



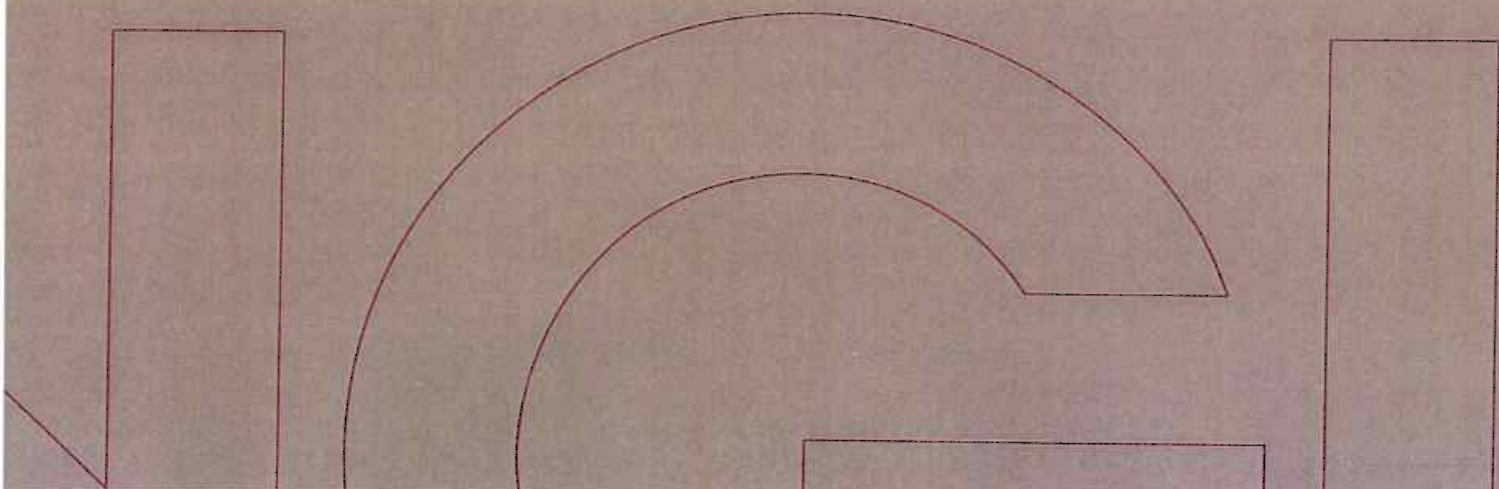
# Rapport / Report

## Burmavegen

### Vurdering av skredfare

20081311-1

22. juli 2008



Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller  
autentisiteten av dette dokumentet garanteres.  
Adressaten bør vurdere dette før bruk av 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 before using 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.

## Prosjekt

Prosjekt: Burmavegen  
Rapportnummer: 20081311-1  
Rapporttittel: Vurdering av skredfare  
Dato: 22. juli 2008

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](mailto:ngi@ngi.no)  
[www.ngi.no](http://www.ngi.no)

## Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: Longyearbyen Lokalstyre  
Oppdragsgivers  
kontaktperson: Vigdis Hole  
Kontraktreferanse: Bestilling av 2008-05-29, ref 07/00610-13

## For NGI

Prosjektleder: Steinar Bakkehøi  
Rapport utarbeidet av: Steinar Bakkehøi *Steinar Bakkehøi*

## Sammendrag

Den østlige delen av området rundt Burmavegen kan nås av snøskred som under spesielle omstendigheter kan nå langt ned mot sjøen. I den vestre delen ved Oppredningsverket er terrenget litt slakere, men med enkelte brattkanter. Her kan antakelig noe av området tilfredsstille kravet til sikkerhet i Teknisk forskrift, men antakelig trengs ei befaring for å klargjøre dette.

Eventuelle klimaendringer kan gi noe større hyppighet og sannsynlighet for snøskred enn det vi i dag er kjent med, men her er det en viss usikkerhet.

# Innhold



Rapport nr.: 20081311-1  
Dato: 2008-07-22  
Rev. dato:  
Side: 2 / Rev.: 0

|          |                                   |          |
|----------|-----------------------------------|----------|
| <b>1</b> | <b>Innledning</b>                 | <b>3</b> |
| <b>2</b> | <b>Topografi</b>                  | <b>4</b> |
| <b>3</b> | <b>Klimaendringer på Svalbard</b> | <b>4</b> |
| <b>4</b> | <b>Skredforhold</b>               | <b>6</b> |

**Kontroll- og referanseside**

Vedlegg

Figur 1-8

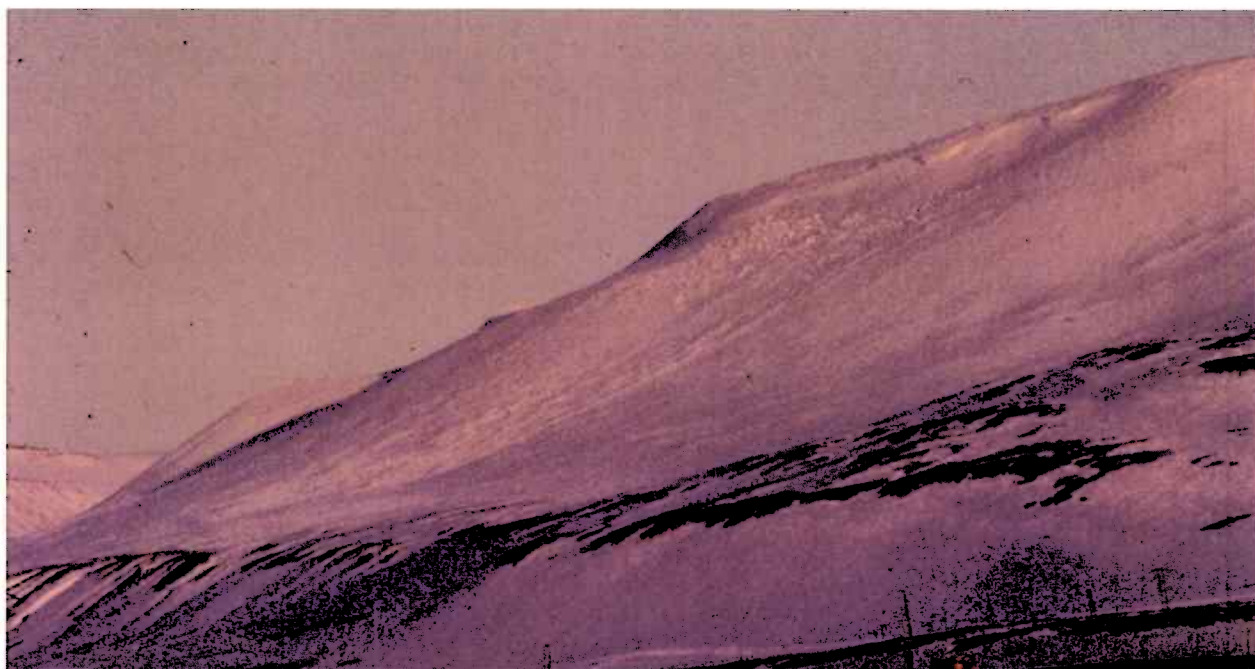
## 1 Innledning

NGI har på oppdrag fra Longyearbyen Lokalstyre foretatt en undersøkelse av skredfaren i området langs Burmavegen på strekningen Taubanesentralen – oppredningsverket for å vurdere områdets egnethet i forhold til boligformål. Som bakgrunn for egnethet brukes Plan- og bygningsloven med tilhørende Teknisk forskrift i forhold til skredfare og forskriftens veiledning, Vedlegg A.

Denne rapporten vil basere seg på tidligere rapporter og befaringer, samt vurdering av de klimatiske forholdene, og kartarbeid på tilsendt kartgrunnlag med 1, 2 eller 5 m ekvidistanse. Kartet brukes til å beregne de områder der skred kan bli utløst, normalt terreng brattere enn  $27^\circ - 30^\circ$ , og til å beregne skredutløp basert på forskjellige skredmodeller, se Vedlegg B.

Når det gjelder klimavurderinger, har vi tidligere foretatt flere analyser for Longyearbyen med hensyn til snøskred og sørpeskred. Vi har nå også sett litt på hva eventuelle klimaendringer i henhold til resultater fra FNs klimapanel (IPCC), nedskalert til norske forhold i RegClim kan ha å si for framtidens skredforhold på Svalbard.

Tidligere rapporter som er brukt som bakgrunn for denne rapporten skrevet for Svalbard samfunnsdrift er 914030-1 av 31. juli 1992 og 914030-2 av 27. august 1993 om området ved Taubanesentralen. Det er i tillegg utarbeida en generell rapport om "Snø og snøskred på Svalbard" fra 30. desember 1999, (NGI rap. 589100-4) der det blant annet er registrert skred ovafor Burmavegen i 1996, se foto 1.



*Foto 1. Snøskred løsna ovafor Burmavegen i 1996. Fuktig snø i utløpsområdet.*

## 2 Topografi

Fjellsida vender stort sett mot nordøst og stiger fra fjorden opp til vel 400 m over havet ved øverste del av potensielt utløsningsområde for snøskred. Nederst ved sjøen er det en brattkant, deretter et litt slakere område etterfulgt av et brattere område rundt ca 100 m over havet ovafor Burmavegen. På oversida av dette brattere området stiger terrenget forholdsvis slakt til å gå over til det brattere utløsningsområdet omkring kote 400. Terrenget avtar i høyde mot vest, se oversiktskart på figur 1. På foto 1 kan vi se et skred som har gått i den sentrale delen av det omsøkte området.

Det er trukket 10 terrengprofil som er vist på figur 3 – 7. Det østlige området er tidligere behandla i den ovennevnte rapporten 914030-1, og grensene fra skredvurderingene er lagt inn i denne rapporten på figur 8.

## 3 Klimaendringer på Svalbard

Det er forventet at de største klimaendringene vil forekomme på de høyere breddegradene i arktisk område ifølge IPCCs klimaprotokoll, og i Norge med Svalbard har man nedskalert disse modellene for lokal bruk i prosjektene RegClim og NorACIA. Resultatene fra disse modellene viser at man forventer en markert temperaturstigning fram mot midten av dette århundret for Longyearbyen på minimum 2 grader. Nedbørmengdene ventes også å øke med 10 – 20 % på årsbasis, og det forventes oftere temperaturskiftninger rundt 0°C. Dette har man allerede begynt å observere, det er hyppigere innslag av regn vinterstid enn det har vært tidligere, og man har registrert temperaturstigning i de øverste lag av permafrosten.

Generelt er klimaet på i Longyearbyen prega av lite nedbør vinterstid, se tabell 1. Imidlertid blåser det mye oppe på fjellplatåene slik at det i perioder kan drive store snømengder ut i de bratte områdene der skred kan utløses. Den kraftige vinden som vanligvis blåser når det snør om vinteren, medfører også at nedbørmengdene er underestimerte vinterstid på grunn av nedbørmålnes evne til å fange nedbør. Ved vind av kuling styrke, viser undersøkelser at den virkelige nedbøren kan være dobbelt så høy som den man måler, og dette slår spesielt ut for så åpne områder som flyplassen på Svalbard og Longyearbyen.

