

**BERGEN KOMMUNE  
ETAT FOR BYGGESAK OG PRIVATE PLANER**



**ROS II – SKREDFARE**

**PILOT II – FJELLSIDEN  
SVARTEDIKET - MUNKEBOTN**

**96793001 / 3 / 10 /  
SAMMENFATTENDE RAPPORT**



Storetveitv. 98, 5072 Bergen  
Telefon: 55 27 50 00  
Faks: 55 27 50 01

**BERGEN KOMMUNE  
ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN  
SAMMENFATTENDE RAPPORT**


---

PROSJEKTNR / RAPPORT NR.: <b>96793001 / 3 / 10 /</b>	DATO: <b>04.12.2009</b>
---------------------------------------------------------	----------------------------

Rapportens tittel: <b>ROS II – SKREDFARE / PILOT II – FJELLSIDEN SVARTEDIKET - MUNKEBOTN Sammenfattende rapport</b>		Faggruppe: <b>Geo</b>
Andre dokument: <b>Delrapporter (96793001 / 3 / 01-09 /)</b>		Geografisk område: <b>Bergen kommune</b>
Forfatter(e): <b>Geir Bertelsen Arne Instanes</b>		Antall sider: <b>37</b>
Oppdragsgiver: <b>Bergen kommune Etat for byggesak og private planer</b>	Oppdragsgivers representant: <b>Gunn Østvik Petersen</b>	

<p><u>Sammendrag</u> Sweco Norge AS har vurdert skredfare langs fjellsiden fra Svartediket til Munkebotn i Bergen. Dette er en del av risiko- og sårbarhetsanalyser (ROS-analyser) Fase II, som utføres i regi av Bergen kommune. Fjellsiden er delt inn i 9 mindre områder, som er beskrevet i egne rapporter. Foreliggende rapport sammenfatter våre vurderinger og konklusjoner. Metodevalg og sannsynlighetsvurderinger diskuteres.</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Sweco Norge AS**  
Bergen, 04.12.2009

Saksbehandler



Geir Bertelsen  
Ingeniørgeolog

Kontrollert



Jane T. Blegen  
Geolog

**INNHold:**

<b>1.</b>	<b>INNLEDNING .....</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>GRUNNLAG .....</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>TERMINOLOGI .....</b>	<b>6</b>
<b>4.</b>	<b>BESKRIVELSE .....</b>	<b>6</b>
	4.1 Topografi.....	6
	4.2 Vegetasjon .....	7
	4.3 Klima .....	7
	4.4 Løsmassegeologi .....	8
	4.5 Berggrunnsgeologi.....	8
	4.6 Hydrogeologi.....	9
<b>5.</b>	<b>BEBYGGELSE .....</b>	<b>9</b>
<b>6.</b>	<b>DISKUSJON AV METODIKK.....</b>	<b>10</b>
	6.1 Generelt .....	10
	6.2 Feltobservasjoner .....	11
	6.3 Analyser og analyseverktøy .....	11
	6.4 Vurderinger av sannsynlighet, konsekvens og risiko.....	27
<b>7.</b>	<b>HOVEDKONKLUSJONER .....</b>	<b>32</b>
	7.1 Generelt .....	32
	7.2 Utsatt bebyggelse .....	32
	7.3 Tiltak .....	32
	7.4 Grunnlag for faresonekartlegging .....	32
	7.5 Metodevalg ved faresonekartlegging.....	33
	7.6 Bruk av faresonekart .....	35
<b>8.</b>	<b>REFERANSER .....</b>	<b>36</b>
<b>9.</b>	<b>LITTERATURLISTE .....</b>	<b>37</b>

**FIGURER**

<b>Figur 1: Empirisk modell for rekkevidde av steinskred</b>	<b>14</b>
<b>Figur 2: Returperiode for ekstreme nedbørshendelser i Bergen</b>	<b>19</b>
<b>Figur 3: Nødvendig attraksjon for å oppnå <math>\gamma_m = 1,0</math></b>	<b>20</b>
<b>Figur 4: Materialkoeffisient versus skråningshelning</b>	<b>22</b>
<b>Figur 5: Resultat fra probabilistiske stabilitetsanalyser</b>	<b>23</b>
<b>Figur 6: Middelerdi av <math>\gamma_m</math> fra probabilistiske stabilitetsanalyser</b>	<b>24</b>

**BERGEN KOMMUNE**  
**ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN**  
**SAMMENFATTENDE RAPPORT**

---

## **1. INNLEDNING**

Bergen kommune skal utarbeide en risiko- og sårbarhetsanalyse (ROS-analyse), der vurdering av skredfare i bebygde og planlagt bebygde områder skal inngå. Prosjektet er delt inn i tre faser:

- Fase I: Omfatter grovkartlegging utført av Norges Geologiske Undersøkelse (NGU) 2005 / 2006.
- Fase II: Utførelse av detaljkartlegging, vurdering skredfare i henhold til TEK § 7.32.
- Fase III: Forvaltning av resultatene i Fase II.

Sweco Norge AS har fått i oppdrag å utføre undersøkelser i Fase II. Oppdraget er tredelt. Ett av deloppdragene er et pilotprosjekt (PILOT II) som går ut på å utarbeide faresonekart for fjellsiden fra Svartediket til Munkebotn.

Vi har funnet det hensiktsmessig å dele fjellsiden i 9 mindre områder. Hvert område beskrives i egne rapporter.

Foreliggende rapport beskriver generelle forhold og oppsummerer våre vurderinger og konklusjoner. Dessuten dokumenteres og diskuteres de metodene vi har valgt for gjennomføring av oppdraget.

## **2. GRUNNLAG**

Vårt oppdrag er definert i tilbudsforespørsel fra Bergen kommune (ref./13 /). Det vises til leveransebeskrivelse i kapittel 4. Videre vises det til ”Kravspesifikasjon for deloppdrag 2 og 3 – PILOT I og PILOT II.

Leveransen for pilotprosjektene skal i henhold til kravspesifikasjonen bestå av følgende:

- Dokumentasjon og diskusjon av metodikk.
- Skredfarekart (Faresonekart) i ESRI-Shape eller SOSI.
- Rapport med tekstbeskrivelse for hvert pilotområde.

I vårt tilbud har vi skissert en metode- og en gjennomføringsplan for PILOT I og II.

Det overordnede grunnlaget for våre vurderinger av skredfare er Teknisk forskrift til Plan- og bygningsloven (TEK) § 7.32 (ref. /9 /). Det vises også til ”Veiledning til teknisk forskrift til Plan- og bygningsloven”(ref. /10 /).

Det overordnede grunnlaget for våre vurderinger av skredfare er følgende:

1. Plan- og bygningsloven §68 (ref./11 /)
2. Teknisk forskrift til Plan- og bygningsloven (TEK) § 7.32 (ref. //9 /)
3. Ren Teknisk 1997 ”Plassering og bæreevne” (ref. /7 /).
4. Byggforsk. Byggforskserien. Planløsning. 311.135. Sending 1 – 1998. (Ref. /6 /).

**BERGEN KOMMUNE  
ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN  
SAMMENFATTENDE RAPPORT**

---

Vi har ellers benyttet følgende grunnlagsmateriale:

5. Bergen kommune. Byrådsavdeling for byggesak og Bydeler. Etat for byggesak og private planer. Helningskart. Kartutskrift datert 15.05.2009.
6. Digitalt kartgrunnlag i dwg-format og SOSI-format.
7. [www.skrednett.no](http://www.skrednett.no)
8. [www.geoextreme.no](http://www.geoextreme.no)

### **3. TERMINOLOGI**

Nedenfor forklares noe av den terminologien vi har benyttet både i denne rapporten og i delrapportene når det gjelder skred.

Steinskred deles inn i tre kategorier etter størrelse. Steinsprang betegner mindre skred med volum inntil ca 100 m<sup>3</sup>. Steinskred benyttes om skredvolum inntil ca 10 000 m<sup>3</sup>. Fjellskred benyttes for skredvolum større enn 10 000 m<sup>3</sup>.

Løsmasseskred betegner hurtig bevegelse av løsmasser i bratt terreng, der løsmassene har mistet stabiliteten på grunn av påførte spenningsendringer, redusert skjærfasthet eller redusert friksjon mot underlaget.

Flomskred betegner erosjon og fluvial transport av løsmassemateriale på grunn av plutselig og sterk vannføring.

Snøskred forekommer generelt i flere varianter. For dette oppdraget behandles alle typer snøskred under ett.

### **4. BESKRIVELSE**

#### **4.1 Topografi**

Der det finnes bergskrenter brattere enn ca 40° er en av betingelsene for å få utløst steinskred oppfylt. Tilsvarende er en av betingelsene for løsmasseskred i friksjonsmaterialer oppfylt når terrenghelningen i en løsmasseskråning er brattere enn ca 27 - 30°.

Det undersøkte området omfatter fjellsiden langs Fløyfjellet og Sandviksfjellet, og strekker seg fra Svartediket i syd til Munkebotn i nord. Terrenget stiger med varierende helningsgrad fra nær havnivå til mellom 200 og 300 moh.

Nesten sammenhengende langs øvre del av fjellsiden finnes bratte bergskrenter med høyde varierende fra noen titalls meter til mer enn 100 meter. Terrenghelningen varierer grovt sett fra ca 50° til nær vertikalt. Noen steder finnes også bergskrenter med markerte overheng.

**BERGEN KOMMUNE**  
**ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN**  
**SAMMENFATTENDE RAPPORT**

---

Fra foten av fjellsiden og opp til disse bergskrentene er terrenget noe slakere, i hovedsak 20-30°. Men det finnes lokale områder med brattere terreng, delvis bergskrenter og delvis løsmasseterreng. Det finnes også avsatter i terrenget, med helning mindre enn 20°.

I store deler av det undersøkte området er helningskriteriene for utløsning av henholdsvis steinskred og løsmasseskred oppfylt.

#### **4.2 Vegetasjon**

Vegetasjon er vesentlig i forbindelse med vurdering av skredfare. Det gjelder både for steinskred og løsmasseskred. Vegetasjon kan ha både positiv og negativ innvirkning på skredfaren. Røtter og trær virker stabiliserende på jordmasser. Store trær kan bremse skred og redusere utløpsdistanser.

På den annen side kan røtter i bergsprekker sprengte løs blokker, og rotvelt kan utløse skred.

Det er tett vegetasjon i store deler av fjellsiden, til dels også på avsatter i de bratte bergskrentene. Særlig er de bratte skråningene mellom bebyggelsen i området Ole Irgens vei, Fjellveien og Kalfarliien preget av sterk tilgroing. I disse områdene dumpes det også hageavfall. På grunn av forråtnelse av løv, gras og annet organisk materiale vil mektigheten av jordlaget øke gradvis. Dette vil føre til økende fare for løsmasseskred.

#### **4.3 Klima**

Bergensområdet er preget av et mildt og fuktig klima. I vinterhalvåret kan det forekomme mange fryse/ tinesykluser.

Normal årsmiddelnedbør i Bergen, Florida er 2250 mm. Det forekommer betydelige lokale variasjoner. Ved målestasjon Tarlebø, Svartediket er for eksempel normal årsmiddelnedbør 2800 mm, mens den på Nøstet i Bergen sentrum er 2050 mm.

Norges Geotekniske Institutt (NGI) har relatert kritisk nedbør for utløsning av skred til returperiode for kortvarige nedbørsintensiteter. NGI antyder at skredfaren er meget stor når et av kravene under er oppfylt:

- 5 % av årsmiddelnedbøren faller i løpet av 12 timer.
- 8 % av årsmiddelnedbøren faller i løpet av 24 timer.
- 24 % av årsmiddelnedbøren faller i løpet av 48 timer.

