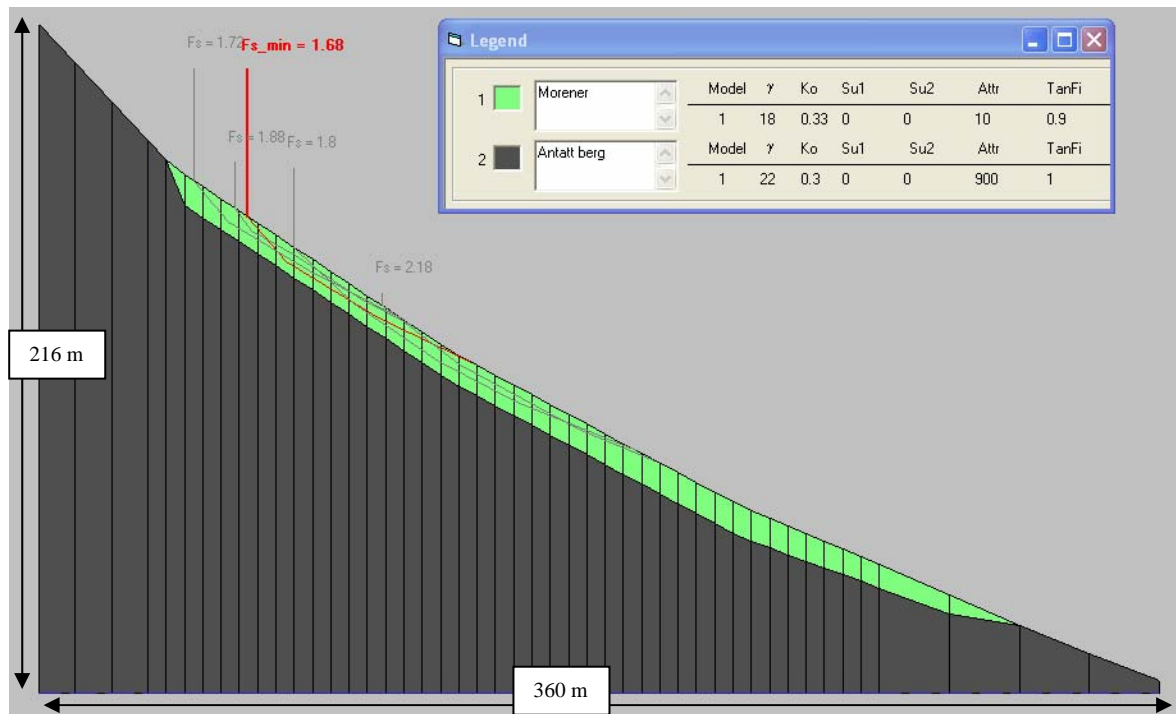


Simulering:

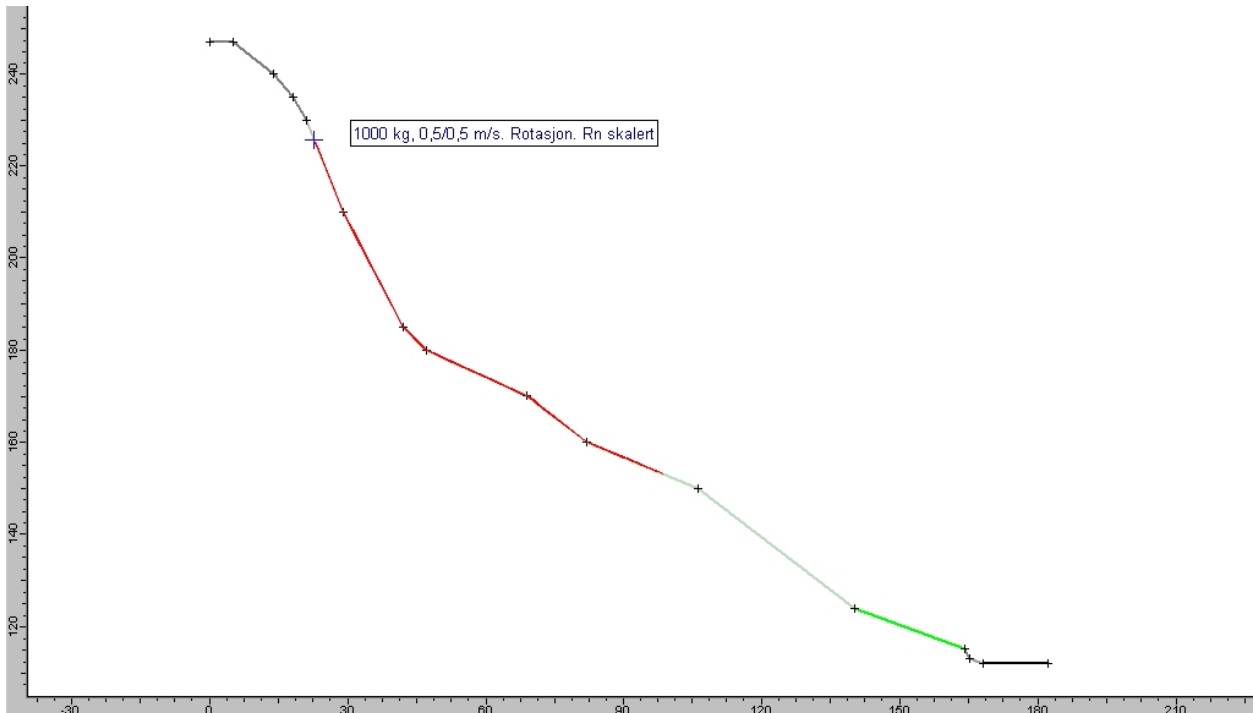




Inngangsparametere og resultater fra geoteknisk stabilitetsanalyse utført i programvaren Stabil v3

