NGI Rapport / Report

# Straumen - Skredvurdering

## Detaljkartlegging skredfare

20100802-00-1-R
10. november 2010

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.

Hovedkontor:
Pb. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd Trondheim:
Pb. 1230 Pirsenteret
7462 Trondheim

T 22 02 30 00
F 22 23 04 48

Kontonr 5096 05 01281
Org. nr 958 254 318 MVA

ngi@ngi.no
www.ngi.no

# Prosjekt

| | |
|---|---|
| Prosjekt: | Straumen - Skredvurdering |
| Dokumentnr.: | 20100802-00-1-R |
| Dokumenttittel: | Detaljkartlegging skredfare |
| Dato: | 10. november 2010 |

# Oppdragsgiver

| | |
|---|---|
| Oppdragsgiver: | Sørfold kommune |
| Oppdragsgivers kontaktperson: | Kåre Isaksen |
| Kontraktreferanse: | e-post av 02.09.2010, fra Kåre Isaksen |

# For NGI

| | |
|---|---|
| Prosjektleder: | Kjetil Brattlien |
| Utarbeidet av: | Steinar Bakkehøi |
| Kontrollert av: | Ulrik Domaas, Kjetil Brattlien |

# Sammendrag

NGI har foretatt en detaljert kartlegging av et boligområde ved Straumen, i Sørfold kommune. Området har eksisterende boligbebyggelse, og det planlegges ny bebyggelse. Hensikten med kartleggingen er å fastsette skredgrenser kommunen kan forholde seg til slik at kravet til sikkerhet mot skred i Teknisk forskrift er oppfylt.

Mesteparten av den kartlagte bebyggelsen på Straumen ligger trygt for såkalte 1000-årsskred. Unntaket er de øverstliggende områdene mot Straumklumpen og området rundt Rønnelva. Skredgrensene er vist på kartbilag 02 og 03.

BS EN ISO 9001
Sertifisert av BSI
Reg. No. FS 32989

# Innhold



**1 Innledning 5**

**2 Krav til sikkerheten mot skred 5**

**3 Klimabeskrivelse 6**

**4 Terrengbeskrivelse og farevurdering 8**

**Vedlegg A**

**Figurer**

**Kontroll- og referanseside**

# 1 Innledning

NGI har foretatt en detaljert kartlegging av et boligområde ved Straumen, i Sørfold kommune. Området har eksisterende boligbebyggelse, og det planlegges ny bebyggelse. Hensikten med kartleggingen er å fastsette skredgrenser kommunen kan forholde seg til slik at kravet til sikkerhet mot skred i Teknisk forskrift er oppfylt.

Kartleggingen er basert på kartstudier, undersøkelse av de klimatiske forholdene på stedet samt en befaring i området og fjellsida ovafor. Befaringen ble foretatt 6. oktober 2010, og deltakere var Kåre Isaksen, Sørfold kommune samt Kjetil Brattlien og Steinar Bakkehøi, NGI. NGI har brukt digitale kart med ekvidistanse 5 m opp til toppen av fjellet i tillegg til at vi har fått oversendt digitale kart med 1 m ekvidistanse i den nedre delen av Straumen. Oversiktsbilde er vist på foto 1. Områdets plassering i Norge er vist på kartbilagt 01.



*Foto 1. Straumen med fjellet Straumklumpen i bakgrunnen. Foto mot nordøst.*

# 2 Krav til sikkerheten mot skred

Plan- og bygningsloven med tilhørende forskrift og veiledning til forskriften stiller krav til sikkerheten mot skred for ny bebyggelse. Vi antar at den boligbebyggelsen man tar sikte på i området tilhører sikkerhetsklasse 2. Teknisk forskrift (utdrag) sier følgende:

**§ 7-3.** *Sikkerhet mot skred*

(1) Byggverk hvor konsekvensen av et skred, herunder sekundærvirkninger av skred, er særlig stor, skal ikke plasseres i skredfarlig område.

(2) For byggverk i skredfareområde skal sikkerhetsklasse for skred fastsettes. Byggverk og tilhørende uteareal skal plasseres, dimensjoneres eller sikres mot skred, herunder sekundærvirkninger av skred, slik at største nominelle årlige sannsynlighet i tabellen nedenfor ikke overskrides.

*Tabell: Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i skredfareområde*

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

Dette betyr at nye hus og tilhørende uteareal i dette området ikke skal ha større årlig sannsynlighet enn 1/1000 for å bli utsatt for skred eller steinsprang (ofte også kalt 1000-årsskredet).

For eksisterende bebyggelse har kravet til sikkerhet variert, men det har hele tida blitt stilt strengere og strengere krav. For bygninger i sikkerhetsklasse S2 har det vært krav tilsvarende dagens krav siden 1987. Mellom 1985 og 1987 var kravet 1/333 per år, før dette var ikke kravet tallfestet. Dette medfører at det normalt ikke er vanlig å sikre bygninger der årlig sannsynlighet for skred er mindre enn 1/333.

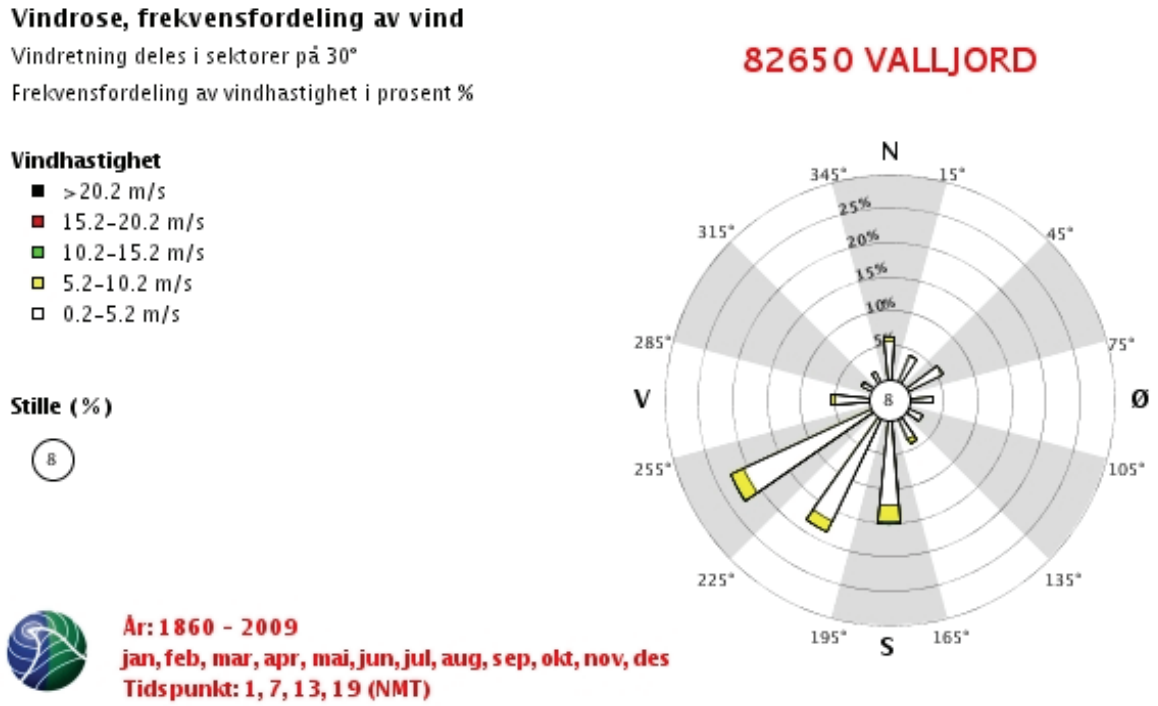
## 3 Klimabeskrivelse

Meteorologisk institutt har hatt flere målestasjoner i området. Vi har sett på stasjonene Sørfold (1915 – 1978), Styrkesnes (1978 – ), Valljord (1971 – ) og Fauske (1935 – 1967). Disse er plassert i området i og omkring Straumen. Stasjonen Sørfold har 922 mm nedbør som normal vinternedbør mens Styrkesnes som ligger like i nærheten har 860 mm. Valljord ved Straumen har 887 mm vinternedbør.

For å få utløst snøskred, er man avhengig av at det kommer store snømengder på kort tid, og dersom man ser på registreringene av maksimale nedbørintensiteter per døgn i vintermånedene, ser man at det er registrert fra 60 til nesten 100 mm i alle vintermånedene i de åra registreringene er foretatt av Meteorologisk institutt. En god del av denne nedbøren vil vi anta har kommet som regn i lavlandet ettersom mye av vinternedbøren i området er ledsaget av vind fra sør- og sørvestlig kant, se vindrose figur 2 fra Valljord (data er henta fra www.eklima.met.no og fra Nedbøren i Norge 1895 – 1943.) Øverst i fjellsida er man høyere enn 600 m over havet, og der kommer en langt større andel av nedbøren som snø.