Et stort jordskred inntraff 14. september 2005 ved Hatlestad terrasse i Bergen kommune i forbindelse med intens nedbør. Dette døgnet ble det målt rekordnedbør med 156,5 mm ved målestasjonen Florida i Bergen sentrum. Dette tilsvarer 7 % av årsmiddel. Den tidligere 24-timersrekorden ved denne målestasjonen var 115,8 mm.

Mesteparten av nedbøren falt de tolv timene mellom kl. 20:00 den 13. september og kl. 08:00 14. september. I denne perioden ble det målt 110,5 mm, eller ca 5 % av årsmiddelnedbøren på 12 timer. Skredet inntraff ca 5 timer ut i denne perioden.

**BERGEN KOMMUNE  
ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN  
SAMMENFATTENDE RAPPORT**

---

Det forekom noen mindre jordskred / flomskred i Bergen det aktuelle døgnet, men ingen med alvorlige konsekvenser.

Returperioden for denne nedbørsintensiteten er anslått til ca 600 år, (se Figur 1 og ref. /5 /).

Det diskuteres blant fagfolk i hvilken grad klimaendringer vil påvirke skredfare i årene framover. Vi har ikke tatt direkte hensyn til slike eventuelle endringer når det gjelder steinsprang /-skred. Det begrunnes med at eventuelle endringer vil være mindre enn feilmarginen i våre vurderinger. Vi mener imidlertid at våre vurderinger i generelt konservativ retning ivaretar slike forhold.

#### **4.4 Løsmassegeologi**

Det finnes ikke marine løsmasseavsetninger i de områdene som omfattes av denne rapporten.

Det er generelt lite løsmasser i området. I hovedsak finnes kun et tynt lag humusjord og forvittringsjord over overkonsolidert morene eller berg. Mektigheten av humusjord/frovittringsjord antas i hovedsak å være mindre enn 1 meter. Lokalt finnes avsetninger av finstoffholdig, overkonsolidert morene. Mektigheten av slike avsetninger antas å være mindre enn 2 m.

Vi har observert noen få markerte uravsetninger. Ellers utgjør skredmateriale enkeltblokker og mindre, lokale urdannelser.

#### **4.5 Berggrunnsgeologi**

Berggrunnen utgjør en del av den geologiske formasjonen som kalles "Bergensbuene". Dette er en bergartsserie som danner en bue med Bergen by (nærmere bestemt Loddefjord bydel) som sentrum i buen. Formasjonens begrensning mot nordøst dannes av en stor skjærsone (Bergensforkastningen). Flere mindre tektoniske bruddsoner finnes.

Bergensbuene ble dannet i forbindelse med den kaledonske fjellkjedefoldingen. Bergartene består av pressede prekambriske dypbergarter og av omdannede sedimentære bergarter fra ordovicisk tid.

Fjellsiden fra Svartediket til Munkebotn utgjør en liten del av Bergensbuene. I den sydøstre delen av området, nærmest Svartediket, finnes metagabbro, amfibolitt og glimmerskifer tilhørende det såkalte Nordåsvatnkomplekset. Dette er en relativt svak og tett oppsprukket bergmasse.

I den nordøstre delen av området finnes gneiser tilhørende Ulriken gneiskompleks. Dette er i hovedsak sterkere og mindre oppsprukket bergmasse.

**BERGEN KOMMUNE  
ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN  
SAMMENFATTENDE RAPPORT**

---

I hele området er bergmassen oppsprukket i et typisk mønster, med tre hovedsprekkesystem.

1. Det mest markerte sprekkesystemet faller sammen med bergartenes skifrihet eller foliasjon /lagdeling. Dette faller også sammen med den store buestrukturen i denne delen av Bergensbuen. Strøkretningen er SØ-NV og fallretningen er NØ. Det er stor variasjon i fallvinkler, fra nær horisontale til nær vertikale fall.
2. Det finnes en del markerte sprekker med tilnærmet samme strøkretning som 1), men med fallretning SV. Fallvinkelen varierer også betydelig, fra ca 20-80°.
3. Et tredje hovedsprekkesystem har strøkretning ca SV-NØ og varierende steile fall.

Bergmassens oppsprekking er nærmere beskrevet i de enkelte delrapportene.

#### **4.6 Hydrogeologi**

Det finnes ingen store løsmasseakviferer i det undersøkte området. Det aller meste av nedbøren vil renne av som overflatevann. Det resterende vil fordampe, tas opp av tynne løsmasselag eller infiltrere berggrunnen som sprekkevann.

Det er et begrenset antall større elveløp i det undersøkte området. Mulelven er det største vassdraget. Starefossen og Fløydalen utgjør to mindre vassdrag. Det meste av nedbøren drenerer langs et stort antall mindre bekkeløp. En relativt stor del følger sannsynligvis også små kanaler i kontaktsonen mellom løsmasser og berg.

En del av overflatevannet samles opp i offentlige og private grøfter, bekkeinntak og overvannsledninger langs de øvre delene av bebyggelsen.

#### **5. BEBYGGELSE**

Store deler av de undersøkte områdene er bebygget. De øverste områdene består hovedsakelig av småhusbebyggelse. Slik bebyggelse klassifiseres i sikkerhetsklasse 2 i henhold til ”Teknisk forskrift til Plan- og bygningsloven” (TEK §7.32, ref./9 /).

Det finnes også noen bygg i de øverste områdene som vi antar må klassifiseres i sikkerhetsklasse 3. Det gjelder barnehagene i Starefossveien 20 og Øvre Heien 11. Videre gjelder det Eventyrskogen skole, Heien 29. På oppsiden av Fjellveien, med adresse Fjellveien 10, har BKK en sekundærstasjon som vi også antar tilhører sikkerhetsklasse 3.

Visse områder i nedre del av fjellsiden kan også være skredutsatt. Her finnes også flere bygg som antas å tilhøre sikkerhetsklasse 3. Det vises til nærmere beskrivelse i delrapportene.

## **6. DISKUSJON AV METODIKK**

### **6.1 Generelt**

En nasjonal skredatabase er tilgjengelig på [www.skrednett.no](http://www.skrednett.no). Her finnes også ulike typer skredkart på nasjonalt nivå. Det er blant annet utarbeidet et landsdekkende "aktsomhetskart" for steinsprang. Kartene er utarbeidet ved hjelp av program som identifiserer potensielle løsneområder og utløpsdistanser basert på helningsbetraktninger og empiriske data. Det er ikke utført feltobservasjoner som grunnlag for dette kartet. Sannsynligheter behandles heller ikke her.

De skredfarevurderingene som omfattes av dette oppdraget er av Bergen kommune definert som et "Pilotprosjekt". Kommune har ønsket å prøve ut metoder for kartlegging av skredfare over større områder i kommunal sammenheng. Oppgaven går i hovedsak ut på å utarbeide et faresonekart, der det skal trekkes opp linjer for årlig nominell sannsynlighet for skred, henholdsvis  $10^{-3}$  (en skredhendelse per 1000 år) og  $3 \times 10^{-3}$  (3 skredhendelser per 1000 år). Det er åpenbart at et kart av denne typen må ha vesentlig høyere detaljeringsgrad enn de nasjonale kartene. En vesentlig forskjell på et landsdekkende skredfarekart og et lokalt faresonekart er at sannsynligheter for sistnevnte skal vurderes i henhold til Plan- og bygningsloven, og teknisk forskrift (TEK), (ref. /9 /, /10 / og /11 /).

Metoder for vurdering av skredfare er beskrevet i "Byggforskserien. "Planløsning 311.135. Steinskred og løsmasseskred i bratt terreng" (Ref./6 /). Dette danner grunnlaget for våre metodevalg.

Retningslinjer for vurdering av skredfare er også gitt i følgende dokument: "REN Teknisk 1997. "Veiledning til forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk" (Ref. /7 /).

Noen retningslinjer for gjennomføring av deloppdraget er gitt i tilbudsforespørselen, og i vår gjennomføringsplan som er skissert i tilbudet.

Vi har lagt vekt på å velge metoder som gir tilstrekkelig detaljnivå og nøyaktighet. Samtidig har det vært viktig å finne rasjonelle og minst mulig resurskrevende arbeidsmetoder. En vesentlig del av dette har vært å tilpasse omfang av feltobservasjoner og analysearbeid til "sluttproduktet", et faresonekart med nominelle sannsynligheter.

Bakgrunnen for dette er følgende:

I TEK §7.32 (ref. /9 /) benyttes begrepet nominell sannsynlighet. Det innebærer en erkjennelse av at sannsynligheter for skred ikke kan beregnes eksakt, og at sannsynlighetsvurderingene i stor grad må baseres på faglig skjønn. Det finnes ulike typer dataverktøy både for stabilitetsanalyse og analyse av rekkevidder. Alle har klare begrensninger når det gjelder nøyaktighet. Dette innebærer at man kan legge ned svært mye arbeid i feltobservasjoner og analysearbeid uten at det resulterer i et mer nøyaktig faresonekart.

**BERGEN KOMMUNE  
ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN  
SAMMENFATTENDE RAPPORT**

---

Steinskred eller løsmasseskred vurderes etter dette å være bestemmende når det gjelder å definere faresonene. Derfor har vi ikke vurdert sannsynligheter eller utløpsdistanser for snøskred nærmere.

I ref. /7 /gis veiledning til Teknisk forskrift (TEK) (ref. /9 /). I forbindelse med faresonekartlegging og sannsynlighetsvurderinger er en enhetsbredde på 30 meter angitt som hensiktsmessig. Dette er også utgangspunktet for våre sannsynlighetsvurderinger.

## **6.2 Feltobservasjoner**

Observasjoner av geologiske / geotekniske forhold danner grunnlaget for senere analyser og vurderinger.

I dette oppdraget har vi sett det som viktig å tilpasse feltobservasjonenes omfang og detaljeringsgrad til oppdragets karakter, og til den nøyaktigheten det er mulig å oppnå i endelige konklusjoner. Det betyr at vi i prinsippet har utført en kartlegging av relevante geologiske forhold. Hovedvekten er lagt på registrering av skredmateriale, og på observasjoner av sprekkegeometri.

Vi har også gjort visuelle observasjoner av løsmassetyper / mektigheter, vegetasjon og hydrologiske forhold.

Store deler av det undersøkte området er utilgjengelig for detaljerte feltobservasjoner. Det skyldes delvis høye steile bergskrenter og delvis tett vegetasjon. Betydelige arealer i de potensielle utløpsområdene er opparbeidet. Det betyr at blant annet at opprinnelig skredmateriale kan være fjernet. Disse forholdene innebærer visse begrensninger i vurderingsgrunnlaget både når det gjelder skredutløsning og utløpsdistanser.

## **6.3 Analyser og analyseverktøy**

### Steinsprang /-skred

I bergsider brattere enn ca 40° er det en viss sannsynlighet for utløsning av steinsprang og steinskred. Det vil si at en av betingelsene for utløsning av skred er oppfylt. For at et skred skal utløses må det i tillegg virke drivende krefter som overstiger stabiliserende krefter i et gitt område. Bergmassenes fasthet er i hovedsak avhengig av strekkstyrke og/eller skjærstyrke langs sprekkeplan i bergmassen.

Ulike forvittringsprosesser fører til en langsom reduksjon av bergmassens styrkeegenskaper.