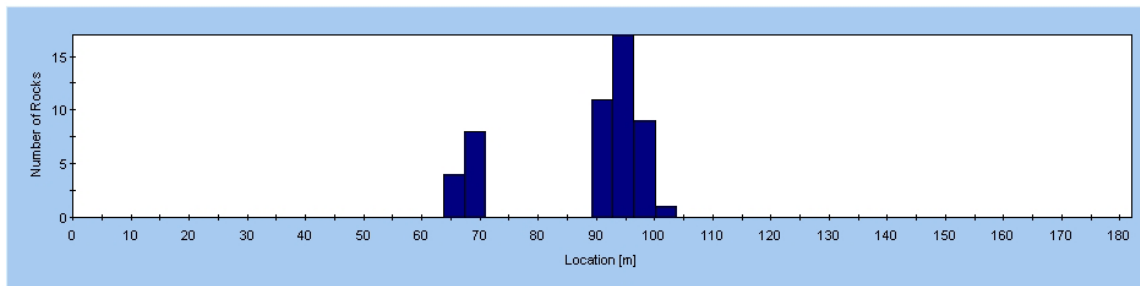


Kildeområde A. Profil A1

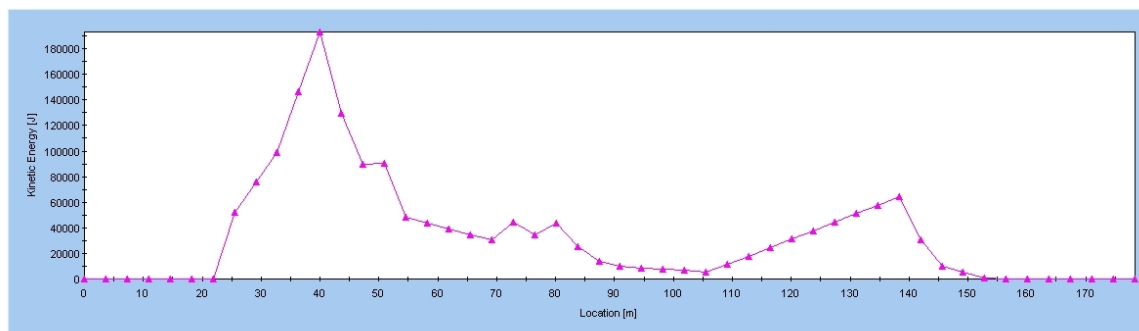


Horisontale utløpslengder

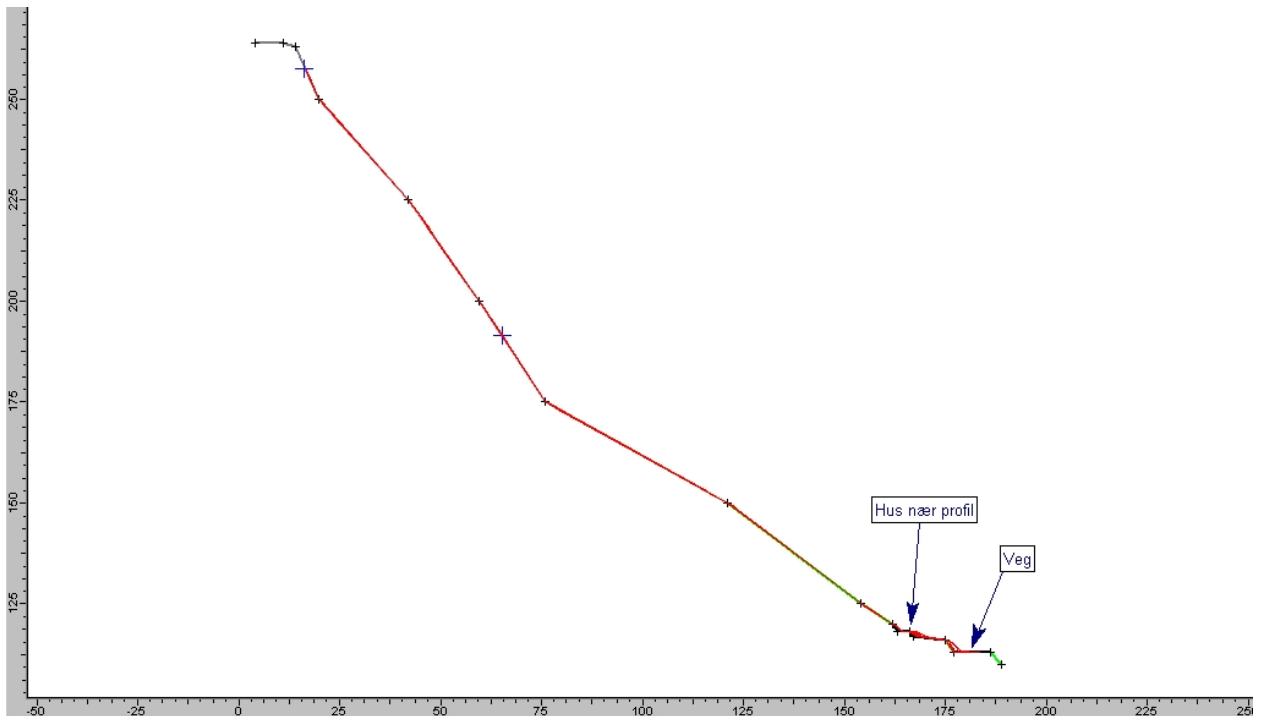
Horizontal Location of Rock End-points



Kinetisk energifordeling

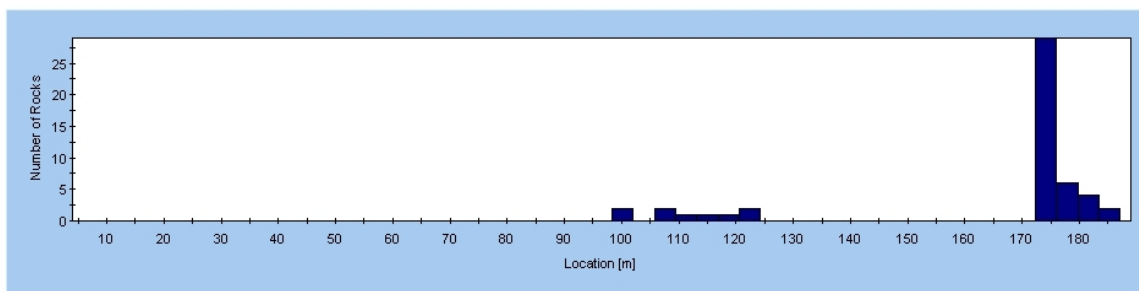


Kildeområde A. Profil A2

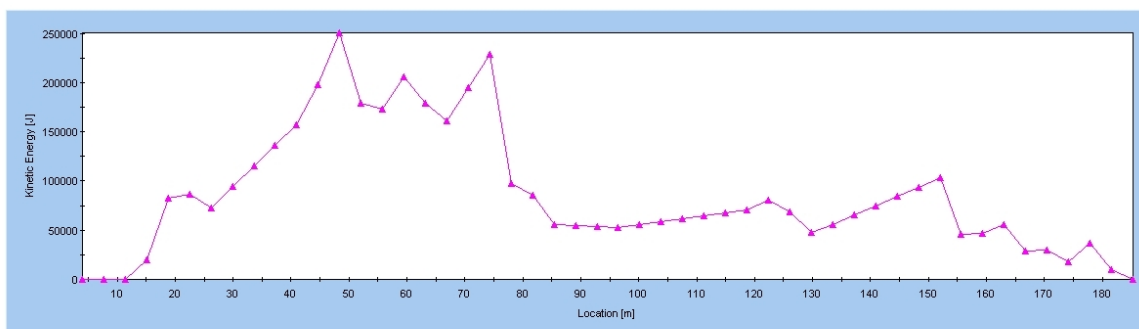


Horisontale utløpslengder

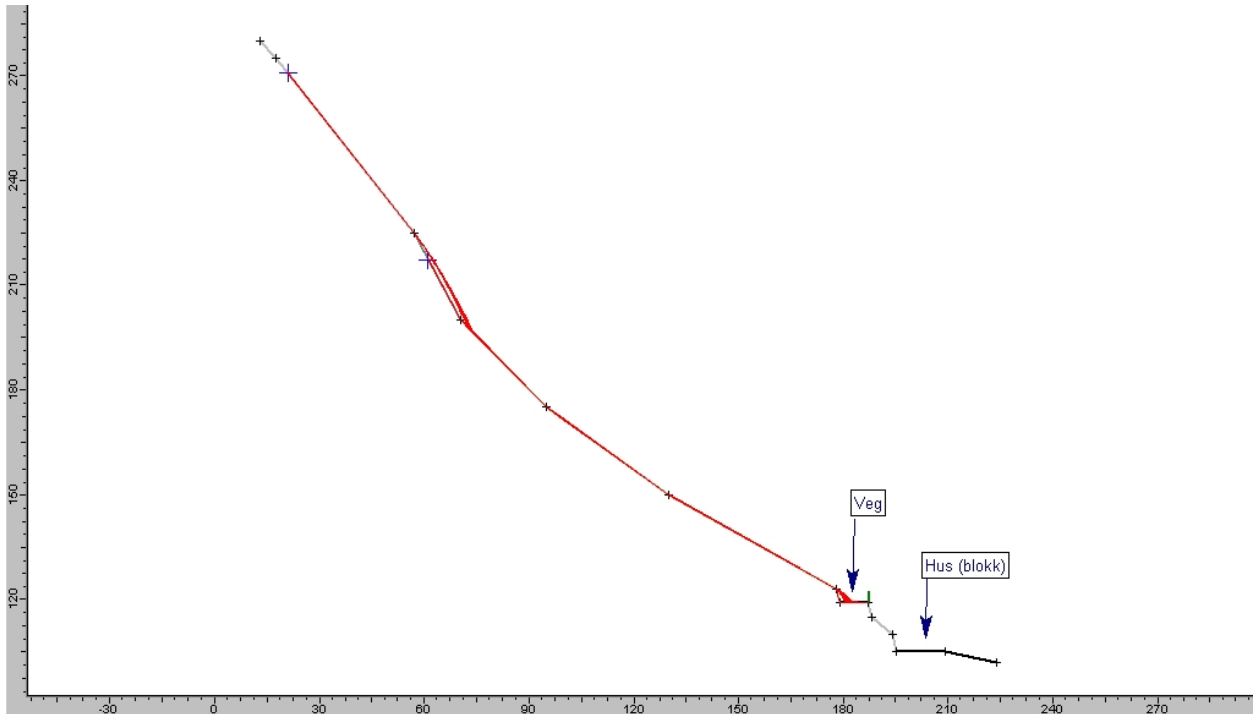