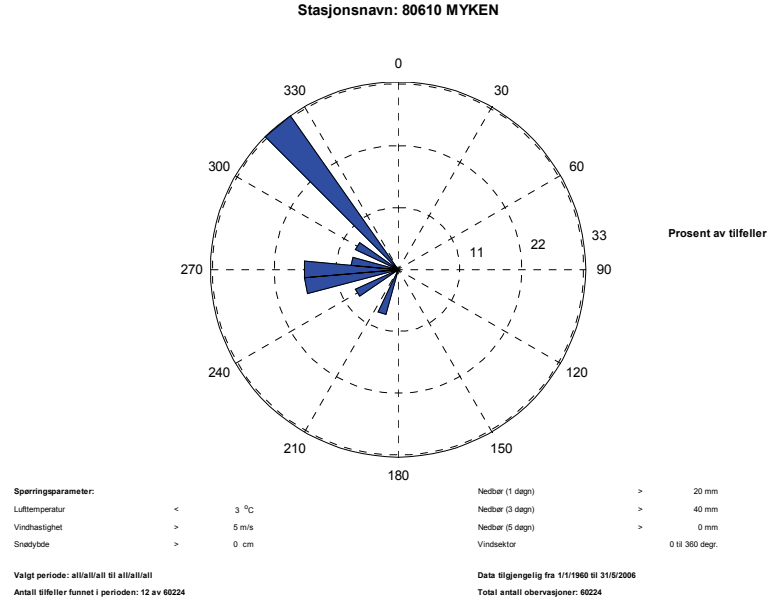
De midlere snødybdene i Straumen er forholdsvis lave, middelsnødybden for mars i Sørfold er på 57 cm for perioden 1915 – 1978. Men maksimalsnødybdene er langt høyere, i 1976 målte man 166 cm i Sørfold mens man i 1981 målte 143 cm ved Styrkesnes. Det var også store snøvintre i 1984 og 1979. Dette indikerer at snømengdene i terrenget opp mot de øvre utløsningsområdene kan bli betydelige.

Men det er ikke bare nedbørmengdene som er av betydning for utløsning av snøskred. Den viktigste faktoren er kombinasjonen av vind og snønedbør. Nedenfor er det presentert ei vindrose for stajonen Valljord:




*Figur 1. Vindrose for stasjonen Valljord.*

Vi registrerer mye vind fra sektoren sør til sørvest, men det er også noe vind fra de andre sektorene. Når det blåser fra sør til sørvest er det ofte mildvær som ledsager nedbøren, og vindretningen fører også til at snøen vil drive vekk fra fjellsida. Utløsningsområdene ovafor det vurderte området vender mot vest til sørvest, og det vil samles snø med vindretning fra nord til nordøst eller ved vindstille. Observasjoner fra Myken (151 km SV for Straumen) indikerer at den mest hyppige vindretningen som skaper snøskredsituasjoner er fra nordvest, se figur 2.




*Figur2. Vindrose for situasjoner som kan føre til skred ved stasjonen Myken.*

I sjeldne tilfelle vil det kunne oppstå situasjoner som kan gi skred med forholdsvis lange utløp selv i denne sørvestvendte fjellsida.

En annen kombinasjon som kan gi situasjoner med snøskred med forholdsvis lang rekkevidde, er langvarige kuldeperioder med forholdsvis tynt snødekke. Dette vil medføre dannelse av lag med ustabile snøsjikt nede i snødekket, og et påfølgende kraftig snøfall kan føre til utløsning av skred. Slike forhold så vi begynnelsen på i vinteren 2009/2010, men da kulminerte det med kraftig regn på snødekket slik at det ble utløst store sørpeskred mange steder i fjellet i Nordland.

## 4 Terrengbeskrivelse og farevurdering

Kartbilag 2 viser at det nord i området kan gå skred til sjøen. I den sentrale delen rundt vanntårnet går skredgrensa opp mot ca 150 m over havet mens grensa synker ned mot Straumvatnet i den sørlige delen. Den nederste delen av området er skogkledd der det ikke er bebyggelse. Fra toppen av fjellet ved Straumklumpen, ned over Flatfjellet til bebyggelsen ved Straumen er det en ryggformasjon ut mot fjorden, se kartbilag 1.

På kartet, bilag 2, har vi beregnet de områdene der terrenget er brattere enn $30^{o}$, det vil si de områdene der snøskred kan bli utløst. Dette er angitt med lilla linjer. De røde linjene er tenkte skredbaner der vi har beregna hastighet og utløpsdistanse. Det er sjelden at snøskred utløses i terreng som er slakere enn $30^{o}$. Brattheten er beregnet med grunnlag i det digitale kartverket med 5 m ekvidistanse. Vi finner at det er noen større sammenhengende bratte områder rundt og under 200 m over havet nord i området. Her er det forholdsvis tett skog slik at snødekket vil bli holdt på plass dersom skogen ikke fjernes. Vi fant heller ikke avløste steinblokker som kunne falle ut i dette området, se foto 1. Enkelte forsenkninger kunne tyde på at det hadde vært utglidning av jordmasser, men det var lite tegn etter avlagrede jordskredmasser.



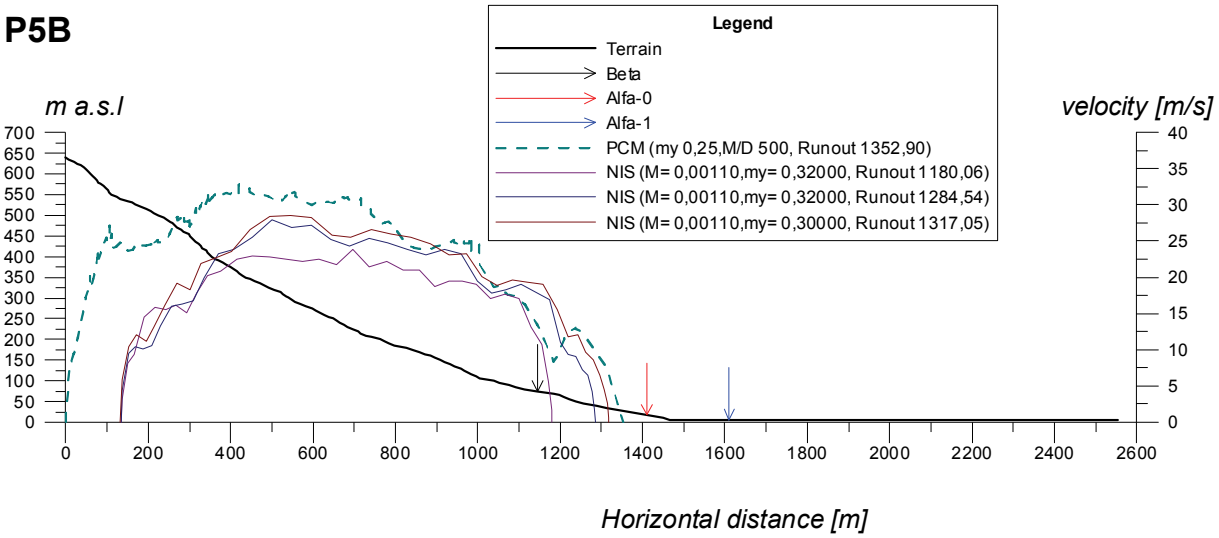
*Foto 2. Brattområdet under ca kote 200 nord i feltet.*

Det er et veldefinert utløsningsområde for snøskred nord og øst i området ved Grønhola med skred som vil følge Rønnelva mot sjøen. Her vil det være en sideveis avgrensning som vil ha betydning for utbyggingen i Straumen. På foto nr 3 ser vi skredpåvirket skog og vegetasjonsfritt område som indikerer snøskredaktivitet.



*Foto 3. Utløsningsområdet ved Grønhola. Foto mot nord.*

På kartet er det også innlagt skredbaneprofil der vi har regna ut skredutløpet. Dette er vist på terrengprofilet P5B, figur 3. Ut fra dette kan vi ikke utelukke at skred kan nå ned til sjøen under ekstreme forhold, men vi vil anta at gjennomsnittlig gjentakelsesperiode kan være noen hundre år. Modellene er beskrevet i vedlegg A.




*Figur 3. Skredbane fra Grønhola med utløps- og hastighetsberegning.*

Vi har også regna flere profiler, blant annet ett som går over vanntårnet. Det er bare i et lite område oppe i fjellsida der profilene vil passere vanntårnet dersom profilet følger fallinja i terrenget. Nærliggende profil vil gå langt til sida for vanntårnet. Dette betyr at dersom et skred skulle løsne i dette området, så vil skredmassene stort sett bre seg utover sideveis og skredet vil relativt raskt stanse opp.