Skred i naturlige bergskrenter utløses ofte av ekstrabelastninger i forbindelse med nedbør og/eller frost. Dette kan forekomme som ekstra vanntrykk på sprekkeplan, eller det kan være frostsprenging. Rotsprenging viser seg også å være en vesentlig faktor i forbindelse med steinskred.

**BERGEN KOMMUNE  
ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN  
SAMMENFATTENDE RAPPORT**

---

Steinsprang /-skred skyldes oftest en kombinasjon av langsom reduksjon av bergmassenes styrkeegenskaper og ekstrabelastning.

Det ikke mulig å bedømme dagens skredfare med særlig grad av nøyaktighet ut fra observasjoner av gammelt skredmateriale.

Steinsprang /-skred som har inntruffet de siste 100 til 200 år kan observeres som ferske spor i terrenget, og eventuelt gjennom muntlige overleverte skildringer eller skriftlige kilder. Slike observasjoner gir et godt bidrag til bedømmelse av sannsynligheter for skred.

Observasjoner av bergartstyper, sprekkegeometri og sprekkekarakter gir også grunnlag for å vurdere framtidig skredfare. Det kan for eksempel tenkes situasjoner der lite skredmateriale vitner om liten skredaktivitet bakover i tid, men der ugunstige sprekkeforhold gjør at sannsynligheten for framtidige skred likevel må vurderes som relativt stor. Motsatt kan det tenkes situasjoner der mye skredmateriale ikke automatisk betyr stor framtidig skredfare. Dersom det observeres gunstige sprekkeforholdene i slike områder, kan det tenkes at et dårlig parti har rast ut, og at det vil være redusert sannsynlighet for skredutløsning i gjenstående berg.

Utløpsdistanser for steinsprang /-skred vurderes på grunnlag av observert skredmateriale i felt. I tillegg vurderes utløpsdistanser ved hjelp av skredsimulering i dataprogrammet RocFall fra firmaet RocScience ([www.rocscience.com](http://www.rocscience.com)).

Det finnes en del programvare på markedet for stabilitetsberegninger og skredsimuleringer. Det kunne ha vært interessant å teste ulike typer verktøy i et pilotprosjekt som dette. Begrensninger i tid og ressurser har imidlertid ikke tillatt det.

Det presiseres dessuten at alle beregningsmodeller forutsetter en rekke antagelser og forenklinger. De kan ikke eliminere faglig skjønn når det gjelder stabilitet, utløpsdistanser og faregrenser.

Nedenfor beskrives og diskuteres de analysene og det verktøyet vi har benyttet for dette oppdraget.

Når det gjelder steinsprang/-skred har vi benyttet programvare fra firmaet RocScience ([www.rocscience.com](http://www.rocscience.com)).

Sprekkegeometri og mulighetene for å få dannet ustabile kiler i en bergskrent er analysert i programmet Swedge. Programmet identifiserer og beregner stabilitet for sprekkeavgrensede kiler dannet av to sprekkeplan, pluss eventuelt en avløsende sprekke. Fall og fallretninger for bergskrenter og sprekkeplan er inngangsparametre. Dessuten skal data for sprekkeplanenes egenskaper, og data for virkende krefter (for eksempel sprekkevannstrykk) gis inn.

Programmet identifiserer ikke direkte situasjoner som for eksempel utvelting av flak (toppling). Dessuten forekommer store lokale variasjoner i bergkontur (blant annet overheng) og lokal oppsprekking som ikke kan fanges opp ved slike analyser.

**BERGEN KOMMUNE  
ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN  
SAMMENFATTENDE RAPPORT**

---

Utløpsdistanser og fordeling av skredblokkenes endepunkt langs skredbanen er analysert i programmet RocFall. Dette er en dynamisk beregningsmodell. Profiler for representative deler av fjellsiden er tatt ut fra digitalt kartgrunnlag. Profilene deles inn i seksjoner og underlagets friksjonsegenskaper og elastiske egenskaper gis inn i programmet. Det defineres et løснеområde. Antall skredblokker og skredblokkenes masse bestemmes og gis inn. For alle størrelsene som gis inn i programmet skal også et variasjonsområde (standardavvik) defineres. Programmet beregner blokkenes kastbaner og sklibaner nedover fjellsiden.

Inngangsparametrene i beregningene kan ikke bestemmes eksakt. Ved å variere parametrene har vi kalibrert modellen for å oppnå best mulig samsvar med observerte forhold. Det er generelt store usikkerheter knyttet til denne typen simuleringer. Det vil derfor ikke være riktig å definere faresoner utelukkende på bakgrunn av disse.

Simuleringene utføres ved at det tegnes opp representative profiler i aktuelle skredområder. Det foretas en inndeling i seksjoner, og det legges inn data for underlagets varierende egenskaper langs skredbanen. Skredbevegelsen beskrives i hovedsak av tre egenskaper. "Restitution" (R) er definert som forholdet mellom inngående hastighet og utgående hastighet ved en skredblokks støt mot underlaget. Det skilles mellom  $R_n$  i normal og  $R_t$  tangentiell retning. For et fullstendig elastisk materiale vil R være 1,0. Ved en glidende skredbevegelse er friksjonen avgjørende. Typiske friksjonsvinkler (F) legges også inn for alle seksjoner.

I praksis vil det være stor variasjon i disse størrelsene. Det tas hensyn til dette ved å definere et standardavvik for hver av dem.

Etter at egenskapene for underlaget langs skredbanen er bestemt, defineres et løснеområde for skred. Her bestemmes antall skredblokker og skredblokkenes masse. Eventuelle utgangshastigheter kan også legges inn her. Det gjelder også rotasjonshastighet. Standardavvik velges for hver av størrelsene.

Programmet foreslår verdier for  $R_n$ ,  $R_t$  og F for ulike typer underlag. Disse kan godtas eller endres. Det kan også defineres nye typer underlag med egendefinerte verdier.

Innledningsvis har vi utført en rekke testsimuleringer i områder med registrert skredmateriale. Vi har variert inngangsparameterne og sammenlignet fordeling av skredblokkenes utløpsdistanser med forhold observert i felt. Generelt konkluderer vi med at programmets standardverdier for R og F er konservative. Det vil si at simulering med disse verdiene gjennomgående gir betydelig lengre utløpsdistanser enn det som kan observeres.

Følgende verdier og variasjonsområder viser seg å gi godt samsvar mellom simuleringer og feltobservasjoner:

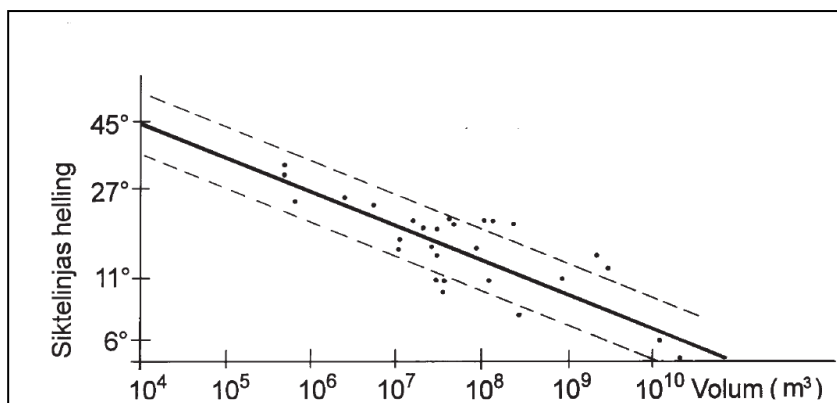
**BERGEN KOMMUNE**  
**ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN**  
**SAMMENFATTENDE RAPPORT**

Tabell 1

Egenskap / Terrengtype	Verdier	Standardavvik
R <sub>n</sub> / Bergskrenter	0,30 – 0,35	0,04
R <sub>n</sub> / Løsmasseterreng	0,27 – 0,30	0,04
R <sub>t</sub> / Bergskrenter	0,80 – 0,85	0,07-0,1
R <sub>t</sub> / Løsmasseterreng	0,75 – 0,80	0,07-0,1
F / Bergskrenter	33-35	3-5
F / Løsmasseterreng	34-36	3-5

Programmet simulerer enkeltnedfall av blokker med en gjennomsnittlig størrelse, og med et variasjonsområde i form av standardavvik. Det simulerer ikke store sammensatte skred der blokker deler seg, river med seg jord og stein langs skredbanen. Dersom slike store skred inntreffer vil de kunne få større utløpsdistanse enn det våre simuleringer av separate blokker indikerer. Der årlig nominell sannsynlighet for utløsning av slike store skred vurderes å være større enn  $10^{-3}$ , vurderes utløpsdistanser dessuten med støtte i en empirisk modell.

Vi har også benyttet en enkel empirisk modell for vurdering av utløpsdistanser. Modellen, som er utviklet av NGI, tar utgangspunkt i kjente skred. Lengste utløp blir korrelert med helningsforhold og høyde. Det er også funnet en sammenheng mellom skredvolum og utløpsdistanse. Det viser seg at store skred har en tendens til å nå lenger enn mindre skred. Det vises til Byggforskserien, (ref. /6 /).



Figur 1 Empirisk modell for rekkevidde av steinskred

Modellen viser at siktelinjen fra ytterste skredblokk til overkant av skredets løsneområde har en gjennomsnittlig helning på ca  $45^\circ$  for skredvolum  $10^4 \text{ m}^3$ . For større skred avtar siktelinjens helning.

Der vi har vurdert årlig nominelle sannsynligheten for store, sammensatte skred å være større enn, eller lik  $10^{-3}$ , har vi benyttet den empiriske modellen i tillegg til den dynamiske. Det er i hovedsak fordi den dynamiske modellen har åpenbare begrensninger når det gjelder å simulere store sammensatte skred.

Vi har også sammenlignet de to modellene. Det har vi gjort ved å måle siktelinjen for simuleringer i den dynamiske modellen. Det vises til tabell 2 nedenfor.

**BERGEN KOMMUNE**  
**ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN**  
**SAMMENFATTENDE RAPPORT**

---

Tabell 2

<b>Dynamisk simulering</b>	<b>Siktelinje</b>
<b>Profil nr</b>	<b>Målt helning fra ytterste skredblokk til overkant løsnedområde (°)</b>
Profil 1.1	44.5
Profil 1.2	43.5
Profil 1.3	46
Profil 1.4	49
Profil 1.5	NA (fangvoll etablert)
Profil 1.6	NA (fangvoll etablert)
Profil 1.7	NA (fangvoll etablert)
Profil 1.8	43.5
Profil 1.9	44
Profil 1.10	45
Profil 1.11	49.5
Profil 1.12	45
Profil 2.1	44
Profil 2.2	45
Profil 2.3	44.5
Profil 2.4	42
Profil 2.5	43.5
Profil 2.6	46.5
Profil 2.7	40
Profil 3.1	42
Profil 3.2	42.5
Profil 3.3	39.5
Profil 3.4	41.5
Profil 3.5	46.5
Profil 4.1	42.5
Profil 4.2	42
Profil 4.3	46.5
Profil 4.4	44.5
Profil 4.5	42
Profil 4.6	42.5
Profil 5.1	36
Profil 5.2	40
Profil 5.3	45.5
Profil 5.4	45.5
Profil 5.5	41

**BERGEN KOMMUNE  
ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN  
SAMMENFATTENDE RAPPORT**

---

<b>Dynamisk simulering Profil nr</b>	<b>Siktelinje Målt helning fra ytterste skredblokk til overkant løsneområde (°)</b>
Profil 5.6	47
Profil 5.7	47
Profil 5.8	46.5
Profil 6.1	40
Profil 6.2	44
Profil 6.3	50.5
Profil 6.4	42

Resultatene i tabell 2 viser at det er godt samsvar mellom dynamisk og empirisk modell når det gjelder skredvolum  $10^4 \text{ m}^3$  og mindre.