Horizontal Location of Rock End-points



Kinetisk energifordeling

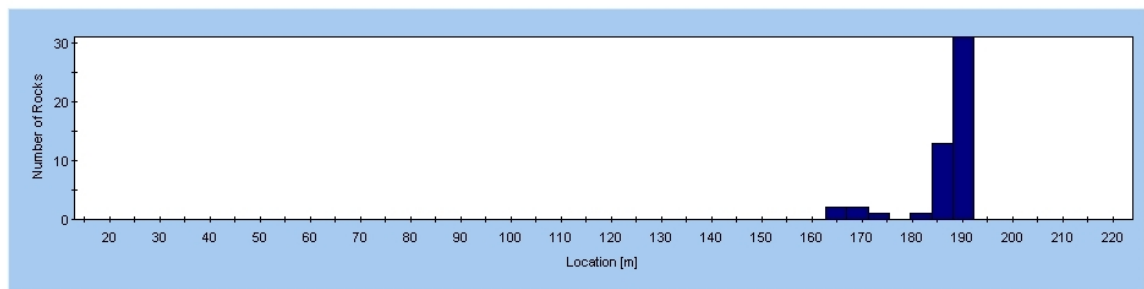


Kildeområde B. Profil B1

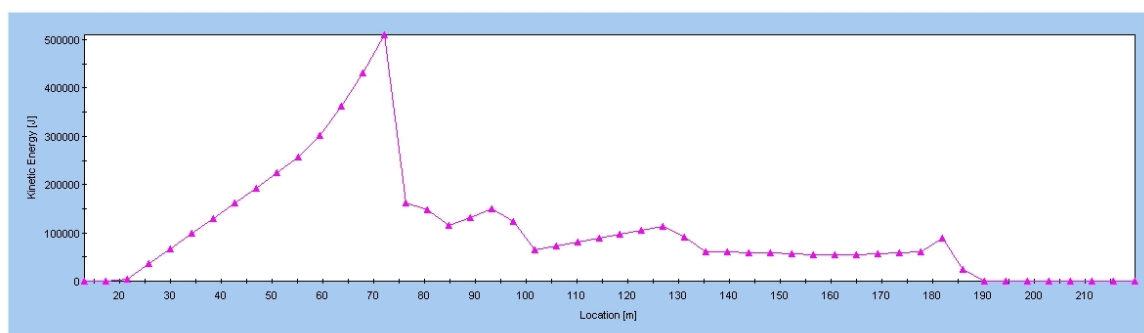


Horisontale utløpslengder

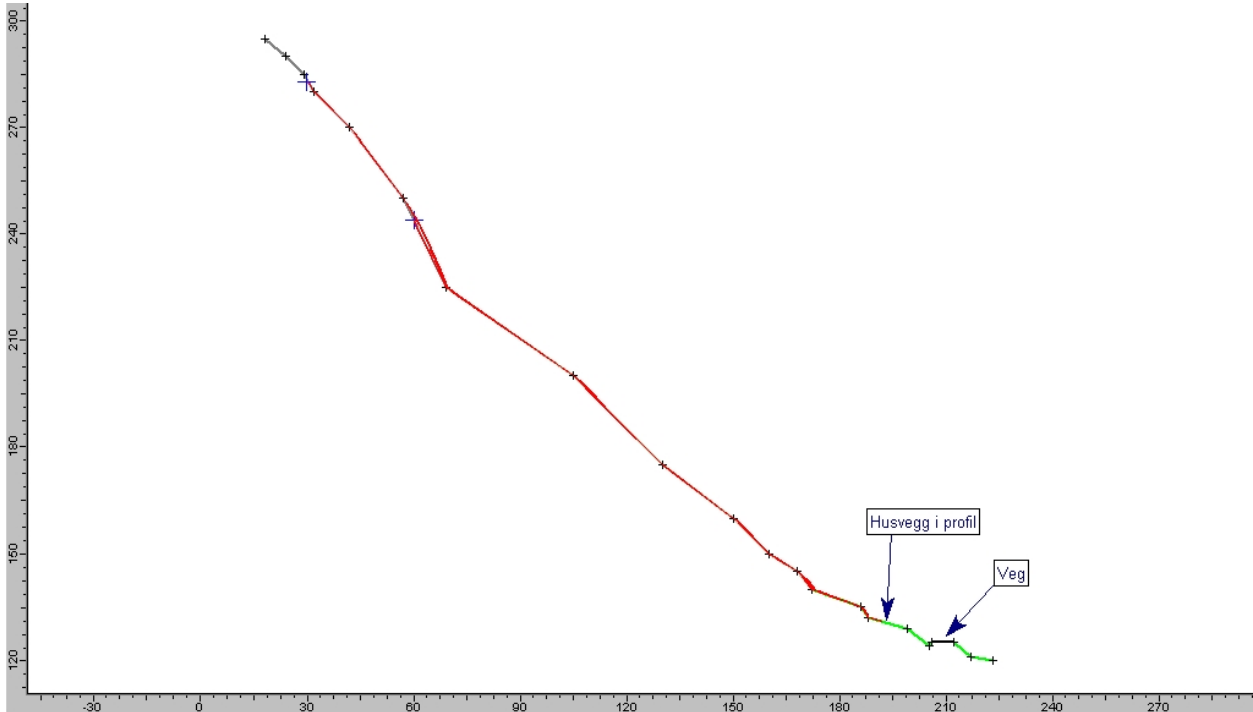
Horizontal Location of Rock End-points



Kinetisk energifordeling

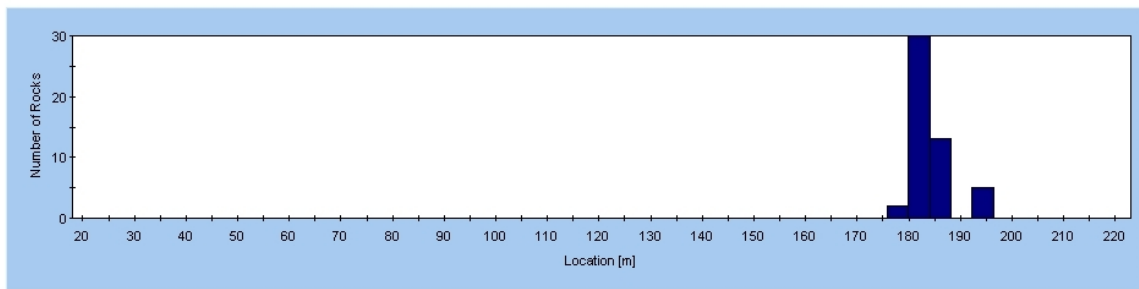


Kildeområde B. Profil B2

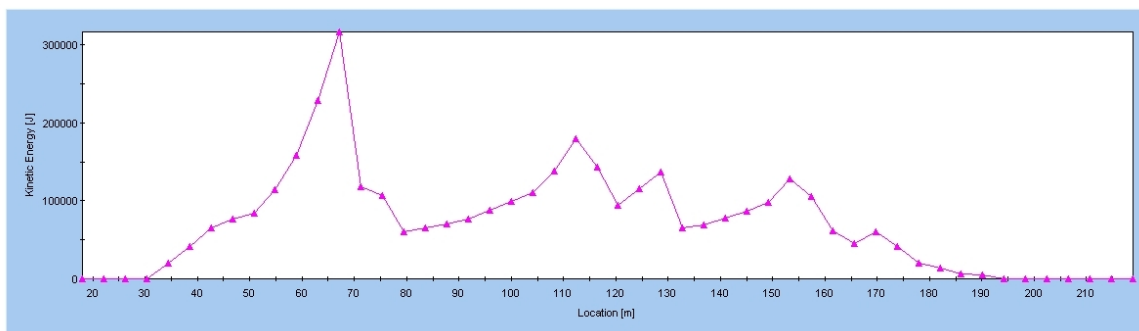


Horisontale utløpslengder