Selv om det blir varmere vinterstid, ser vi at det fortsatt vil være kaldt nok til at nedbøren hovedsakelig kommer som snø, og selv om temperaturen nede i byen kan ligge over 0°C, vil det oppe i 400 m over havet være slik at snøen faller som tørr snø. Økende nedbør vil derfor i dette området føre til større sannsynlighet for snøskredutløsning.



## Månedsnormaler (1961 - 1990)



### Stasjoner

| Stnr  | Navn              | I drift fra | I drift til | Hoh | Kommune     | Fylke    | Region |
|-------|-------------------|-------------|-------------|-----|-------------|----------|--------|
| 99840 | SVALBARD LUFTHAVN | aug 1975    |             | 28  | SPITSBERGEN | SVALBARD | ARKTIS |
| 99860 | LONGYEARBYEN      | nov 1916    | jul 1977    | 37  | SPITSBERGEN | SVALBARD | ARKTIS |

### Elementer

| Kode | Navn             | Enhet |
|------|------------------|-------|
| RR   | Nedbør           | mm    |
| TAM  | Middeltemperatur | °C    |

### TAM - månedsnormalverdier

| Stnr  | jan   | feb   | mar   | apr   | mai  | jun | jul | aug | sep | okt  | nov   | des   | år   |
|-------|-------|-------|-------|-------|------|-----|-----|-----|-----|------|-------|-------|------|
| 99840 | -15,3 | -16,2 | -15,7 | -12,2 | -4,1 | 2,0 | 5,9 | 4,7 | 0,3 | -5,5 | -10,3 | -13,4 | -6,7 |
| 99860 | -14,6 | -15,2 | -14,5 | -11,0 | -3,1 | 2,9 | 6,5 | 5,2 | 0,5 | -5,5 | -10,2 | -12,9 | -6,0 |

### RR - månedsnormalverdier

| Stnr  | jan | feb | mar | apr | mai | jun | jul | aug | sep | okt | nov | des | år  |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 99840 | 15  | 19  | 23  | 11  | 6   | 10  | 18  | 23  | 20  | 14  | 15  | 16  | 190 |
| 99860 | 18  | 24  | 24  | 11  | 7   | 11  | 18  | 23  | 20  | 16  | 18  | 20  | 210 |

Tabell 1. Nedbør- og temperaturnormal for Longyearbyen og flyplassen.

Et annet forhold som kan få betydning for størrelse og frekvens av skred, er temperaturen i de øvre permafrostlagene. I den generelle snørapporten "Snø og snøskred på Svalbard" nevnt i innledningen, fant man at temperaturen lå på om lag  $-8^{\circ}\text{C}$  ved bakken under snødekket noen hundre meter over havet, og denne temperaturen er godt korrelert med den årlige middeltemperaturen i området. Bakketemperaturen om vinteren har stor betydning for utvikling av begersnøkrystaller (rennsnø) som kan gi opphav til ustabil snødekke og mulighet for store skred med lange utløp. Utviklingen av rennsnø går raskest ved temperaturer nær opp mot  $0^{\circ}\text{C}$  slik at temperaturstigning i permafrostområder kan medføre raskere utvikling av rennsnø og dermed hyppigere store skred med langt utløp. Høyere temperatur vil naturligvis også medføre at overflatetemperaturen på snødekket blir høyere, men denne faktoren har mindre betydning enn hva en høyere bakketemperatur med langt høyere vanndampinnhold medfører.

Høyere vintertemperatur vil kunne gi oftere veksling mellom temperaturer over og under  $0^{\circ}\text{C}$ , og dette kan medføre en stabilisering av snødekket når dette forekommer og vil altså virke i motsatt retning av en høyere bakketemperatur.

Men når det gjelder situasjoner som kan skape sjeldne og store skred, tyder ovenstående diskusjon på at denne sannsynligheten kan øke noe.

#### 4 Skredforhold

I området ved Taubanesentralen har vi tidligere trukket skredgrenser som går ned mot Burmavegen, og litt lengre vest går grensa ned i bekkegjelet og ned mot Strandvegen, terrengprofilene er framstilt på profilene P10 og P11 på figur 7, og profillinjene er tegna inn på kartet, figur 2. Videre vestover kan vi få skred som kan gå helt ned mot sjøen slik det framgår av terrengprofilene P1, P2, P7 – P9 på figur 3, 5 og 6 som har angitt skredhastighetsprofil og utløpslengde.

For profilene lengst vest i området, P3, P4 og P5 på figur 4 og 5, er det noe mer usikkerhet. Området rundt P3 er relativt slakt med tanke på snøskred i den øverste delen over ca 110 m over havet, mens det under brattkanten rundt 100 m o.h. kan gå skred ned mot Burmavegen. Ved P4 kan det også løsne skred i brattkanten rundt 100 m o.h., og reint teoretisk kan skred nå ned mot Strandvegen. Avklaring av denne muligheten må gjøres med ei befaring på stedet. Men for profilet P5 synes det som om terrenget er for slakt til at det kan oppstå skred av betydning. Det er en mindre brattkant rund 40 m o.h., men eventuell utløsning av snø vil bli meget beskjedent.

På figur 8 har vi tegna skredgrenser som NGI antar tilfredsstillende kravet til sikkerhet mot skred for ny bebyggelse gitt i Teknisk forskrift. Den østlige delen er henta fra den tidligere nevnte rapport 914030-1. Derfra og vestover kan man ikke utelukke skred på sjøen helt fram mot Oppredningsverket. Like før man kommer til dette, vil skredgrensa gå opp i terrenget inn mot området på ca 30 – 40 m over havet. Nøyaktig grense kan først fastlegges etter ei befaring.

I tillegg til snøskred må man også ta hensyn til eventuell utløsning av flomskred. Terrenget har mange raviner der vannet har gravd i grunnen, og man kan også se på kotebildet på kartet at det har vært noe flomskredaktivitet. Dette må avklares nærmere gjennom befaring på stedet, og dette er også aktuelt å vurdere i det vestlige området.



## Vedlegg A - Plan- og bygningslov

# Plan- og bygningslov.

**DATO:** LOV-1985-06-14-77  
**DEPARTEMENT:** MD (Miljøverndepartementet)  
**PUBLISERT:** ISBN 82-504-1434-9  
**IKRAFTTREDELSE:** 1986-07-01  
**SIST-ENDRET:** LOV-2006-05-12-15 fra 2007-01-01  
**ENDRER:**  
**KORTTITTEL:** Plan- og bygningsloven - plbl.

## § 25. Reguleringsformål

I reguleringsplanen avsettes i nødvendig utstrekning:

### 1. Bygeområder:

herunder områder for boliger med tilhørende anlegg, forretninger, kontorer, industri, fritidsbebyggelse (fritidsboliger og tilhørende uthus), samt områder for offentlige (statens, fylkets og kommunens) bygninger med angitt formål, andre bygninger med særskilte angitte allmennyttige formål, herberger og bevertningssteder og for garasjeanlegg og bensinstasjoner.

.....

### 5. Fareområder:

Områder for høyspenningsanlegg, skytebaner, ildsfarlig opplag og andre innretninger som kan være farlige for allmennheten, og områder som på grunn av ras- og flomfare eller annen særlig fare ikke tillates bebygget eller bare skal utbygges på nærmere vilkår av hensyn til sikkerheten.

## § 68. Byggegrunn. Miljøforhold

Grunn kan bare deles eller bebygges dersom det er tilstrekkelig sikkerhet mot fare eller vesentlig ulempe som følge av natur- eller miljøforhold.

Kommunen kan for grunn eller område som nevnt i første ledd, om nødvendig nedlegge forbud mot bebyggelse eller stille særlige krav til byggegrunn, bebyggelse og uteareal.

Endret ved lover 20 juni 1986 nr. 37, 11 juni 1993 nr. 85

## **Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk (TEK).**

---

|                        |                                      |
|------------------------|--------------------------------------|
| <b>DATO:</b>           | FOR-1997-01-22-33                    |
| <b>IKRAFTTREDELSE:</b> | 1997-07-01                           |
| <b>SIST-ENDRET:</b>    | FOR-2007-01-26-96 fra 2007-02-01     |
| <b>ENDRER:</b>         | FOR-1987-05-27-458                   |
| <b>GJELDER FOR:</b>    | Norge                                |
| <b>RETTET:</b>         | 22.03.2007 (figur tilføyd)           |
| <b>KORTTITTEL:</b>     | Forskrift om krav til byggverk - TEK |

### **Kap. I. Alminnelige bestemmelser**

#### **§ 1-1. Forskriftens virkeområde**

Forskriften er gitt til gjennomføring og utfylling av bestemmelsene i plan- og bygningsloven av 14. juni 1985 nr. 77 og for gjennomføring av Norges forpliktelser etter EØS-avtalen for krav til byggverk og produkter til byggverk.

#### **§ 1-2. Forskriftens anvendelse på særskilte tiltak**

Forskriften gjelder så langt den passer for:

1. driftsbygninger i landbruket og for tilsvarende bygninger for dyr utenom landbruket. For husvær for seterbruk eller skogsdrift gjelder de samme bestemmelser som for fritidsboliger
2. konstruksjoner og anlegg.

For fritidsbolig med én bruksenhet gjelder kun forskriftens kapittel I til og med VII, § 8-1, § 8-2, § 8-21, § 8-22, § 8-37, § 8-5, § 8-51 tredje ledd, § 9-2 første og annet ledd, § 9-22, § 9-5, § 9-52, samt kapittel XI og XII.

0 Endret ved forskrifter 13 des 1999 nr. 1296 (i kraft 1 jan 2000), 26 jan 2007 nr. 96 (i kraft 1 feb 2007).

### **Kap. VII. Personlig og materiell sikkerhet**

#### **§ 7-1. Personlig og materiell sikkerhet**

Byggverk skal utformes, utføres og utstyres slik at de ikke utgjør fare for personer og slik at de ikke ved sammenbrudd eller ulykke fører til uakseptabelt store materielle eller samfunnsmessige skader.

## Plassering og bæreevne

### § 7-3. Plassering og bæreevne

Materialer og produkter i byggverk skal ha slike egenskaper at grunnleggende krav om byggverkets mekaniske motstandsevne og stabilitet vil bli tilfredsstilt.

### § 7-31. Pålitelighetsklasser for byggverk

Byggverk inndeles i fire pålitelighetsklasser som angitt i tabellen nedenfor. Inndelingen baseres på mulige konsekvenser av at det oppstår brudd i en konstruksjon eller konstruksjonsdel i form av skade på mennesker, uakseptabel skade på dyr, uakseptabel forandring av miljø eller andre uakseptable konsekvenser for samfunnet.