**BERGEN KOMMUNE**  
**ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN**  
**SAMMENFATTENDE RAPPORT**

---

**Stabilitet av løsmasseskråninger**

Beregningsmetodikk

I skråninger av denne typen, med begrenset løsmassemektighet og relativ konstant skråningshelning, er overflateparallele utglidninger det mest vanlige.

For skråninger over grunnvannsnivå kan sikkerheten mot brudd (materialkoeffisient) angis som:

$$\gamma_m = \frac{a \tan \phi}{\gamma z \cos \beta \sin \beta} + \frac{\tan \phi}{\tan \beta} \quad (1)$$

Hvor	$\gamma_m$	=	materialkoeffisient
	a	=	attraksjon (kPa)
	$\phi$	=	karakteristisk indre friksjonsvinkel løsmasse
	$\gamma$	=	tyngdetetthet løsmasse (kN/m <sup>3</sup> )
	z	=	dybde til bruddflate (m)

For skråninger med grunnvannsnivå i terrengoverflaten kan sikkerheten mot brudd (materialkoeffisient) angis som:

$$\gamma_m = \frac{a \tan \phi}{\gamma z \cos \beta \sin \beta} + \frac{\gamma' \tan \phi}{\gamma \tan \beta} \quad (2)$$

Hvor	parametre er de samme som forrige ligning og		
	$\gamma'$	=	neddykket tyngdetetthet løsmasse (kN/m <sup>3</sup> )

For løsmasseskråningene i Fjellsiden er det usikkerhet knyttet til løsmassenes skjærfasthet, tyngdetetthet, og dreneringsforhold, poretrykk og grunnvannsstand. Dette gjør det attraktivt å gjøre estimater av sannsynlighet for utglidninger ved hjelp av probabilistiske analyser, som for eksempel Monte-Carlo analyser. Denne type analyser brukes når:

- Det er usikkerhet knyttet til input-parametre,
- Det ikke er mulig å komme frem til et eksakt resultat (ved deterministisk analyse),

Ved en Monte-Carlo analyse utføres det gjentatte analyser med variable inputparametre. Det må i utgangspunktet bestemmes et utvalg av mulige inputparametre (i dette tilfelle jordartparametre) med middelvei og standardavvik. Analysen genererer input tilfeldig basert på utvalgene, og foretar en deterministisk beregning med de gitte inputparametrene. Beregningene gjentas så med nye tilfeldige valgte input. Hver analyse inngår i sluttresultatet.

Resultatet fra en Monte-Carlo analyse sier noe om sannsynligheten for brudd eller utglidning i en skråning eller hvis det er mange skråninger, hvor mange av disse som vil gå til brudd. Det bemerkes at det er ingen sammenheng mellom ”sikkerhetsfaktor” og ”sannsynlighet for brudd/utglidning”.

**BERGEN KOMMUNE  
ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN  
SAMMENFATTENDE RAPPORT**

---

I det etterfølgende er det utført skråningsstabilitetsanalyser både ved hjelp av de deterministiske ligningene (1) og (2) ovenfor og Monte-Carlo analyser ved hjelp av det geotekniske analyseverktøyet SLOPE/W, (ref. /12 /).

Ved tidligere løsmasseskred i Bergen kommune (se ref. /1 /, /2 /, /3 / og /4 /) er det antydnet at sikkerhetsfaktoren (materialkoeffisienten) ved en deterministisk analyse bør være minst 1,3 til 1,6 for at sikkerhetskravene i byggeforskriften skal være ivaretatt (krav til sammenbrudd av boliger;  $10^{-3}$  per år). Imidlertid vil vi påpeke, som nevnt ovenfor, at det er ingen sammenheng mellom sikkerhetsfaktor og sannsynlighet for brudd.

Utløsningsmekanismer

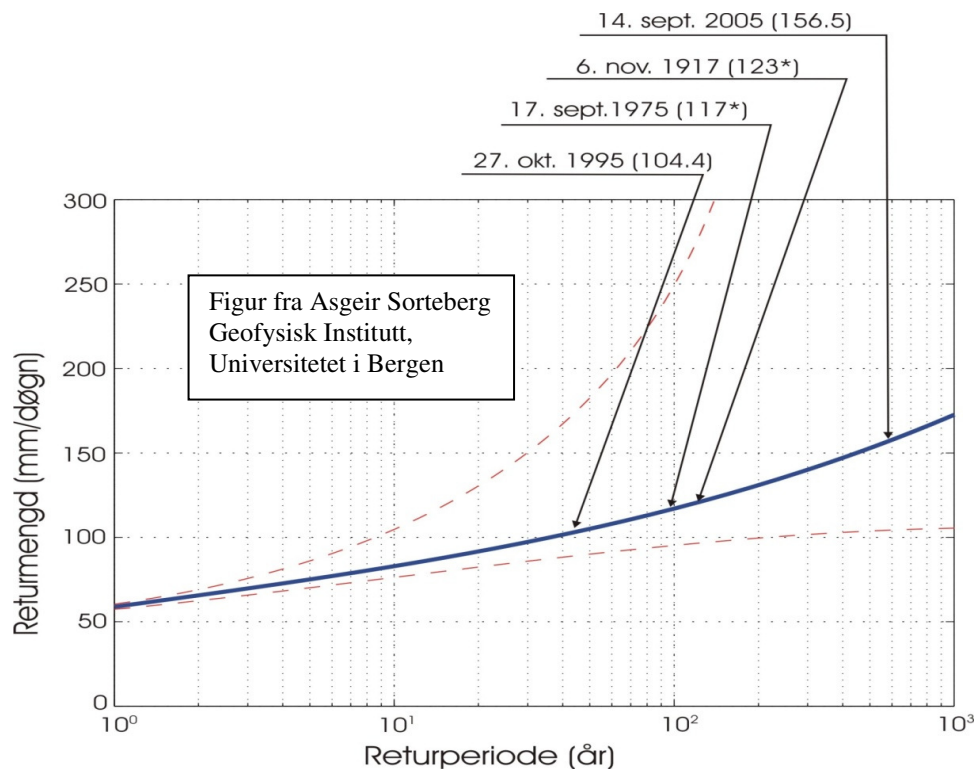
Følgende utløsningsmekanismer er mulig for løsmasseskred i området:

- Artesisk poretrykk i grensesjiktet mellom løsmasser og berg forårsaket av store nedbørsmengder. Dette kan føre til utløsning av ”flakskred”.
- Erosjon i topplaget på grunn av ukontrollert drenering av overflatevann. Dette kan føre til progressiv eller retrogressiv skredutvikling.
- Kryp eller sakte glidning i jordmassene.
- Steinsprang.
- Jordskjelv
- Fylling, graving eller andre inngrep i skråningene.

På bakgrunn av skredulykkene høsten 2005, er spesielt store nedbørsmengder og påfølgende vannmetting av løsmassene og endret drenering av overflatevann med påfølgende erosjon som ansees som kritisk for skråningene.

Figur 2 under viser returperioder for ekstreme nedbørhendelser i Bergen. Returverdiene er estimert fra en generalisert Pareto-fordeling (ref. /5 /).

**BERGEN KOMMUNE**  
**ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN**  
**SAMMENFATTENDE RAPPORT**



Figur 2 Returperioder for ekstreme nedbørhendelser i Bergen (ref. /5 /)

Figur 2 indikerer at ekstremnedbøren 14.september 2005 hadde en returperiode på om lag 600 år, og var dermed en ca 1/600 eller  $1,67 \times 10^{-3}$  hendelse (beste estimat). Beregningene av returverdier er basert på stasjonære tidsserier. Hvis langtidstrenden viser mer ekstremnedbør, slik klimamodeller indikerer (ref. /5 /) vil returperiodene være for høye (og for lave ved avtagende ekstremnedbør). Siden det er få verdier for de mest ekstreme hendelsene vil lange returperioder være avhengig av noen få hendelser. En ny hendelse vil derfor forandre returverdiestimatet ganske mye.

Det ble ikke rapportert omfattende utgidninger i fjellsiden under ekstremnedbørhendelsene høsten 2005. Under befaringene er det heller ikke observert store ferske masseforflytninger, bortsett fra erosjon av løsmasser i bekkefar.

På grunn av den store usikkerheten knyttet til ekstremnedbørhendelser og returperioder, er i det etterfølgende konservativt antatt at nedbørshendelsen i 2005 hadde en returperiode på mer enn 333 år, eller nominell årlig sannsynlighet på  $< 3 \times 10^{-3}$ . Det kan derfor antas at løsmassene i skråningene per i dag har en sannsynlighet for utglidning som er mindre enn  $3 \times 10^{-3}$ .

Undersøkelser etter skredulykker i bebodde områder viser at det svært ofte er menneskelige faktorer som anleggsarbeid, brudd på vannledninger, fylling og graving som er hovedårsak eller medvirkende faktor i skredutviklingen. Disse faktorene må derfor ikke undervurderes, og kan medføre økt risiko for utglidninger i løsmasseskråningene i området.

**BERGEN KOMMUNE**  
**ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN**  
**SAMMENFATTENDE RAPPORT**

Jordartsparemetre

Det er ikke utført spesielle geotekniske undersøkelser for å fastslå jordartsparemetre for løsmassene i skråningene. Basert på tidligere erfaringer antas det at løsmassene i hovedsak består av et topplag av organiske blandingsmaterialer over fast velgradert materiale (Bergensmorene).

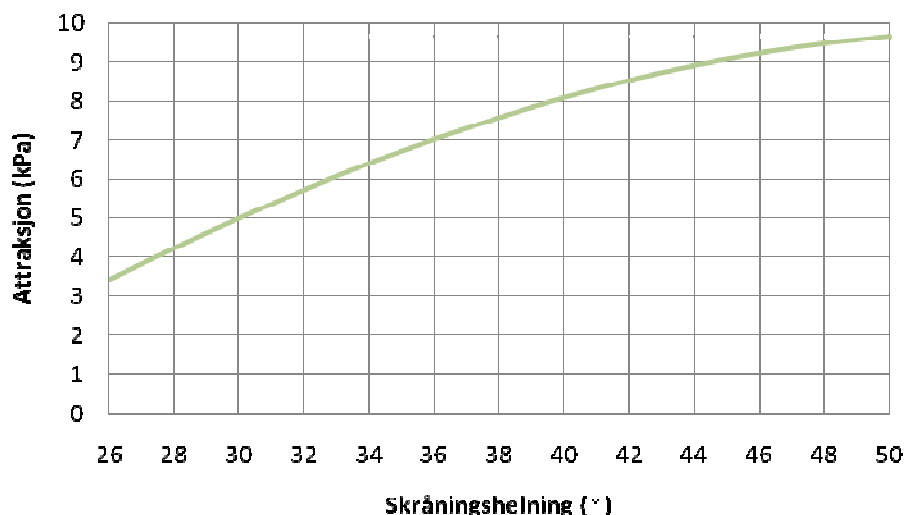
Bergensmorene er et fast materiale med følgende typiske egenskaper:

$$\begin{aligned} \phi &= 35^\circ \text{ til } 40^\circ \\ a &= 10 \text{ til } 50 \text{ kPa} \\ \gamma &= 19 \text{ til } 20 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

For blandingsmateriale er det antatt en friksjonsvinkel i størrelsesorden  $35^\circ$  (ref. /4 /) og tyngdetetthet fra 17,5 til 19,5 kN/m<sup>3</sup>.