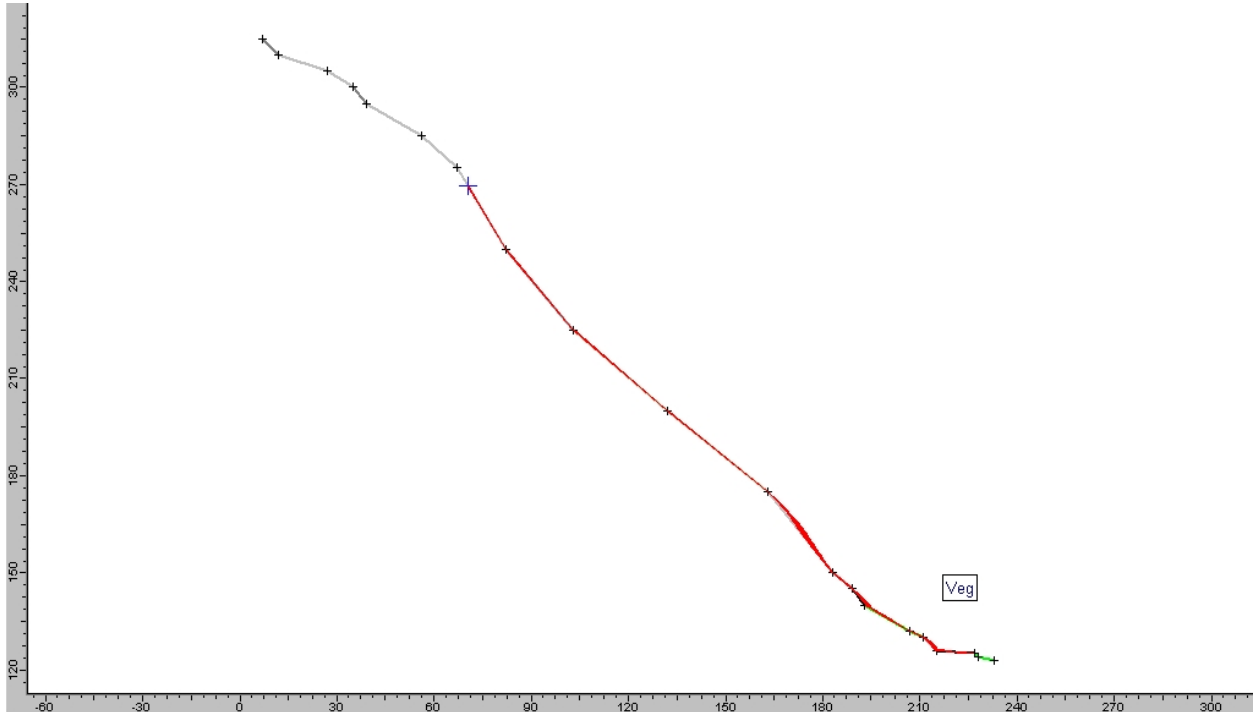
Horizontal Location of Rock End-points



Kinetisk energifordeling

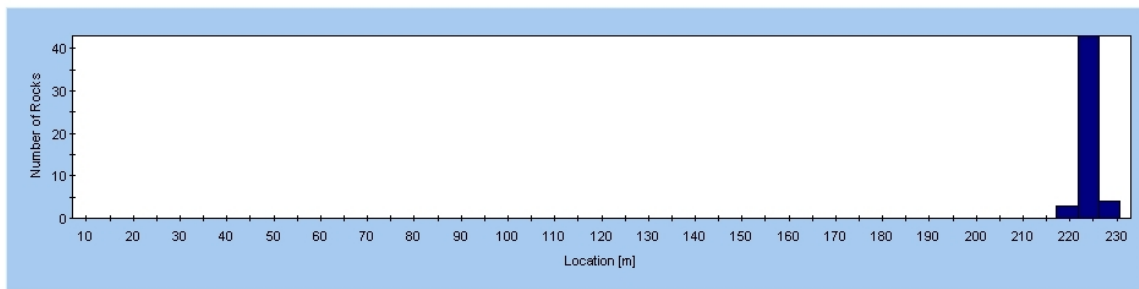


Kildeområde B. Profil B3

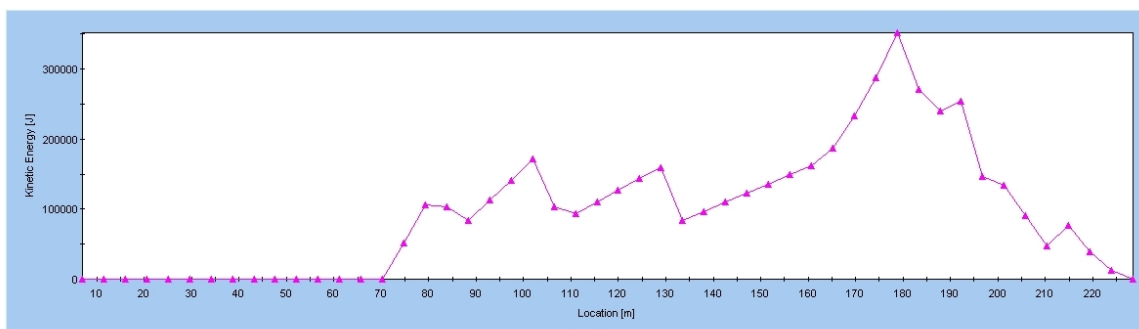


Horisontale utløpslengder

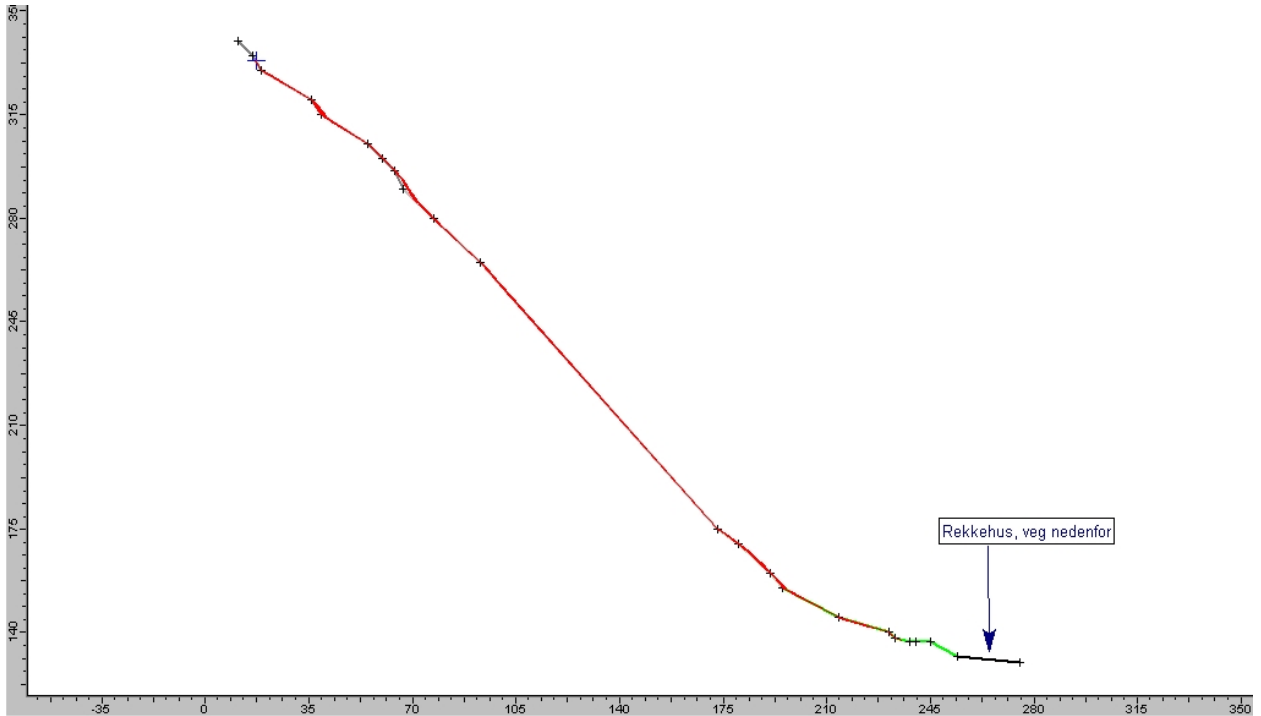
Horizontal Location of Rock End-points



Kinetisk energifordeling

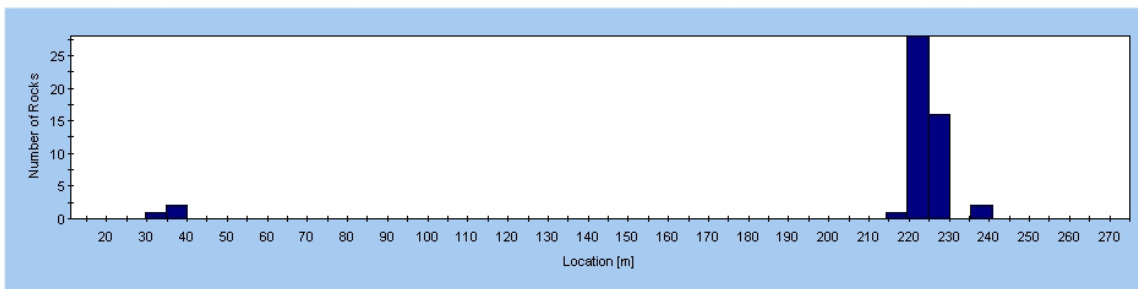


Kildeområde C. Profil C1

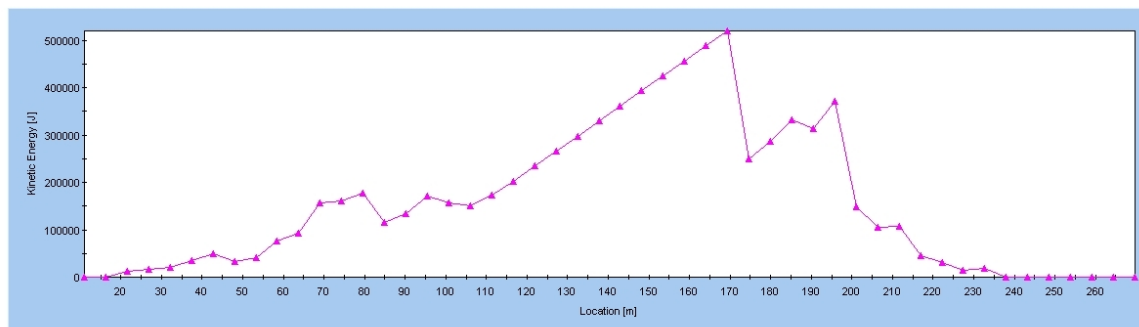