Tabell: Pålitelighetsklasser for byggverk

| Pålitelighetsklasse | Konsekvens  |
|---------------------|-------------|
| 1                   | liten       |
| 2                   | middels     |
| 3                   | stor        |
| 4                   | særlig stor |

Sikkerhetskrav og tilhørende krav til kontroll av prosjektering, grunnforhold, materialer, produkter, utførelse, tilstand, bruk og vedlikehold for ulike kategorier byggverk inkludert byggegrunn differensieres etter pålitelighetsklasse.

### § 7-32. Sikkerhet mot naturpåkjenninger (skred, flom, sjø og vind)

#### 1. Generelle krav

Byggverk skal plasseres og utformes slik at de har tilfredsstillende sikkerhet mot å bli skadet av naturpåkjenninger (skred, flom, sjø og vind).

Planløsning og plassering av byggverk som kan innebære en fare på grunn av forutsatt bruk av byggverket, skal vurderes spesielt.

#### 2. Sikkerhet mot skred

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 tabellen nedenfor oppnås. Byggverk i sikkerhetsklasse 4 skal ikke plasseres i skredfarlig område.

Tabell: Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i skredfareområder

| Sikkerhetsklasse<br>for skred | Konsekvens | Største nominelle<br>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.

### **§ 7-33. Konstruksjonssikkerhet**

Byggverk skal utformes og dimensjoneres slik at de har tilfredsstillende sikkerhet mot brudd for de laster som kan oppstå under den forutsatte bruk. Kravet gjelder byggverket i endelig tilstand og under utførelse. Dersom forutsetningene for bruk endres, skal byggverkets sikkerhet vurderes på nytt.

Kravet til sikkerhet gjelder i første rekke byggverkets hovedbæresystem, andre deler av byggverket kan klassifiseres i lavere pålitelighetsklasse enn hovedbæresystemet.

Byggverk i pålitelighetsklasse 3 og 4 skal ha et bærende system som gir nødvendig sikkerhet mot at et brudd i en del av byggverket utvikler seg til et totalt sammenbrudd.

## **Sikkerhet i bruk**

### **§ 7-4. Sikkerhet i bruk**

Bestemmelsene om sikkerhet i bruk skal sikre at ethvert byggverk, del av byggverk og arealer nær slike kan nyttes til sitt forutsatte formål uten at de medfører fare for personer som bruker dem på forutsatt måte.

### **§ 7-41. Planløsning, størrelse og utforming**

#### **1. Generelle krav**

Byggverk, del av byggverk, atkomst og arealer nær byggverk skal ha slik størrelse og utforming eller planløsning at fare for skade på person unngås.

Byggverk som er beregnet for opphold for mennesker må ha tilstrekkelig størrelse til at oppholdssonen for mennesker er trygg ved forventet bruk og ved drift og vedlikehold av byggverket. Byggverk må ha en planløsning som muliggjør bruk og møblering uten at sikkerhet reduseres. Fremstikkende faste eller bevegelige deler av byggverk må unngås dersom de kan utgjøre fare ved sammenstøt.

Rom som benyttes til arbeidsoppgaver må ikke være gjennomgang til andre rom, med mindre passasjen er sikkert tilrettelagt.

### **§ 7-42. Utearealer**

Utearealer nær byggverk skal utformes slik at brukerne trygt kan oppholde seg i det fri. Det må også være tilstrekkelig og sikker plass for rekreasjon og lek nær boliger. Det må legges vekt på avskjerming mot trafikk slik at fare unngås, og utendørs nivåforskjeller nær byggverket skal være avgrenset på sikker måte.

# Plassering og bæreevne

## § 7-3 Plassering og bæreevne

Forskriftens krav er i samsvar med basisdokument nr. 1 «*Mekanisk motstandsevne og stabilitet*» til byggeveredirektivet Rdir 89/106/EØF. Materialene og produktene må ha slike egenskaper at forskriftens krav til pålitelighet tilfredsstilles.

Ved tallfesting av sikkerhetsnivå vises det til *NS 3490 Prosjektering av konstruksjoner – Krav til pålitelighet*.

Forskriftens krav til plassering av byggverk i pålitelighetsklasser, sikkerhet i de forskjellige klassene og kontroll av prosjektering, grunnundersøkelser, materialer, produkter, utførelse, tilstand, bruk og vedlikehold av byggverk i de forskjellige pålitelighetsklassene kan anses oppfylt dersom reglene i Norsk Standard følges. Standardene utgjør et hele og kan ikke uten videre brukes uavhengig av hverandre.

## § 7-31 Pålitelighetsklasser for byggverk

Det kreves i forskriften at byggverket skal planlegges og oppføres slik at belastninger ikke vil medføre uakseptable konsekvenser. Forskriftens krav til et byggverks bæreevne gjelder imidlertid kun en minste bruddsikkerhet.

Byggverk inndeles i fire pålitelighetsklasser som angitt i teknisk forskrift. Informative eksempler på klassifisering av konstruksjoner er gitt i et tillegg i *NS 3490 Prosjektering av konstruksjoner – Krav til pålitelighet*.

Eksempelene er veiledende og bruddkonsekvensene må alltid vurderes ved valg av klasse.

Pålitelighetsklasse brukes ved klassifisering av de bærende konstruksjoner.

Pålitelighetsklasse skal fastsettes i forhold til konsekvensene av brudd eller funksjonssvikt av en konstruksjon eller en konstruksjonsdel. Ulike deler av en konstruksjon kan klassifiseres i ulike pålitelighetsklasser. Det kan skilles mellom pålitelighetsklasse for hovedbæresystem og sekundære konstruksjonsdeler.

## § 7-32 Sikkerhet mot naturpåkjenninger (skred, flom, sjø og vind)

### Generelt

Kravet om at byggverk skal ha nødvendig og tilstrekkelig sikkerhet mot naturlaster er helt generelt og gjelder alle slag naturpåkjenninger som skred, flom, sjø, vind, jordskjelv, snø, osv. I utgangspunktet er det to typer av naturlaster, laster som omhandles i prosjekteringsstandarder og som bygninger dimensjoneres for (snølast, vindlast og seismiske laster) og laster man prøver å unngå ved å plassere bygninger slik at de ikke rammes (flom og skred).

Fare på grunn av forutsatt bruk må vurderes særskilt. Dette kan eksempelvis være kollaps av dam, ras mot kjemikalilager, brann i kjemiske fabrikker eller oversvømmelse av et renseanlegg.

### Sikkerhet mot vind og snølast

Ved prosjektering og oppføring av byggverk i særlig vindutsatte strøk må takkonstruksjonenes sikkerhet ofres særlig oppmerksomhet.

Ved planlegging og oppføring av bebyggelse må det tas hensyn til særegenheter ved området som kan gi opphav til lokale, forsterkende vind-effekter, eksempelvis topografiske trekk.

§ 7-32 fig 1 Lokale snølaster



Norsk Standard for dimensjonerende laster på konstruksjoner angir snølast for kommunene. Det er mulig å fravike Norsk Standard for snølast og fastsette andre verdier basert på empiriske verdier. Dette gjelder også for andre lasttyper som f.eks. vind.

Det kan finnes variasjoner i grunnverdien for snølast på mark som ikke angis i standarden. Grunnlaget for å velge andre verdier enn de standarden oppgir, må være at man har ett tilstrekkelig pålitelig grunnlag for å fastsette en snølast på mark som har en årlig sannsynlighet for overskridelse på 2 %, dvs. 50-års returperiode, slik det er lagt til grunn for de verdier som er gitt i standarden.

### **Sikkerhet mot flom og annen fare knyttet til vassdrag**

Bebyggelse må plasseres sikkert med hensyn til flom eller annen fare knyttet til vassdrag, så som isgang, erosjon, flom, skred og masseavlagring.

Sikkerhetsnivåer i forhold til flom langs vassdrag er angitt i retningslinjer fra NVE (Norges vassdrags- og energidirektorat). De til enhver tid gjeldende retningslinjer ligger på NVEs hjemmesider: [www.nve.no](http://www.nve.no)

Det finnes en rekke kilder til informasjon om flomfare, f.eks. flomsonekart. Flomsonekartene gir oversikt over hvilke områder som vil oversvømmes i en gitt flomsituasjon og med hvilken hyppighet. NVE har utarbeidet kart for de mest skadeutsatte strekningene i Norge. Kartene ligger på NVEs hjemmesider: [www.nve.no](http://www.nve.no)

Flom vil i kombinasjon med ekstremt høye vannstander i sjøen, gi økning i beregnede vannstander i vassdrag.

### **Sikkerhet mot sjø**

Ekstremt høye vannstander i sjøen/stormflo bør være bestemmende for plassering av byggverk langs hele kystlinjen. Statens kartverk Sjøkartverket (SKSK) har lange måleserier for stasjoner langs kysten, og det utarbeides sjøkart som dekker norskekysten. I tillegg vil kommunen kunne sitte med informasjon om historiske vannstander i sjøen.

Bølgeskader på bygninger kan opptre som et enkeltfenomen, men oftere som sammenfall av flere uheldige faktorer som sterk vind, ugunstig vindretning, høy vannstand og lavtrykk. Eventuell bygging i områder utsatt for slike påvirkninger bør avklares på plannivå.

### **Sikkerhet mot skred**

Bebyggelse skal plasseres og dimensjoneres slik at plan- og bygningslovgivningens krav til sikkerhet blir oppfylt. Det er tre sikkerhetsklasser for skred, inndelt etter konsekvens og største nominelle årlige sannsynlighet. Betingelsene anses oppfylt når kravet til nominell årlig sannsynlighet for skred er overholdt slik disse kravene er beskrevet i teknisk forskrift § 7-32.

Tilhørende utearealer må sikres mot skred på tilsvarende måte som bebyggelse.

### **Skredtyper**

Kravene i teknisk forskrift gjelder i utgangspunktet alle typer skred.

Skred, eksempelvis store fjellskred, kan føre til flodbølger i fjorder og innsjøer som kan få store konsekvenser for mennesker og miljø. Fra store skred i bratt terreng kan det forekomme skadelige lufttrykkvirkninger. Sikkerhetskravene gjelder også slike sekundære virkninger av skred.

### **Beregning av sannsynlighet for skred**

I teknisk forskrift benyttes begrepet «nominell sannsynlighet». Denne ordbruken betyr at det ikke settes krav til at sannsynligheten for skred skal beregnes eksakt. I mange tilfeller lar det seg ikke gjøre å beregne eksakt skredsannsynlighet, og det må derfor brukes et visst skjønn i tillegg til teoretiske beregningsmetoder.

I fjellsider og skråninger der skred kan opptre tilfeldig langs fjellsiden må sannsynligheten for skred ses i sammenheng med bredden på skredet og utstrekningen av det utsatte området. Nominell sannsynlighet for skred er definert som sannsynlighet for skred pr. enhetsbredde på 30 m på tvers av skredretningen. Dette betyr at sannsynligheten for steinsprang mot en husrekke fastlegges ut fra enhetsbredden på 30 m.