For langtidsstabilitet av naturlige skråninger må bruk av attraksjon gjøres med forsiktighet. (Ref. /4 /) påpeker at: *”..jordmassene i de øvre jordlag kontinuerlig utsettes for nedbryting ved fryse-tineprosesser og bevegelse i rotsystemet. I skråninger vil siging av massene føre til vedvarende omrøring av jordmassene som effektivt bryter ned kohesjonen”.*

De observerte løsmasseskråningene i Fjellsiden har skråningshelninger fra mindre enn  $26^\circ$  helt opp til  $50^\circ$ . Dette betyr at løsmassene må ha betydelig attraksjon, ellers ville utglidninger skjedd tidligere. Figur 3 viser minimum attraksjon for å oppnå  $\gamma_m = 1,0$  versus skråningshelning beregnet ved hjelp av ligning (2). Det er her antatt et mettett friksjonsmateriale med indre friksjonsvinkel  $35^\circ$ . Figuren viser at minimum attraksjon for en skråningshelning på  $26^\circ$  er ca 3,5 kPa. For en skråningshelning på  $50^\circ$  øker nødvendig attraksjon til ca 9,5 kPa.



Figur 3 Nødvendig attraksjon for å oppnå  $\gamma_m = 1,0$   
 Indre friksjonsvinkel  $\phi = 35^\circ$

**BERGEN KOMMUNE**  
**ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN**  
**SAMMENFATTENDE RAPPORT**

Det ble, som nevnt ovenfor, ikke rapportert omfattende utglidninger i dette området under ekstremnedbør-hendelsene høsten 2005. Under befaringene ble det heller ikke observert store ferske masseforflytninger bortsett fra erosjon av løsmasser i bekkefar. Hvis det antas at jordmassene var mettet under ekstremnedbørhendelsene høsten 2005 må altså løsmassene på det tidspunktet ha hatt attraksjon i størrelsesorden 10 kPa.

På bakgrunn av dette er det utført stabilitetsanalyser med jordartsparmetre som vist i Tabell 3. For å ta høyde for usikkerhet knyttet til en fremtidig svekkelse av attraksjon er det gjort probabilistiske analyser av skråningsstabilitet ved hjelp av Monte-Carlo-simuleringer, se tabell 3.

Det understrekes at den foreslåtte metodikken og beregningsmetodene må anses som beste estimat basert på de opplysningene som foreligger per dags dato. Metodikken og beregningene bør oppdateres hvis det blir utført geotekniske grunnundersøkelser, rapportert om nye utglidninger eller endrete dreneringsforhold.

Tabell 3 Jordartsparmetre benyttet i stabilitetsanalyser delområde 9

Analyse	Tyngde- tetthet	Indre friksjonsvin- kel	Attraksjon	Kohesjon *)	Kommentar
Deterministisk	$\gamma=18,5 \text{ kN/m}^3$	$\phi = 35^\circ$	a=10 kPa	ikke aktuell	Dagens situasjon
Probabilistisk (dype brudd, overgang berg)	$\gamma=18,5 \text{ kN/m}^3$ $\sigma = 0,3 \text{ kN/m}^3$	$\phi = 35^\circ$ $\sigma = 1,5^\circ$	Ikke aktuell	c = 20 kPa $\sigma = 3.5 \text{ kPa}$	Fremtidig c $\rightarrow$ 0 kPa

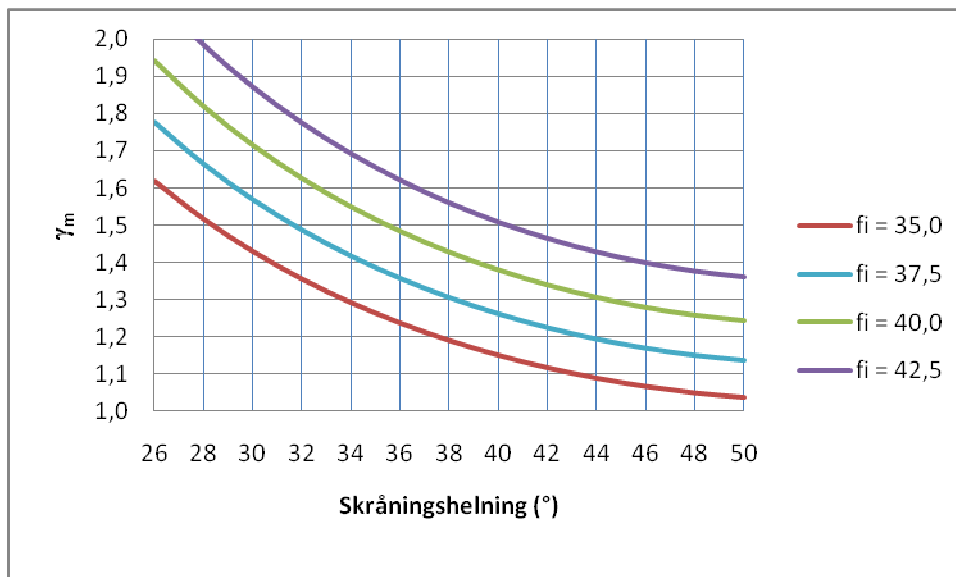
\*)  $c = a \tan \phi$

**Resultater fra stabilitetsanalysene**

**Deterministiske analyser**

Dagens situasjon i skråningen er, basert på argumentasjonen ovenfor, at løsmassene har en indre friksjonsvinkel på minimum 35°, og attraksjon på minimum 10 kPa. Ved lavere indre friksjonsvinkel og attraksjon ville løsmassene ha glidd ut under ekstremnedbørhendelsene i 2005. De deterministiske beregningene sier altså noe om sikkerheten i skråningene per dags dato under nedbørhendelser tilsvarende minst en  $3 \times 10^{-3}$ -hendelse.

Materialkoeffisienten kan da uttrykkes som en funksjon av skråningshelning og materialets indre friksjonsvinkel, se Figur 4. Figur 4 viser materialkoeffisient,  $\gamma_m$  som funksjon av skråningshelning beregnet ved hjelp av ligning (2). Det er her antatt et mettett friksjonsmateriale med mektighet 1-2 meter og med indre friksjonsvinkel varierende fra 35° til 42,5°, attraksjon 10 kPa og tyngdetetthet 18,5 kN/m<sup>3</sup>.



*Figur 4 Materialkoeffisient versus skråningshelning  
Mettet materiale,  $\phi = 35^\circ$  til  $42,5^\circ$ ,  $a=10$  kPa,  $\gamma=18,5$  kN/m<sup>3</sup>*

Det kan observeres fra Figur 4 at løsmasseskråninger opp til en skråningshelning på 50° har en materialkoeffisient  $\gamma_m > 1,0$ . Imidlertid kan det observeres at det kun er skråningshelninger lavere enn ca. 34° som har  $\gamma_m > 1,3$  og skråningshelninger lavere enn ca. 26° som har  $\gamma_m > 1,6$ , som ref. /4/ mener er minimumskrav for  $1 \times 10^{-3}$ -hendelser.

**Probabilistiske analyser**

For å kunne vurdere fremtidige ekstreme hendelser er det utført probabilistiske skråningsstabilitetsanalyser hvor jordartsparemetrene er uttrykt med middelerdi og standardavvik, se tabell 3.

**BERGEN KOMMUNE**  
**ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN**  
**SAMMENFATTENDE RAPPORT**

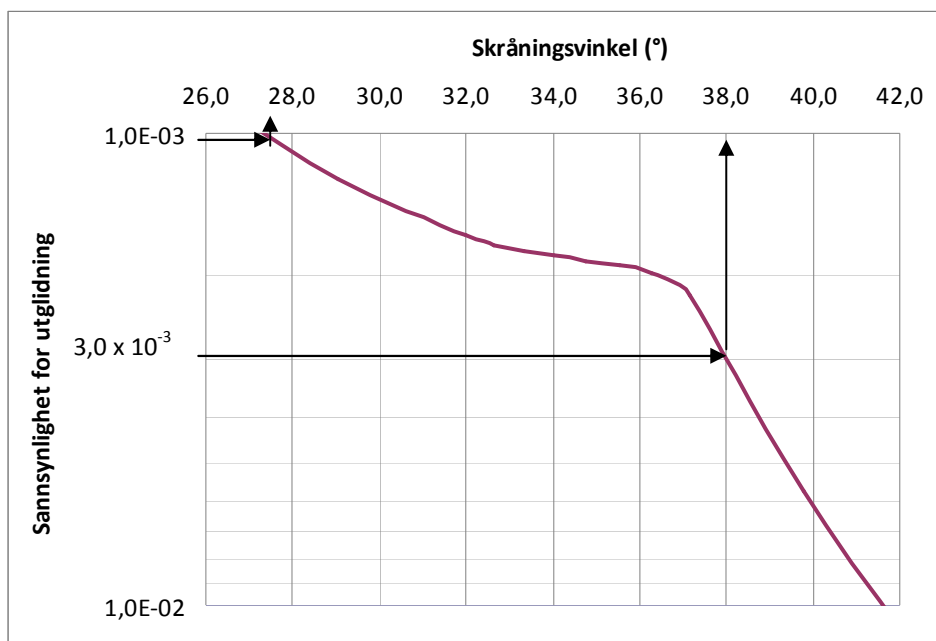
Figur 5 viser resultatene fra analysene som skråningsvinkel mot sannsynlighet for utglidning. Knekket på kurven ved en skråningsvinkel på ca 37° fremkommer på grunn av de statistiske parametrene som er gitt for materialets friksjonsvinkel.

Figur 6 viser middelverdien for materialkoeffisienten for de samme beregningene. Hvis denne figuren sammenholdes med Figur 4 viser den med all tydelighet at det er problematisk og relatere sikkerhet mot utglidning til et krav om deterministisk materialkoeffisient (sikkerhetsfaktor).

Følgende generelle konklusjoner kan trekkes fra de probalibistiske analysene:

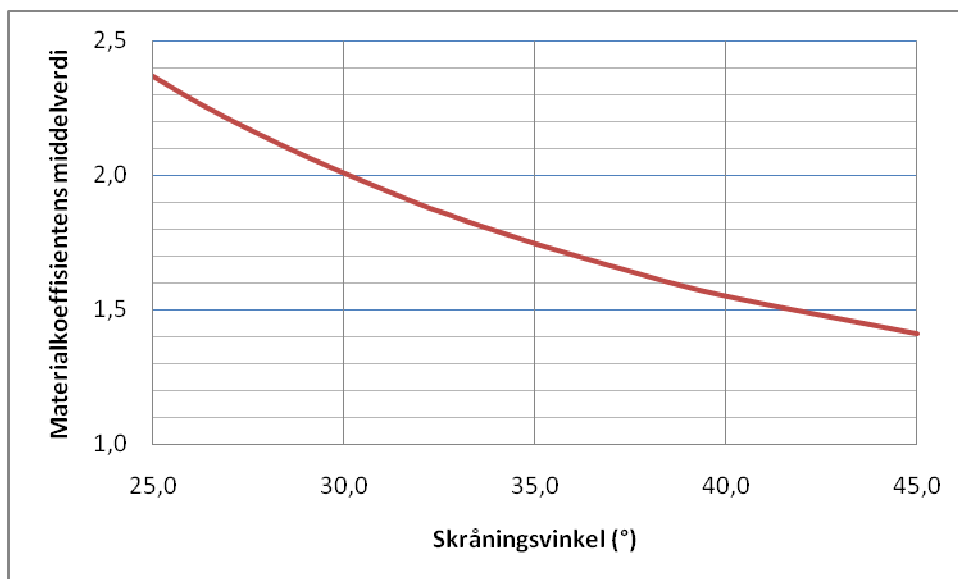
- For  $3 \times 10^{-3}$ -hendelser kan fremtidige utglidninger forekomme i skråninger med større skråningshelning enn ca. 38°.
- For  $1 \times 10^{-3}$ -hendelser kan fremtidige utglidninger forekomme i skråninger med større skråningshelning enn ca. 27°.