Horisontale utløpslengder

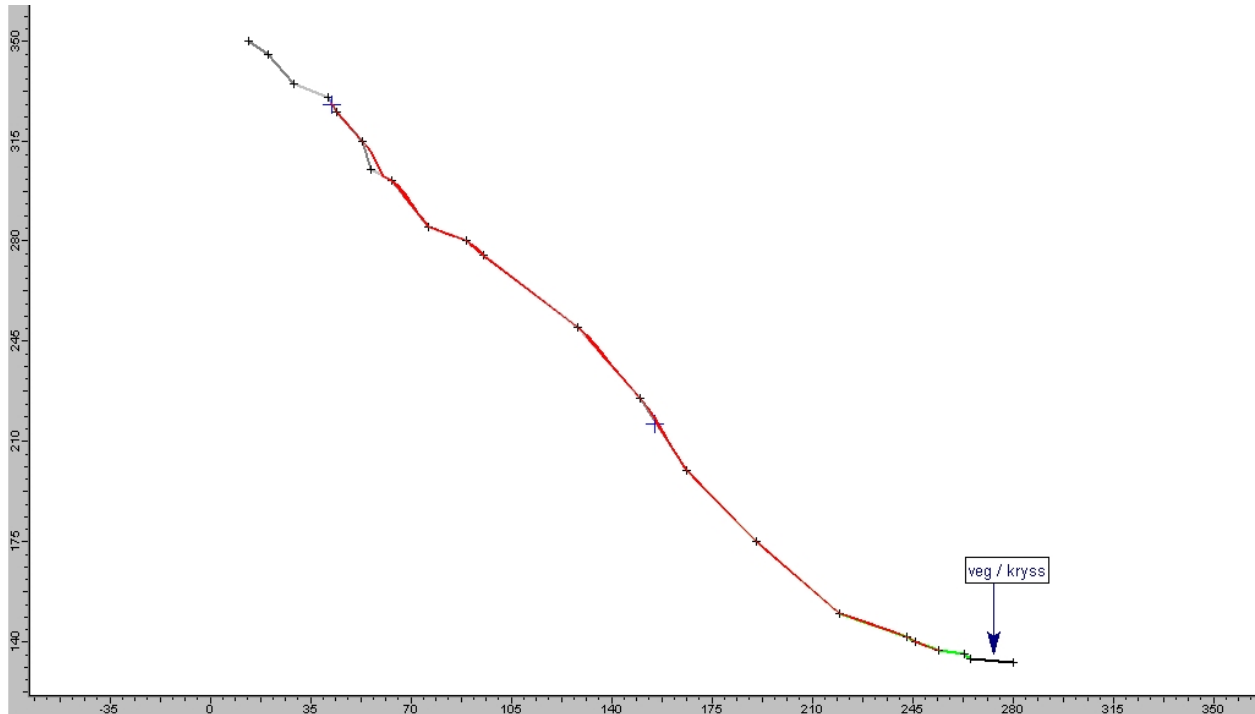
Horizontal Location of Rock End-points



Kinetisk energifordeling

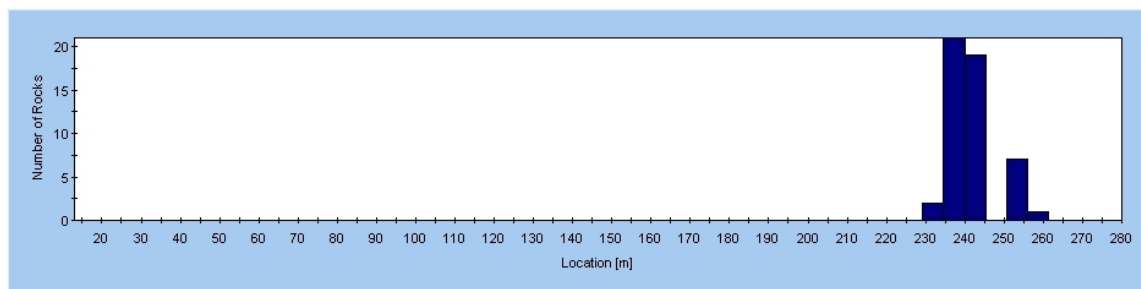


Kildeområde C. Profil C2

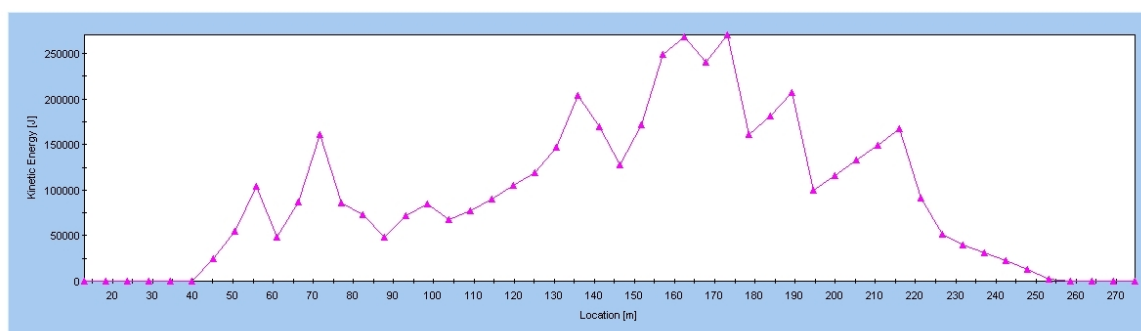


Horisontale utløpslengder

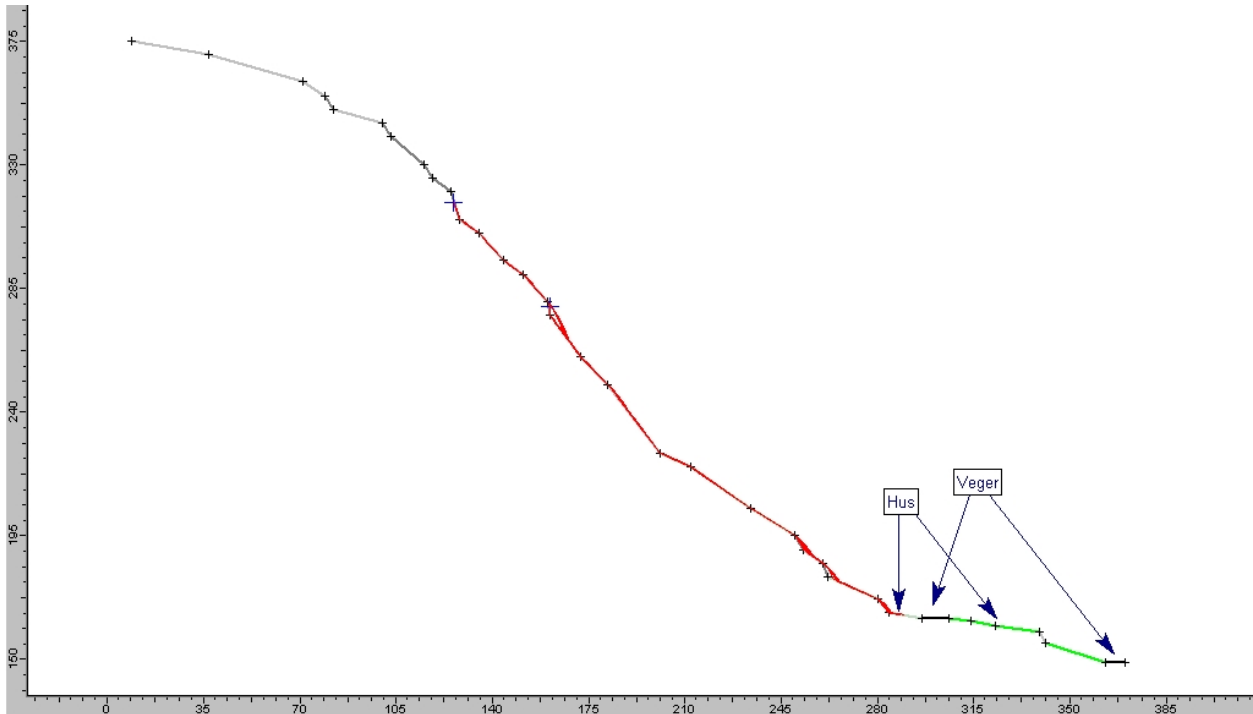
Horizontal Location of Rock End-points



Kinetisk energifordeling

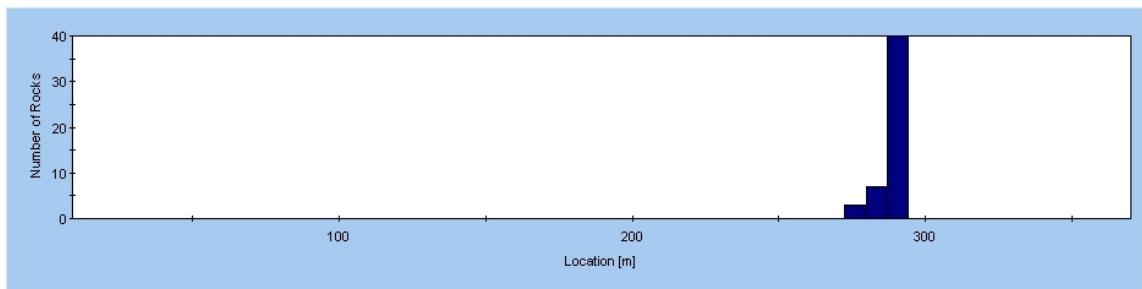