For skredfare knyttet til vassdrag (flomskred, kvikkleireskred), se til enhver tid gjeldende retningslinjer på NVEs hjemmesider: [www.nve.no](http://www.nve.no)

### **Sikring mot skred**

Bebyggelse kan plasseres i områder der sannsynligheten for skred er større enn minstekravet i teknisk forskrift. Forutsetningen er at det gjennomføres sikringstiltak i området som reduserer sannsynligheten for skred mot bebyggelsen og tilhørende uteareal til det nivå som er angitt i forskriften.

### **Sikkerhetsklasser for skred**

Retningsgivende eksempler på bygninger som kommer inn under de ulike sikkerhetsklassene for skred:

- **Sikkerhetsklasse 1**  
Tiltak med liten konsekvens. Dette omfatter byggverk med lite personopphold, f.eks. mindre garasjer, båtnaust, lagerskur med lite personopphold og brygger for sport og fritid.
- **Sikkerhetsklasse 2**  
Tiltak med middels konsekvens. Dette omfatter f.eks. små hus og tilsvarende bygg for næringsdrift, hytter, driftsbygninger i



landbruket samt mindre kaier og havneanlegg.

- **Sikkerhetsklasse 3**

Tiltak med stor konsekvens. Dette omfatter andre bygg.

Forskriften setter krav til at byggverk i pålitelighetsklasse 4 ikke skal plasseres i skredfarlig område. Med dette menes byggverk hvor konsekvensene av en skredhendelse er særlig stor (f.eks. i form av uakseptable konsekvenser for samfunnet).

Anlegg hvis funksjon forutsetter at de utsettes for fare som f.eks. vannkraftanlegg, dammer o.l. må konstrueres og oppføres slik at de er i stand til å tåle den belastningen deres funksjon vil medføre.

#### *Skredundersøkelser*

Der det kan være tvil om det foreligger fare for skred, skal det gjennomføres skredtekniske analyser og beregninger av sakkyndige.

Til hjelp i vurdering av eventuell fare for skred utarbeider Norges geologiske undersøkelse (NGU) i samarbeid med Norges Geotekniske Institutt (NGI) oversiktskart over potensielle fareområder for stein- og snøskred, og potensielle fareområder for kvikkleireskred. Kartserien vil på sikt dekke det meste av landet der det kan være fare for slike skred i bebygde områder.

Data og informasjon om ulike typer skred, som f.eks. snøskred og kvikkleireskred, finnes på

[www.skrednett.no](http://www.skrednett.no). Her finnes kart som viser skredområder med farevurderinger i tillegg til kart som viser tidligere skredulykker.

### **§ 7-33 Konstruksjonssikkerhet**

En konstruksjons sikkerhet kan uttrykkes ved årlig teoretisk sviktsannsynlighet. Sviktsannsynligheten er et beregningsmessig mål på sikkerheten, men kan ikke forventes å uttrykke den virkelige sannsynligheten for svikt i en bestemt konstruksjon.

Tilsiktet verdi for årlig sviktsannsynlighet fastsettes på grunnlag av byggverkets pålitelighetsklasse. Det skal tas hensyn til om svikt kan medføre progressivt brudd i bæresystemet eller ikke.

Kravene i bruddgrensetilstanden må ses i sammenheng med at det er stilt krav til kontroll av ulykkesgrensetilstanden i pålitelighetsklasse 2, 3 og 4 med største årlige sviktsannsynligheter som angitt i *NS 3490*.

Det må normalt settes strengere sikkerhetskrav til primære deler enn til sekundære deler av konstruksjonen.

De største konsekvensene er knyttet til systembrudd som kan føre til at hele byggverket styrter sammen. Bruddgrensetilstanden og ulykkesgrensetilstanden ivaretar sikkerheten til brudd enten i enkeltkomponenter eller som systembrudd.

## Vedlegg B - Beskrivelse av regnemodeller

### Innhold

|                                                             |          |
|-------------------------------------------------------------|----------|
| <b>B1 Beregning av skredbevegelse</b>                       | <b>2</b> |
| B1.1 Skreddynamikk.....                                     | 2        |
| B1.2 Empiriske regnemodeller .....                          | 3        |
| B1.3 Dynamiske regnemodeller for glidende skredmasser ..... | 3        |
| B1.4 Dynamiske regnemodeller for luftbårne skredmasser..... | 4        |
| B1.5 Regnemodeller — kun et hjelpemiddel.....               | 4        |
| <b>B2 <math>\alpha/\beta</math>-modell</b>                  | <b>5</b> |
| <b>B3 PCM blokkmodell</b>                                   | <b>8</b> |
| <b>B4 NIS1 skredmodell</b>                                  | <b>9</b> |

## B1 Beregning av skredbevegelse

### B1.1 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 materialeegenskapene 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 brytter 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 (flyte høyder, hastigheter etc.). Denne informasjonen gir bedre forståelse av skreddynamikken, og er avgjørende for beregning av skredlaster (trykk på konstruksjoner), stighøyde 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.

## B1.2 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 utløpsdistanse 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.

## B1.3 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 (flyte høyde). 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.

## B1.4 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 strømming). 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 koblete 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.

## B1.5 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.

## B2 $\alpha/\beta$ -modell

Den statistiske/topografiske  $\alpha/\beta$ -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:                                                                                                                                                          |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\beta$ (grader)   | Gjennomsnittlig helning av skredbanen mellom øvre del av utløsningsområdet og "fjellfoten" (punktet med $10^\circ$ helning i skredbanen).                                      |
| $\theta$ (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.                                                                                                                               |

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

Helningen  $\theta$  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  $\theta$  gir således lengre utløpsdistanser, dvs. lavere gjennomsnittlig helning av den totale skredbanen,  $\alpha$ .

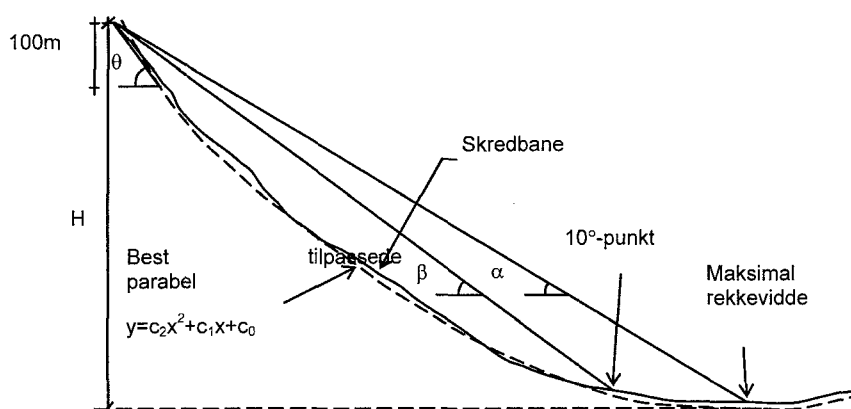
Lavere verdier av produktet  $Hy''$  betyr lavere verdier av  $\beta$ . Dette resulterer i teoretisk lengre utløp (lavere  $\alpha$ -verdier), fordi skredene går med lavere hastighet og har et mindre energitap gjennom hastighetsavhengig friksjon.

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  $\alpha=0.96\beta-1.4^\circ$ . Standardavviket er  $2.3^\circ$  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.

### B3 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.

## B4 NIS1 skredmodell

NIS1-modellen beskriver snøskredet som et deformerbart legeme der hastighet og flyte høyde 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 vertikal midles 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 strømmingen:

- 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 materialfriksjonskoeffisienten, viskositeten og den opprinnelige flyte høyden (tykkelsen) til skredet. For flyte høyden 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.

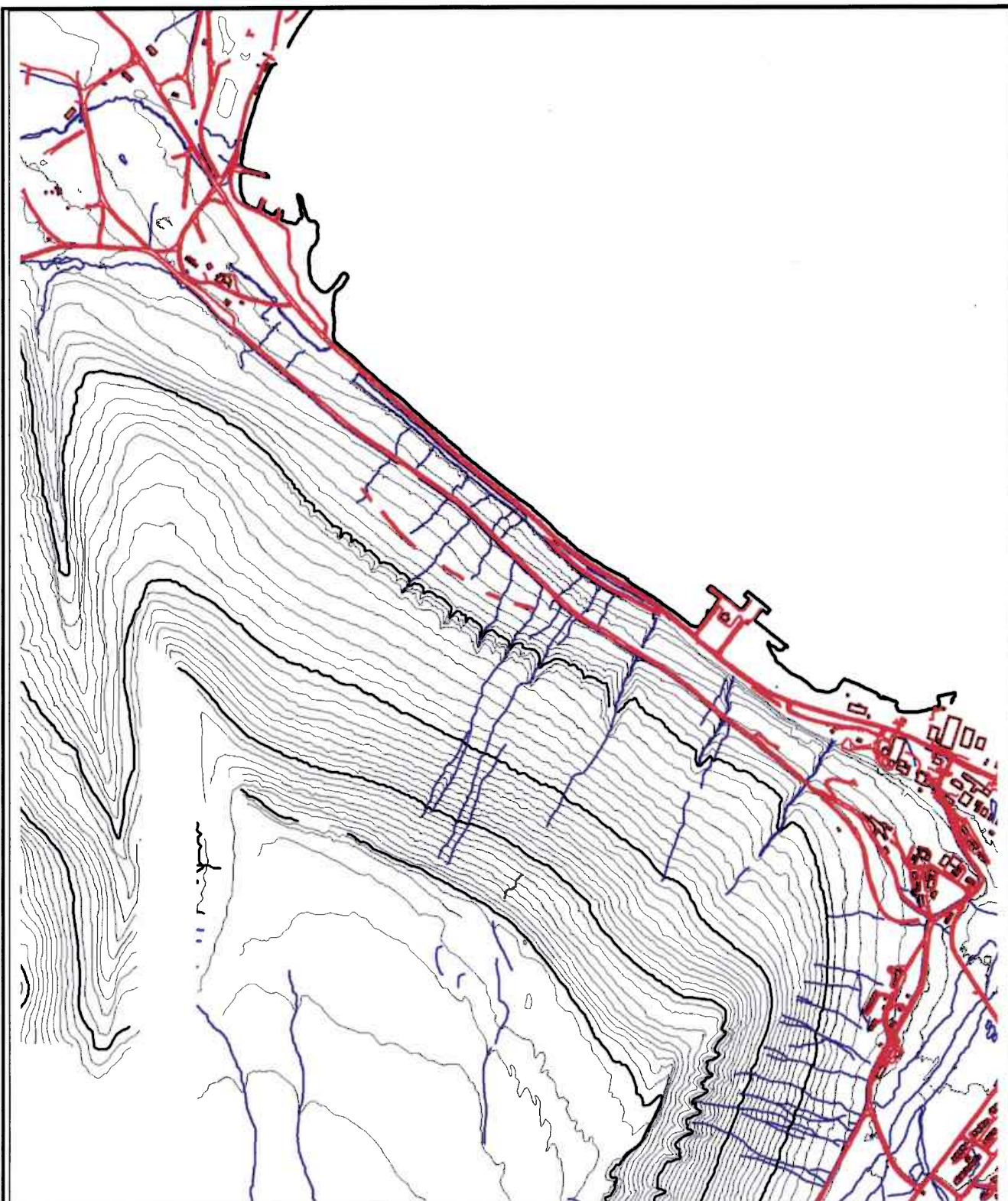
Modellen er utprøvd og kalibrert ved sammenlikning med laboratorieforsøk og full-skala observasjoner av snøskred, undersjøiske skred og steinskred.