Forutsetningene for disse konklusjonene er at det er ekstreme nedbørhendelser som er utløsende årsak til utglidningene.



Figur 5 Resultat fra probalibistiske stabilitetsanalyser

**BERGEN KOMMUNE  
ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN  
SAMMENFATTENDE RAPPORT**



Figur 6 *Middelværdi av  $\gamma_m$  fra probabilistiske stabilitetsanalyser*

Resultat av representative beregninger er vist i vedlegg 18 (1-10).

De generelle retningslinjene som er anført her er benyttet ved vurdering av de spesifikke områdene og skråningene.

#### Støttemurer

Fjellsiden er opparbeidet blant annet ved bruk av støttemurer av varierende utførelse og størrelse. Det er ikke tatt hensyn til stabilitet av disse murene i de utførte skredvurderingene. Vi ønsker likevel å påpeke at det under befaringer i området ble observert mange dårlige støttemurer, som over tid vil ha potensiale for utglidning og/eller velting. Av områder med dårlige murer nevnes Nordre Skansemyren, Endregårdsbakken samt deler av Fjellveien.

#### Rekkevidde av løsmasseskred

Det finnes ingen gode modeller for å analysere rekkevidde av løsmasseskred. Simuleringer i RocFall kan gi en pekepinn på utløpsdistanser for mindre løsmasseskred i friksjonsmateriale.

#### Flomskred

Flomskred innebærer erosjon og fluvial transport forårsaket av strømmende vann. Det kan forekomme flomskred i forbindelse med sterk nedbør. Snøsmelting kombinert med sterk nedbør er spesielt ugunstig.

De aller fleste flomskred skyldes at elver og bekker går over sine bredder og finner nye løp. Ofte har slike skred sammenheng med menneskeskapte forhold langs vassdrag og drensveier. Tette inntak, tette ledninger og brudd i demninger er typiske årsaker til flomskred.

I en artikkel av Hanne Sophie Greve i boken Bergensernes Fjellverden (ref. /8 /) beskrives et stort flomskred i langs vassdraget mellom Blåmannen og Svartediket. Dette inntraff i 1717 og

**BERGEN KOMMUNE  
ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN  
SAMMENFATTENDE RAPPORT**

---

skyldtes et gammelt dike som brast. Skredmaterialet demmet opp for elven fra Isdalen og det dannet seg et nytt vann som ble kalt Nydiket.

Dette ligger noe utenfor området for dette oppdraget, men mindre enn 1 km fra områdets søndre begrensnig. Vi har ikke funnet dokumentasjon på store flomskred i fjellsiden fra Svartediket til Munkebotn.

Vi har vurdert sannsynligheten for flomskred ut fra feltobservasjoner og meteorologiske data. Her har vi forutsatt at demninger og avløpsanlegg holdes ved like og at det ikke gjøres inngrep som kan endre drensveiene.

Som nevnt foran hadde man 14. september 2005 et døgn med ekstrem nedbør i Bergensområdet. Dette kan ses på som en kapasitetstest av vassdrag og dreosanlegg i fjellsiden. Det inntraff ingen større flomskred i fjellsiden Svartediket – Munkebotn i den forbindelsen. Sannsynligheten for flomskred vurderes derfor som liten.

Flomskred innebærer fluvial transport. Derfor kan ikke utløpsdistanser vurderes på samme måte som for steinskred og løsmasseskred.

**BERGEN KOMMUNE  
ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN  
SAMMENFATTENDE RAPPORT**

---

Snøskred

Snøskred oppstår når vind, temperatur og nedbør virker på et snødekkets slik at strekk- eller skjærkapasitet overskrides og brudd inntreffer. Man skiller mellom to hovedtyper snøskred; løssnøskred og flakskred. Her behandles imidlertid begge typer under ett.

Snøskred kan teoretisk også forekomme i området som omfattes av dette oppdraget.

Det har forekommet snøskred i fjellsiden nordvest for Ulriken. På [www.skrednett.no](http://www.skrednett.no) finnes opplysninger om et stort snøskred i dette området i 1770. En nyryddet gård i Bjørndalen ble rammet og to personer omkom.

Det finnes også opplysninger om et snøskred ved Tarlebø / Våkendalen i 1918. To skiløpere ble tatt av skredet. Den ene omkom. Begge disse hendelsene ligger utenfor området for dette oppdraget, men i forholdsvis kort avstand (< 1 km).

Det finnes ingen opplysninger om snøskred i fjellsiden mellom Svartediket og Munkebotn.

Snøskred løsner oftest i vegetasjonsfrie fjellsider som ligger i le for framherskende, nedbørsførende vindretning. I dette området er framherskende nedbørsførende vindretningen sydvest. Fjellsiden vender mot sydvest og ligger altså ikke i le. Lokale klimatiske forhold og vegetasjon gjør at det sjelden samler seg store snømengder i området. Sannsynligheten for snøskred vurderes derfor å være vesentlig mindre enn sannsynligheten for steinsprang eller løsmasseskred.

Steinskred eller løsmasseskred vurderes etter dette å være bestemmende når det gjelder å definere faresonene. Derfor har vi ikke vurdert sannsynligheter eller utløpsdistanser for snøskred nærmere.

Løsmasseskred

I løsmasseskråninger bestående av friksjonsmaterialer kan skred teoretisk utløses i skråninger brattere enn ca 27°. Leirskred kan utløses i slakere terreng, men denne type løsmasser er ikke observert i dette området.

Følgende utløsningsmekanismer kan tenkes for løsmasseskred i området:

- Artesisk poretrykk i grensesjiktet mellom løsmasser og berg forårsaket av store nedbørsmengder. Dette kan føre til utløsning av ”flakskred”.
- Erosjon i topplaget på grunn av ukontrollert drenering av overflatevann. Dette kan føre til progressiv eller retrogressiv skredutvikling.
- Kryp eller sakte glidning i jordmassene.
- Steinsprang kan rive med seg løsmasser.
- Jordskjelv.
- Fylling, graving eller andre inngrep i skråningene.

**BERGEN KOMMUNE**  
**ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN**  
**SAMMENFATTENDE RAPPORT**

---

Sterk nedbør og reduserte effektivspenninger er ofte det som utløser løsmasseskred. Vannmettede masser og høye poretrykk gir redusert skjærstyrke. I noen tilfeller kan også artesisk overtrykk utløse skred. Artesisk overtrykk kan oppstå når det finnes et drenerende lag i kontakten mellom løsmasser og berg, og et tettere overliggende lag med for eksempel humusjord.

Menneskelige terrenginngrep er også en vanlig årsak til løsmasseskred, eventuelt en medvirkende årsak. Skredene både ved Hatlestad og Hetlebakk i september og november 2005 hadde muligens sammenheng med terrenginngrep i tillegg til sterk nedbør.

Det finnes ingen gode metoder for beregning av utløpsdistanser når det gjelder løsmasseskred. Løsmassene i området består i hovedsak av ur/skredmateriale, humusholdig forvitningsjord og morene. Løsmassemektighetene er i hovedsak mindre enn 2 meter. Skred i slike masser vil stoppe relativt fort når terrenget flater ut eller skredet møter hindringer.

Flomskred kan oppstå ved ekstremt stor vannføring i bekker og elver. Vannmassene eroderer og frakter med seg løsmasser. Slike situasjoner kan oppstå ved ekstrem nedbør, eller ved at en elv blir oppdemt og en demning så brister. I slike situasjoner gjelder ikke vanlige regler for utløpsdistanse da massene vil oppføre seg som en viskøs væske. Ofte har slike skred sammenheng med menneskeskapte forhold langs vassdrag og drensveier. Endrete dreneringsforhold, tette inntak, tette ledninger og brudd i vannledninger og demninger er typiske årsaker til flomskred.

I våre sannsynlighetsvurderinger for løsmasseskred har vi generelt forutsatt at det ikke gjøres inngrep i skråningene som forverrer stabiliteten. Vi har også forutsatt at vann- og avløpsanleggene i området vedlikeholdes og har kapasitet til å ta unna den nedbøren som kommer. .

Utgangspunktet for våre sannsynlighetsvurderinger er at løsmasseskråningene i området har vært stabile over en lengre periode. Det har også forekommet perioder med ekstremnedbør uten at det har utløst skred.

## **6.4 Vurderinger av sannsynlighet, konsekvens og risiko**

### Generelt

Teknisk forskrift til Plan- og bygningsloven (TEK) (ref. /9 /) definerer akseptable risikonivå for skred i bebygde og planlagt bebygde områder. Forskriften opererer med begrepet ”årlig nominell sannsynlighet” for skred. Det er definert 3 sikkerhetsklasser avhengig hvilke konsekvenser skred kan få. Forskriftens avsnitt om skred gjengis nedenfor:

*”Sikkerheten mot skred antas å være tilfredsstillende når byggverk i sikkerhetsklasse 1, 2 og 3 og medhørende utvendige bruksarealer dimensjoneres eller sikres mot skred slik at normtallene i tabell 4 nedenfor oppnås. Byggverk i pålitelighetsklasse 4 skal ikke plasseres i skredfarlig område”.*

**BERGEN KOMMUNE**  
**ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN**  
**SAMMENFATTENDE RAPPORT**

*Tabell 4: Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i skredfareområder*

Sikkerhetsklasse	Konsekvens	Største nominelle
for skred		årlige sannsynlighet
1	liten	$10^{-2}$
2	middels	$10^{-3}$
3	stor	$< 10^{-3}$

*Byggverk skal plasseres og utføres slik at byggegrunn og tilstøtende terreng har tilfredsstillende sikkerhet mot at det blir utløst skred eller oppstår skadelige setninger.*

Småhusbebyggelse dominerer i de områdene som omfattes av denne rapporten og tilhører sikkerhetsklasse 2. Årlig nominell sannsynlighet for skred skal ikke være større enn  $10^{-3}$ .

Bebyggelse der konsekvensen ved skred er store tilhører sikkerhetsklasse 3. Det vil for eksempel gjelde mer konsentrert boligbebyggelse, barnehager skoler, etc. Her skal årlig nominell sannsynlighet være mindre enn  $10^{-3}$ . Tillatt nominell faregrense skal fastsettes nærmere ut fra hvilke faktisk konsekvenser et skred kan medføre. Det vises til "Ren Teknisk 1997" (ref. /7 /) der dette er formulert slik:

*"Tillatt nominell sannsynlighet for skred for byggverk i klasse 3,  $<10^{-3}$ , skal fastsettes ut fra hvilken faktisk risiko skred kan medføre. Jo større konsekvensen kan bli jo lavere sannsynlighet for skred skal fastsettes".*

Byggverk i pålitelighetsklasse 4 skal ikke plasseres i skredfarlig område. Det vil si 0-toleranse.