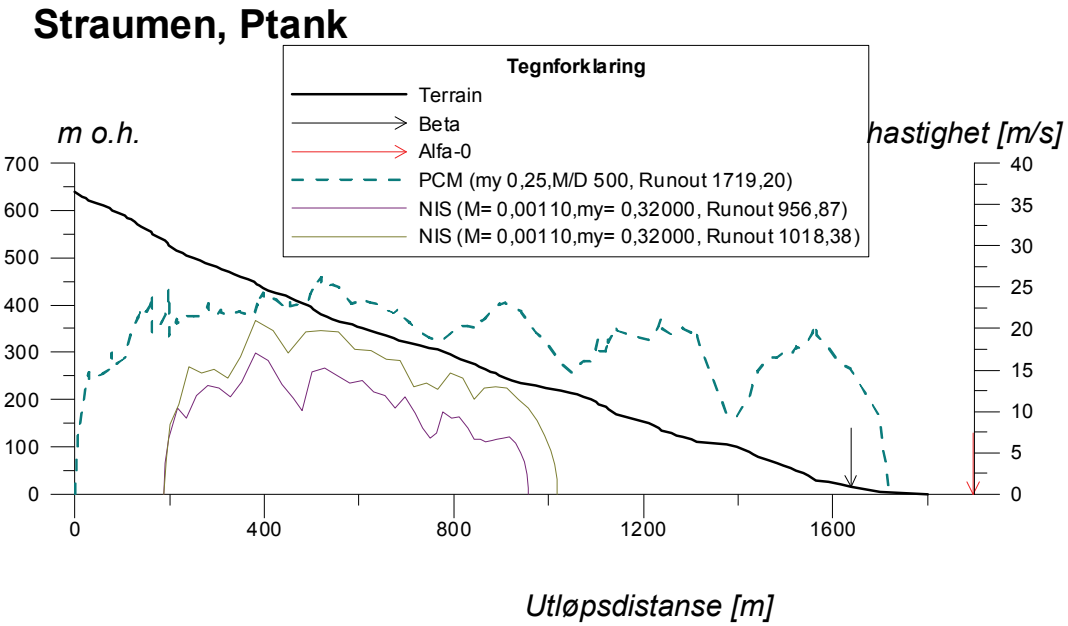
*Foto 4. Utløsningsområde for eventuelt skred i retning vanntårnet.*



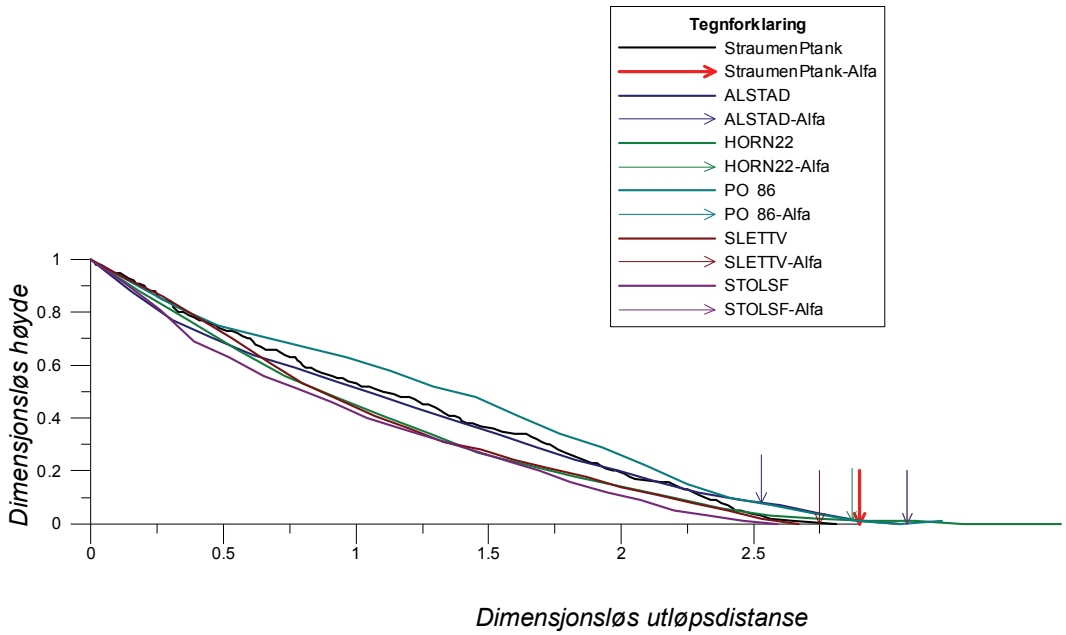
*Foto 5. Fjellryggen ned mot vanntårnet*

Skredbaneprofilene like sør for dette området har litt mindre sideveis utbredelse, og vil derfor rekke noe lengre inntil man kommer såpass langt inn ved Straumvatnet at skredene når helt ned til vatnet. Ut fra reint teoretiske betraktninger gir beregninger av skredutløp lange utløp. Men tatt i betraktning at fjellsida vender mot sørøst, at terrenget stort sett sprer skredmassene og at det er en del stor skog i området, vil utløpet for en hendelse med årlig frekvens 1/1000 være noe kortere enn hva man kan finne der skredforholdene er optimale.

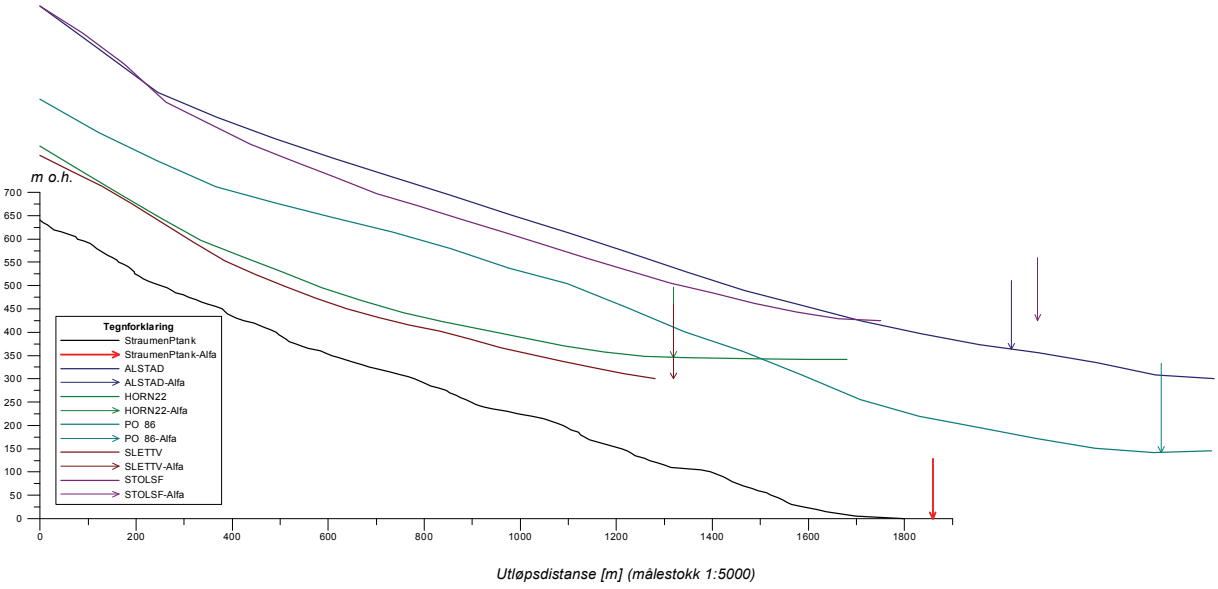
For å få en illustrasjon av spredningen av utløp, har vi for det profilet som går gjennom vanntårnet (figur 4) lagt ved andre, kjente profil som dimensjonsløst har omtrent tilsvarende form som det gjennom vanntårnet se figur 5. Vi ser at det er noe spredning omkring det beregnede utløpet for profil Ptank. Dette er profil fra veldefinerte skredbaner med forholdsvis lange utløp. For denne typen utløp har NIS-modellen gjerne gitt de beste beregningene av utløpene, og vi ser også at disse beregningene gir skred som stanser ved vel kote 200. Parametrene som er brukt i NIS-modellen er de som normalt gir utløp som samsvarer best med den empiriske modellen, og bruddkanten er for de to beregningene variert mellom 1,2 m og 1,6 m, i og for seg et anslag som vil gi et forholdsvis langt utløp i ei fjellside med denne eksposisjonen.




*Figur 4. Terrengprofilet over vanntårnet. Stor spredning av utløpsdistanse avhengig av beregningsmetode.*




*Figur 5. Sammenlikning av dimensjonsløse skredbaneprofil med de likeste baneformene for profilet gjennom vanntårnet.*

