NGI

Vannledningsdalen-Gruvedalen, Longyearbyen

Skredfarevurdering

20011167-1 15. oktober 2001

Oppdragsgiver: **Svalbard Samfunnsdrift AS**

Kontaktperson: Seksjonsleder Dag Brekke
Kontraktreferanse: Kontrakt av 15.06.01

For Norges Geotekniske Institutt

Prosjektleder: Erik Hestnes

Rapport utarbeidet av: Erik Hestnes

Kontrollert av: Steinar Bakkehøi

Arbeid også utført av: Steinar Bakkehøi

048. Bra-Trykk AS

Sammendrag

Norges Geotekniske Institutt har på anmodning fra Svalbard Samfunnsdrift AS revurdert tidligere skredfaregrenser på strekningen Vei 230 – Gruvedalen og utarbeidet tilsvarende grenser på strekningen Vannledningsdalen – Vei 230. I samråd med SSD er faregrensa spesifisert som rekkevidden for skred med sannsynlighet 1×10^{-3} pr. år, framstilt på digitalt kart og levert i SOSI format.

Kjente skriftlige kilder vedrørende snø- og skredforhold i området er benyttet, dessuten tilgjengelig fotomateriale, digitale kart og meteorologiske data. Videre er det benyttet oppdaterte beregningsmodeller og faglige metoder.

Snøskred er ansett for å være den kritiske faretypen. I bebygde områder er det utarbeidet to faregrenser, henholdsvis *beregnet rekkevidde ved naturlig terreng* og *redusert rekkevidde som følge av hus og andre inngrep*. Der hvor flomskred er vurdert til å kunne nå lengre enn snøskred er dette angitt med egen signatur, fordi rekkevidden til flomskred er vurdert til å kunne begrenses ved enkle terrengmessige inngrep.

Innhold

1 INNLEDNING 4

2 OPPDATERING AV VÆR- OG SKREDMESSIGE FORHOLD 5

3 SKREDFAREN I OMRÅDE VEI 232 - GRUVEDALEN 6
3.1 Snøskred 6
3.2 Flomskred 7

4 SKREDFAREN OVAFOR VEI 230 7

5 SKREDFAREN I OMRÅDE VEI 222 - VEI 228 7
5.1 Snøskred – Utløp uten bebyggelse. Sannsynlighet $1x10^{-3}$ pr. år. 8
5.2 Snøskred – Utløp med bebyggelse. Sannsynlighet $1x10^{-3}$ pr. år. 9
5.3 Flomskred – Utløp uten og med bebyggelse. 9
5.4 Tiltak mot flomskred 10

Vedlegg **A - F**
Foto **1 – 9**
Figur **1 – 10**

Kontroll- og referanseside

1 INNLEDNING

Norges Geotekniske Institutt (NGI) har på anmodning fra Svalbard Samfunnsdrift AS (SSD) ved brev av 16.02.01 vurdert sannsynlig rekkevidde av snø- og flomskred på strekningen Vannledningsdalen-Gruvedalen (Foto 1-2, Fig. 1-3). Flomskred og eventuelle andre problem knyttet til Vannledningselva har ikke vært gjenstand for vurdering i denne rapporten.

I samråd med SSD ved D. Brekke den 14.04 d.å. ble det bestemt at det på kart over området skulle angis to skredfaregrenser. Grense for skred med sannsynlighet $1x10^{-3}$ pr. år, henholdsvis med og uten bebyggelse. NGI har i tillegg valgt å avmerke faregrense for flomskred med egen signatur der hvor denne ligger lengre ned enn faregrensa for snøskred. Grunnen er at relativt beskjedne tiltak vil kunne begrense rekkevidda til flomskred. Der hvor det tidligere er uført farevurdering er faregrensa revurdert på basis av oppgraderte modeller og metoder.

Skredfaren i området Vei 222-226 er ikke tidligere vurdert, med unntak av en foreløpig vurdering av et område ved vei 222 (NGI-Teknisk notat 20001324 av 21.12.2000). Ovafor bebyggelsen i området er det tydelige spor etter flomskredene i juli 1972 og august 1981. De mest markerte flomskredbaner og spor etter eldre hendelser, ble kartlagt av NGI i 1985 (Fig. 4). Når det gjelder snøskred så er det ikke framkommet opplysninger om slike hendelser ovafor denne bebyggelsen. Snøskredfaren ovafor vei 228-230 er derimot beskrevet i NGI-rapport 904025-2. Her ble det også vurdert forebyggende tiltak mot akutt skredfare og skissert forslag til sikring av bebyggelsen.

Mellom Vei 230 og Gruvedalen er det tidligere utarbeidet faregrense for skred med sannsynlighet $1x10^{-3}$ pr. år (jfr. NGI-rapport 924004-1 og NGI-Teknisk notat 20001324 av 22.12.00). Videre har NGI på oppdrag av Instanes Svalbard AS beregnet rekkevidde og laster ved forventet største utløp av snø- og flomskred - dvs. enda sjeldnere skred - i området omkring høgdebassenget (NGI-oppdrag 984018, brev av 27.02.1998). Tidligere skredfaregrense i dette området er nå revurdert og enkelte mindre justeringer foretatt. NGI fant det ulogisk å avslutte grensejusteringen ved høgdebassenget, når den tidligere undersøkelsen omfattet området helt fram til Gruvedalen.

Ettersom det bare er dokumentert snøskredhendelser innen en mindre del av undersøkelsesområdet samtidig som lokaltopografien ligger til rette for lange skredutløp i det meste av området, har NGI vært interessert i å skaffe seg en best mulig oversikt over hvordan snøforholdene i fjellsidene kan variere. SSD ble derfor ved vårt brev av 06.04.01 anmodet om hjelp til å søke opp vinterbilder av fjellsidene, uavhengig av år. Dessverre ble resultatet negativt.

Digitale kartdata er stilt til rådighet av SSD. Ved vurdering av rekkevidden av snøskred er det benyttet tre forskjellige matematiske modeller (Vedlegg B). Til støtte for vurderingen av faren for flomskred er dokumentasjonene fra 1985

benyttet (NGI-rapport 52703-1) og tolkning av flybilder (IR-bilder). Tilgjengelige meteorologiske data fra stasjonen Longyearbyen (1957-1976) og Svalbard Lufthavn (1975-2001) er benyttet. Noen nøkkeldata om klima og skred er samlet i vedlegg C. Videre er erfaringene fra NGIs ulike oppdrag i Longyearbyen og vårt forskningsarbeid omkring snøskred på Svalbard benyttet (Hestnes 1994, 1999). Relevante oppdragsrapporter for SSD er angitt i Vedlegg D.

For å få en best mulig oversikt over lokaltopografi, snø- og skredforhold i undersøkelsesområdet gjennomførte S. Bakkehøi og E. Hestnes, NGI, blant annet befaring av de bratte fjellsidene den 08.-09.05.2001.

NGIs konklusjoner er basert på en samlet evaluering av terrengforhold, tilgjengelige rapporter og bilder, beregningsresultat, meteorologiske data og de klimatiske forhold i området. Resultatet er således i betydelig grad et produkt av erfaringsmessig skjønn.

2 OPPDATERING AV VÆR- OG SKREDMESSIGE FORHOLD

Ajourførte meteorologiske data er innhentet og analysert. I perioden 1992-2001 har det 3 ganger forekommet vinterdøgnnedbør på mer enn 20 mm (Vedlegg C). Høgste nedbør forekom med mildvær fra SV den 02.12-05.12.1995. Da falt det 55.6 mm på 4 døgn, i hovedsak som regn i lavereliggende strøk og som sludd og snø i fjellene. I de to andre periodene kom det snø med vind fra SV etterfulgt av vedvarende kald vind fra henholdsvis NV og Ø.

Om det gikk snøskred i nærområdet til Longyearbyen ved disse anledningen er ikke kjent. I 10-års perioden er det imidlertid registrert mange snøskred ved langt mindre nedbør enn nevnt foran. De fleste skredene har skjedd under nedbør ledsaget av vindomlagring av snø. Enkelte ganger har omlagringen ført til skavlnedfall som har utløst skred. Skred har også forekommet uten nevneverdig forutgående nysnøtilvekst og begrenset vindtransport av snø, likesom de i Lia den 05.04 og 19.11.1991 (Vedlegg C, Hestnes 1994, 1999). Dette antyder at det i arktiske snødekker i større grad enn på fastlandet, kan bevares eller dannes svake lag som kan gå til brudd uten påviselige ytre påvirkninger, f.eks. rimlag og løst lagrede krystaller.

De oppdaterte påregnelige maksimale nedbørhøgder for Svalbard Lufthavn viser fortsatt lavere verdier enn tilsvarende verdier beregnet for den tidligere klimastasjonen i Longyearbyen. Som tidligere beskrevet kan dette blant annet skyldes at målerplasseringen på flyplassen ligger mer vindutsatt enn den tidligere plasseringen på Skjæringa. For øvrig er det ikke dokumentert at den årlige nedbørsmengde og intensitet har avtatt over de siste 45 år, snarere tvert imot. I perioden 1934-1975 økte den årlige nedbørmengden på Isfjord Radio gradvis. En trend som også gjaldt Longyearbyen (Vedlegg E).

Forholdet mellom værforhold og skredhendelser de siste 10 åra viser at man pa Svalbard ikke kan basere skredvurderinger på sammenhengen mellom nedbør- og vindforhold på samme måte som på fastlandet (Hestnes 1994, 1999).

3 SKREDFAREN I OMRÅDE VEI 232 - GRUVEDALEN

For revurdering av grensa for skred med sannsynlighet $1x10^{-3}$ pr. år i dette området er de tidligere skredvurderinger og områdebeskrivelsen i NGI-rapport 924004-1 (Vedlegg F), lagt til grunn. Videre er som nevnt forholdene i fjellsida studert nærmere, oppdaterte meteorologiske data og skredmessige forhold er analysert, og det er benyttet oppgraderte beregningsmodeller.

3.1 Snøskred

Befaringen av fjellsida bekreftet tidligere inntrykk av at det skal lite snø til for å slette alle ujevnheter (Foto 2a-b). En utjevnet fjellside vil i det alt vesentlige være brattere enn 30° ovafor kote 200. Øst for strammesentralen vil skråningen til dels være brattere enn 30° helt ned mot kote 130 (Fig. 3).

Ved snøforhold som vist på Foto 2a vil det f.eks. ved sterk utstråling etterfulgt av snøvær som starter under rolige vindforhold, kunne dannes ustabilt sjikt mot den gamle snøoverflata. Hvorvidt snøskred vil forekomme vil blant annet avhenge av hvordan eventuelle svake sjikt utvikles gjennom pålagringsperioder og intensiteten i pålagringen. Ettersom gradienten i øvre del bare er omkring 35° så forventer vi at skredhyppigheten vil være liten, men topografisk sett ligger det til rette for skred i hele fjellsida.

De snøskred som utløses fra den sentrale delen av fjellsida vil kunne nå lengst, det vil si i området for profilene P25 og P27. Eventuelle skred som utløses lengst NV, det vil si mot den kanten som faller av mot Vei 230/232, har relativt små utløsningsområder i forhold til arealet i utløpsområdet. De vil derved får kortere utløp og utløpene avtar jo nærmere kanten man kommer (Foto 2c). Tilsvarende forhold vil man ha mot Gruvedalen i SØ. Eksempler på terrengprofil med beregning av rekkevidde og hastigheter for spesifiserte inngangsverdier er vist på figur 5-6.

Evalueringen av de nye modellberegningene sammen med de andre nevnte faktorer har imidlertid gitt forholdsvis små endringer i den tidligere angitte faregrense for snøskred på $1x10^{-3}$ pr.år. Grensa er justert ned 20-50 meter i den sentrale delen av området og omtrent tilsvarende i NV og SØ, ellers er endringene ubetydelige (Fig. 3).

3.2 Flomskred

Flomskred som kunne være til fare for høgdebassenget ble i 1998 anslått til å kunne nå 20-30 m forbi dette (Foto 3). Det vil si, nå fram til kanten av en noe brattere skråning.

Flomskredmasser med konsekvens for vanlig bebyggelse antas å fortsette utfor denne kanten og stanse på det slakere området nedafor, samt å følge atkomstvegen til bassenget et stykke nedover. Fareområdet for flomskred er således trukket 75-125 m lengre ned enn i rapporten fra 1992 (Fig. 3).