Det framgår av dette at lov og forskrift ikke forlanger full sikkerhet mot skred eller andre naturpåkjenninger. Det siteres fra "Ren Teknisk 1997":

*"Bebyggelse skal plasseres sikkert med hensyn til skred. Der det er mangel på skredsikre utbyggingsområder kan kommunen tillate etablering av ny bebyggelse med en viss skredfare. Kommunen skal påse at bebyggelse som plasseres i slike områder får en forsvarlig sikkerhet mot skred."*

Kravet om forsvarlig sikkerhet er oppfylt når den årlige nominelle sannsynligheten vurderes å være mindre enn det som defineres for de ulike sikkerhetsklassene (se tabell 4).

### Risiko

Risiko kan defineres som produktet av sannsynlighet og konsekvens ( $R = S \times K$ ).

Konsekvenser kan uttrykkes som verdier, for eksempel i kroner. Sannsynligheter er ubenevnte størrelser. Risiko kan dermed uttrykkes i kroner.

Det er åpenbart at store skred kan få store konsekvenser i form av materiell skade og tap av menneskeliv. Ved mindre steinsprang eller mindre løsmasseskred kan konsekvensene bli mer

**BERGEN KOMMUNE**  
**ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN**  
**SAMMENFATTENDE RAPPORT**

---

beskjedne. På den annen side er sannsynligheten for store skred som regel vesentlig mindre enn sannsynligheten for små skred. Hvordan dette slår ut i risiko kan variere.

Eksempelene nedenfor illustrerer dette:

- 1) Årlig nominell sannsynlighet for et steinskred med volum ca 1000 m<sup>3</sup> vurderes for eksempel å være 10<sup>-3</sup>. Konsekvensen kan være at et bolighus blir totalskadd og at menneskeliv går tapt. Det anslås en skade på kr 20 000 000. Risikoen (R) blir 20 000 000 x 10<sup>-3</sup> = kr 20 000.
- 2) Her vurderes årlig nominell sannsynlighet for et mindre steinsprang (volum ca 1 m<sup>3</sup>) å være 10<sup>-2</sup>. Konsekvensen kan være vesentlig mindre, og uten tap av menneskeliv. Det anslås en skade på kr 1 000 000 . Her blir risikoen (R) 1 000 000 x 10<sup>-2</sup> = kr 10 000.

Eksempelene illustrerer også at skred som har årlig nominell sannsynlighet nær akseptgrensen for sikkerhetsklasse 2, likevel kan innebære en større risiko enn skred med en uakseptabel høy nominell sannsynlighet i henhold til TEK (ref. /9 /).

Forskrift (TEK) og veiledninger behandler ikke risikoaspektet som beskrevet foran. Det gis ingen retningslinjer når det gjelder sammenhengen mellom skredvolum, konsekvens og risiko.

#### Normalhendelse for steinskred

I forbindelse med sannsynlighetsvurderinger og vurdering av utløpsdistanser har vi valgt å definere en normalhendelse for steinsprang-/skred. De beskrives slik:

*Enkeltplokker med gjennomsnittlig volum ca 1 m<sup>3</sup> som løsner i øvre del av fjellsiden.*

Slike steinsprang vil ha potensial til å utrette store materielle skader, og kan i verste fall også føre til tap av menneskeliv.

Lokaliteter der det vurderes å være fare for store sammensatte skred har vi behandlet spesielt. Det vises til de enkelte delrapportene.

#### Enhetsbredde

I Ren Teknisk 1997 (ref. /7 /) omtales begrepet enhetsbredde ved faresonekartlegging:

*”Ved faresonekartlegging av planområder der arealbruken ikke er nærmere spesifisert, kan det være aktuelt å fastlegge nominelle faregrenser på basis av definerte enhetsbredder på tvers av skredretningen. En enhetsbredde på 30 meter kan i slik sammenheng være hensiktsmessig”.*

En slik enhetsbredde kan i denne sammenhengen være for lite restriktiv, slik vi ser det. Det begrunnes med følgende resonnement:

Fjellsiden fra Svartediket til Munkebotn kan deles inn i mer enn 100 ”enhetsbredder” på 30 meter. Innenfor hver enhetsbredde aksepteres ett skred pr 1000 år. I hele området sett under

**BERGEN KOMMUNE**  
**ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN**  
**SAMMENFATTENDE RAPPORT**

ett aksepteres følgelig 100 skred pr 1000 år. I ytterste konsekvens kan det bety at en skredulykke hvert 10-15 år er akseptabelt i området sett under ett.

Ut fra slike betraktninger har vi valgt et noe mer restriktivt utgangspunkt. Den veiledende enhetsbredden på 30 meter har vi betraktet som en minimumsbredde i denne sammenhengen. Vi har sett på enhetsbredder større enn 30 meter, tilpasset geologiske og topografiske forhold. Vi har ikke definert eksakte enhetsbredder.

Årlig nominell sannsynlighet for at steinskred / steinsprang skal utløses i bergskrentene vil variere fra i større enn  $10^{-1}$  (hvert tiende år) til mindre enn  $10^{-3}$  (hvert tusende år). Flere faktorer påvirker sannsynligheten. De viktigste er sprekkekarakter, sprekkegeometri og forvittringsprosesser.

Vi har utarbeidet en veiledende tabell for vurdering av sannsynligheter. Tabell 5 antyder sannsynligheter for at steinskred skal utløses i bergskrentene. Mengden nedfall (nye og gamle) sier noe om skredfrekvens bakover i tid. Sprekkegeometri og sprekkekarakter har betydning for stabilitet og sannsynlighet for skred framover i tid. Begge er av betydning for best mulig å kunne vurdere årlige nominelle sannsynligheter.

Tabell 5

ÅRLIG NOMINELL SANNSYNLIGHET FOR UTLØSING AV STEINSKRED				
		Sprekkegeometri / Bergmassekvalitet (Dagens situasjon)		
	Skredmateriale (Historisk vurderingsgrunnlag)	Gunstig	Mindre gunstig	Ugunstig
		B1	B2	B3
A1	Lite skredmateriale / ingen ferske spor	$5 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-3}$
A2	Lite skredmateriale / noen ferske spor	$1 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-3}$	$4 \times 10^{-3}$
A3	Lite skredmateriale / en del ferske spor	$2 \times 10^{-3}$	$4 \times 10^{-3}$	$8 \times 10^{-3}$
A4	En del skredmateriale / ingen ferske spor	$4 \times 10^{-3}$	$8 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-2}$
A5	En del skredmateriale / noen ferske spor	$8 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-2}$	$3 \times 10^{-2}$
A6	En del skredmateriale / en del ferske spor	$1,5 \times 10^{-2}$	$3 \times 10^{-2}$	$6,5 \times 10^{-2}$
A7	Mye skredmateriale / ingen ferske spor	$3 \times 10^{-2}$	$6,5 \times 10^{-2}$	$1,5 \times 10^{-1}$
A8	Mye skredmateriale / noen ferske spor	$6,5 \times 10^{-2}$	$1,5 \times 10^{-1}$	$2,5 \times 10^{-1}$
A9	Mye skredmateriale / en del ferske spor	$1,5 \times 10^{-1}$	$2,5 \times 10^{-1}$	$5 \times 10^{-1}$

Skalaen framkommer ved at sannsynlighetene i en kolonne multipliseres med en faktor på 2 fra venstre mot høyre. Videre multipliseres sannsynlighetene også med en faktor på 2 mellom en rad og raden nedenfor. Det er foretatt noen avrundinger.

Steinskred / steinsprang kan ha svært varierende størrelse. Sannsynligheten for mindre steinsprang vil være vesentlig større enn sannsynligheten for store skred. Som grunnlag for våre sannsynlighetsvurderinger har vi valgt en typisk hendelse der enkeltblokker løsner i øverste halvdel av bergskrentene.

**BERGEN KOMMUNE**  
**ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN**  
**SAMMENFATTENDE RAPPORT**

---

Steinsprang/-skred vil ha varierende utløpsdistanser. Skredblokker vil fordele seg fra nær foten av skrentene i kildeområdet, til en viss avstand derfra. En rekke fysiske og faktorer påvirker utløpsdistansene. Det er også mange tilfeldigheter involvert.

Det skal trekkes opp grenser for årlig nominelle sannsynligheter henholdsvis  $10^{-3}$  og  $3 \times 10^{-3}$ .

Statistisk kan det aksepteres en varierende prosentandel skredblokker på nedsiden av faregrensene. Jo mindre sannsynlighet for utløsning av enkeltblokker, jo større andel blokker på nedsiden av faregrensen kan aksepteres. For " $3 \times 10^{-3}$ -linjen" kan en større andel aksepteres enn for " $10^{-3}$ -linjen".

Dette illustreres med følgende eksempler.

- Dersom nominell sannsynlighet for utløsning av enkeltblokker i en bergskrent er  $\leq 10^{-3}$  (1 steinsprang pr 1000 år), kan man i prinsippet bygge helt inn mot skrenten, og likevel tilfredsstillende kravet i TEK. Eller sagt på en annen måte: Faregrensen kan trekkes helt inn mot skrenten, og man kan tillate 100% av skredblokkene på nedsiden av " $10^{-3}$ -grensen".
- Dersom nominell sannsynlighet for utløsning av enkeltblokker er dobbelt så stor, altså  $2 \times 10^{-3}$  eller 2 steinsprang pr. 1000 år, kan det i prinsippet aksepteres at  $100\% / 2 = 50\%$  av blokkene stopper på nedsiden av " $10^{-3}$  grensen".
- Ved en enda større sannsynlighet, for eksempel  $10^{-2}$  eller 10 steinsprang pr 1000 år, kan tilsvarende bare  $100\% / 10 = 10\%$  av skredblokkene på nedsiden av grensen aksepteres.

Det er store usikkerheter knyttet til vurderinger av sannsynligheter av skredutløsning og utløpsdistanser. I praksis har vi valgt en konservativ tilnærming. Grensen for årlig nominell sannsynlighet  $10^{-3}$  er trukket nær maksimal utløpsdistanse i henhold til observasjoner og simuleringer. Grensen for årlig nominell sannsynlighet  $3 \times 10^{-3}$  trukket noe nærmere foten av skrentene. Fordeling av skredblokkenes endepunkt har vært veiledende.

Tabellen gjelder i utgangspunktet for bergskrenter med høyde og bredde ca 30 meter. For avvikende høyde/bredde har vi justert sannsynlighetene skjønnsmessig.

## **7. HOVEDKONKLUSJONER**

### **7.1 Generelt**

Det vises til vedlagte tegninger 96793001 – 3 – 01 til 04, der faresoner er angitt. Det vises også til delrapportene 96793001 /3/ 01-09 der forholdene beskrives nærmere.

### **7.2 Utsatt bebyggelse**

Noen av de øverste boligene i fjellsiden ligger etter våre vurderinger i faresonen. Også lenger nede i fjellsiden kan en del bygninger være utsatt. Det vil si at årlige nominell sannsynlighet for at eiendommene skal rammes av skred vurderes å være større  $10^{-3}$ .

### **7.3 Tiltak**

Tiltak må vurderes for bygninger som ligger i faresonene. Bak noen av bygningene er det utført sikring. Det er delvis gammel sikring, og delvis sikring av nyere dato. Det er delvis sporadisk sikring, og delvis mer omfattende og systematisk sikring. Det har ikke inngått i dette oppdraget å vurdere tilstanden til den utførte sikringen. En nærmere undersøkelse og vurdering kan for noen av disse eiendommene konkludere med at den utførte sikringen gir tilstrekkelig sikkerhet. For andre kan konklusjonen være at supplerende sikring er nødvendig.