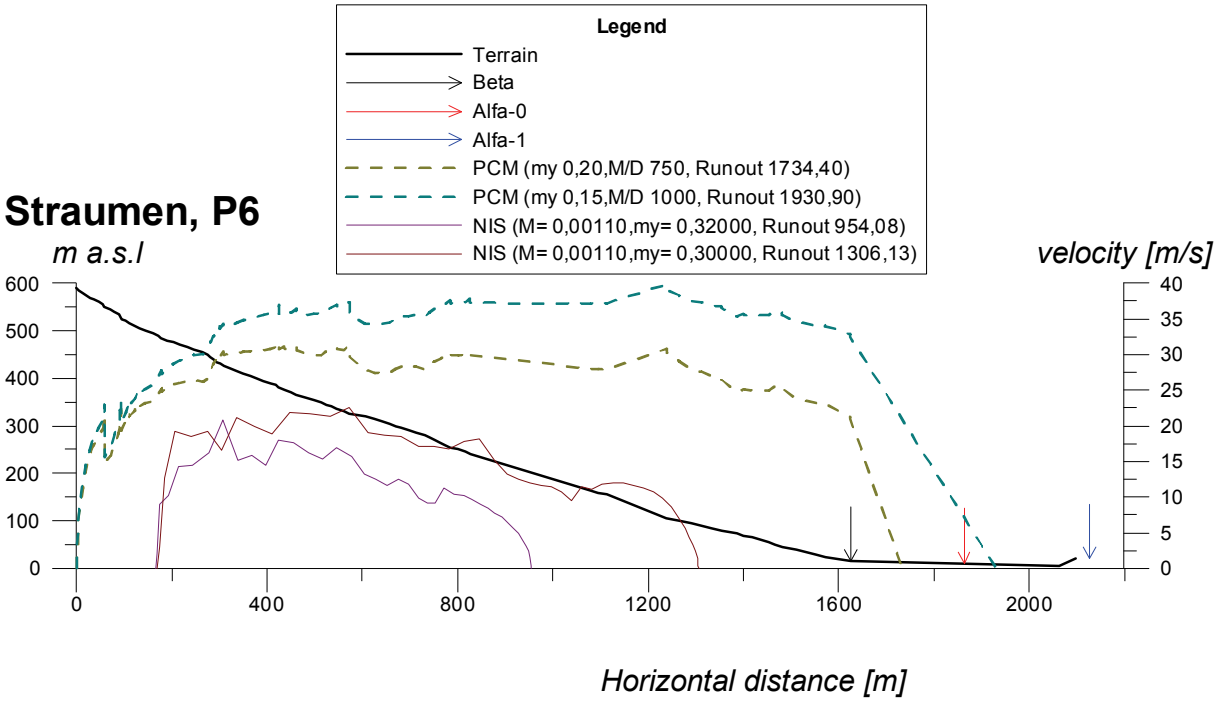



*Figur 6. De samme skredbaneprofilene ikke dimensjonsløst framstilt.*

Ut fra kartet bilag 1 og foto 1, ser vi at terrenget rett under toppområdet for Straumklumpen (under Flatfjellet) er eksponert for utløsning av snøskred. Men i den sørlige delen blir utløpene forholdsvis lange og slake, se terrengprofil figur 7. I tillegg kommer skredene inn i skog, noen steder planta granskog. Øverst i fjellsida er det noe furuskog uten skredskader, noe som tyder på lav frekvens av skred. Stort sett må man helt opp til om lag kote 350 før man finner tydelige tegn etter skredskader.

I den sørlige delen av området er det igjen noe av den samme problematikken som man hadde med skredbaneprofilet gjennom vanntårnet. Profil P6 på figur 7 beskriver terrenghellingen ned mot Straumvatnet like øst for boligfeltet. Igjen ser man stor spredning i utløpsberegningene der den empiriske modellen gir utløp helt ned til Straumvatnet mens den dynamiske NIS-modellen gir kortere utløp avhengig av friksjonsparametrene man legger inn. For et "normalt", sjeldent skred gir det utløp omtrent til kote 100. Returperioden for dette er anslagsvis et såkalt 1000-årsskred.

Går man lengre innover Straumvatnet, kommer man snart til områder der både steinsprang og snøskred kan nå ned til vannet. På kartet, bilag 2, har vi tegna inn grensa for skred med sannsynlighet 1/1000 per år.




*Figur 7. Skredbaneprofil sørøst i området med utløpsberegninger.*



*Foto 6. Terrenget under Flatfjellet.*



*Foto 7. Området nedover mot Straumen*

Øst for Straumen kommer man inn i et svaområde der skred når helt ned til Straumvatnet. Vest for svaområdet ligger det også til rette for at skred med lengre returperiode kan gå ned mot Straumvatnet. I den nedre delen er det også enkelt brattkanter der steinsprang kan bli utløst. Grense for årlig sannsynlighet ≤1/1000 går ca 100 m øst for Lapphaugen.



*Foto 8. Mot Straumklumpen*



*Foto 9. Østre del av Straumen*

# Vedlegg A - Beskrivelse av regnemodeller

## Innhold

**1 Beregning av skredbevegelse** **2**
1.1 Skreddynamikk 2
1.2 Empiriske regnemodeller 3
1.3 Dynamiske regnemodeller for glidende skredmasser 3
1.4 Dynamiske regnemodeller for luftbårne skredmasser 3
1.5 Regnemodeller — kun et hjelpemiddel 4
**2 α/β-modell** **4**
**3 Sammenlikningsmodell** **7**
**4 PCM blokkmodell** **9**
**5 NIS1 skredmodell** **9**

# 1 Beregning av skredbevegelse

## 1.1 Skreddynamikk

Et snøskred består av opptil fire lag. Det nederste laget utgjør normalt størsteparten av skredet og består av *"glidende"* skredmasser (engelsk: dense snow avalanche). Partiklene er her i nær kontakt med hverandre. Dette gir stor tetthet som antas å være omtrent konstant.

Over de glidende skredmassene ligger *saltasjonslaget* der partiklene hopper og spretter som i snødrift (snøfokk). Tettheten avtar med tredje potens av høyden.

Neste lag er en turbulent snøsky drevet av den ekstra vekten av små, *luftbårne* snøpartikler (mindre enn 1 mm), gjerne kalt "mjølskred" (også kalt mjellfonn eller støvskred, engelsk: powder snow avalanche). Her avtar både tettheten og hastigheten omtrent lineært med høyden. Både saltasjonslaget og de luftbårne skredmassene dannes ved at partikler rives av i fronten og langs overflaten av de glidende skredmassene.

Over og rundt snøskredet er det et lag med tilbakestrømning av luft som kalles *resirkulasjonslaget*, som er om lag én til tre ganger så høyt som laget med luftbårne skredmasser.

Siden materialegenskapene er ulike er det nyttig å skille mellom våte snøskred (som er kohesive med mulighet for dannelse av snøklumper og skjærplan) og tørre snøskred (som ikke inneholder fritt vann). "Glidende" skredmasser kan forekomme både under våte og tørre snøforhold. Luftbårne skredmasser dannes normalt i begge tilfeller, spesielt i bratte hellinger. Rene luftbårne skred krever tørre snøforhold.

Hvordan bruddet i snødekket arter seg avhenger av kohesjonen mellom partiklene. I løs snø med liten kohesjon (vedheng mellom partiklene) vil et punktbrudd oppstå og det dannes et løssnøskred. Større kohesjon vil føre til en markert bruddkant og et falkskred som etter hvert brekker opp i mindre biter.

Det første forsøket på å formulere en generell teori for bevegelse av snøskred ble gjort av A. Voellmy i 1955, og denne teorien anvendes fortsatt. Økt menneskelig aktivitet i utsatte områder, avskoging som følge av forurensning, skogbruk og skisentre, samt ønske om å utnytte arealer som kan være utsatt for snøskred kombinert med en redusert aksept for risiko, har ført til et økende behov for kartlegging av og sikring mot snøskred. Både empiriske regnemodeller som omfatter statistiske/topografiske modeller og sammenlikningsmodeller for beregning av utløpsdistanse/rekkevidde, samt dynamiske modeller for simulering av snøskredbevegelse er nå utviklet. De empiriske regnemodellene begrenser seg til en vurdering av utløpsdistanse, mens de mer avanserte dynamiske modellene gir tilleggsinformasjon knyttet til

bevegelsen av skredet (flytehøyder, hastigheter etc.). Denne informasjonen gir bedre forståelse av skreddynamikken, og er avgjørende for beregning av skredlaster (trykk på konstruksjoner), stigehøyde mot sikringsvoller med mer. Det finnes imidlertid ingen fullgod skredmodell. Snøskreddynamikk er komplisert og favner elementer fra både fluid-, partikkel- og jordmekanikk/geoteknikk. Den begrensede mengden med data som er tilgjengelig fra reelle tilfeller gjør det vanskelig å vurdere eksisterende modeller. Ofte kan flere ulike fysiske beskrivelser av et snøskred reprodusere den begrensede informasjon som er tilgjengelig etter en skredhendelse.

## 1.2 Empiriske regnemodeller

Empiriske regnemodeller for snøskred er enten basert på statistiske/-topografiske modeller eller på sammenlikningsmodeller for beregning av utløpsdistanse. I statistiske/topografiske modeller finnes utløpsdistansen vanligvis vha. regresjonsanalyse anvendt på data fra registrerte skred. Sammenlikningsmodeller er basert på metoder for å sammenlikne og vurdere likheten mellom skredbaneprofiler.

Empiriske regnemodeller anvendes normalt for glidende skredmasser. I prinsippet er det imidlertid intet til hinder for å tilpasse dem for sørpeskred og luftbårne skredmasser, dersom et tilstrekkelig antall gode observasjoner foreligger.

## 1.3 Dynamiske regnemodeller for glidende skredmasser

De fleste modeller for glidende skredmasser beskriver skredet som: 1) et massepunkt; 2) en stiv blokk eller et teppe som følger terrenget; 3) et deformerbart legeme i to dimensjoner. I det siste tilfellet midles vanligvis de fysiske størrelsene over skredets tykkelse (flytehøyde). Modeller der man også tar med en sideveis dimensjon, bl.a. for å studere avbøyning av et skred, er under utvikling.

Modeller som beskriver skredet som et massepunkt eller en blokk kan gi en god gjengivelse av de innledende faser. På grunn av sin enkelhet er de også mye brukt for resten av skredforløpet.

Modeller som beskriver skredet som et deformerbart legeme fordrer en komplisert beskrivelse av snøens materialegenskaper.