*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**.

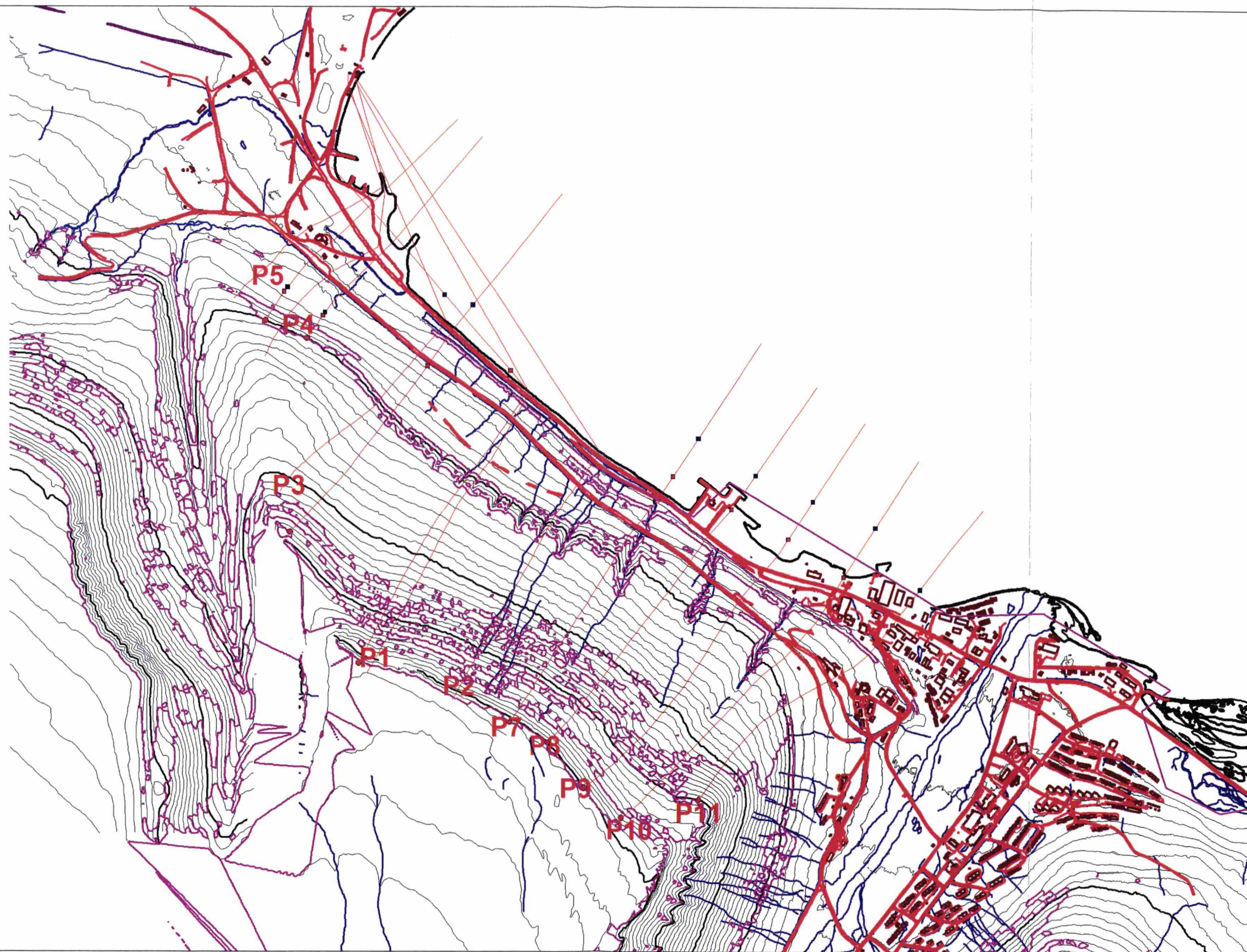
*Litteratur:*

- 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**.



|                                                                                                          |                                                                                       |                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
|                                                                                                          |                                                                                       |                    |
| <b>LONGYEARBYEN LOKALSTYRE - BURMAVEGEN</b>                                                              | Rapport nr.<br>20081311-1                                                             | Figur nr.<br>1     |
| Oversiktskart over området mellom Taubanesentralen og Oppredningsverket. 100-meterskoter med tjukk strek | Tegner<br>SBa                                                                         | Dato<br>2008-07-21 |
| M 1 : 1.700                                                                                              |  |                    |

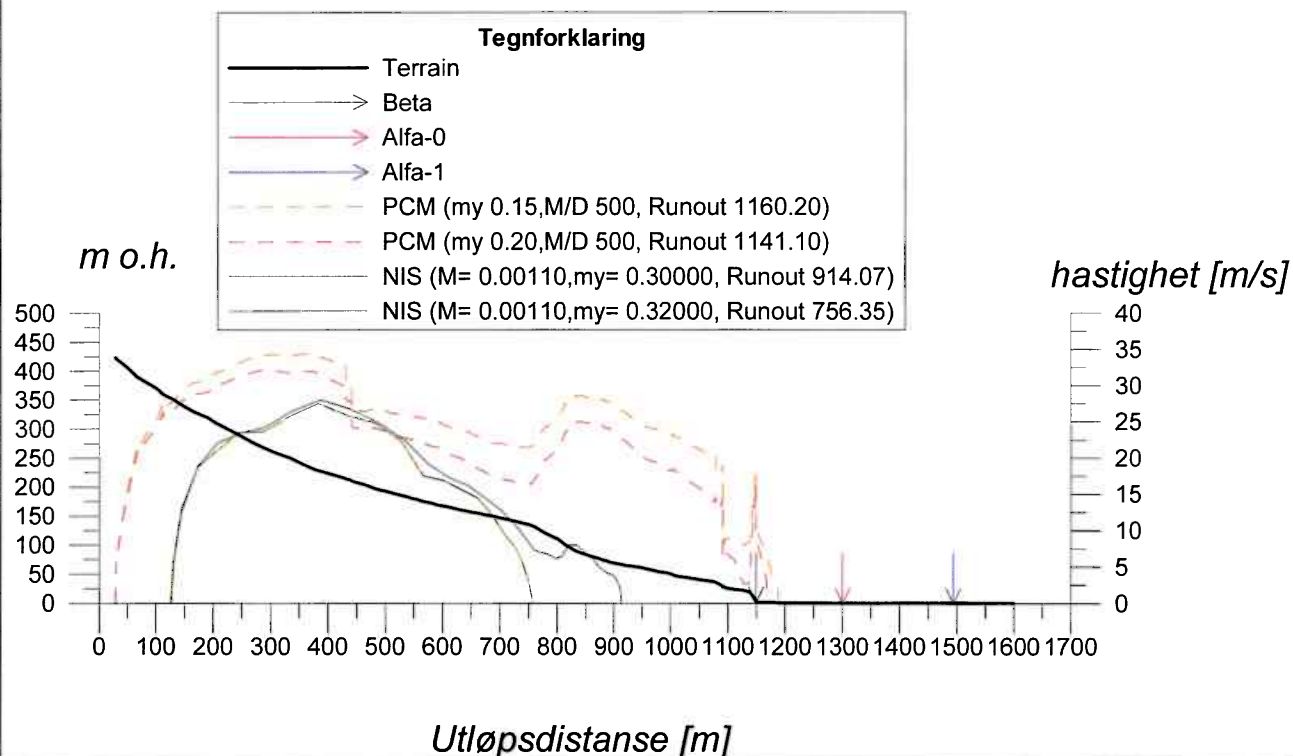




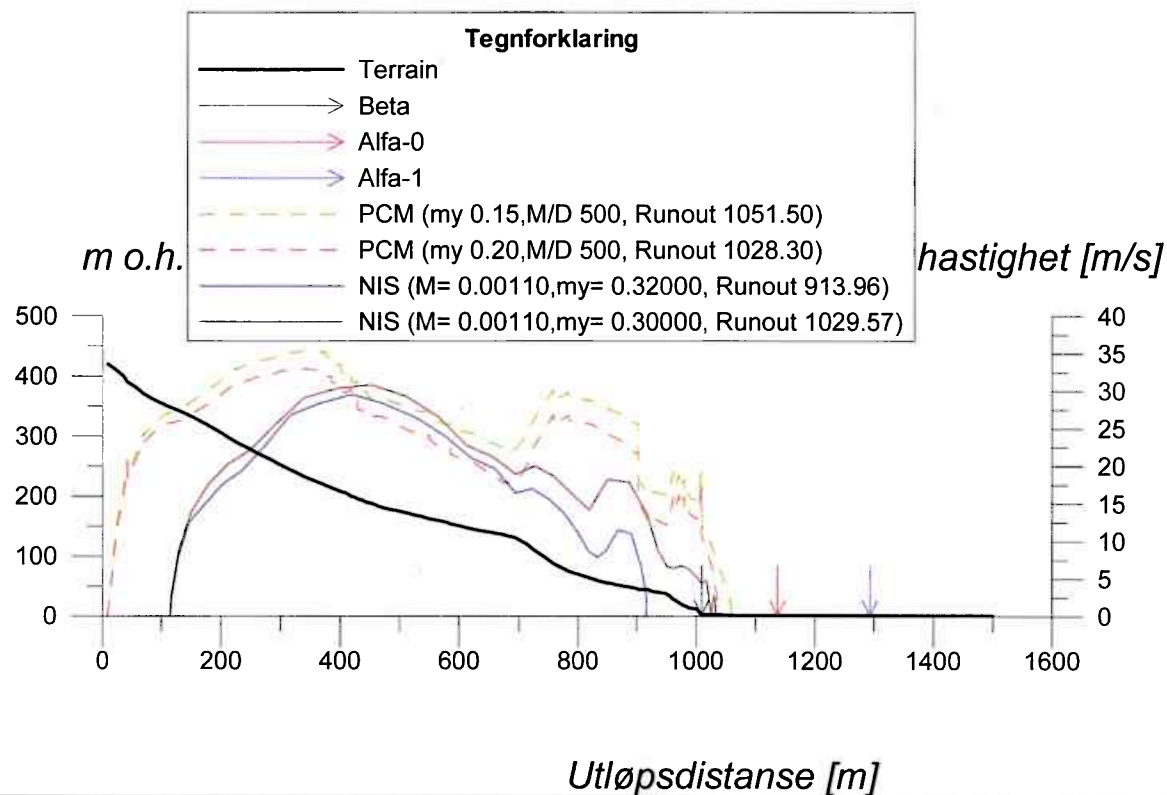
|                                                                                       |                           |                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------|
| LONGYEARBYEN LOKALSTYRE - BURMAVEGEN                                                  | Rapport nr.<br>20081311-1 | Figur nr.<br>2     |
|                                                                                       | Tegner                    | Dato<br>2008-07-21 |
|  |                           |                    |