De spor etter flomskred som finnes i terrenget nedafor taubanen viser avsetninger av begrenset størrelse (Foto 4, Vedlegg F). Selv om framtidige skred skulle bli noe større enn de tidligere, mener NGI at det ved relativ små lede-/fangvoller vil være mulig å redusere utbredelsen av flomskred til området ovafor den angitte faregrensa for snøskred.

4 SKREDFAREN OVAFOR VEI 230

Skredfaren i dette området er blant annet vurdert på basis av tidligere skredvurderinger og feltundersøkelser, herunder oppsummeringer gitt i NGI-rapportene 904025-2 og 934037-1 (Foto 5).

Feltbefaring for å fastsette skredgrense med sannsynlighet $1x10^{-3}$ pr. år i området ble imidlertid først gjennomført den 19.06.2000, og da i henhold til dagens metoder og erfaringer (Fig. 3). Snøskred er den dominerende faretypen i området og faregrensas forløp er som nevnt tidligere dokumentert i NGI-Teknisk notat 20001324, datert 22.12.2000.

5 SKREDFAREN I OMRÅDE VEI 222 - VEI 228

For vurderingene innen dette området er blant annet tidligere vurderinger og områdebeskrivelser gitt i NGI-rapportene 52703-1, 904025-1&2, lagt til grunn. Skredfare og klimatiske forhold relatert til området er behandlet i NGI-rapport 944079-1 og i NGI-Teknisk notat 20001324 av 21.12.2000. De klimatiske forutsetningene for snøskred er vurdert på basis av analysen i NGI-rapport 924004-1 og oppdaterte meteorologiske data og skredmessige forhold. Videre er som nevnt forholdene i fjellsida studert ved befaring i mai d.å.. Den angitte rekkevidden for snøskred med returperiode $1x10^{-3}$ pr. år er dessuten underbygd ved bruk av beregningsmodeller. Den angitte begrensning i skredutløp som følge av den eksisterende bebyggelsen, er basert på en skjønnsmessig vurdering.

5.1 Snøskred – Utløp uten bebyggelse. Sannsynlighet $1x10^{-3}$ pr. år.

Ved befaringen i fjellsida ble det konstatert at det er partier der terrenget er slakere enn 30°. Dette dokumenteres også av det digitale kartutsnittet som gir et relativt bra bilde av hvor i fjellsida det er brattere og slakere enn 30° (Fig. 3). Mellom kotene 180-275 er disse partiene til dels knyttet til ujevnheter i terrenget. Fjellsida er brattest ovafor tippområdet ved kote 270.

Fjellsida karakteriseres ved mange potensielle utløsningsområder av begrenset størrelse. Dette framgår til en viss grad av snø- og terrengforholdene på foto 1a-b. Lengst SV, det vil si ovafor veg 222, strekker de potensielle utløsningsområdene omkring profilene P1& P3-P5 seg opp til ca. kote 180 (Fig.3). Foto 6 viser at snøskred vil kunne utløses over hele dette området samtidig.

Ovafor Vei 224-226 er det potensielle utløsningsområder i ulike høgdenivå. Også her er de nedre utløsningsområdene de mest framtredende, det vil si de som strekker seg opp mot kotene 190-220 omkring profilene P6-P12. Ved profil P6 er det også et relativt stort utløsningsområde mellom kotene 240-320 og ved profil P9 et mer avgrenset et oppunder tippen ved kote 270 (Fig. 3). Foto 1a antyder at det er lite ekstra snø som skal til for at de høgestliggende utløsningsområdene skal bli sammenhengende. Det er snøskred utløst under slike forhold, som vil kunne gi lengst utløp omkring Vei 224.

Den mest skredkritiske delen av den høge fjellsida anses for å være ovafor Vei 228, det vil si omkring profilene P13-P14. Skred antas å forekomme hyppigst nedafor kote 150, det vil si i forlengelsen av skredområdet ovafor Vei 230. Forsenkningen videre opp mot kote 200 og fonnområdet mellom kotene 250-350 i øvre del av fjellsida, er imidlertid også typiske utløsningsområder for snøskred. Det er skred som utløses omkring profil P13 i øvre del av fjellsida som vil kunne få lengst rekkevidde i området ved Vei 228 (Foto 5, Fig. 3).

Foto 1a viser snøforholdene i fjellsida en vinter med betydelig mindre nedbør enn normalt, men med lite mildværsinnslag. Vindfordelingen var tilnærmet som normalt. Det gikk mange skred i Longyearbyen i forbindelse med to nedbørperioder i mars dette året, blant annet et ovafor Vei 230. Vindretningen i disse perioder ble registrert til å være SØ-lig. Det er imidlertid ikke kjent om det gikk skred fra skråningene ovafor Vei 222-228 i disse periodene. (Jfr. NGI-rapport 934037-1).

NGIs analyse av foreliggende meteorologiske data tilsier at tilsvarende kjølige vintre som i 92/93 og med betydelige større nedbørmengder ved vind fra sektoren Ø-S, kan forekomme. Slike nedbørperioder kan også etterfølges av vedvarende vind fra sørøstlig kant. Videre er det mulighet for at relative store nedbørmengder under forholdsvis rolige vindforhold kan etterfølges av vind fra samme retning. Forventet nedbørintensitet vil imidlertid være lavere enn man normalt vil ha ellers i Norge. (Jfr. Vedlegg C).

Ettersom de potensielle utløsningsområdene bare er 30-35° bratte så vil skredutløsning også i denne delen av fjellsida, være betinget av at det finnes et særlig svakt sjikt i snødekket. Hyppigheten av skred vil således være liten og forventet rekkevidde kortere enn under sammenlignbare topografiske forhold på fastlandet.

Den angitte faregrense for snøskred med sannsynlighet $1x10^{-3}$ pr. år i området for Vei 222-228, er basert på en samlet skjønnsmessig evaluering av modellberegninger, meteorologiske data, topografiske forhold og faglige erfaringer. Eksempler på terrengprofil med beregning av rekkevidde og hastigheter for spesifiserte inngangsverdier, er vist på figur 7-9.

5.2 Snøskred – Utløp med bebyggelse. Sannsynlighet $1x10^{-3}$ pr. år.

Det er både bebyggelse, rørgater, veier og andre terrenginngrep mellom fjellfoten og den estimerte grensa for skred med sannsynlighet $1x10^{-3}$ pr. år. Disse forhold vil redusere rekkevidden til "dimensjonerende snøskred". I praksis betyr det at med nåværende bebyggelse og tiltak så ligger den reelle faregrensa noe nærmere fjellfoten.

Det er vanskelig å kvantifisere effekten av de forhold som er nevnt. Effekten er derfor skjønnsmessig vurdert utfra beregnede skredhastigheter ved øvre bebyggelse og de tiltak og inngrep som finnes innen de ulike deler av området. Forløpet av den justerte faregrense for snøskred er angitt på figur 3.

5.3 Flomskred – Utløp uten og med bebyggelse.

Vurderingen av faren for flomskred i dette området er i hovedsak basert på det feltarbeidet som ble gjennomført i 1985, diverse bildemateriell som viser den relative fordelingen og omfanget av tidligere flomskredhendelser i fjellsida, andre studier av skråningsprosesser i Longyearbyen (jfr. Hestnes 1994) og vurdering av foreliggende meteorologiske data.

Materiellet viser at frekvens, størrelse og rekkevidde ikke er jevnt fordelt innen området (Foto 7). Der hvor de ferske flomskred har hatt størst omfang og nådd lengst, forventes også framtidige flomskred å kunne bli størst og få den lengste rekkevidden. Rekkevidden av både ferske og eldre flomskredavsetninger og andre overflateformer, er vist på figur 4 & Vedlegg E.

På basis av tolkning av foreliggende materiale og feltarbeid har vi vurdert grensa for flomskred med sannsynlighet $1x10^{-3}$ pr. år til å ligge lengre ut enn faregrensa for snøskred (uten bebyggelse) omkring Vei 222, 226 og 228.

Tar man hensyn til eksisterende bebyggelse og andre tiltak som er gjort i området vil forventet rekkevidde av flomskred bli mindre. I hovedsak om lag

som for tilsvarende grense for snøskred, bortsett fra ved Vei 222 der forventet utløp fortsatt vil være utafor største rekkevidde for snøskred (Fig. 3).

5.4 Tiltak mot flomskred

Enkelte av flomskredene i 1981 gjorde skade på bebyggelse. I 1972 var det få hus i området og bare et pumpehus i Vannledningselva ble skadet (Vedlegg E). Avsetningene etter de forannevnte skredhendelsene som kunne observeres i 1985, var imidlertid av begrenset størrelse ved bebyggelsen (Foto 8-9).

Vi antar at skred med sannsynlighet $1x10^{-3}$ pr. år vil kunne bli en god del større enn de forannevnte og som nevnt også nå lengre ut fra fjellfoten visse steder. Svært begrensede tiltak skal til for å sikre at slike skred ikke når lengre enn "*rekkevidde for snøskred med bebyggelse*". Små lede-/fangvoller vil også kunne redusere faren for skade på bebyggelse og til dels også sikre hus mot slike skred, slik som beskrevet i NGI-Teknisk notat 20001324 av 21.09.2000 (Foto 10).

6 SLUTTORD

Hestnes (1994) har en referanseliste som omfatter relevant litteratur for vurderingene i denne rapporten. I samråd med SSD er faregrensa framstilt på digitalt kart og levert i SOSI format. Flomskred og eventuelle andre problem knyttet til Vannledningsdalen kan vurderes dersom det er ønskelig.

Vedlegg A

Foto og figurer

048 Bra-Trykk AS

Foto 1a Fjellsida ovafor Vei 222 - Vei 230 fotografert i slutten av mars 1993. Det alt vesentlige av skråninge under kote 180-200 er snødekt. Mindre ujevnheter går nesten i ett med snøoverflata. De store stikker tydelig fram.

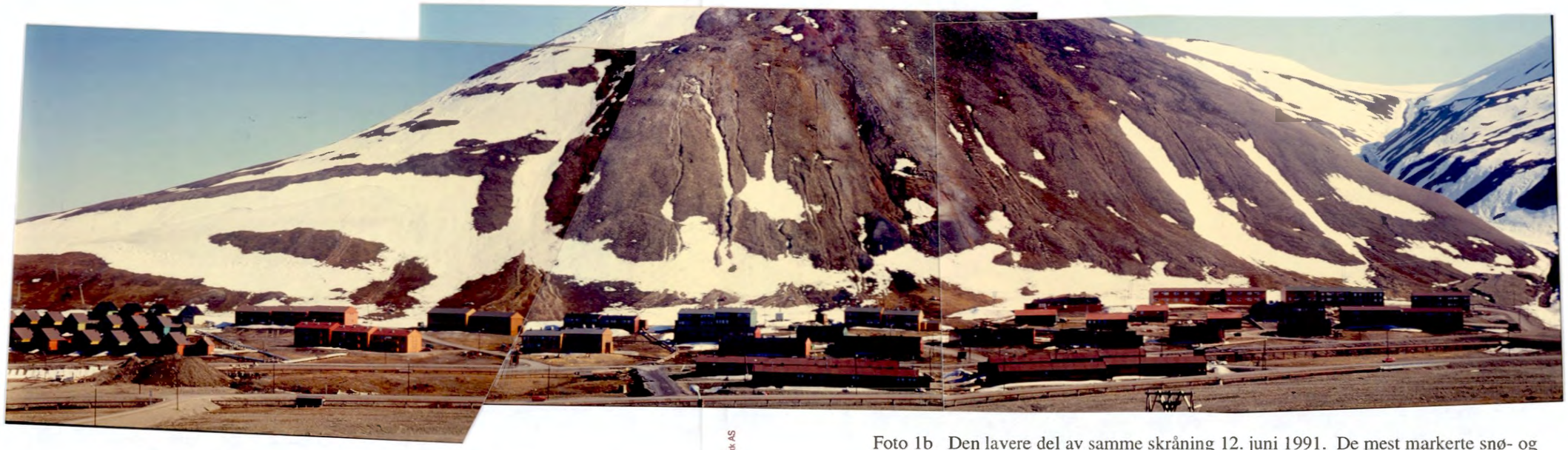


Foto 1b Den lavere del av samme skråning 12. juni 1991. De mest markerte snø- og flomskredbanene er fortsatt fylte av snø. De mindre markerte er snøfrie.