## 1.4 Dynamiske regnemodeller for luftbårne skredmasser

Disse modellene beskriver de luftbårne skredmassene enten som en tetthetsstrøm (strøm av en tyngre "gass" gjennom lettere luft) eller som en blanding av snøpartikler og luft (to-fase strømning). Modellene neglisjerer samvirket med de glidende skredmassene langs bakken, og kan derfor ikke benyttes til å studere

selve dannelsen av luftbårne skredmasser eller den innledende fasen av et luftbåret skred.

Tredimensjonale modeller for luftbårne skredmasser er tatt i bruk for faresonekartlegging i Frankrike, Sveits og Østerrike. Det finnes også noen få koblede modeller som inkluderer både de glidende og de luftbårne skredmassene. Modeller for luftbårne skredmasser er imidlertid lite benyttet i Norge, da slike skred sjelden er dimensjonerende under våre forhold.

### 1.5 Regnemodeller — kun et hjelpemiddel

Både empiriske og dynamiske regnemodeller gir skredutløp med en viss sannsynlighet. Denne sannsynligheten må anslås for hver enkelt skredbane, og er en kombinasjon av sannsynligheten for at et skred skal løsne og sannsynligheten for en gitt utløpslengde. Der man ikke har et tilstrekkelig antall sikre observasjoner ser man på de meteorologiske forholdene på stedet og hvordan fjellsiden ligger i forhold til de nedbørførende vindretningene, for å anslå sannsynligheten for at et skred skal løsne. Sannsynligheten for en gitt utløpslengde er bestemt av den statistiske fordelingen til parametrene som inngår i regnemodellen. For to tilnærmet like skredbaner vil sannsynligheten for lange skredutløp være større i den skredbanen som ligger i le og samler mye snø, enn i den som ligger i lo og får lite snø. Videre vil eksisterende bebyggelse og vegetasjon påvirke skredutløpet. Den maksimalt tenkelige utløpsdistansen for skred i de to skredbanene sett over en uendelig lang tidsperiode vil imidlertid være den samme.

Å fastlegge grense for skredutløp med en bestemt sannsynlighet, for eksempel $10^{-3}$ pr. år, er som man forstår vanskelig. Modellene er imidlertid et godt hjelpemiddel til å angi riktig størrelsesorden både på frekvens og rekkevidde for snøskred.

Dersom man bygger på nedsiden av en definert skredfaregrense, vil det fortsatt være mulighet for å bli rammet av skred. Dersom en grense angir en sannsynlighet på $10^{-3}$ pr. år, så betyr det at skred vil gå forbi grensa i gjennomsnitt én gang pr. tusen år. Med andre ord vil det være 1% sjanse for at et skred skal nå forbi denne grensa i løpet av en ti-årsperiode. Har man i en kommune 100 bolighus som har dette risikonivået, vil således i gjennomsnitt ett av disse husene rammes av skred hvert tiende år.

## 2 α/β-modell

Den statistiske/topografiske α/β-modellen er utviklet ved NGI og gir maksimal utløpsdistanse utelukkende som en funksjon av topografi. Likningene for utløpsdistanse er funnet ved regresjonsanalyse, og korrelerer den lengste registrerte utløpsdistansen i mer enn 200 skredbaner med et utvalg av

topografiske parametre. Parametrene som har vist seg å være mest betydningsfulle er gitt i Tabell 2-1, jfr. Figur 2.1.

*Tabell 2-1 Topografiske parametre for beregning av maksimal utløpsdistanse*

| **Symbol:** | **Parameterbeskrivelse:** |
|---|---|
| β (grader) | Gjennomsnittlig helning av skredbanen mellom øvre del av utløsningsområdet og "fjellfoten" (punktet med 10° helning i skredbanen). |
| θ (grader) | Helning av de øvre 100 høydemeterne av utløsningsområdet. |
| H (m) | Total høydeforskjell mellom øvre del av utløsningsområdet og det laveste punktet langs best tilpassede parabel $y=c_2x^2+c_1x+c_0$, der $c_0$, $c_1$ og $c_2$ er konstanter. |
| $y''$ ($m^{-1}$) | $y''=2c_2$, beskriver krumningen av skredbanen. |

β-vinkelen har vist seg å gi den beste beskrivelsen av helningen i skredbanen, og regresjonsanalyse har vist at β-vinkelen også er den eneste statistisk viktige terrengparameteren. Modellen aksepterer kun β-punkt som er innenfor den delen av skredbanen der tangenten til den best tilpassede parabelen har en helning mellom $5^o$ og $15^o$.

Helningen θ av de øvre 100 høydemeterne i utløsningsområdet bestemmer indirekte bruddhøyden og derved skredets tykkelse, som er større i slake helninger enn i bratte helninger. Lavere verdier av θ gir således lengre utløpsdistanser, dvs. lavere gjennomsnittlig helning av den totale skredbanen, α.

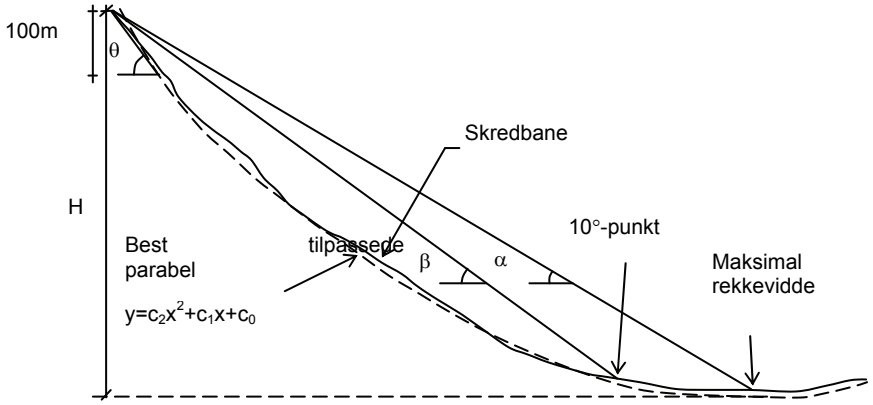
Lavere verdier av produktet $Hy''$ betyr lavere verdier av β. Dette resulterer i teoretisk lengre utløp (lavere α-verdier), fordi skredene går med lavere hastighet og har et mindre energitap gjennom hastighetsavhengig friksjon.

Topografien, bredden og graden av sideveis avgrensning i utløsningsområdet, samt transport av fokksnø inn i utløsningsområdet, har liten innflytelse på utløpsdistansen. Det er intet som tyder på at en innsnevring i skredbanen gir lengre utløp.

Modellen er best egnet for analyse av utløpsdistanse langs skredbaner som er konkave i lengderetningen. De beregnede utløpsdistansene er de som kan forventes under snøforhold som favoriserer lange utløp (dvs. tørr og lett snø i hele skredbanen).

Antagelsen om at det er små variasjoner i de fysiske snøparametrene som gir de lengste utløpsdistansene, er kun gyldig innenfor én klimasone. Det kan nevnes at det benyttes en annen relasjon mellom $\alpha$ og $\beta$ på Island enn i Norge.

NGIs skreddatabase inneholder i dag ca. 230 tilfeller. Både de statistiske og de dynamiske modellene blir i blant oppgradert. Den mest brukte formen av $\alpha/\beta$-modellen er i dag $\alpha$=0.96$\beta$-1.4°. Standardavviket er 2.3$^o$ og korrelasjonskoeffisienten er 0.92.




*Figur 2.1 Topografiske parametre som beskriver terrengprofilet.*

*Et utvidet sammendrag av $\alpha/\beta$-modellen er gitt i:*

Harbitz, C.B. 1998. A survey of computational models for snow avalanche motion. *(Deliverable D4 of the EU project SAME) Norges Geotekniske Institutt*, rapport nr. **581220-1**.

*Litteratur:*

Bakkehøi, S., Domaas, U. og Lied, K. 1983. Calculation of Snow Avalanche Run-out Distance. Annals of Glaciology, Vol. 4, 24-29. Også i: *Norges Geotekniske Institutt*, publikasjon nr. **151**, 1984.

Bakkehøi, S. og Norem, H. 1994. Sammenlikning av metoder for beregning av maksimal utløpsdistanse for snøskred. *Norges Geotekniske Institutt*, rapport nr. **581200-30**.

Lied, K. og Bakkehøi, S. 1980. Empirical Calculations of Snow-Avalanche Run-Out Distance Based on Topographic Parametres. *Journal of Glaciology*, Vol. 26, No. 94, 165-177. Også i: *Norges Geotekniske Institutt*, publikasjon nr. **133**, 1981.

Lied, K. og Toppe, R. 1988. Calculation of maximum snow-avalanche run-out distance by use of digital terrain models. *Annals of Glaciology*, Vol. **13**, 1989, 164-169. Også i: *Norges Geotekniske Institutt*, publikasjon nr. **183**, 1992.

McClung, D.M. og Lied, K. 1987. Statistical and geometrical definition of snow avalanche runout. *Cold Reg. Sci. Technol.,* **13** (**2**), 107-119.

McClung, D.M., Mears, A.I. og Schaerer, P. 1989. Extreme avalanche run-out: Data from four mountain ranges. *Annals of Glaciology* Vol. **13**, 180-184.