Generelt er det nødvendig med regelmessig inspeksjon og vedlikehold av skredsikring.

Ulike typer sikring kan tenkes for å redusere skredfaren til et akseptabelt nivå:

- Bolter / stag
- Nett
- Barrierer

For bygninger i sikkerhetsklasse 3, som ligger i eller nær faresonen, bør risikovurderinger gjennomføres i henhold til REN Teknisk 1997 (ref. /7 /).

### **7.4 Grunnlag for faresonekartlegging**

#### Lov / forskrift / veiledninger

Som det framgår av kapittel 6.4 har vi erfart en del uklarheter i forskrift (TEK) og veiledninger når det gjelder vurdering av sannsynligheter, konsekvenser og risiko. Vi mener det er behov for revisjoner der en del av disse forhold klargjøres nærmere.

#### Kartgrunnlag

Høydekurvene i det digitale kartgrunnlaget har begrenset nøyaktighet. Det skyldes i hovedsak tett vegetasjon. I forbindelse med oppstart av oppdraget ble vi informert at laserscanning var utført i fjellsiden og at det kunne gi et mer nøyaktig kartgrunnlag.

**BERGEN KOMMUNE  
ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN  
SAMMENFATTENDE RAPPORT**

---

Det ville imidlertid ha medført betydelig merarbeid, og utsatt ferdigstilling, dersom vi skulle ha tatt i bruk dette grunnlaget. Vi tror ikke dette ville ha resultert i vesentlig større nøyaktighet i sluttresultatet. Vi har derfor valgt å gjennomføre oppdraget med det opprinnelig tilgjengelige kartgrunnlaget.

Arkivmateriale / Erfaringsgrunnlag

Tilgjengelig erfaringsmateriale er verdifullt i forbindelse med skredfarevurderinger. På den annen side må ikke studie av grunnlagsmateriale gå på bekostning av feltobservasjoner. I noen tilfeller må man derfor være selektiv.

Noen gamle rapporter fra det aktuelle området er framskaffet av Bergen kommune. Det vises til referanselister. Vi tror imidlertid det må finnes en del relevant grunnlag i tillegg til dette. Det gjelder blant annet dokumentasjon i forbindelse med diverse utførte sikringstiltak.

Erfaringsmessig er det vanskelig og tidkrevende å framskaffe slik dokumentasjon, både fra kommunale arkiv og fra andre kilder.

På [www.skrednett.no](http://www.skrednett.no) finnes en landsdekkende database over kjente skredhendelser. Her finnes kun et fåtall opptegnelser fra det aktuelle området.

I forbindelse med framtidige skredfarevurderinger vil det være ønskelig med bedre arkiver og databaser både på kommunalt og nasjonalt nivå.

**7.5 Metodevalg ved faresonekartlegging**

Dette oppdraget er definert som et Pilotprosjekt. Bergen kommune har ønsket å få vurdert / testet metoder for faresonekartlegging over større områder. Grunnlaget for vår arbeider er nedfelt i tilbudets gjennomføringsplan.

Våre erfaringer og anbefalinger når det gjelder metoder for faresonekartlegging i dette området oppsummeres nedenfor:

Feltobservasjoner

Feltobservasjoner skal danne grunnlaget for vurderinger og analyser. Det er vesentlig å finne en god balanse mellom feltobservasjonenes omfang/detaljeringsgrad, det resultatet man skal fram til og den nøyaktigheten det er mulig å oppnå.

Observasjoner av skredmateriale anses som vesentlig, både for å vurdere skredfrekvenser, sannsynligheter og utløpsrekkevidder. Observasjoner av sprekkekarakter og sprekkegeometri er også viktig, først og fremst for å vurdere utløsingsmekanismer volum og sannsynligheter.

Det er grenser for hva økt detaljeringsgrad i feltarbeidet gir av økt nøyaktighet i vurdering av nominelle sannsynligheter. Det kan for eksempel brukes mye tid på å måle strøk / fall på alle tilgjengelige sprekker i området, uten at vurderingene av nominelle sannsynligheter blir vesentlig mer nøyaktig.

**BERGEN KOMMUNE  
ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN  
SAMMENFATTENDE RAPPORT**

---

Store deler av fjellsiden er utilgjengelig for detaljerte feltobservasjoner, særlig i potensielle løsneområdene for steinskred. Det er typisk for denne typen faresonekartlegging, og det er et forhold det må tas høyde for i sannsynlighetsvurderingene.

Analyser og analyseverktøy

For dette oppdraget har vi benyttet analyseverktøy i henhold til gjennomføringsplanen i tilbudet. Det omfatter analyser av stabilitet både for berg og løsmasser. Det omfatter også analyser av rekkevidde for steinskred ved hjelp av en dynamisk modell.

I tillegg har vi vurdert utløpsdistanser etter en empirisk modell. Vi har også sammenlignet resultatene fra dynamisk og empirisk modell og funnet godt samsvar.

Vi har erfart, både ved dette oppdraget og tidligere oppdrag, at skredsimulering ved hjelp av dynamiske modeller er svært følsom for variasjoner i inn-verdier. Små variasjoner gir store utslag. Derfor er det vesentlig ved slike analyser å "kalibrere" modellen slik at resultatene samsvarer best mulig med observerte forhold. Det betinger at det kan gjøres observasjoner av utløpsdistanser fra tidligere skred. I dette område har denne muligheten vært begrenset fordi det er gjort terrenginngrep i store deler av området.

Det er satt opp som et krav for dette oppdraget at moderne analyseverktøy skal brukes. Vi oppsummerer våre erfaringer med disse verktøyene kort slik:

Analyseverktøy for stabilitetsberegninger og skredsimuleringer er i stadig utvikling. De har imidlertid fortsatt sine klare begrensninger som det er viktig å ta hensyn til.

Sluttkommentarer

Ett av formålene med dette oppdraget har vært å evaluere metoder for faresonekartlegging. Vi oppsummerer våre erfaringer slik:

Faresonekartlegging på dette detaljnivået må baseres på feltobservasjoner og tilgjengelig arkivmateriale. Beregninger og simuleringer må utføres med oppdatert analyseverktøy. Det er imidlertid viktig å være oppmerksom på disse verktøyenes begrensninger. Selv om slike verktøy stadig utvikles og forbedres er det fortsatt nødvendig med stor grad av faglig skjønn.

Kartlegging som i hovedsak baseres på helningsbetraktninger vil antagelig ikke gi god nok nøyaktighet for denne typen faresonekart.

Det kan ikke gis noen enkel oppskrift på faresonekartlegging.

Det vil være store variasjoner i topografiske og geologiske forhold fra område til område. Formålet med faresonekartlegging vil også variere. Det stilles andre krav til faresonekartlegging i områder med tett bebyggelse enn til kartlegging i ubebygde områder.

Metodevalg og detaljeringsgrad må vurderes i hvert enkelt tilfelle.

**BERGEN KOMMUNE  
ROS II . PILOT II-FJELLSIDEN  
SAMMENFATTENDE RAPPORT**

---

**7.6 Bruk av faresonekart**

Denne typen faresonekart skal generelt danne grunnlag for arealplanlegging på ulike nivå. I dette tilfellet vil det også danne grunnlag for mer detaljerte vurderinger av stabilitet og sikringstiltak i utbygde områder.

Ved planlegging av terrenginngrep må stabilitet og sikringsbehov vurderes spesielt og mer detaljert. Det gjelder også ved større inngrep utenfor faresonene.

Faresonekart må revideres når betingelsene endres. Det kan for eksempel være aktuelt i forbindelse med at mer nøyaktig kartgrunnlag og/eller analyseverktøy blir tilgjengelig. Det kan også være i forbindelse med skredhendelser i området.

**8. REFERANSER**

- /1 / Multiconsult AS. 2005. Notat G-01. Rasrisiko etter rekordnedbør 14.september. Hatlestad. datert 20.09.05.
- /2 / Multiconsult AS. 2005. Rasrisiko etter rekordnedbør 14/09-05, Hatlestad. Befaring 23.09.05. Datert 23.09.05.
- /3 / Multiconsult AS. 2005. Notat G-02. Stabilitetsforhold. Årsaker til skredet. Datert 26.09.05.
- /4 / NTNU. 2005. Ras mot boliger ved Hatlestad Terrasse, Bergen. Vurdering av rapporter fra Multiconsult AS. Brev datert 4. oktober 2005.
- /5 / Sorteberg, A. 2009. Returperioder for ekstreme nedbørhendelser i Bergen. Personlig kommunikasjon med Asgeir Sorteberg, Geofysisk Institutt, Universitetet i Bergen.
- /6 / Byggforsk / NGI 1998. Steinskred og løsmasseskred i bratt terreng. Farevurdering. Byggforskserien. Planløsning. Sending 311.135.
- /7 / REN Teknisk 1997. Veiledning til forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk.
- /8 / Hanne Sophie Greve 1986. Bergensernes Fjellverden. Fra Istid til Nåtid. Isdalen – ferdselsåre og naturperle.
- /9 / Kommunal- og regionaldepartementet/Miljøverndepartementet. 1997. Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk (TEK).  
<http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-19970122-0033.html>
- /10 / Statens Byggetekniske Etat.2007. Veiledning til teknisk forskrift til plan- og bygningsloven 2007.  
<http://www.be.no/beweb/regler/veil/tekveil07/tekveilinnh2007.html>
- /11 / Miljøverndepartementet. 1985. Plan- og bygningslov. Sist endret 2009-07.01.  
<http://www.lovdata.no/all/nl-19850614-077.html>
- /12 / Geo-Slope Inc. 2007. Thermal modelling with TEMP/W. Engineering Methodology. [www.geo-slope.ca](http://www.geo-slope.ca)
- /13 / (EØS 044/2007) Konkurransesgrunnlag for åpen anbuds konkurranse vedrørende levering av konsulent tjenester for detaljundersøkelser ROS II til Bergen kommune.

**9. LITTERATURLISTE**

Jaedicke, Christian. 2009. Norklima. Økt skredfare kan avverges.

Dr. Evert Hoek 2000. Practical Rock Engineering, 2000, Chpt 9. Analyses of Roc Fall Hazards.

Warren Stevens. 1998. A Tool for Probabilistic Analyses. Design of Remedial Measures and Prediction of Roc Falls.

Multiconsult 2006. Fjellvegen. Bergenhus bydel. Observasjoner i felt. Råd om sikring. Notat datert 27. november 2006.

Opticonsult 2007. Svartedikerveien – Tarlebøveien. Vurdering av skredfare. Notat datert 30. mars 2007.

Multiconsult 2007. Bergen kommune. Vurdering av skredfare ved Breistølen. Rapport nr. 611541-1, datert 6. juli 2007.

Multiconsult 2007. Bergen kommune. Vegseksjonen. Rasrisiko og sikring av veganlegg i Forskjønnelsen. Notat datert 10. mai 2007

Multiconsult 2006. Bergen kommune. Samferdselsetaten. Rasrisiko etter rekordnedbør september 2005. Munkebotn. Notat datert 31. juli 2006.

Ole Petter Wenneberg 1998. The Bergen Arc Shear Zone – Kinematic analyses and implications for the Tectonic Evolution of the Bergen Area.

Haakon Fossen 1984. Geologisk undersøkelse av Fløyfjellet i forbindelse med Nordre Innfartsåre.