048 Bra-Trykk AS

Foto 2b Fjellsida mellom Vei 230 – Gruvedalen fotografert 25. april 1992. Lite snø framhever ujevnhetene i fjellsida.

Foto 2a Fjellsida mellom Vei 230 – Gruvedalen fotografert i slutten av mars 1993. Snøen dekker det alt vesentligste av ujevnhetene i fjellsida. Bare markerte former trer tydelig fram.

Foto 2c Selv når det er lite snø så akkumuleres det snø langs fjellryggen ovafor Vei 228-230. Der det er brattest øverst i fjellsida dannes det ofte en skavl.

048. Bra-Trykk AS

Foto 3 Området ved strammestasjonen og høgdebassenget 8. mai 2001.

Foto 4 Nedafor strammestasjonen er flomskredavsetningene relativt beskjedne. Den markerte skredbanene i fjellsida er fylt opp med snø.

048 Bra-Trykk AS

Foto 5 Skredområdet ovafor Vei 228-230 den 12. juni 1991. Sporene etter skredet den 5. april s.å. er godt synlige. Det alt vesentlige av akkumulasjonsområdet mellom kotene 250-350 er fortsatt snødekt.

Foto 6 De potensielle utløsningsområdene for snøskred opp mot kote 180 er nesten sammenhengende. Foto mars 1993.

048. Bra-Trykk AS

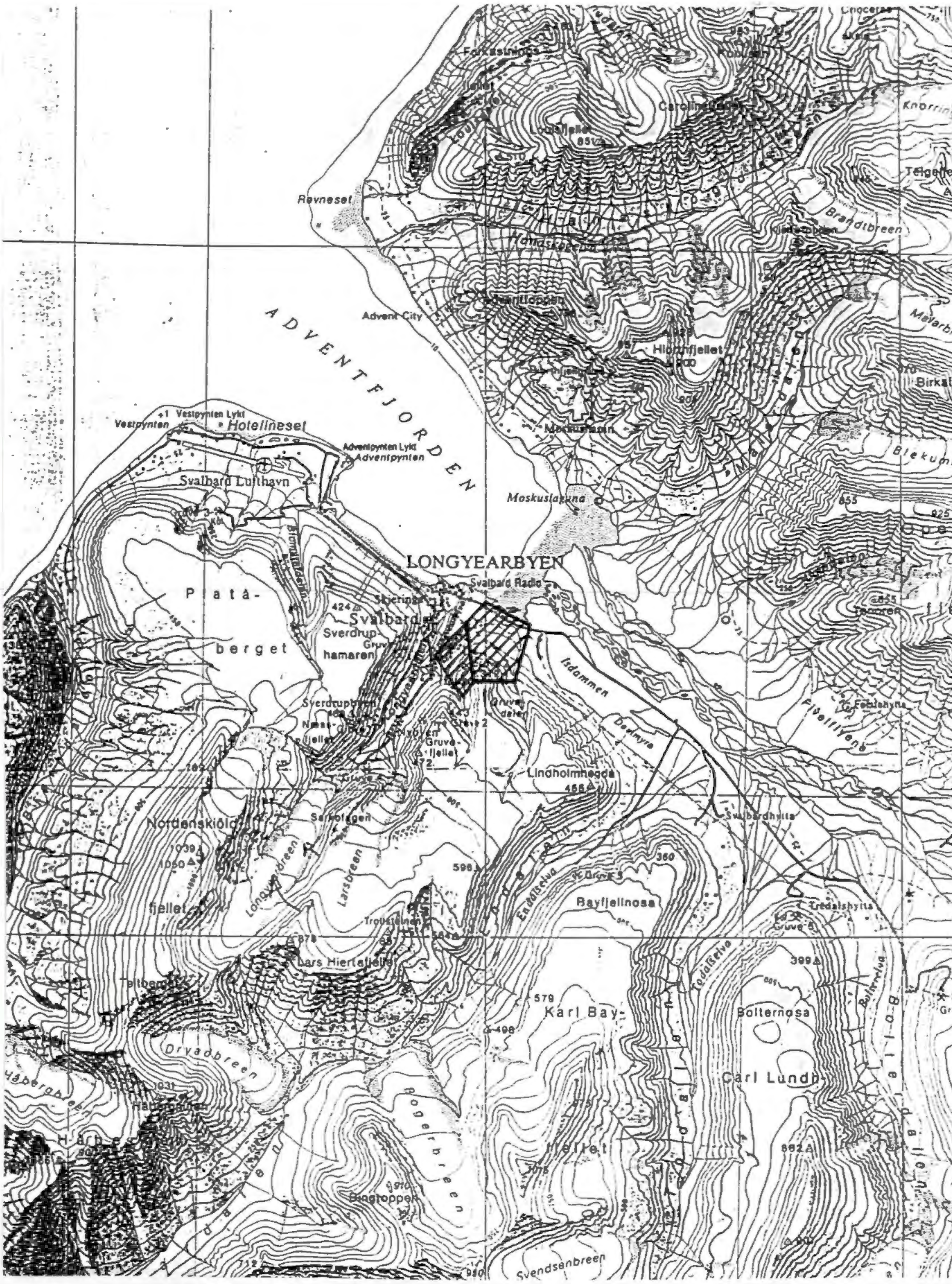
Foto 7 Bebyggelsen i Vei 222-228 fotografert i august 1985. Flomskredbanene i fjellsida er framtredende. Husa ovafor H. Rekstens veg ligger vesentlig på skredavsetninger.

Foto 8 Flomskredbaner ovafor bebyggelsen i Vei 226.

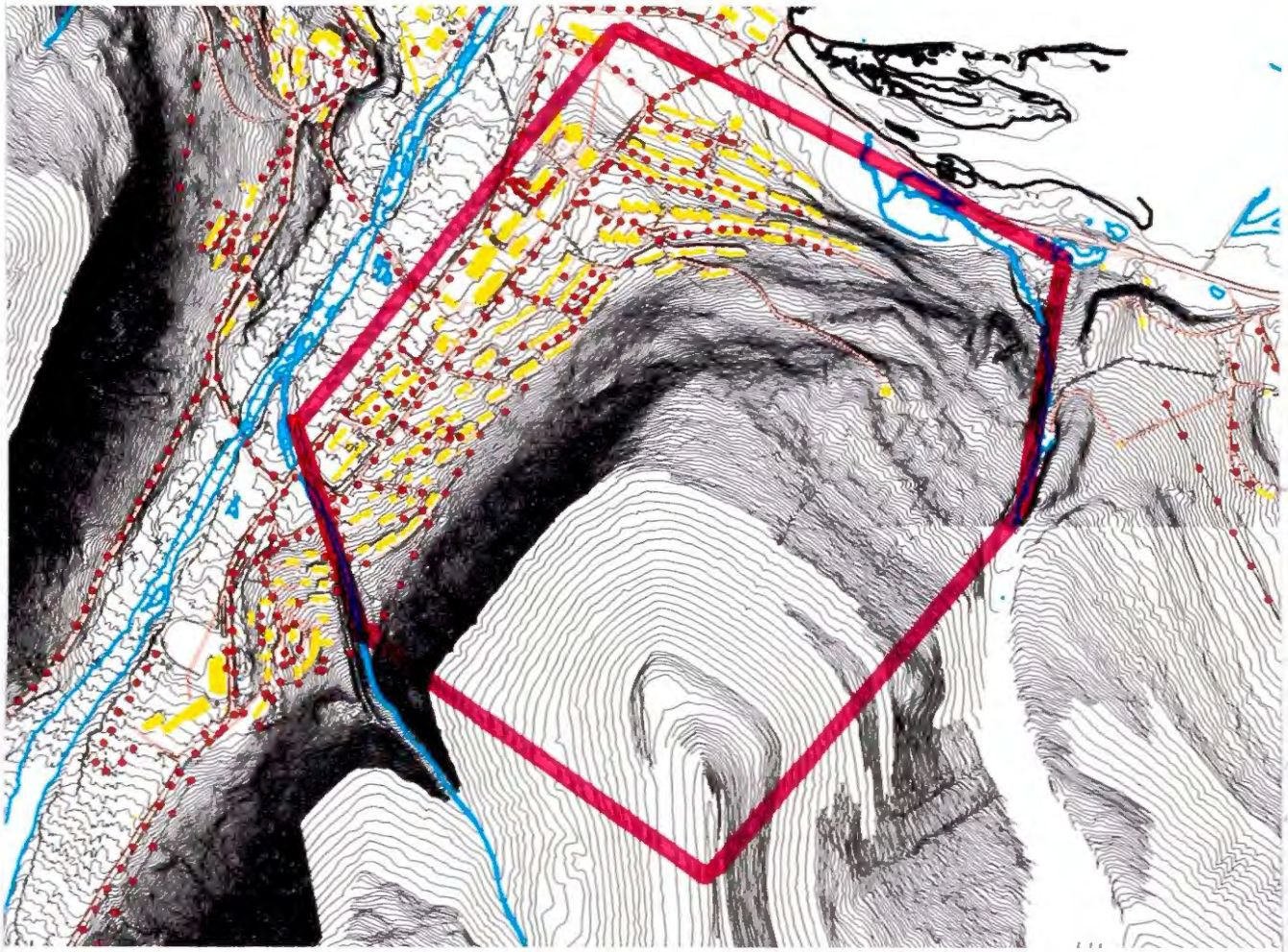
048 Bra-Trykk AS

Foto 9 En lav ledevoll m/fanggrøft anlagt ovafor Vei 222 vil kunne hindre framtidige flomskred fra skråningen å gå mot bebyggelse. Ledevollen kan for eksempel ha en lengderetning som om lag tilsvarende retningen mellom de to stolpene på bildet.