# 3 Sammenlikningsmodell

Sammenlikningsmodellen beregner utløpsvinkelen $\alpha$ ved at den aktuelle skredbanen blir sammenlignet med mer enn 200 andre skredbaner med registrerte skredutløp. Den gjennomsnittlige helningen $\beta$ av skredbanen mellom øvre del av utløsningsområdet og fjellfoten (punktet med $10^o$ helning langs terrengprofilet), anses for å være den viktigste parameteren for å bestemme $\alpha$. Derfor utelukkes først alle skredbaner i registeret med $\beta$-verdier som avviker mer enn to grader fra det aktuelle profilet. De gjenværende skredbanene med tilhørende best tilpassede parabel beskrives så med de karakteristiske parametrene gitt i Tabell 3-1 (sml. $\alpha/\beta$-modellen). Alle parametrene blir deretter vektet med passende koeffisienter $w_i$.

Når den aktuelle skredbanen sammenlignes med en skredbane i registeret, vil de syv parameterne i Tabell 3-1 ta forskjellige verdier for de to skredbanene, henholdsvis $x_{i1}$ og $x_{i2}$, i=1,2,...,7. Likheten mellom de to skredbanene uttrykkes ved den 7-dimensjonale "vektede avstanden":

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^{7} w_i (x_{i1} - x_{i2})^2}$$

En lav verdi av d indikerer en høy grad av likhet. Utløpsvinkelen for den aktuelle banen blir til slutt beregnet som gjennomsnittet av utløpsvinklene til de fem registrerte skredbanene som ligner mest.

Standardavviket for forskjellen mellom beregnet og observert utløpsvinkel for alle de registrerte skredene er $1.86^o$. Dette er bedre enn standardavviket for både den statistiske/topografiske $\alpha/\beta$-modellen og den dynamiske NIS1-modellen, som er henholdsvis $2.2^o$ og $2.3^o$ med alle skredene i registeret.

Sammenlikningsmodellen gir også mulighet for å redusere utvalget av registrerte skredhendelser, slik at man kun søker etter skredbaner som ligner innenfor én region, innenfor ett klimatisk område, med én type topografiske forhold, med bestemte gjentagelsesintervall osv.

*Tabell 3-1 Parametre som beskriver skredbanen*

| **Symbol for Parameter $x_i$:** | **Parameterbeskrivelse:** | **Vekt-koeffisient $w_i$:** |
|---|---|---|
| θ (deg.) | Helning av de øvre 100 vertikale meterne av utløsningsområdet. | 0.3 |
| H (m) | Total høydeforskjell mellom øvre del av utløsningsområdet og det laveste punktet langs best tilpassede parabel $y=c_2x^2+c_1x+c_0$, der $c_0$, $c_1$ og $c_2$ er konstanter. | 0.04 |
| y″ ($m^{-1}$) | $y'' = 2c_2$, beskriver krumningen av skredbanen. | 0.3 |
| z (m) | Høyden i utløpsområdet (m o.h.). | 0.03 |
| H y″ (-) | Bestemmer β-vinkelen for en parabolsk bane ved $\beta = \tan^{-1}\left(\sqrt{\frac{Hy''}{2}} + \frac{\tan 10^\circ}{2}\right)$ | 0.7 |
| σ (m) | Standardavvik til forskjellen mellom best tilpassede parabel og koordinatene til den gitte skredbanen. | 1.0 |
| Q (m) | Standardavvik til variasjonen i forskjellen mellom best tilpassede parabel og koordinatene til den gitte skredbanen. Q uttrykker hvor "ruglete" skredbanen er. | 2.0 |

*Et utvidet sammendrag av sammenlikningsmodellen er gitt i:*

Harbitz, C.B. 1998. A survey of computational models for snow avalanche motion. *(Deliverable D4 of the EU project SAME) Norges Geotekniske Institutt*, rapport nr. **581220-1**.

*Litteratur*:

Bakkehøi, S. og Norem, H. 1993. Comparing topographical and dynamical run-out models by ideas of "Nearest Neighbour Method". *2nd Avalanche-Dynamics-Workshop in Innsbruck.* Preliminary.

Bakkehøi, S. og Norem, H. 1994. Sammenlikning av metoder for beregning av maksimal utløpsdistanse for snøskred. *Norges Geotekniske Institutt*, rapport nr. **581200-30**.

Buser, O. 1983. Avalanche Forecast with the Method of Nearest Neighbours. An Interactive Approach. *Cold Regions Science and Technology,* Vol. **8**, No. **2**, 155-163.

Buser, O., Bütter, M. og Good, W. 1987. Avalanche forecast by the nearest neighbour method. *IAHS,* publikasjon nr. **162**.

## 4 PCM blokkmodell

PCM-modellen beskriver snøskredet som en blokk som beveger seg langs en skredbane med varierende helning. Det regnes på bevegelsen til blokkens massemiddelpunkt. Bevegelseslikningen inkluderer tyngde, tørr friksjon (uavhengig av hastigheten) samt sentrifugalkraften som følge av krumningen i skredbanen, et dynamisk drag og forskyvning av snømasser i fronten. De tre siste bidragene inkluderes samlet som kvadratet av hastigheten dividert med en såkalt "mass-to-drag ratio". Bevegelseslikningen løses ved en iterativ løsningsprosedyre som deler skredbanen inn i korte linjestykker med ulik helning.

Hvor brukbar modellen er, avhenger av kjennskap til de to valgbare parametrene (tørrfriksjonskoeffisienten og "mass-to-drag ratio"), som kan variere betydelig. Disse verdiene har til en viss grad blitt avgrenset ved statistisk testing av modellen.

*Et utvidet sammendrag av PCM-modellen er gitt i:*:

Harbitz, C.B. 1998. A survey of computational models for snow avalanche motion. *(Deliverable D4 of the EU project SAME) Norges Geotekniske Institutt*, rapport nr. **581220-1**.

*Litteratur:*

Bakkehøi, S., Cheng, T., Domaas, U., Lied, K., Perla, R.I. og Schieldrop, B. 1981. On the computation of parameters that model snow avalanche motion. *Canadian Geotechnical Journal* **18**(**1**), 121-130.

Bakkehøi, S., Domaas, U. og Lied, K. 1983. Calculation of Snow Avalanche Run-out Distance. *Annals of Glaciology*, Vol. 4, 24-29. Også i: *Norges Geotekniske Institutt*, publikasjon nr. **151**, 1984.

Perla, R.I., Cheng, T.T. og McClung, D.M. 1980. A Two-Parameter Model of Snow-Avalanche Motion. *Journal of Glaciology* Vol. **26**, No. **94**, 197-207.

## 5 NIS1 skredmodell

NIS1-modellen beskriver snøskredet som et deformerbart legeme der hastighet og flytehøyde varierer i tid og rom. Snøen utgjør et viskoplastisk materiale med dispersivt trykk (normalspenningen i skredet avhenger av tøyningsraten) som former en skjærstrøm med eller uten en slip-hastighet langs bakken. Skredbanen har varierende helning som gir opphav til sentrifugalkrefter. Modellen er endimensjonal siden likningene vertikalmidles over et hastighetsprofil som er antatt å være identisk i form med et tilsvarende stasjonært profil. De resulterende likningene for balanse av masse og bevegelsesmengde løses ved en differens-metode i rommet og en fjerde ordens Runge-Kutta-prosedyre i tiden.

For å forenkle sammenlikningen med andre modeller finnes fire valgmuligheter for beskrivelse av strømningen:

- varierende strømningshøyde med slip-hastighet
- varierende strømningshøyde uten slip-hastighet
- varierende strømningshøyde, men uniformt hastighetsprofil i et vertikalsnitt
- konstant strømningshøyde og hastighetsprofil i hele skredet uten sliphastighet

Den siste er tilnærmet lik PCM-modellen.

En rekke inngangsparametre forlanges, de viktigste er materialfriksjons-koeffisienten, viskositeten og den opprinnelige flytehøyden (tykkelsen) til skredet. For flytehøyden kan benyttes en verdi basert på at en ustabil situasjon inntreffer når den reelle skjærspenningen er lik flytegrensen i snøen.

For den opprinnelige lengden av skredet er det anbefalt at den tilhørende vertikale utstrekningen utgjør en sjettedel av den totale høydeforskjellen i skredbanen, med en maksimalverdi på 100 m.

Trykket på overflaten av skredet er lik lufttrykket, som antas å være lik poretrykket. Skjærspenningene (friksjonen) på overflaten settes lik null.

Modellen er utprøvd og kalibrert ved sammenlikning med laboratorieforsøk og full-skala observasjoner av snøskred, undersjøiske skred og steinskred.

*Et utvidet sammendrag av NIS1-modellen er gitt i*:

Harbitz, C.B. 1998. A survey of computational models for snow avalanche motion. *Deliverable D4 of the EU project SAME) Norges Geotekniske Institutt*, rapport nr. **581220-1**.

*Litteratur*:

Bakkehøi, S. og Norem, H. 1994. Sammenlikning av metoder for beregning av maksimal utløpsdistanse for snøskred. *Norges Geotekniske Institutt*, rapport nr. **581200-30**.

Irgens, F. in review. Simplified simulation model of snow avalanches and landslides. *Submitted to Journal of Glaciology*.