Kildeområde D. Profil D1

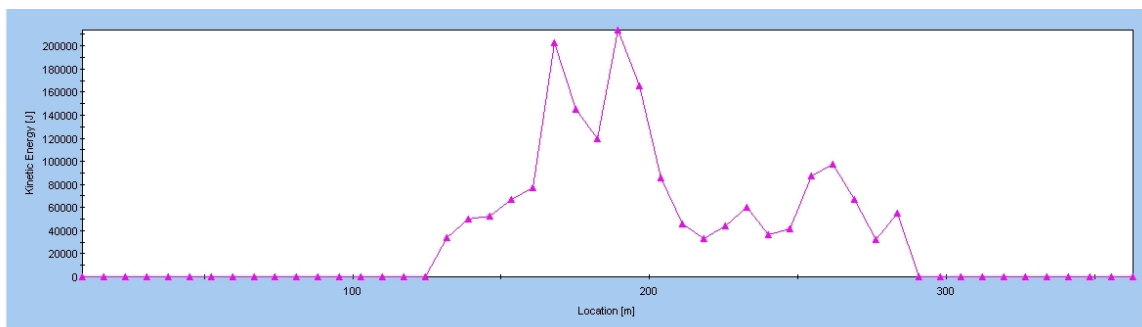


Horisontale utløpslengder

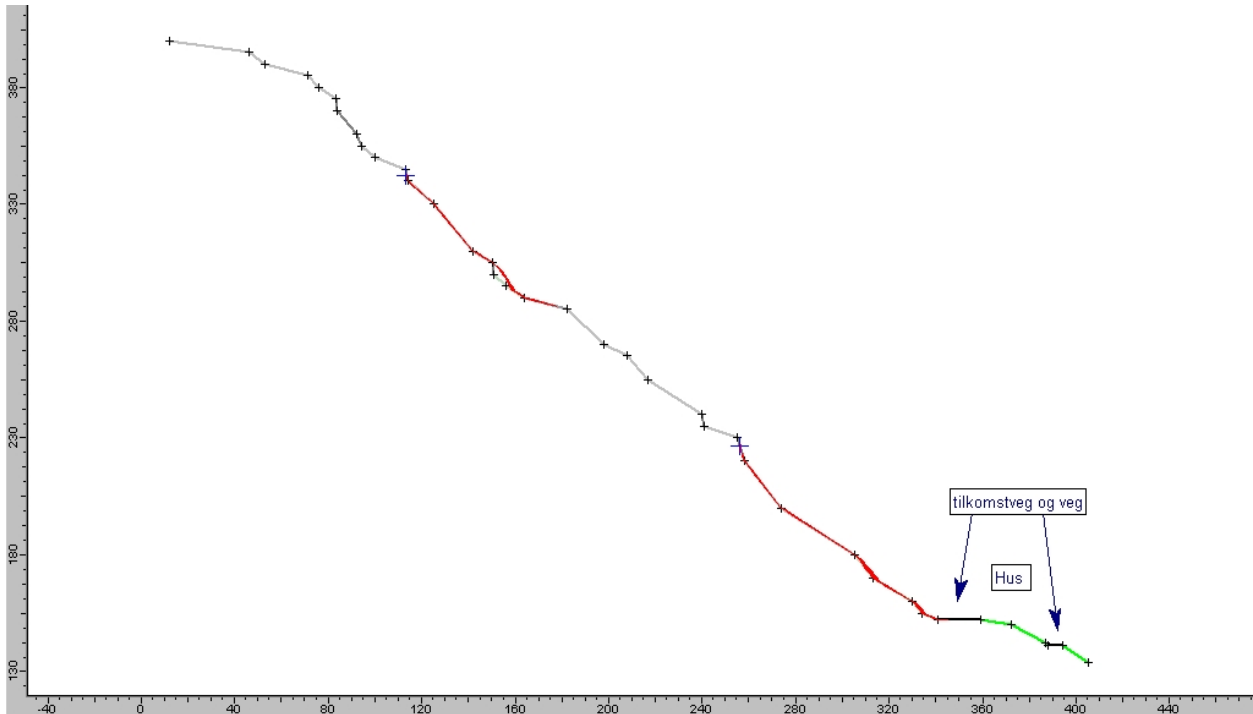
Horizontal Location of Rock End-points



Kinetisk energifordeling

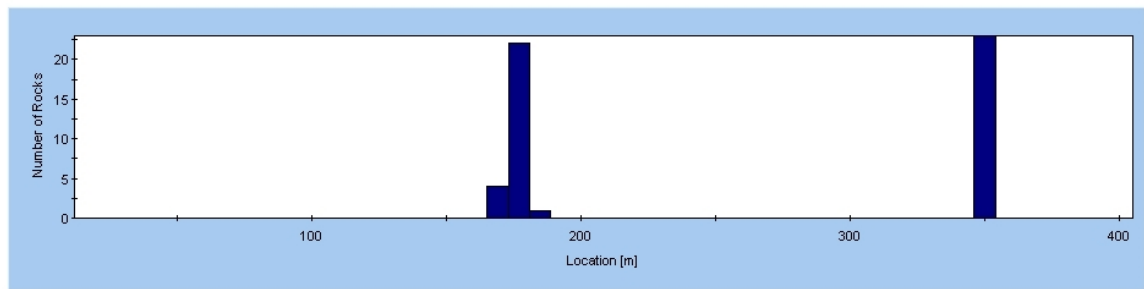


Kildeområde E. Profil E1

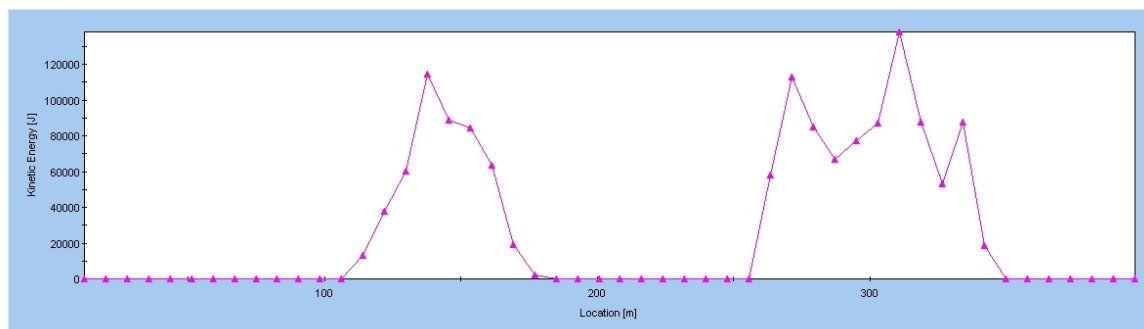


Horisontale utløpslengder

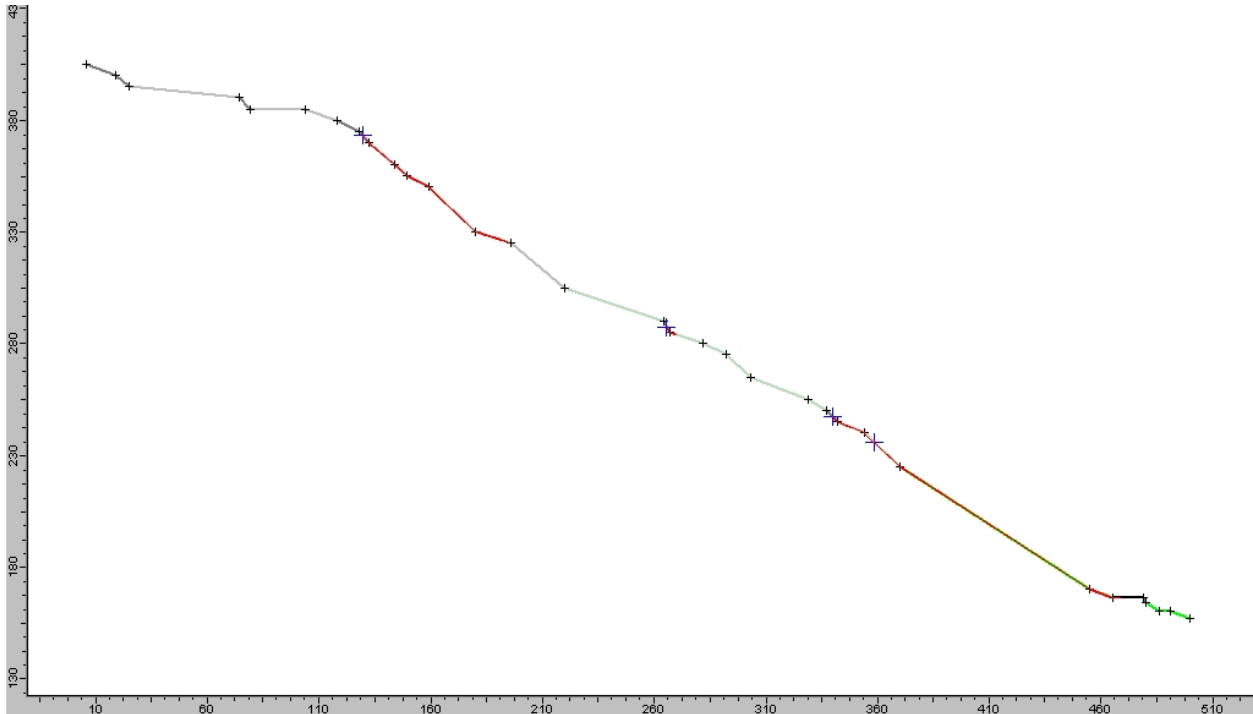
Horizontal Location of Rock End-points



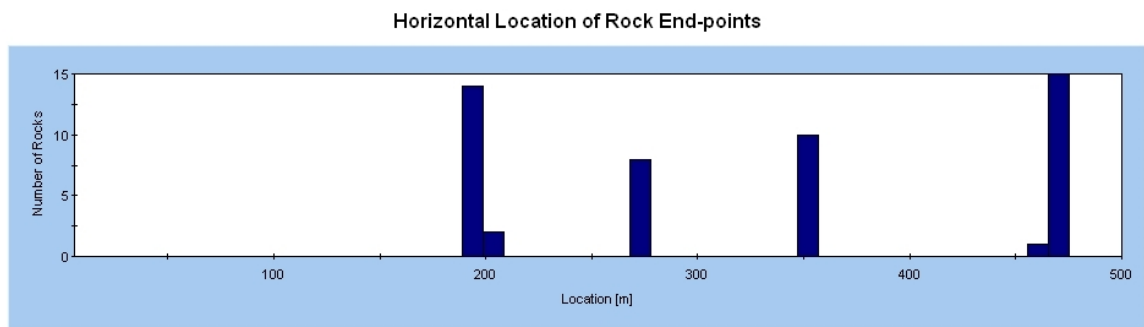