048. Bra-Trykk AS

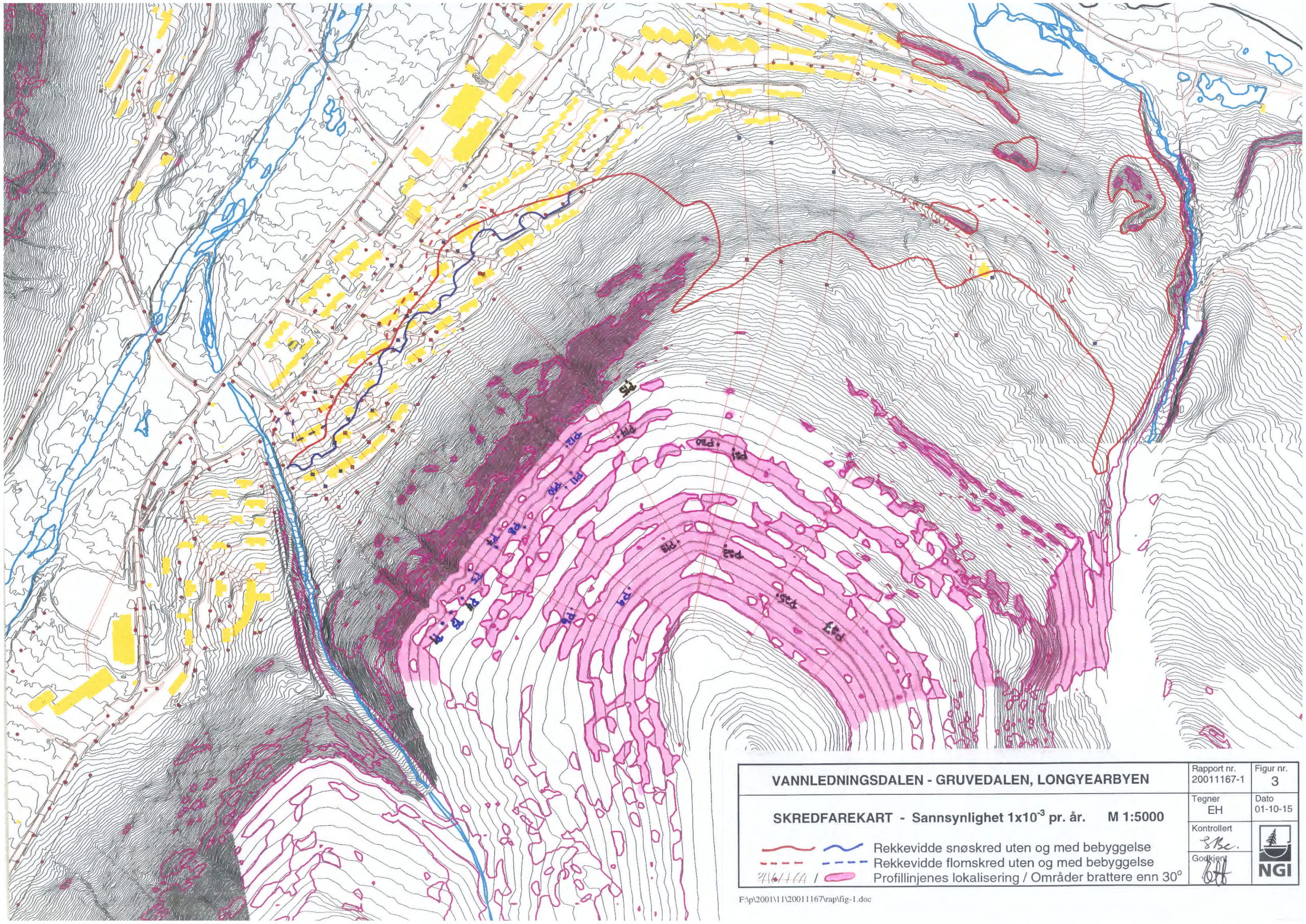


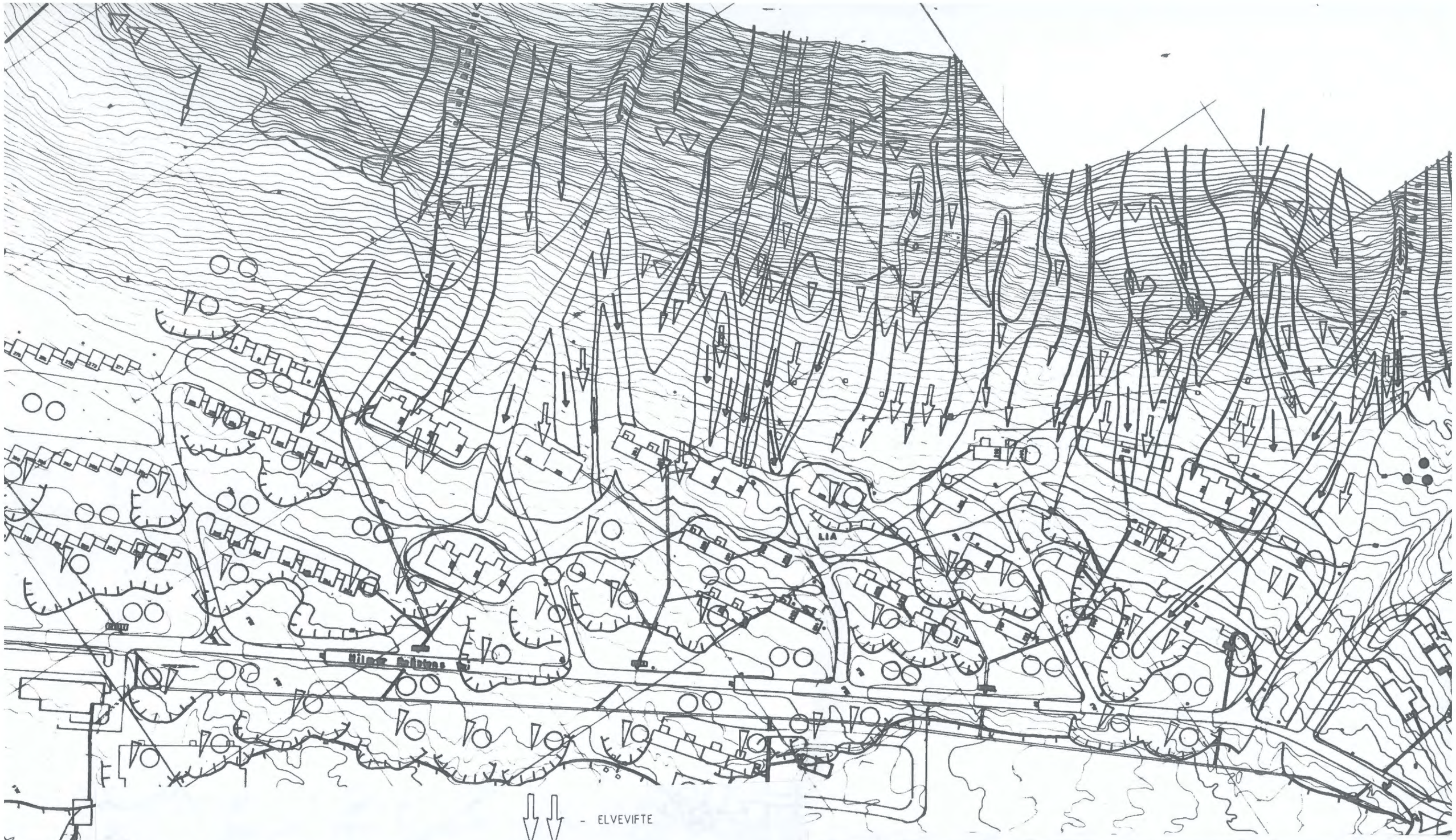
VANNLEDNINGSDALEN - GRUVEDALEN, LONGYEARBYEN	Rapport nr. 20011167-1	Figur nr. 1
UNDERSØKELSESOMRÅDETS BELIGGENHET	Tegner EH	Dato 01-10-15
Målestokk 1 : 100 000	Kontrollert	NGI
	Godkjent	



VANNLEDNINGSDALEN - GRUVEDALEN, LONGYEARBYEN	Rapport nr. 20011167-1	Figur nr. 2
Undersøkelsesområdets beliggenhet i Longyearbyen	Tegner EH	Dato 01-10-15
Målestokk 1 : 15 000	Kontrollert	NGI
	Godkjent	

F:\p\2001\11\20011167\rap\fig-1.doc

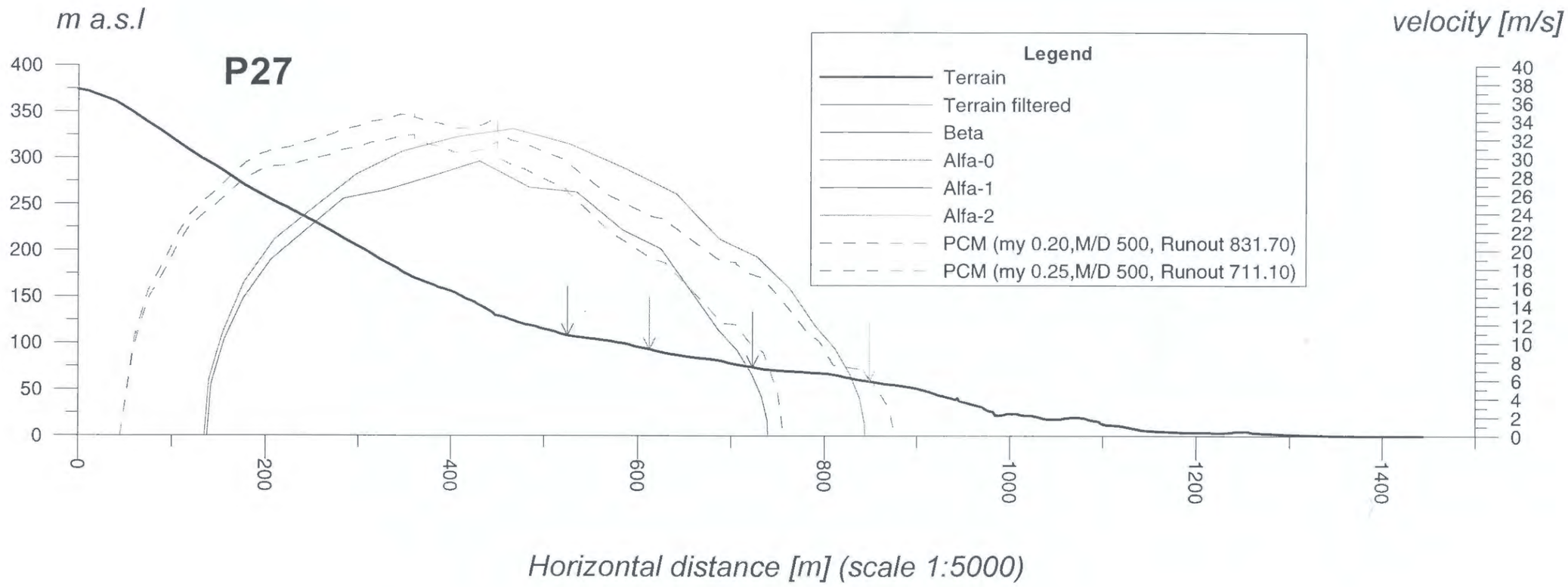

VANNLEDNINGSDALEN - GRUVEDALEN, LONGYEARBYEN
Rapport nr. 20011167-1
Figur nr. 3
SKREDFAREKART - Sannsynlighet 1x10-3 pr. år. M 1:5000
Tegner EH
Dato 01-10-15
Kontrollert
Godkjent
Rekkevidde snøskred uten og med bebyggelse
Rekkevidde flomskred uten og med bebyggelse
Profillinjenes lokalisering / Områder brattere enn 30°
NGI
F:\p\2001\11\20011167\rap\fig-1.doc



- GRENSE MELLOM OVERFLATEFORMER
- BEGRENSNING ELVESLETTE
- EROSJONSKANT PÅ ELVESLETTE
- ELVEAVSETNINGER (uten vegetasjon)
- ELVEAVSETNINGER (sparsom vegtasjon)
- GRENSE IKKE KARTLAGT OMRÅDE
- ELVEVIFTE
- SKREDVIFTE/SKRED
- UR/TALUS
- FLOMSKRED (nyere/tydelig)
- FLOMSKRED (eldre/mindre tydelg)
- SKREDTUNGE/GELIFUKSJONSVALK
- VEGETASJONSDEKKEDE AVSETNINGER

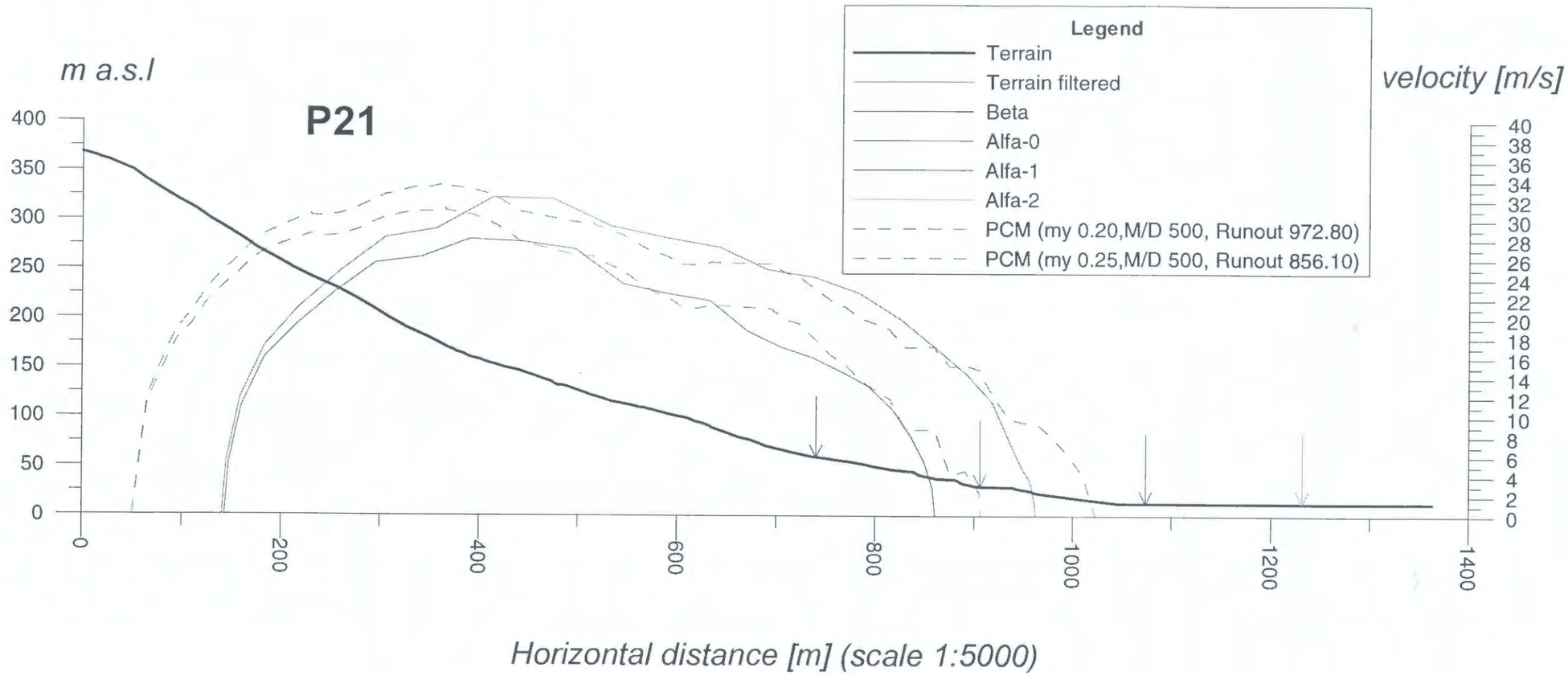
VANNLEDNINGSDALEN - GRUVEDALEN, LONGYEARBYEN	Rapport nr. 20011167-1	Figur nr. 4
Flomskredbaner og spor etter eldre skredhendelser (Etter NGI-Rapport 52703-1)	Tegner EH	Dato 01-10-15
Målestokk 1 : 2 000	Kontrollert	NGI
	Godkjent	