## Burmavegen, Longyearbyen, Burma\_P1



## Burmavegen, Longyearbyen, Burma\_P2



**LONGYEARBYEN LOKALSTYRE - BURMAVEGEN**

Rapport nr.  
20081311-1

Figur nr.  
3

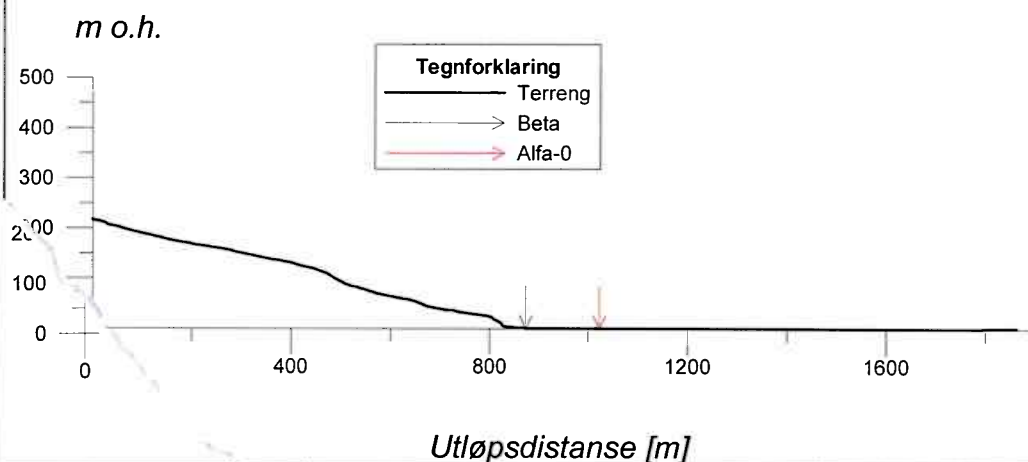
Skredbaneprofil

Tegner  
SBa

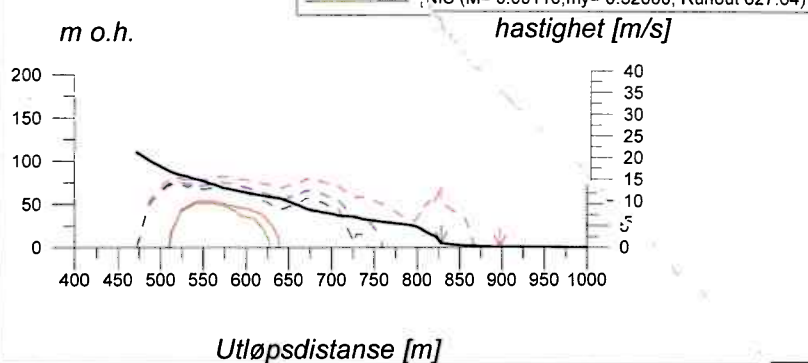
Dato  
2008-07-21



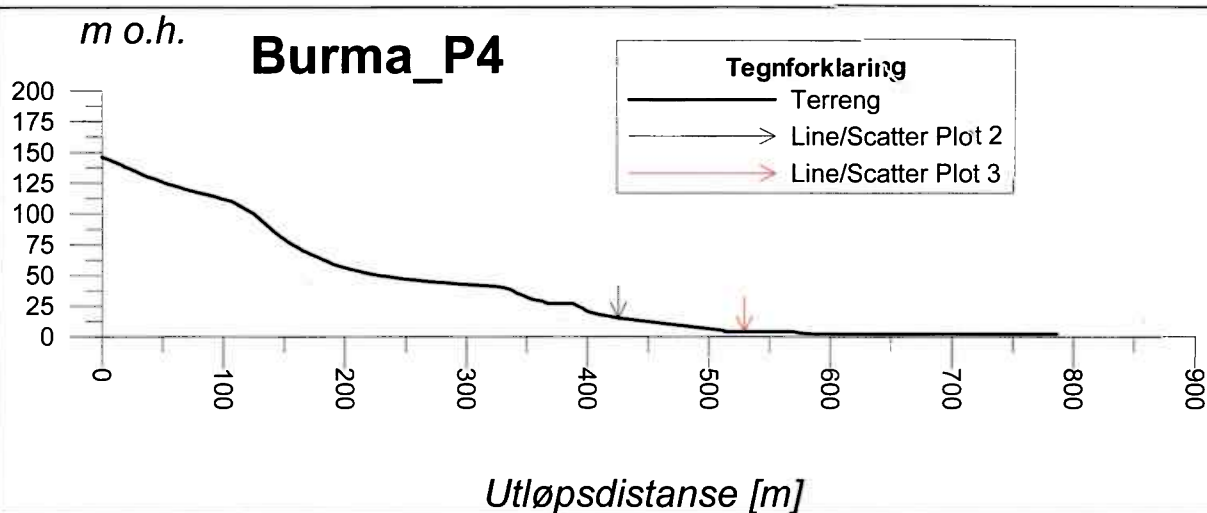
# Burmavegen, Longyearbyen, Burma\_P3



## Burma\_P3\_korr



Den nedre delen av terrengprofilen P3 med brattkantene der skred kan løsne.



LONGYEARBYEN LOKALSTYRE - BURMAVEGEN

Rapport nr.  
20081311-1

Figur nr.  
4

Skredbaneprofil

Tegner  
SBa

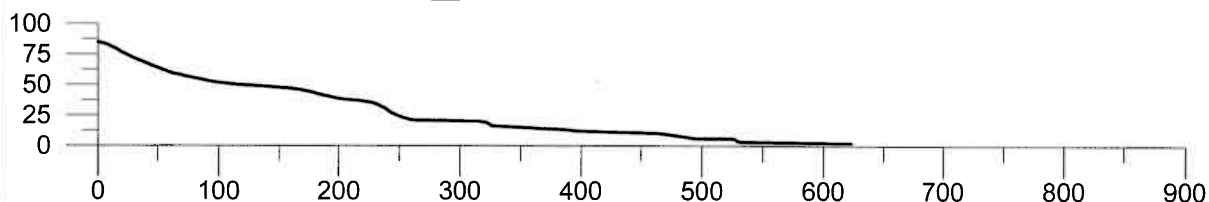
Dato  
2008-07-21





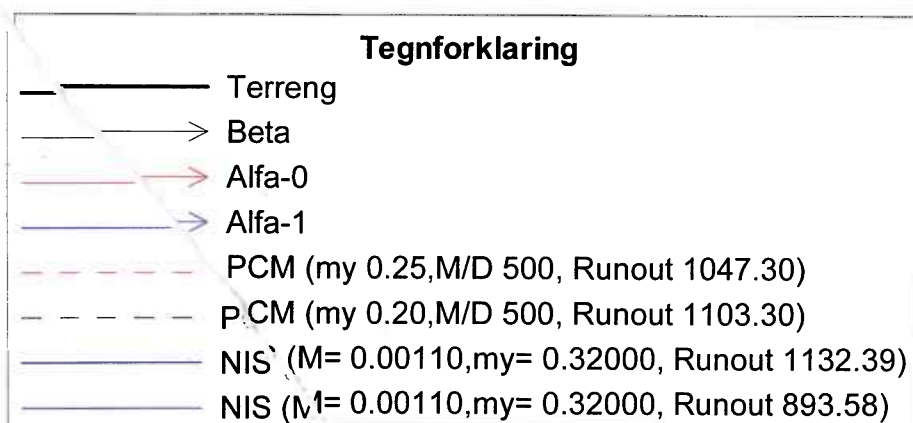
m o.h.

## Burma\_P5



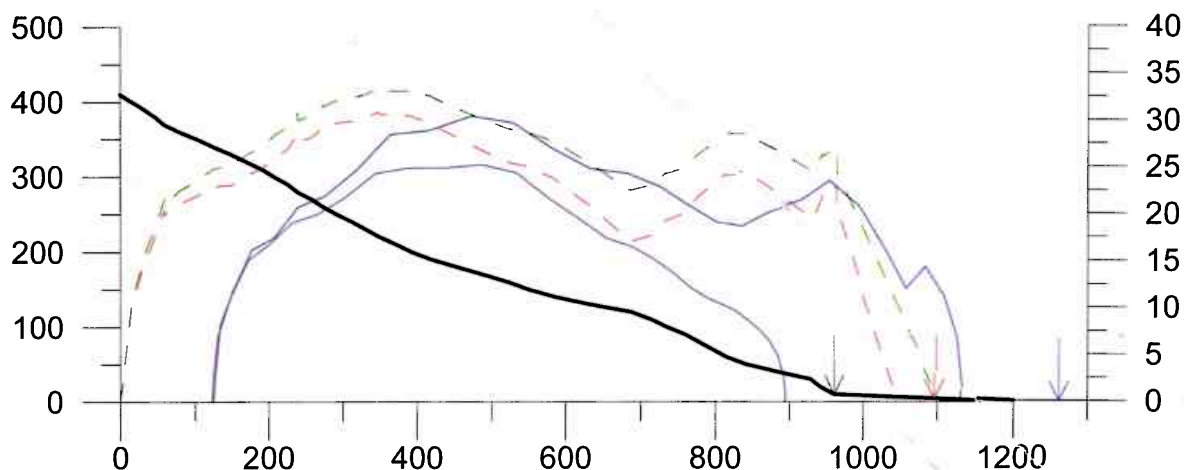
Utløpsdistance [m]

## Burmavegen, Longyearbyen, Burma\_P7



m o.h.

hastighet [m/s]



Utløpsdistance [m]