Locat, J., Norem, H. og Therrien, P. 1992. An approach to rock avalanche dynamics. *Norges Geotekniske Institutt*, rapport nr. **585000-10**.

Norem, H. 1992. Simulation of snow-avalanche flow by a continuum granular model. *Norges Geotekniske Institutt*, rapport nr. **581200-26**.

Norem, H., Irgens, F. og Schieldrop, B. 1987. A continuum model for calculating snow avalanche velocities. *Proceedings of Avalanche Formation, Movements and Effects, Davos 1986,* IAHS, publikasjon nr. **162**, 363-378. Også i: *Norges Geotekniske Institutt*, rapport nr. **58120-9.**

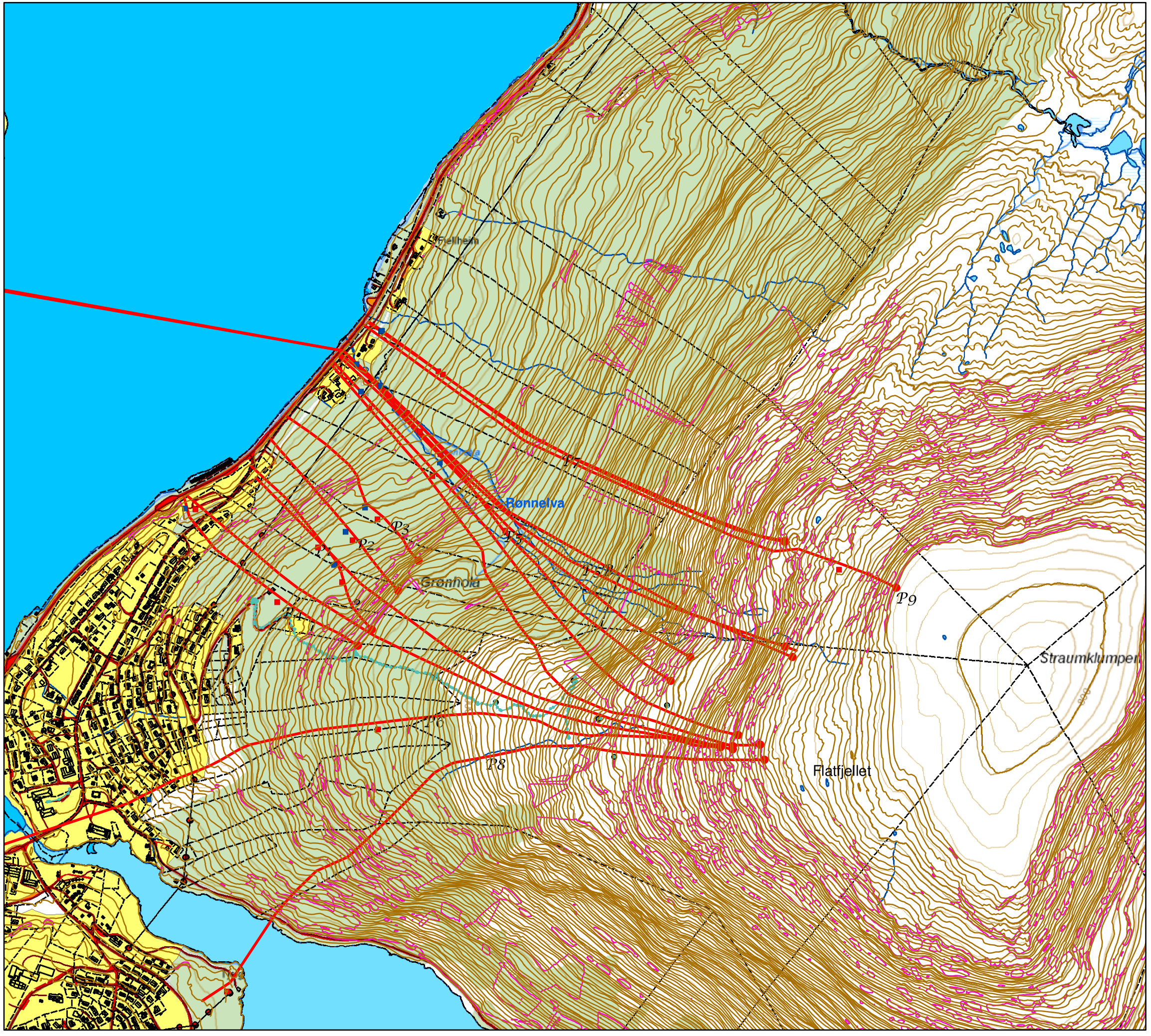
Norem, H., Irgens, F. og Schieldrop, B. 1989. Simulation of Snow-Avalanche Flow in Run-Out Zones. *Annals of Glaciology* Vol. **13**, 218-225.

Norem, H., Locat, J. og Schieldrop, B. 1989. An approach to the physics and the modelling of submarine flowslides. *Norges Geotekniske Institutt*, rapport nr. **522090-2**.

Norem, H., Locat, J., og Schieldrop, B. 1990. An approach to the physics and the modelling of submarine flowslides. *Mar. Geotechnol.,* **9***:* 93-11.

Norem, H., Nishimura, K. og Maeno, N. 1992. Comparing model and full-scale experiments on snow avalanche dynamics. *Norges Geotekniske Institutt*, rapport nr. **581200-28**.

Norem, H. og Schieldrop, B. 1991. Stress analyses for numerical modelling of submarine flowslides. *Norges Geotekniske Institutt*, rapport nr. **522090-10**.







N
W E
S

0 155 310 620 Meter

| Rev. | Endring - erstatning | Utført | Kontrollert | Godkjent | Dato |
|---|---|---|---|---|---|
| B | | | | | |
| A | | | | | |

## Straumen, Sørfold kommune

**Detaljkarlegging**

Rapportnr.: 20100802-00-1-R

Kartbilag nr.: 01

**Befaringskart**
Målestokk hovedkart 1 : 10 000
Målestokk oversiktskart 1 : 1 000 000

Skredbaneprofil i rødt
Befaringsrute med lys blå farge, punktmarkeringer øverst i området