Kinetisk energifordeling



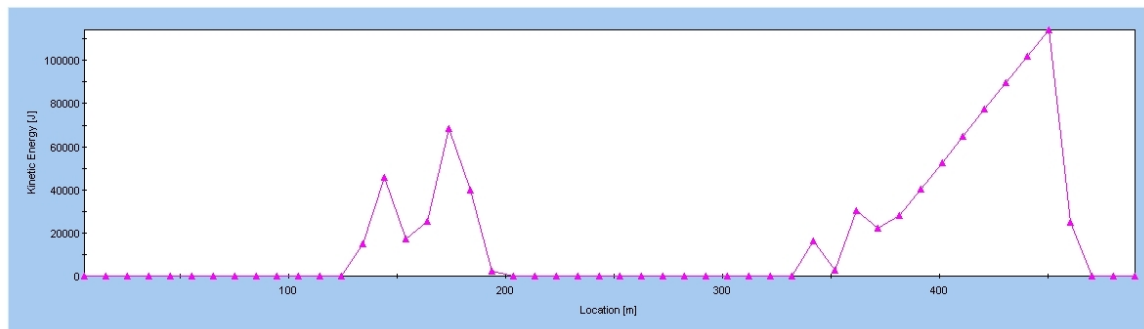
Kildeområde G. Profil G1



Horisontale utløpslengder



Kinetisk energifordeling



Konsekvens-kategori	Konsekvens-klasse	Skader på personell / materiell*
K1	Ubetydelig	Ubetydelige
K2	Liten	Få og små
K3	Farlig	Alvorlige skader
K4	Alvorlig	Alvorlige skader, noen døde / materielle ødeleggelser
K5	Katastrofal	Store skader, flere døde / store materielle ødeleggelser