F:\p\2001\11\20011167\rap\fig-1.doc



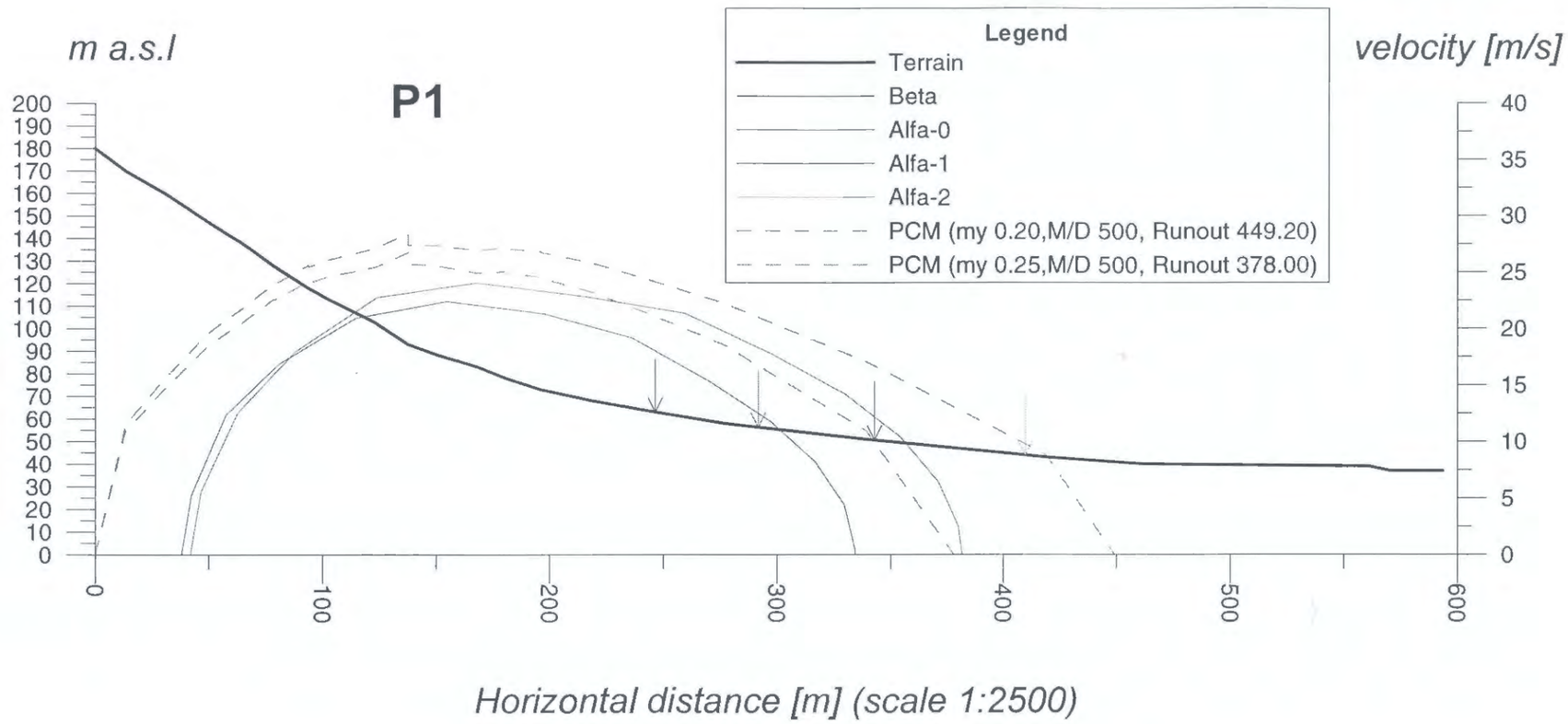
VANNLEDNINGSDALEN - GRUVEDALEN, LONGYEARBYEN	Rapport nr. 20011167-1	Figur nr. 5
Terrengprofil P27 Modellberegning av rekkevidder og hastigheter for ulike friksjonsverdier og standardavvik	Tegner EH	Dato 01-10-15
	Kontrollert	NGI
	Godkjent	

F:\p\2001\11\20011167\rap\fig-1.doc



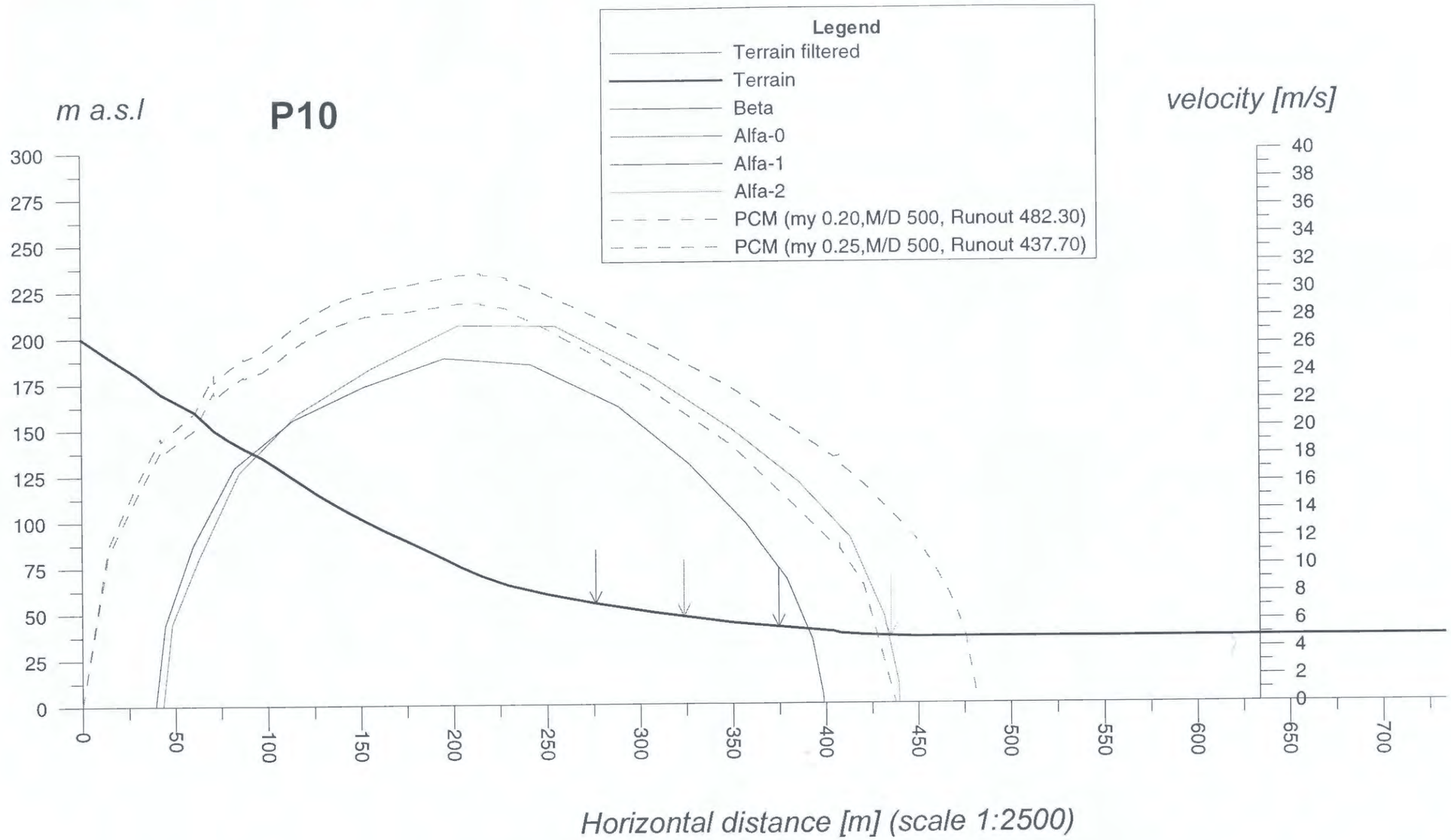
VANNLEDNINGSDALEN - GRUVEDALEN, LONGYEARBYEN	Rapport nr. 20011167-1	Figur nr. 6
Terrengprofil P21 Modellberegning av rekkevidder og hastigheter for ulike friksjonsverdier og standardavvik	Tegner EH	Dato 01-10-15
	Kontrollert	NGI
	Godkjent	

F:\p\2001\11\20011167\rap\fig-1.doc



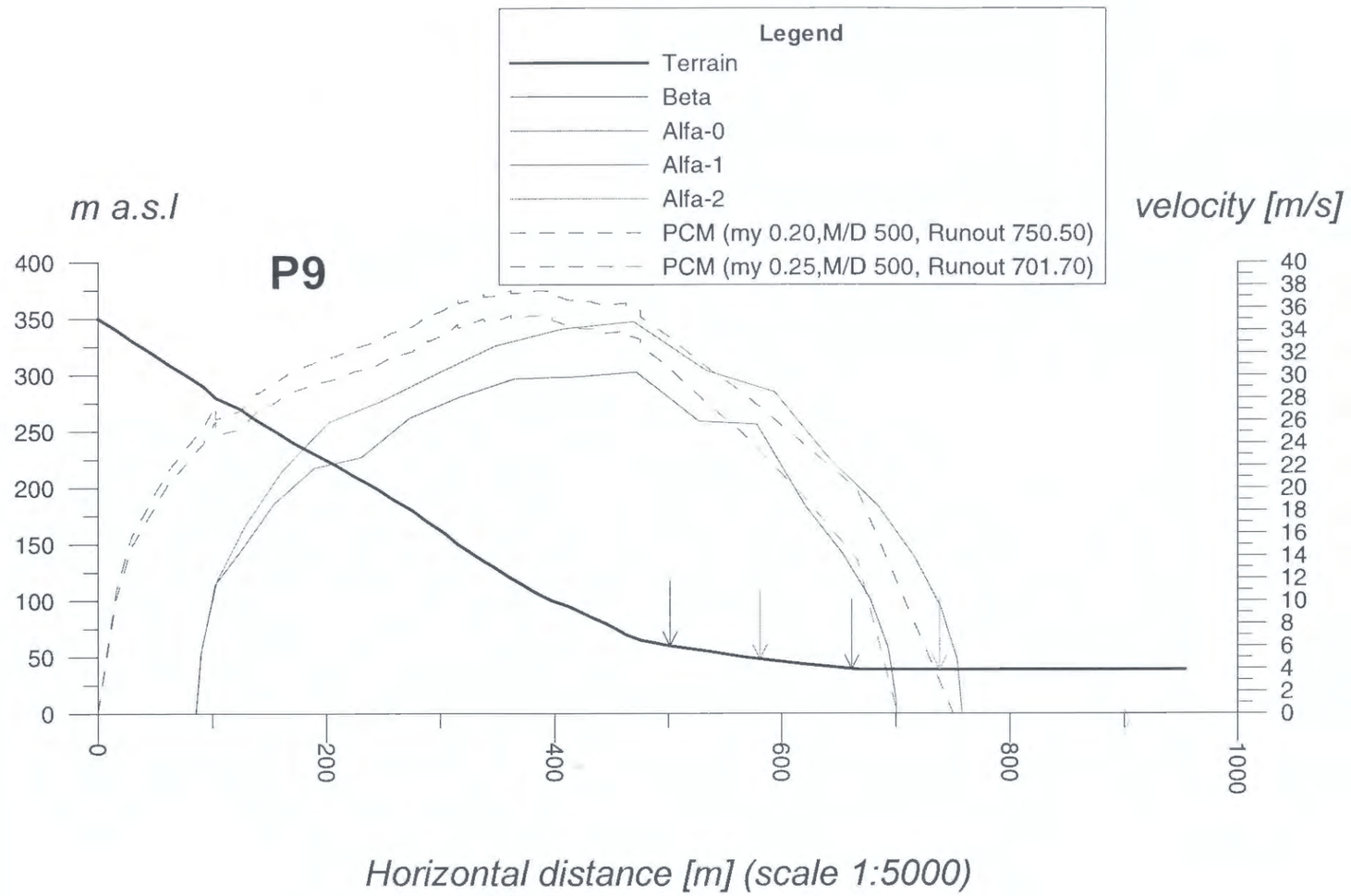
VANNLEDNINGSDALEN - GRUVEDALEN, LONGYEARBYEN	Rapport nr. 20011167-1	Figur nr. 7
Terrengprofil P1 Modellberegning av rekkevidder og hastigheter for ulike friksjonsverdier og standardavvik	Tegner EH	Dato 01-10-15
	Kontrollert	NGI
	Godkjent	