LONGYEARBYEN LOKALSTYRE - BURMAVEGEN

Rapport nr.  
20081311-1

Figur nr.  
5

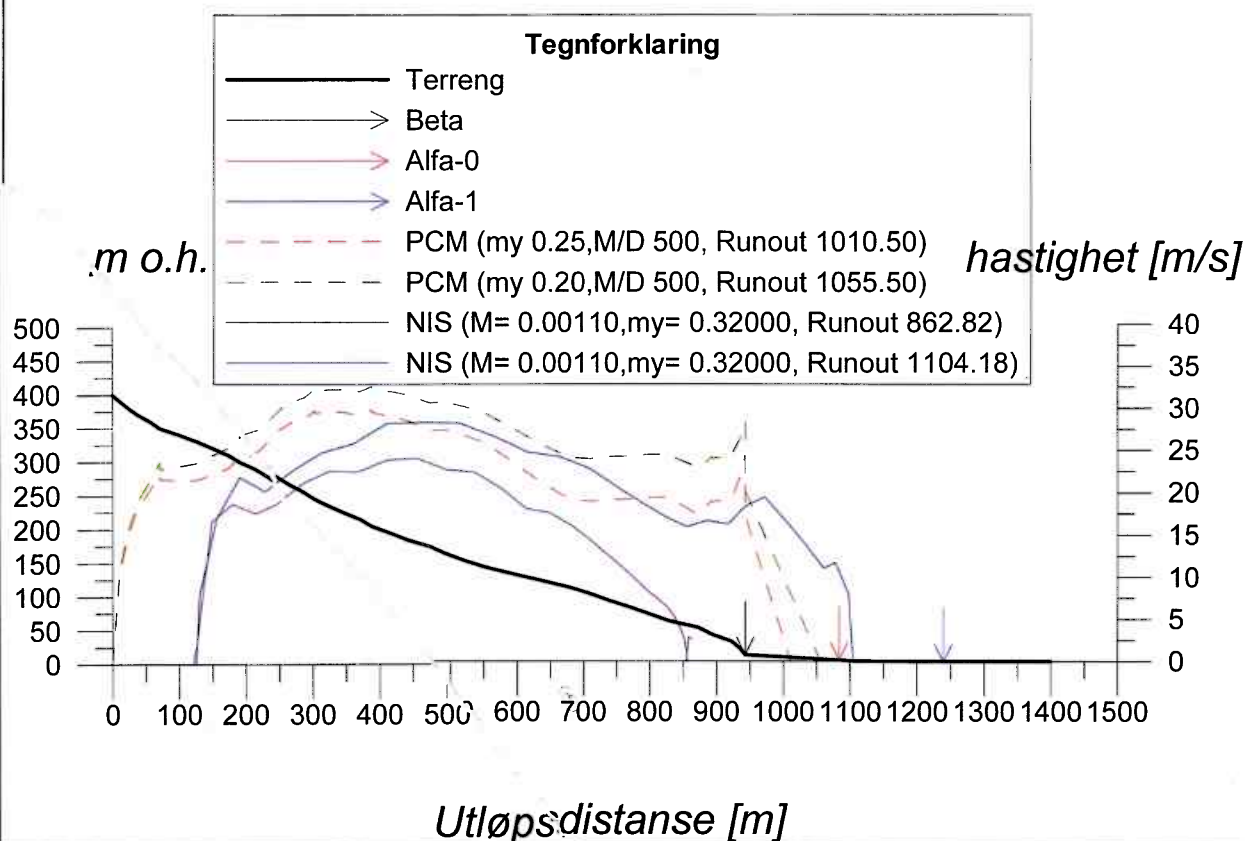
Skredbaneprofil

Tegner  
SBa

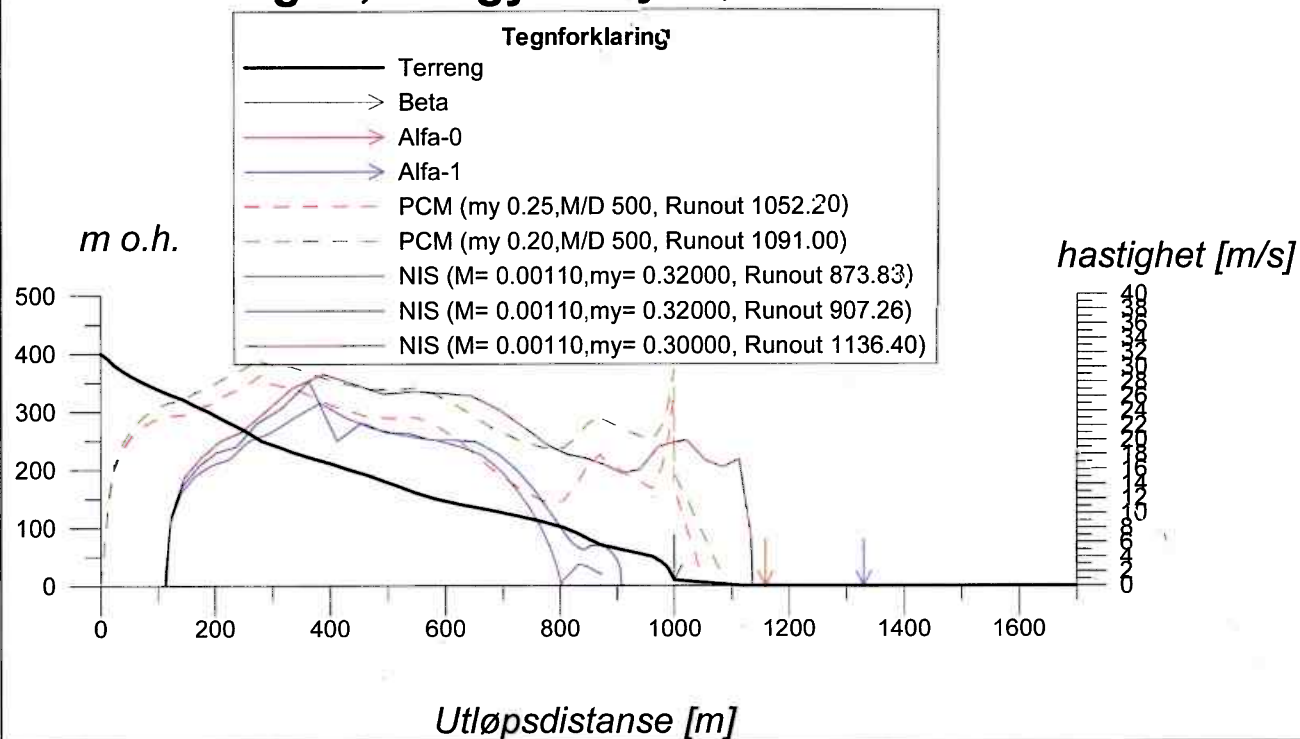
Dato  
2008-07-21



# Burmavegen, Longyearbyen, P8



# Burmavegen, Longyearbyen, P9



LONGYEARBYEN LOKALSTYRE - BURMAVEGEN

Rapport nr.  
20081311-1

Figur nr.  
6

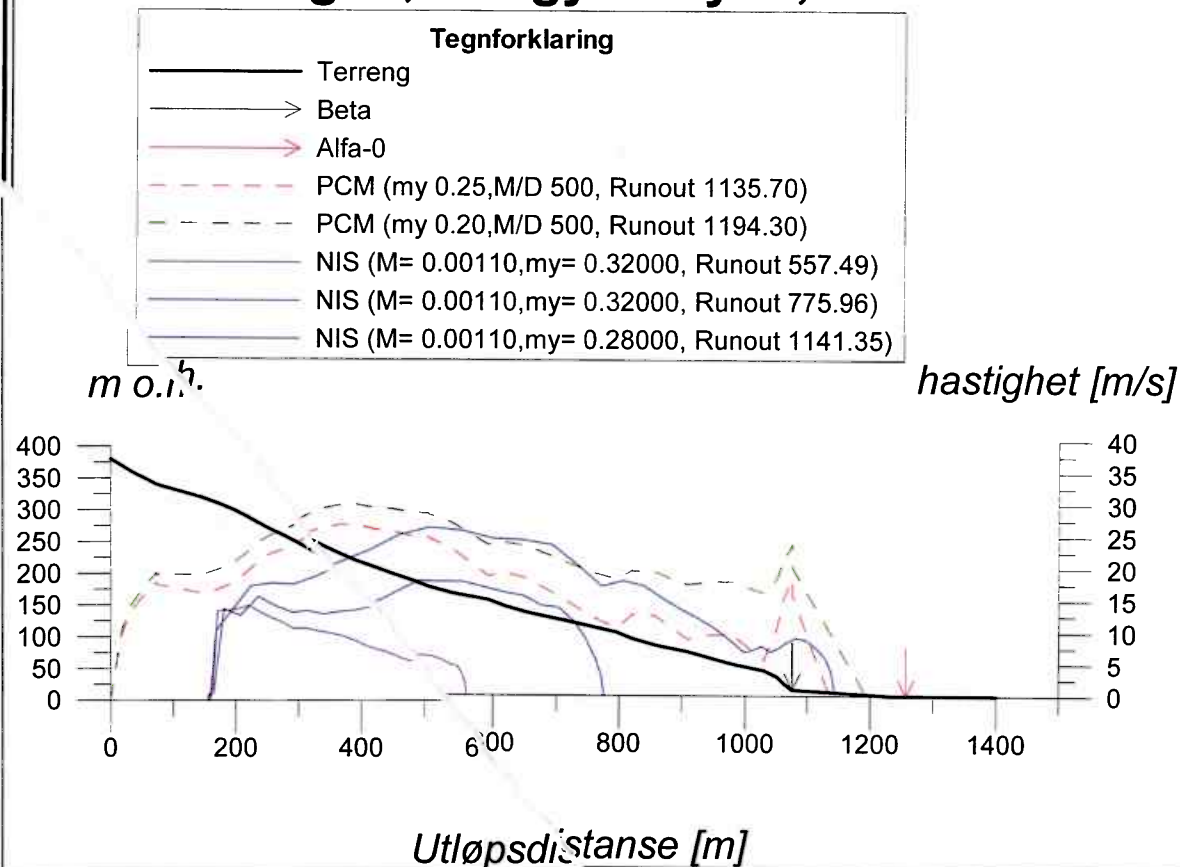
Skredbaneprofil

Tegner  
SBa

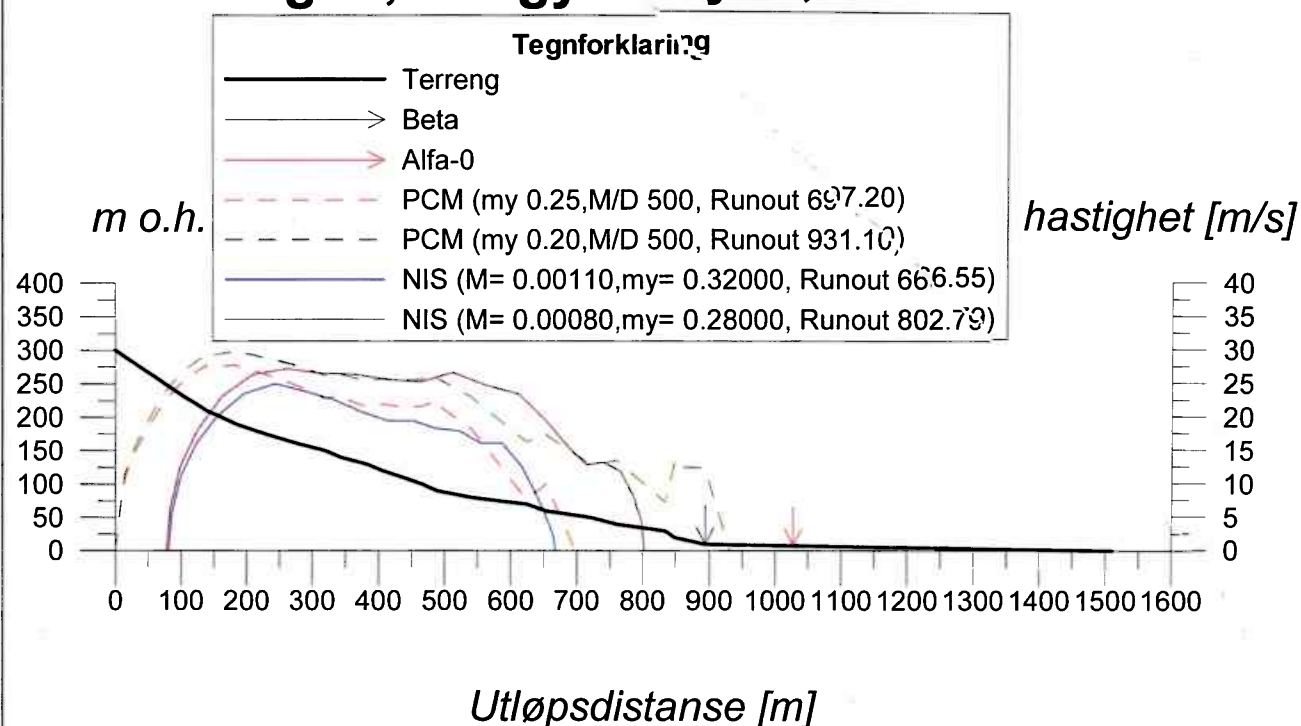
Dato  
2008-07-21



## Burmavegen, Longyearbyen, P10



## Burmavegen, Longyearbyen, P11



**LONGYEARBYEN LOKALSTYRE - BURMAVEGEN**

Rapport nr.  
20081311-1

Figur nr.  
7

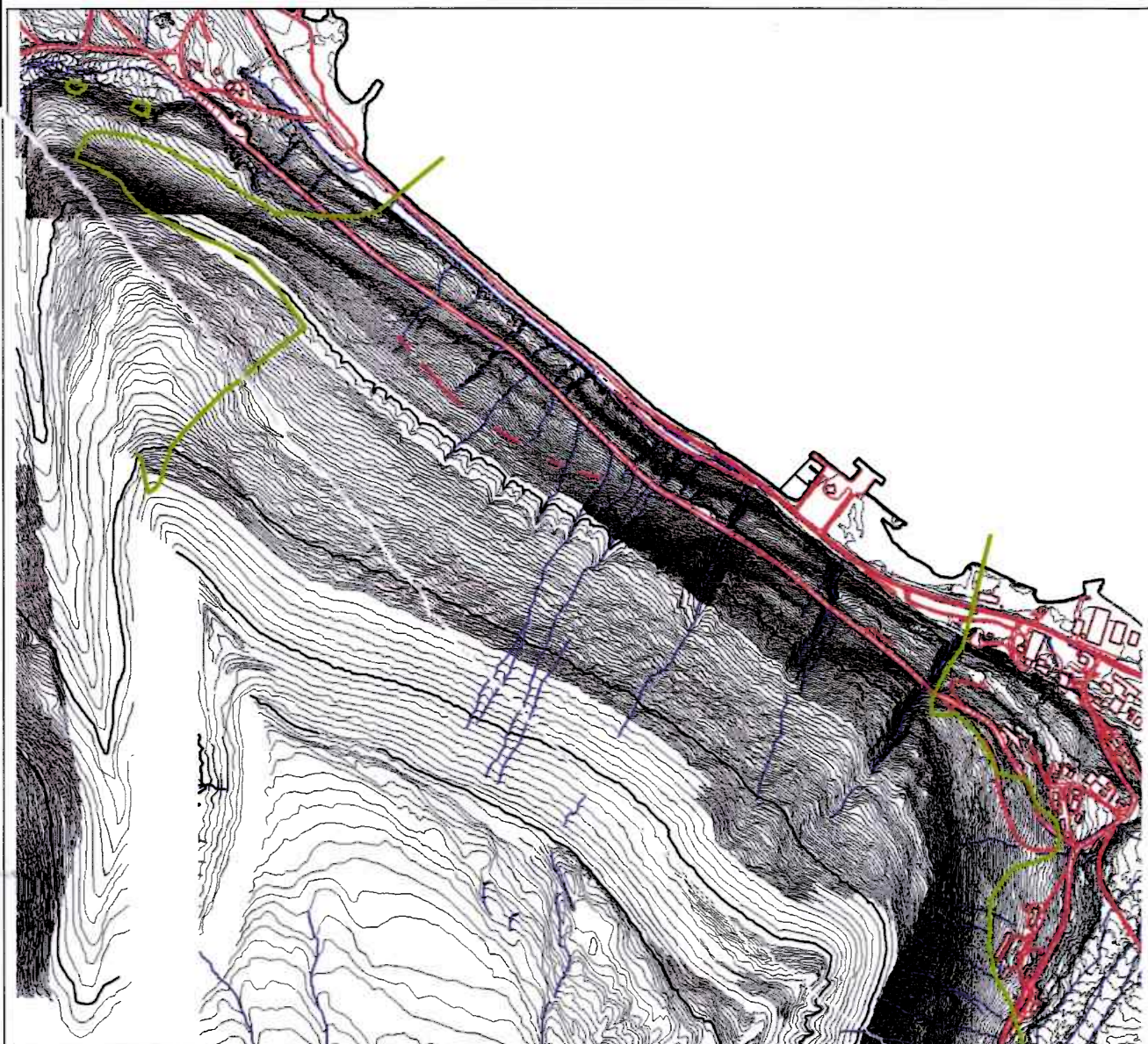
Skredbaneprofil

Tegner  
SBa

Dato  
2008-07-21







0m 500m 1000m

Skredgrenser med årlig sannsynlighet  $p \approx 1 \times 10^{-3}$



**LONGYEARBYEN LOKALSTYRE - BURMAVEGEN**

Rapport nr.  
20081311-1

Figur nr.  
8

Kart med skredgrenser utarbeidet på grunnlag av  
terrengberegninger.

Tegner  
SBa

Dato  
2008-07-21



# Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



| <b>Dokumentinformasjon/Document information</b>                             |                                       |                                                       |                    |                                                          |                                                                                    |                                                           |  |                                                                        |  |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--|------------------------------------------------------------------------|--|
| Dokumenttittel/Document title<br>Bur.navegen - Vurdering av skredfare       |                                       |                                                       |                    |                                                          |                                                                                    | Dokument nr./Document No.<br>20081311-1                   |  |                                                                        |  |
| Dokumenttype/Type of document                                               |                                       | Distribusjon/Distribution                             |                    |                                                          |                                                                                    | Dato/Date<br>22. juli 2008                                |  |                                                                        |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> Rapport/Report                          |                                       | <input type="checkbox"/> Fri/Unlimited                |                    |                                                          |                                                                                    | Rev.nr./Rev.No.<br>0                                      |  |                                                                        |  |
| <input type="checkbox"/> Teknisk notat/Technical Note                       |                                       | <input checked="" type="checkbox"/> Begrenset/Limited |                    |                                                          |                                                                                    |                                                           |  |                                                                        |  |
|                                                                             |                                       | <input type="checkbox"/> Ingen/None                   |                    |                                                          |                                                                                    |                                                           |  |                                                                        |  |
| Oppdragsgiver/Client<br>Longyearbyen Lokalstyre                             |                                       |                                                       |                    |                                                          |                                                                                    |                                                           |  |                                                                        |  |
| Emneord/Keywords<br>snow avalanche, slushflow, rock fall                    |                                       |                                                       |                    |                                                          |                                                                                    |                                                           |  |                                                                        |  |
| <b>Stedfesting/Geographical information</b>                                 |                                       |                                                       |                    |                                                          |                                                                                    |                                                           |  |                                                                        |  |
| Land, fylke/Country, County<br>Svalbard                                     |                                       |                                                       |                    |                                                          |                                                                                    | Havområde/Offshore area                                   |  |                                                                        |  |
| Kommune/Municipality<br>Svalbard                                            |                                       |                                                       |                    |                                                          |                                                                                    | Feltnavn/Field name                                       |  |                                                                        |  |
| Sted/Location<br>Burmavegen, Longyearbyen                                   |                                       |                                                       |                    |                                                          |                                                                                    | Sted/Location                                             |  |                                                                        |  |
| Kartblad/Map<br>Adventdalen                                                 |                                       |                                                       |                    |                                                          |                                                                                    | Felt, blokknr./Field, Block No.                           |  |                                                                        |  |