Sannsynlighets-kategori	Grad av sannsynlighet	Frekvens (predikert antall hendelser pr tidsrom)
S1	Lite/minst sannsynlig	Mindre enn én hendelse pr 1000 år
S2	Mindre sannsynlig	Mellom én hendelse pr 100 år og én hendelse pr 1000 år
S3	Sannsynlig	Mellom én hendelse pr 10 år og én hendelse pr 100 år
S4	Meget sannsynlig	Mellom én hendelse pr ett år og én hendelse pr 10 år
S5	Svært/mest sannsynlig	Mer enn én hendelse pr ett år

Område A	Konsekvens	Sannsynlighet
Steinsprang A2.1	K3	S2
Steinsprang A2.2	K2	S2
Steinsprang A4.1	K3	S3
Steinsprang A4.2	K2	S3
Jordskred A5.1	K3	S2
Jordskred A5.2	K2	S1
Flomskred A6.1	K2	S2

(ref. fotobilag 2)

Område B	Konsekvens	Sannsynlighet
Steinsprang B2.1	K4	S3
Steinsprang B2.2	K2	S3
Steinsprang B2.3	K3	S3
Steinsprang B4.1	K3	S3
Steinsprang B4.2	K2	S3
Steinsprang B4.3	K2	S3
Jordskred B5.1	K2	S2
Jordskred B5.2	K2	S1
Jordskred B5.3	K2	S1

(ref. fotobilag 3)

Område C	Konsekvens	Sannsynlighet
Steinsprang C2.1	K3	S3
Steinsprang C2.2	K2	S2
Steinsprang C4.1	K2	S4
Steinsprang C4.3	K1	S5
Jordskred C5.1	K2	S1

(ref. fotobilag 4)

Område D	Konsekvens	Sannsynlighet
Steinsprang D2.1	K2	S2
Steinsprang D2.2	K2/K3*	S2
Steinsprang D2.3	K3	S2
Steinsprang D3.1	K2	S3
Steinsprang D4.1	K1	S4
Steinsprang D4.2	K2/K3*	S3
Steinsprang D4.3	K3	S3
Jordskred D5.1	K2	S1
Jordskred D5.2	K2/K3*	S1
Jordskred D5.3	K2/K3*	S1
Jordskred D5.4	K3	S2

(ref. fotobilag 5)

Område E	Konsekvens	Sannsynlighet
Steinsprang E2.1	K2	S2
Steinsprang E2.2	K2/K3*	S2
Steinsprang E2.3	K2/K3*	S2
Steinsprang E2.4	K2	S2
Steinsprang E3.1	K2/K3*	S4
Steinsprang E4.1	K1/K2*	S3
Steinsprang E4.2	K1/k2*	S3
Steinsprang E4.3	K3	S3
Steinsprang E4.4	K2	S4
Jordskred E5.1	K2	S1
Jordskred E5.2	K2/K3*	S1
Jordskred E5.3	K3	S1

(ref. fotobilag 6)

Område F	Konsekvens	Sannsynlighet
Steinsprang F2.1	K1	S2
Steinsprang F3.1	K2	S3
Steinsprang F4.1	K1	S3
Steinsprang F4.2	K1	S4
Jordskred F5.1	K4	S1
Jordskred F5.2	K5	S1
Jordskred F5.3	K4	S1
Flomskred F6.1	K5	S1
Flomskred F6.2	K3	S1

(ref. fotobilag 7)

Område G	Konsekvens	Sannsynlighet
Steinsprang G2.1	K2	S1
Steinsprang G4.1	K2	S3
Steinsprang G4.2	K2	S3
Steinsprang G4.3	K1	S3
Steinsprang G4.4	K2	S3
Jordskred G5.1	K4	S1
Jordskred G5.2	K4	S1
Flomskred G6.1	K4	S2

(ref. fotobilag 8)

RISIKODIAGRAM FOR UØNSKEDE HENDELSER, SKRED					
SANNSYNLIGHET	KONSEKVENSS				
	K1 Ubetydelig	K2 Liten	K3 Farlig	K4 Alvorlig	K5 Katastrofalt
S5 Svært/mest sannsynlig (Mer enn én hendelse pr ett år)	C4.3				
S4 Meget sannsynlig (Mellom én hendelse pr ett år og én hendelse pr 10 år)	D4.1, F4.2	C4.1, E3.1, E4.4	E3.1*		
S3 Sannsynlig (Mellom én hendelse pr 10 år og én hendelse pr 100 år)	E4.1, E4.2, F4.1, G4.3	A4.2, B2.2, B4.2, D3.1, D4.2, E4.1*, E4.2*, F3.1, G4.1, G4.2, G4.4	A4.1, B2.3, B4.1, B4.3, C2.1, D4.2*, D4.3, E4.3	B2.1	
S2 Mindre sannsynlig (Mellom én hendelse pr 100 år og én hendelse pr 1000 år)		A2.2, A6.1, B5.1, D2.1, D2.2, E2.1, E2.2, E2.3, E2.4, F2.1	A2.1, A5.1, C2.2, D2.2*, D2.3, D5.4, E2.2*, E2.3*	G6.1	
S1 Lite sannsynlig (Mindre enn én hendelse pr 1000 år)		A5.1, B5.2, B5.3, D5.1, D5.2, E5.1, E5.2, G2.1	D5.2*, D5.3, E5.2*, E5.3, F6.2	F5.1, F5.3, G5.1, G5.1	F5.2, F6.1

*) Gjelder spesielt for risiko knyttet til materielle verdier

Lav risiko	Middels risiko	Høy risiko
Avbøtende tiltak gjennomføres bare når kost/nytte-vurderingen tilsier det	Akseptabel risiko. Avbøtende tiltak iverksettes dersom effekten er stor og ulempene/kostnadene små	Uakseptabel risiko. Avbøtende tiltak er nødvendig

Uønskede skredhendelser	
1	Fjellskred > 1000 m ³
2	Større steinsprang 100 – 1000 m ³
3	Mellomstort steinsprang 10 – 100 m ³
4	Mindre steinsprang < 10 m ³
5	Jordskred
6	Flomskred

Arkivreferanser:

Fagområde:	Geoteknikk, ingeniørgeologi		
Stikkord:	ROS, risiko, skred, skråningsstabilitet, flom		
Land/Fylke:	Hordaland	Kartblad:	1115 I
Kommune:	Bergen	UTM koordinater, Sone:	32V
Sted:	Landås, Bergen	Øst: E3000	Nord: N66965

Distribusjon:

- Begrenset (Spesifisert av Oppdragsgiver)
 Intern
 Fri

Dokumentkontroll:

		Dokument 21. september 2006		Revisjon 1		Revisjon 2		Revisjon 3	
		Dato	Sign	Dato	Sign	Dato	Sign	Dato	Sign
Forutsetninger	Utarbeidet	21/9-06	<i>TØE</i>						
	Kontrollert	21/9-06	<i>ASA/EB</i>						
Grunnlagsdata	Utarbeidet	21/9-06	<i>TØE</i>						
	Kontrollert	21/9-06	<i>ASA/EB</i>						
Teknisk innhold	Utarbeidet	21/9-06	<i>TØE</i>						
	Kontrollert	21/9-06	<i>ASA/EB</i>						
Format	Utarbeidet	21/9-06	<i>TØE</i>						
	Kontrollert	21/9-06	<i>ASA/EB</i>						
Anmerkninger									
Godkjent for utsendelse (Oppdragsleder)				Dato: 29/9-06		Sign.: <i>Tore Hummestad</i>			