F:\p\2001\11\20011167\rap\fig-1.doc



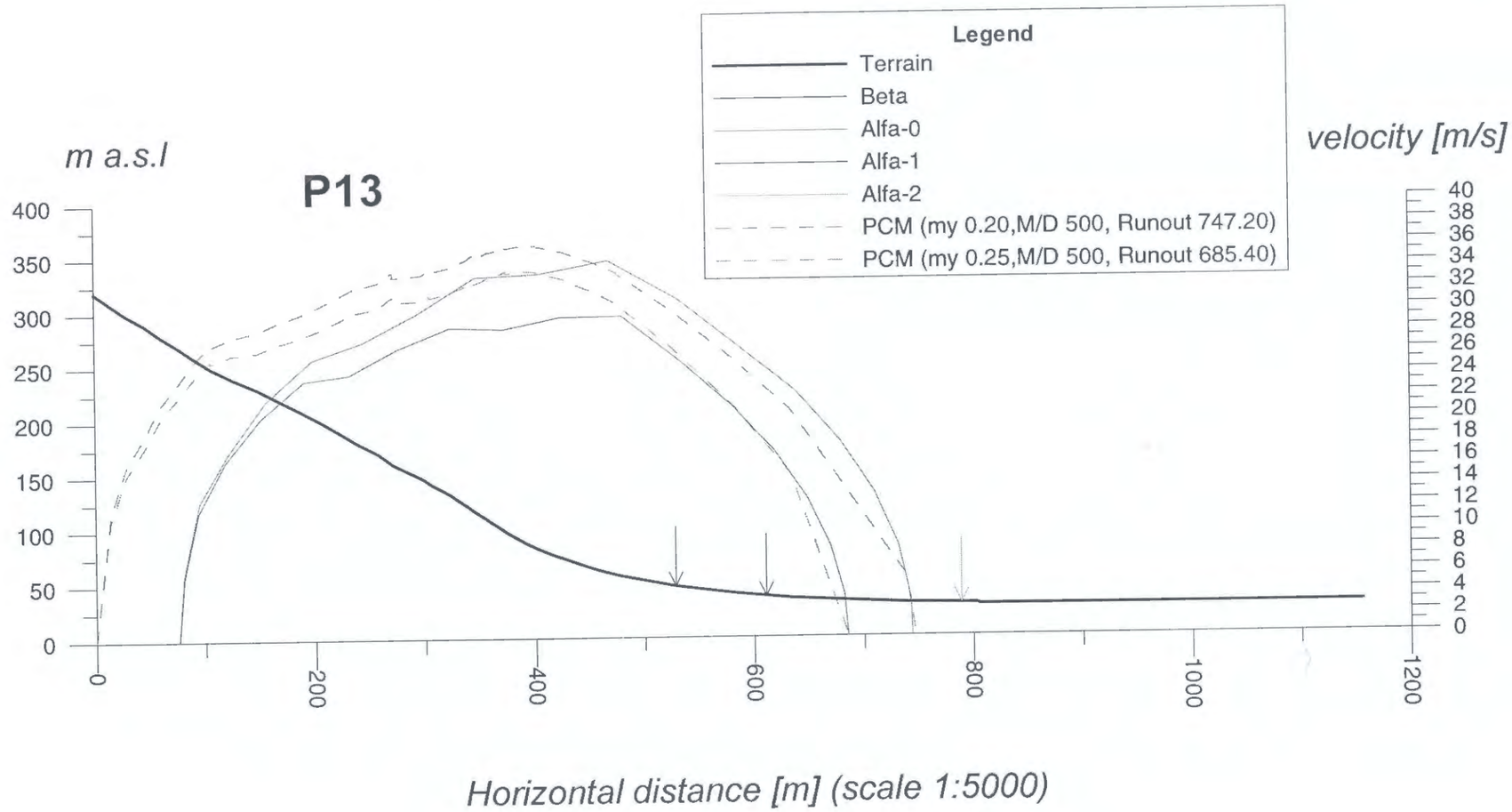
VANNLEDNINGSDALEN - GRUVEDALEN, LONGYEARBYEN	Rapport nr. 20011167-1	Figur nr. 8
Terrengprofil P10 Modellberegning av rekkevidder og hastigheter for ulike friksjonsverdier og standardavvik	Tegner EH	Dato 01-10-15
	Kontrollert	NGI
	Godkjent	

F:\p\2001\11\20011167\rap\fig-1.doc



VANNLEDNINGSDALEN - GRUVEDALEN, LONGYEARBYEN	Rapport nr. 20011167-1	Figur nr. 9
Terrengprofil P9 Modellberegning av rekkevidder og hastigheter for ulike friksjonsverdier og standardavvik	Tegner EH	Dato 01-10-15
	Kontrollert	NGI
	Godkjent	

F:\p\2001\11\20011167\rap\fig-1.doc



VANNLEDNINGSDALEN - GRUVEDALEN, LONGYEARBYEN	Rapport nr. 20011167-1	Figur nr. 10
Terrengprofil P13 Modellberegning av rekkevidder og hastigheter for ulike friksjonsverdier og standardavvik	Tegner EH	Dato 01-10-15
	Kontrollert	NGI
	Godkjent	

F:\p\2001\11\20011167\rap\fig-1.doc

Vedlegg B - Beskrivelse av regnemodeller

INNHOLD

B1 BEREGNING AV SKREDBEVEGELSE 2
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
B2 α/β MODELL 5
B3 PCM BLOKKMODELL 8
B4 NIS1 SKREDMODELL 9

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 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.

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 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.

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 (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.

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 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.

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 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° og 15°.

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.

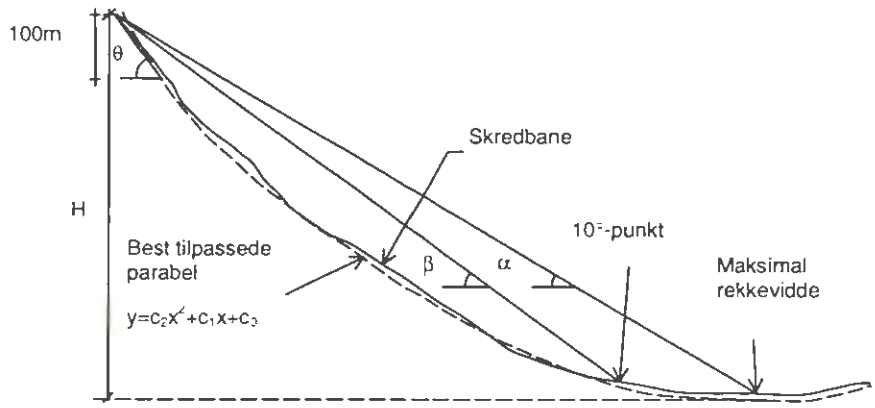
Topografien, bredden og graden av sideveis avgrensning i utløsningsområdet, samt transport av fokksnø inn i utløsningsområdet, har liten innflytelse på utløpsdistansen. Det er intet som tyder på at en innsnevring i skredbanen gir lengre utløp.

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 α og β 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 α/β-modellen er i dag α=0.96β-1.4°. Standardavviket er 2.3° og korrelasjonskoeffisienten er 0.92.



Figur 2.1 Topografiske parametre som beskriver terrengprofilet.

Et utvidet sammendrag av α/β-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 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 materialfriksjonskoeffisienten, 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**.

Vedlegg C

- Påregnelige og registrerte nedbørhøgder ved Svalbard Lufthavn
- Noen værdata fra 6 vintre i perioden 1957 – 1992
- Noen betraktninger om klima og skred i Longyearbyen (Hestnes 1994

048. Bra-Trykk AS

EKSTREMNEDBØR FOR SESONGER - RETURPERIODE

Stasjoner

Stnr	Navn	I drift fra	I drift til	Hoh	Kommune	Fylke
99840	SVALBARD LUFTHAVN	aug 1975		28	SPITSBERGEN	SVALBARD

99840 SVALBARD LUFTHAVN Datagrunnlag: 1975-2001

Påregnelige maksimale nedbørhøyder(mm) i løpet av 24 timer.

Returperiode(år)	Metode	Årsverdi	jan, feb, des	mar, apr,	mai jun,	jul, aug	sep, okt, nov
5	GUMBEL	22	15	12	18	13	
10	GUMBEL	27	18	14	23	17	
25	GUMBEL	33	23	18	29	21	
50	GUMBEL	37	27	21	34	23	
100	GUMBEL	41	30	23	39	26	
500	GUMBEL	51	38	29	50	33	
1000	GUMBEL	56	42	32	55	36	
-	-	-	-	-	-	-	
5	NERC	22	15	12	18	13	
10	NERC	25	17	14	21	15	
25	NERC	31	22	18	26	19	
50	NERC	36	26	21	30	22	
100	NERC	42	30	25	35	27	
500	NERC	59	44	37	51	39	
1000	NERC	69	52	44	59	46	
PMP	NERC	148	118	104	132	109	
-	-	-	-	-	-	-	
PMP	HERSHFIELD	149	-	-	-	-	

10 maks obs. nedbørhøyder(mm) (uavhengige episoder), i løpet av 1 nedbørdøgn.