Datum: EUREF89, Kartprojeksjon: UTM, Sone: 33

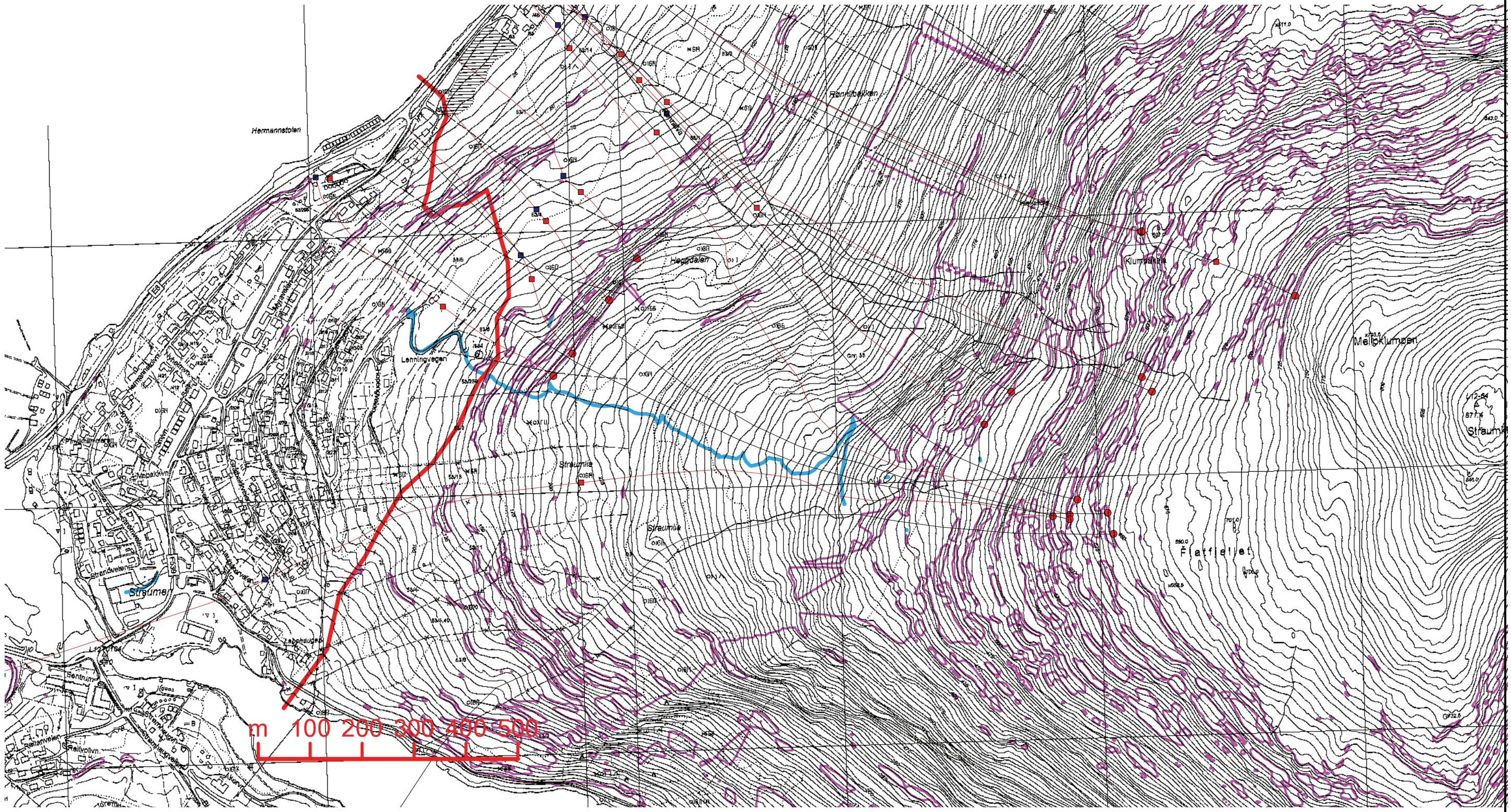
Utført: SBa

Dato: 2010-11-10

Kontrollert: KB

Godkjent: SBa

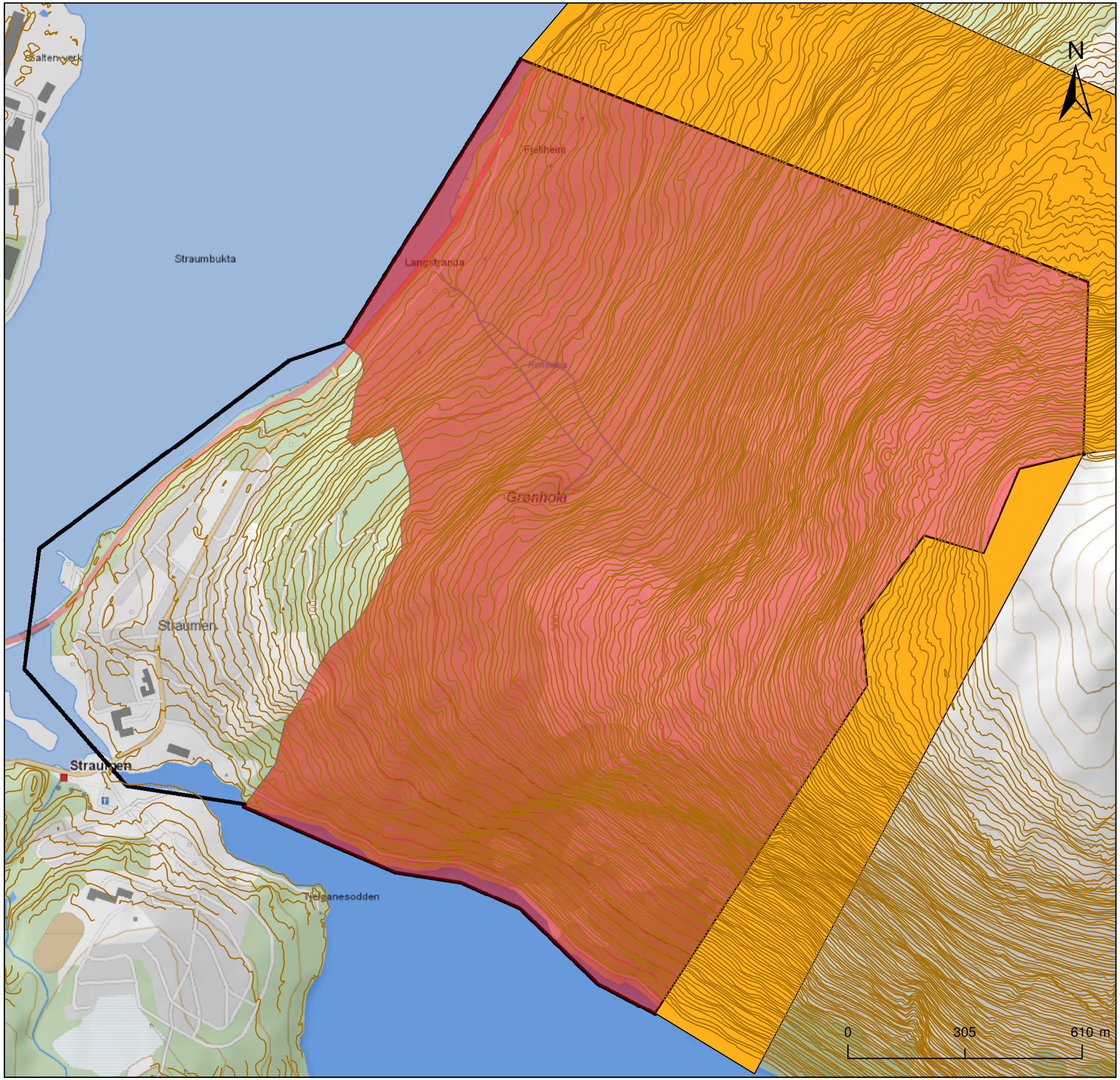
NGI




Skredgrense P = 1/1000

| | | |
|---|---|---|
| **STRAUMEN, SØRFOLD KOMMUNE** | Rapport nr. 20100802-00-1-R | Bilag nr. 2 |
| Detaljkart med profillinjer og skredgrense | Tegner SBa<br>Dato 2010-11-10 | NGI |

Skj.nr. 005N







Vurdert område
Skredområde
**Ikke kartlagt**

| **Sørfold kommune** | | |
|---|---|---|
| **Straumen** | Dokument **20100802-00-1-R** | Bilag nr. **03** |
| Detalkartlegging av skredfare | Utført **SBa** | Dato **2010-11-10** |
| | Kontrollert **KB** | |
| Målestokk (A3): 1:10 000 | Godkjent **SBa** | |

# Kontroll- og referanseside/ *Review and reference page*

NGI

| **Dokumentinformasjon/*Document information*** | | |
|---|---|---|
| **Dokumenttittel/*Document title***<br>Straumen - Skredvurdering | | **Dokument nr/*Document No.***<br>20100802-00-1-R |
| **Dokumenttype/*Type of document***<br>☒ **Rapport/*Report***<br>☐ **Teknisk notat/*Technical Note*** | **Distribusjon/*Distribution***<br>☐ **Fri/*Unlimited***<br>☒ **Begrenset/*Limited***<br>☐ **Ingen/*None*** | **Dato/*Date***<br>2010-11-10<br>**Rev.nr./*Rev.No.*** |
| **Oppdragsgiver/*Client***<br>Sørfold kommune. | | |
| **Emneord/*Keywords***<br>Snøskred, risiko | | |

| **Stedfesting/*Geographical information*** | |
|---|---|
| **Land, fylke/*Country, County***<br>Nordland | **Havområde/*Offshore area*** |
| **Kommune/*Municipality***<br>Sørfold kommune | **Feltnavn/*Field name*** |
| **Sted/*Location***<br>Straumen | **Sted/*Location*** |
| **Kartblad/*Map***<br>2130-1 Innhavet | **Felt, blokknr./*Field, Block No.*** |
| **UTM-koordinater/*UTM-coordinates***<br>Sone 33,7470600N, 526100Ø | |

**Dokumentkontroll/*Document control***

**Kvalitetssikring i henhold til/*Quality assurance according to* NS-EN ISO9001**

| Rev./ *Rev.* | Revisjonsgrunnlag/*Reason for revision* | Egen-kontroll/ *Self review* av/*by:* | | Sidemanns-kontroll/ *Colleague review* av/*by:* | | Uavhengig kontroll/ *Independent review* av/*by:* | | Tverrfaglig kontroll/ *Inter-disciplinary review* av/*by:* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | Originaldokument | SBa | SBa | KB | KB | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

| **Dokument godkjent for utsendelse/ *Document approved for release*** | **Dato/*Date*** | **Sign. Prosjektleder/*Project Manager*** |
|---|---|---|
| | 10/11-2010 | Kjetil Brattlien Kjetil Brattlien |

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen geofagene. Vi utvikler optimale løsninger for samfunnet, og tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg.

Vi arbeider i følgende markeder: olje,gass og energi, bygg, anlegg og samferdsel, naturskade og miljøteknologi. NGI er en privat stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA.

NGI ble utnevnt til "Senter for fremragende forskning" (SFF) i 2002 og leder "International Centre for Geohazards" (ICG).

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting in the geosciences. NGI develops optimum solutions for society, and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the oil, gas and energy, building and construction, transportation, natural hazards and environment sectors. NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter company in Houston, Texas, USA.

NGI was awarded Centre of Excellence status in 2002 and leads the International Centre for Geohazards (ICG).

www.ngi.no

Hovedkontor/Main office:
PO Box 3930 Ullevål Stadion
NO-0806 Oslo
Norway

Besøksadresse/Street address:
Sognsveien 72, NO-0855 Oslo

Avd Trondheim/Trondheim office:
PO Box 1230 Pirsenteret
NO-7462 Trondheim
Norway

Besøksadresse/Street address:
Pirsenteret, Havnegata 9, NO-7010 Trondheim

T: (+47) 22 02 30 00
F: (+47) 22 23 04 48

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Kontonr 5096 05 01281/IBAN NO26 5096 0501 281
Org. nr/Company No.: 958 254 318 MVA

BSI EN ISO 9001
Sertifisert av/Certified by BSI, Reg. No. FS 32989