| UTM-koordinater/UTM-coordinates<br>Sone 33, 8684400N, 513000Ø               |                                       |                                                       |                    |                                                          |                                                                                    |                                                           |  |                                                                        |  |
| <b>Dokumentkontroll/Document control</b>                                    |                                       |                                                       |                    |                                                          |                                                                                    |                                                           |  |                                                                        |  |
| Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001 |                                       |                                                       |                    |                                                          |                                                                                    |                                                           |  |                                                                        |  |
| Rev./<br>Rev.                                                               | Revisjonsgrunnlag/Reason for revision | Egen-<br>kontroll/<br>Self<br>review<br>av/by:        |                    | Sidemanns<br>-kontroll/<br>Colleague<br>review<br>av/by: |                                                                                    | Uavhengig<br>kontroll/<br>Independent<br>review<br>av/by: |  | Tverrfaglig<br>kontroll/<br>Inter-<br>disciplinary<br>review<br>av/by: |  |
| 0                                                                           | Originaldokument                      | SBa                                                   | <i>[Signature]</i> | EH                                                       | <i>[Signature]</i>                                                                 |                                                           |  |                                                                        |  |
|                                                                             |                                       |                                                       |                    |                                                          |                                                                                    |                                                           |  |                                                                        |  |
|                                                                             |                                       |                                                       |                    |                                                          |                                                                                    |                                                           |  |                                                                        |  |
|                                                                             |                                       |                                                       |                    |                                                          |                                                                                    |                                                           |  |                                                                        |  |
|                                                                             |                                       |                                                       |                    |                                                          |                                                                                    |                                                           |  |                                                                        |  |
|                                                                             |                                       |                                                       |                    |                                                          |                                                                                    |                                                           |  |                                                                        |  |
|                                                                             |                                       |                                                       |                    |                                                          |                                                                                    |                                                           |  |                                                                        |  |
|                                                                             |                                       |                                                       |                    |                                                          |                                                                                    |                                                           |  |                                                                        |  |
|                                                                             |                                       |                                                       |                    |                                                          |                                                                                    |                                                           |  |                                                                        |  |
| Dokument godkjent for utsendelse/<br>Document approved for release          |                                       | Dato/Date<br><br>22.07-08                             |                    |                                                          | Sign. Prosjektleder/Project Manager<br><i>Steinar Bakkehoi</i><br>Steinar Bakkehoi |                                                           |  |                                                                        |  |

NGI 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.

NGI arbeider i følgende markeder: olje og gass, bygg og anlegg, 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](http://www.ngi.no)

NGI 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 environment, installations and structures.

NGI works within the oil and gas, 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](http://www.ngi.no)





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

Besøksadresse/Street address:  
Sognsvelen 72, NO-0865 Oslo

Awd Trondheim/Trondheim office:  
PO Box 1230 Pipanterot  
NO-7462 Trondheim  
Norway

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

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

[ngi@ngi.no](mailto:ngi@ngi.no)  
[www.ngi.no](http://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