	Årsverdi	jan, feb, des	mar, apr,	mai jun,	jul, aug	sep, okt, nov
1. max verdi	43.2	22.5	16.0	43.2	21.3	
Mediandato	05.08.1981	03.12.1995	14.03.1993	05.08.1981	01.09.1997	
2. max verdi	22.5	22.3	14.5	19.9	21.0	
Mediandato	03.12.1995	08.12.1991	12.03.1986	25.08.1991	14.09.2000	
3. max verdi	22.3	16.3	13.8	16.6	14.4	
Mediandato	08.12.1991	01.12.1993	01.03.1991	28.08.1988	23.11.1999	
4. max verdi	21.3	16.0	13.5	15.9	13.7	
Mediandato	01.09.1997	18.02.1981	11.03.1984	03.08.1989	13.09.1994	
5. max verdi	21.0	15.3	13.4	13.7	13.6	
Mediandato	14.09.2000	12.12.1977	02.03.1983	12.08.1980	16.09.1980	
6. max verdi	16.6	14.8	13.0	13.5	12.7	
Mediandato	28.08.1988	13.02.1994	07.03.1976	11.08.1976	07.11.1989	
7. max verdi	16.3	12.5	11.3	12.4	11.2	
Mediandato	01.12.1993	22.02.1985	13.03.1996	31.08.1990	19.09.1978	
8. max verdi	15.9	11.0	9.3	12.2	10.4	
Mediandato	03.08.1989	20.02.1979	22.05.1992	15.08.1987	10.09.1985	
9. max verdi	15.3	10.7	9.0	12.0	9.6	
Mediandato	12.12.1977	14.02.1986	25.04.1980	03.06.1992	01.09.1990	
10. max verdi	14.8	10.5	8.9	11.5	9.6	
Mediandato	13.02.1994	03.12.1996	14.03.1987	30.08.1997	24.09.2001	
Datahull (ant. døgn)	2	-	-	-	-	
Middelverdier av max	15.0	9.3	7.7	10.4	8.9	
Standardavvik av max	7.1	5.7	4.3	7.9	4.7	

Generert: 08.10.2001 © Klima, DNMI

EKSTREMNEDBØR FOR SESONGER- RETURPERIODE

Stasjoner

Stnr	Navn	I drift fra	I drift til	Hoh	Kommune	Fylke
99840	SVALBARD LUFTHAVN	aug 1975		28	SPITSBERGEN	SVALBARD

99840 SVALBARD LUFTHAVN Datagrunnlag: 1975-2001

Påregnelige maksimale nedbørhøyder(mm) i løpet av 48 timer.

Returperiode(år)	Metode	Årsverdi	jan, feb, des	mar, apr,	mai jun, jul, aug	sep, okt, nov
5	GUMBEL	27	18	15	20	17
10	GUMBEL	33	23	19	26	20
25	GUMBEL	40	29	24	33	25
50	GUMBEL	46	33	27	38	29
100	GUMBEL	51	38	31	44	32
500	GUMBEL	64	48	39	56	41
1000	GUMBEL	69	53	42	62	44
-	-	-	-	-	-	-
5	NERC	27	18	15	20	17
10	NERC	31	21	17	23	20
25	NERC	38	26	22	28	24
50	NERC	43	30	26	33	29
100	NERC	50	35	30	39	34
500	NERC	70	51	44	55	48
1000	NERC	80	59	52	64	57
PMP	NERC	166	132	118	140	127
-	-	-	-	-	-	-
PMP	HERSHFIELD	198	-	-	-	-

10 maks obs. nedbørhøyder(mm) (uavhengige episoder), i løpet av 2 nedbørdøgn.

	Årsverdi	jan, feb, des	mar, apr,	mai jun, jul, aug	sep, okt, nov
1. max verdi	55.2	39.1	22.6	55.2	26.2
Mediandato	05.08.1981	04.12.1995	01.03.1991	05.08.1981	01.09.1997
2. max verdi	39.1	25.0	21.7	20.9	25.6
Mediandato	04.12.1995	09.12.1991	07.03.1976	25.08.1991	23.11.1999
3. max verdi	26.2	20.0	20.3	17.9	22.6
Mediandato	01.09.1997	02.12.1993	12.03.1984	12.08.1976	15.09.2000
4. max verdi	25.6	19.8	19.8	17.1	22.0
Mediandato	23.11.1999	19.02.1981	15.03.1986	04.08.1989	01.09.1990
5. max verdi	25.0	17.6	18.9	16.6	18.5
Mediandato	09.12.1991	20.02.1979	03.03.1983	28.08.1988	16.09.1980
6. max verdi	22.6	17.3	16.8	16.4	16.0
Mediandato	15.09.2000	14.02.1994	28.03.1993	31.08.1997	25.09.2001
7. max verdi	22.0	16.5	16.3	14.9	14.0
Mediandato	01.09.1990	12.12.1977	14.03.1996	12.08.1980	06.09.1978
8. max verdi	21.7	13.8	12.5	13.4	13.9
Mediandato	07.03.1976	23.02.1985	28.03.1990	21.07.2000	14.09.1994
9. max verdi	20.3	13.5	11.9	12.4	13.0
Mediandato	12.03.1984	23.02.1976	22.03.1978	27.06.1979	08.11.1989
10. max verdi	20.0	12.4	11.7	12.4	12.5
Mediandato	02.12.1993	17.12.1997	14.03.1987	31.08.1990	30.11.1993
Datahull (ant. døgn)	2	-	-	-	-
Middelverdier av max	19.7	12.0	10.6	12.5	11.8
Standardavvik av max	9.5	8.0	6.2	9.6	6.3

Generert: 08.10.2001 © Klima, DNMI

EKSTREMNEDBØR FOR SESONGER- RETURPERIODE

Stasjoner

Stnr	Navn	I drift fra	I drift til	Hoh	Kommune	Fylke
99840	SVALBARD LUFTHAVN	aug 1975		28	SPITSBERGEN	SVALBARD

99840 SVALBARD LUFTHAVN Datagrunnlag: 1975-2001

Påregnelige maksimale nedbørhøyder(mm) i løpet av 72 timer.

Returperiode(år)	Metode	Årsverdi	jan, feb, des	mar, apr,	mai jun,	jul, aug	sep, okt, nov
5	GUMBEL	30	21	17	23	19
10	GUMBEL	37	26	21	29	23
25	GUMBEL	45	34	26	37	28
50	GUMBEL	51	39	30	43	32
100	GUMBEL	57	44	34	49	36
500	GUMBEL	71	56	43	63	45
1000	GUMBEL	77	62	47	68	49
-	-	-	-	-	-	-
5	NERC	30	21	17	23	19
10	NERC	34	24	20	26	22
25	NERC	41	30	24	32	27
50	NERC	48	35	29	38	32
100	NERC	55	40	34	44	37
500	NERC	76	57	48	61	53
1000	NERC	87	66	57	71	62
PMP	NERC	177	144	127	152	136
-	-	-	-	-	-	-
PMP	HERSHFIELD	221	-	-	-	-

10 maks obs. nedbørhøyder(mm) (uavhengige episoder), i løpet av 3 nedbørdøgn.

	Årsverdi	jan, feb, des	mar, apr,	mai jun,	jul, aug	sep, okt, nov
1. max verdi	55.2	48.1	27.9	55.2	28.8
Mediandato	04.08.1981	04.12.1995	06.03.1976	04.08.1981	30.11.1993
2. max verdi	48.1	27.8	22.8	37.7	27.8
Mediandato	04.12.1995	28.02.1991	01.03.1991	31.08.1997	22.11.1999
3. max verdi	37.7	23.3	22.6	22.0	26.5
Mediandato	31.08.1997	01.12.1993	12.03.1984	31.08.1990	01.09.1997
4. max verdi	28.8	22.6	22.6	21.4	22.8
Mediandato	30.11.1993	19.02.1981	13.03.1986	24.08.1991	13.09.2000
5. max verdi	27.9	20.1	20.0	21.2	22.7
Mediandato	06.03.1976	19.02.1979	03.03.1983	12.08.1976	16.09.1980
6. max verdi	27.8	17.5	19.4	17.2	22.0
Mediandato	28.02.1991	11.12.1977	13.03.1996	04.08.1989	01.09.1990
7. max verdi	27.8	17.4	16.9	16.8	16.0
Mediandato	22.11.1999	14.02.1994	28.03.1993	27.08.1988	24.09.2001
8. max verdi	22.8	15.8	15.1	15.2	14.0
Mediandato	13.09.2000	22.02.1976	21.03.1978	08.08.1980	05.09.1978
9. max verdi	22.7	15.5	12.8	14.7	14.0
Mediandato	16.09.1980	26.01.1997	22.04.1990	04.06.1992	14.09.1994
10. max verdi	22.6	15.0	12.1	14.1	13.8
Mediandato	12.03.1984	22.02.1985	13.03.1987	16.08.1987	30.09.1975
Datahull (ant. døgn)	2	-	-	-	-
Middelverdier av max	22.2	13.7	11.7	14.7	13.3
Standardavvik av max	10.7	9.4	7.0	10.6	7.1

Generert: 08.10.2001 © Klima, DNMI

EKSTREMNEDBØR FOR SESONGER- RETURPERIODE

Stasjoner

Stnr	Navn	I drift fra	I drift til	Hoh	Kommune	Fylke
99840	SVALBARD LUFTHAVN	aug 1975		28	SPITSBERGEN	SVALBARD

99840 SVALBARD LUFTHAVN Datagrunnlag: 1975-2001

Påregnelige maksimale nedbørhøyder(mm) i løpet av 120 timer.

Returperiode(år)	Metode	Årsverdi	jan, feb, des	mar, apr,	mai jun,	jul, aug	sep, okt, nov
5	GUMBEL	35	25	21	25	22	
10	GUMBEL	42	32	27	32	27	
25	GUMBEL	51	41	34	40	33	
50	GUMBEL	57	48	40	46	38	
100	GUMBEL	64	54	45	52	43	
500	GUMBEL	79	69	57	66	54	
1000	GUMBEL	86	75	63	72	59	
-	-	-	-	-	-	-	
5	NERC	35	25	21	25	22	
10	NERC	40	29	24	29	25	
25	NERC	48	35	30	35	31	
50	NERC	55	41	35	41	36	
100	NERC	63	47	40	47	42	
500	NERC	85	66	57	66	59	
1000	NERC	97	76	66	76	69	
PMP	NERC	193	159	144	159	148	
-	-	-	-	-	-	-	
PMP	HERSHFIELD	243	-	-	-	-	

10 maks obs. nedbørhøyder(mm) (uavhengige episoder), i løpet av 5 nedbørdøgn.

	Årsverdi	jan, feb, des	mar, apr,	mai jun,	jul, aug	sep, okt, nov
1. max verdi	58.9	58.9	36.1	56.7	38.0	
Mediandato	05.12.1995	05.12.1995	13.03.1986	05.08.1981	01.09.1997	
2. max verdi	56.7	32.9	34.8	38.1	34.5	
Mediandato	05.08.1981	01.12.1993	06.03.1976	31.08.1997	30.11.1993	
3. max verdi	38.1	29.1	29.4	29.4	28.2	
Mediandato	31.08.1997	27.02.1991	12.03.1996	10.08.1980	23.11.1999	
4. max verdi	36.1	28.7	28.1	26.8	26.3	
Mediandato	13.03.1986	20.02.1981	01.03.1991	27.08.1991	15.09.1980	
5. max verdi	34.8	27.9	26.0	26.3	25.8	
Mediandato	06.03.1976	20.02.1979	11.03.1984	11.08.1976	02.09.1990	
6. max verdi	34.5	21.3	22.9	22.9	24.6	
Mediandato	30.11.1993	11.02.1994	03.03.1983	30.08.1990	13.09.2000	
7. max verdi	29.4	21.3	18.8	19.1	17.1	
Mediandato	10.08.1980	20.02.1985	29.03.1993	22.07.2000	17.11.1979	
8. max verdi	29.4	18.7	17.1	18.7	16.1	
Mediandato	12.03.1996	01.12.1996	23.04.1990	05.06.1992	25.09.2001	
9. max verdi	29.1	18.4	16.7	18.7	15.4	
Mediandato	27.02.1991	14.02.1976	12.03.1987	04.07.1994	05.11.1989	
10. max verdi	28.2	18.4	15.5	17.6	14.5	
Mediandato	23.11.1999	12.12.1977	21.03.1978	02.08.1989	30.09.1975	
Datahull (ant. døgn)	2	-	-	-	-	
Middelverdier av max	26.0	16.8	14.3	17.2	15.4	
Standardavvik av max	11.8	11.7	9.7	11.0	8.6	

Generert: 08.10.2001 © Klima, DNMI

EKSTREMNEDBØR FOR SESONGER- RETURPERIODE

Stasjoner

Stnr	Navn	I drift fra	I drift til	Hoh	Kommune	Fylke
99840	SVALBARD LUFTHAVN	aug 1975		28	SPITSBERGEN	SVALBARD

99840 SVALBARD LUFTHAVN Datagrunnlag: 1975-2001

Påregnelige maksimale nedbørhøyder(mm) i løpet av 240 timer.

Returperiode(år)	Metode	Årsverdi	jan, feb, des	mar, apr,	mai jun,	jul, aug	sep, okt, nov
5	GUMBEL	40	31	25	29	28	
10	GUMBEL	47	39	32	36	34	
25	GUMBEL	57	48	40	45	42	
50	GUMBEL	64	56	47	52	48	
100	GUMBEL	70	63	53	58	54	
500	GUMBEL	86	79	67	73	67	
1000	GUMBEL	93	86	73	80	73	
-	-	-	-	-	-	-	
5	NERC	40	31	25	29	28	
10	NERC	45	35	29	33	32	
25	NERC	54	43	35	40	39	
50	NERC	62	49	41	46	45	
100	NERC	70	56	47	53	52	
500	NERC	95	78	66	74	72	
1000	NERC	108	89	76	85	82	
PMP	NERC	209	180	159	173	170	
-	-	-	-	-	-	-	
PMP	HERSHFIELD	255	-	-	-	-	

10 maks obs. nedbørhøyder(mm) (uavhengige episoder), i løpet av 10 nedbørdøgn.

	Årsverdi	jan, feb, des	mar, apr,	mai jun,	jul, aug	sep, okt, nov
1. max verdi	65.2	65.2	45.3	57.4	45.5	
Mediandato	08.12.1995	08.12.1995	13.03.1986	03.08.1981	27.11.1993	
2. max verdi	57.4	41.2	37.1	40.7	42.0	
Mediandato	03.08.1981	03.02.1991	15.03.1996	30.08.1991	30.11.1995	
3. max verdi	45.5	35.8	35.7	38.2	38.2	
Mediandato	27.11.1993	02.12.1993	09.03.1976	29.08.1997	01.09.1997	
4. max verdi	45.3	31.9	31.8	37.4	34.0	
Mediandato	13.03.1986	23.02.1981	02.03.1991	08.08.1980	19.09.2000	
5. max verdi	41.2	30.4	28.9	36.9	33.0	
Mediandato	03.02.1991	18.02.1979	01.03.1993	13.08.1976	03.09.1990	
6. max verdi	38.2	30.1	28.2	26.7	28.8	
Mediandato	29.08.1997	01.02.1986	14.03.1984	31.08.1990	26.11.1999	
7. max verdi	37.4	29.0	27.1	26.3	28.8	
Mediandato	08.08.1980	19.02.1976	01.03.1983	02.07.1994	21.09.2001	
8. max verdi	37.1	27.6	22.9	21.3	26.8	
Mediandato	15.03.1996	15.12.1977	10.03.1987	04.06.1992	16.09.1980	
9. max verdi	36.9	27.3	19.0	21.1	23.0	
Mediandato	13.08.1976	18.02.1994	21.04.1980	25.07.2000	29.11.1996	
10. max verdi	34.0	25.0	19.0	19.9	21.8	
Mediandato	19.09.2000	28.02.1983	25.04.1990	31.08.1988	13.11.1981	
Datahull (ant. døgn)	2	-	-	-	-	
Middelverdier av max	31.1	22.0	17.5	21.0	21.0	
Standardavvik av max	12.4	13.0	11.3	11.8	10.4	

Generert: 08.10.2001 © Klima, DNMI

Tabell 1 Noen værdata fra 6 vintre i perioden 1957 - 1992

Nedbør					Nedbørtype		Vindretning	
							Dekagrader	
År	Dato	Total mm	24 t mm	72 t mm	Obs.	300 m o.h.	v/ nedbør	Seinere
1958:	10.11-12.11	13,6			S-R-S	?		
	19.11-22.11	21,4			S	S	22-23	14-18
	24.12-28.12	**30,2**			S	S	27, 20	14-(18)
1959:	03.02-06.02	19,6			S	S	27 (18-34)	-
	08.02-12.02	**33,2**			S	S	26 (22-27)	-
	14.02-16.02	**41,2**	32,0	40,9	S (SL)	S	27-30	14
1959:	26.12-27.12	15,4			S	S	29, 20	16
1960:	11.01-13.01	4,2			S	S	13	29-32
	29.01-05.02	20,9			S	S	22-32, 14-18	-
	08.02-09.02	**39,2**	38,2	-	S	S	(18), 09	09→16
1960:	01.11-07.12	~16,0			S	S		16-20
	08.12-12.12	**52,7**	20,7	42,5	S	S	22-36	-
	13.12-17.12	8,4			S	S		
1966:	06.11-12.11	12,3			S	S	20-28	(27)
	19.11-22.11	**32,1**			S	S	22-34	16-19
	06.12-07.12	0.8			R	R?		
	26.12-28.12	25,7			R(→S)	R→S	18-22	-
1967:	28.01-03.02	10,6			S	S	25-35	16-18
	11.02-17.02	**32,3**	11,7	15,9	S	S	20-29 (32)	-
1974:	26.02-01.03	17,0			S	S	20, 11, 27	-
	03.03-05.03	**41,7**	34,0	41,7	SL-S-R-S	S(SL)	(20-)27	-
1985:	12.10-16.10	10,4			S	S	24-03	-
	12.11-19.11	10,4			S	S	13-27	-
1986:	05.01-06.01	5,0			S	S	24-01	-
	20.01-22.01	4,4			S	S	13-14, 35	-
	27.01	10,2			SL	S	14-18	14
	29.01-01.02	6,3			S	S	23-26	22-24
	03.02-05.02	16,0			S	S	21-27	(26-35) -
	13.02-14.02	11,8			S	S	23-34	24-27
	05.03-10.03	5,4			S	S	(10-19),25-32	-
	11.03-14.03	**35,9**	14,5	22,6	R/SL, S	S	20-26	21-25
	16.03-23.03	12,8			S	S	23-25, (13)	-

S = snø, R = regn, Sl = sludd

The primary effort to avoid accidents would be public education about avalanche hazard in schools, social organizations and the media. Signs should identify critical areas and, if possible, traffic prohibited during periods of increased risk. Specific locations with high hazard levels might also be blocked off during the whole season.

LIMITING DATA AND RESEARCH

The limitations in local meteorological records and applied research in arctic environments, influence the precision of professional work. Some examples of the basic problems are given below.

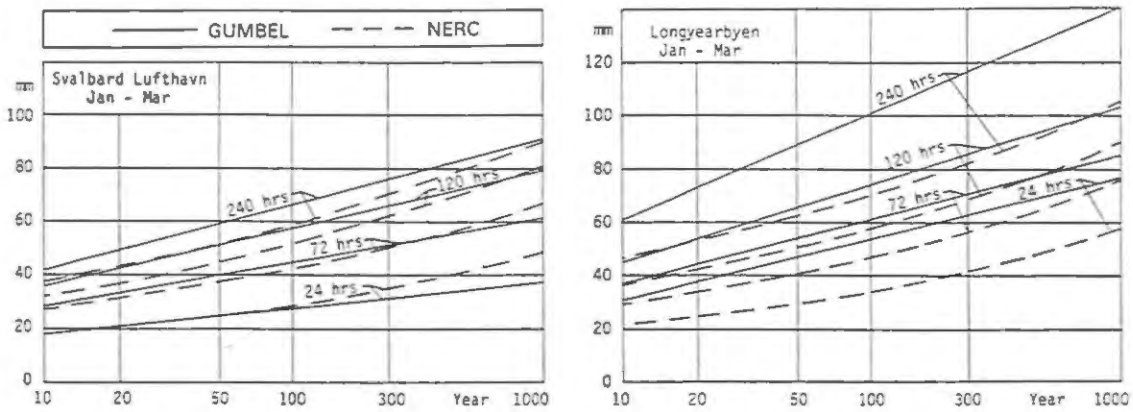
Weather Extremes And Their Return Period

Debris flows, slushflows and snow avalanches, hazardous to housing and development areas, are primarily caused by extreme weather conditions. The analysis and weighting of principal parameters differ, but back-calculations of critical situations and prognosis of return periods have to be based on the records from the two DNMI stations, Longyearbyen and Svalbard Lufthavn.

The ordinary recording time of both stations is approximately 20 years. Unfortunately, there are only two years of overlap between them, so homogenization has not been accomplished. The extreme values from Longyearbyen are supposed to be the most representative for the settlement.

However, the reliability and representativity of the records are questioned. For instance: The recordings of precipitation at Svalbard Lufthavn are known to be too low. On the other hand, could the rain gauge at Longyearbyen have caught too much during heavy storms? The Gumbel and NERC prognosis of Svalbard Lufthavn have almost identical elapse, while the observed extreme values of Longyearbyen fit with the Gumbel prognosis, but not with the NERC prognosis. The deviation in January-March is between 10-38% (Fig. 10). Consequently, uncertainties concerning the return period of extreme precipitation arise when the basis for the prognosis is questioned (Førland 1987).

Figure 10: Precipitation prognosis according to Gumbel and NERC.



The probability of extreme avalanches in the mountains of South Norway is approximately 50% if 50 mm of precipitation, accompanied by wind ≥5 m/sec, is recorded in 3 days (Bakkehøi 1987). The questions are: What might be the return period of avalanches in Longyearbyen (ref. Fig. 10 & Table 2) ? And what would be the return period of avalanches in specific locations (Fig 11) ?

Table 2: Approximately return period of heavy precipitation in Longyearbyen

January - March		GUMBEL	NERC
1 day	40 mm	25 years	250 years
3 days	50 mm	40 years	150 years
5 days	60 mm	35 years	125 years
10 days	70 mm	15 years	100 years

Stability Of Snowpack And Active Layer

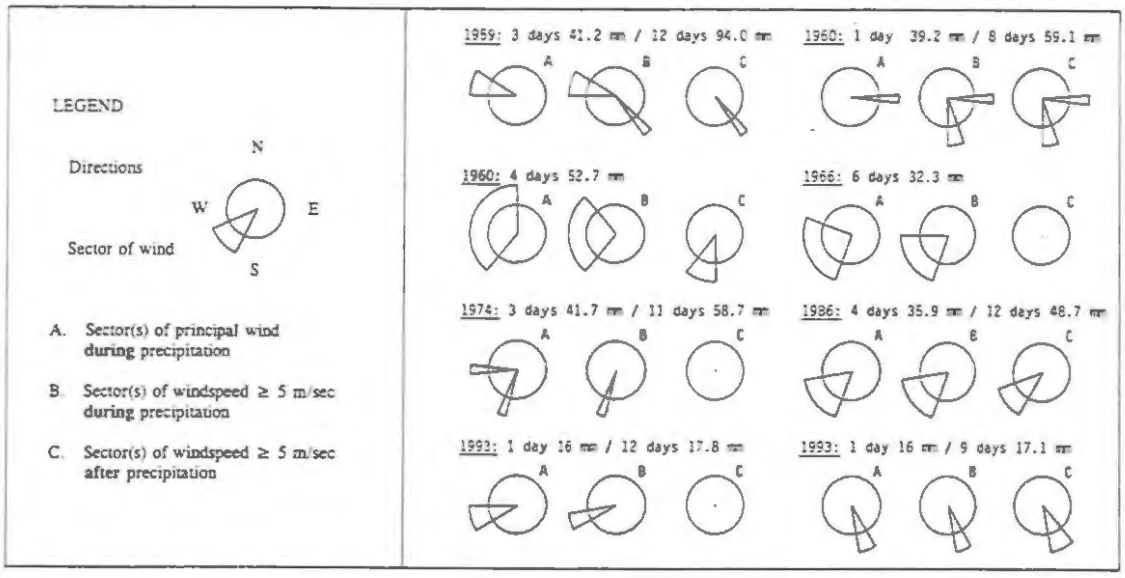
The stability of the snowpack and the active layer prior to storms or intense spring thaw, is of vital importance to acute hazard development. Basic knowledge of the influence of meteorological factors on the hydrological processes in snowpack and ground in arctic regions is, however, almost absent. Thus, the release mechanism of debris flows, slushflows and avalanches in these environments are not fully understood.

An illustrative documentation of this problem is shown in Table 3. Unexpected avalanches have occurred 4 times within 3 years in Lia (Fig. 6). Some of them might have been triggered by a snowcat, but it is very likely that some were also naturally released. This is very unusual during persistent cold weather. The reason has to be sought in the climatic conditions.

Table 3: Data from Svalbard Lufthavn prior to avalanches in Lia, Longyearbyen

Date of avalanche	Precipitation mm				Average wind direction & speed and max. temperature deca-grades · metre/sec · °C		
	24hrs	48hrs	120hrs	240hrs	0-24 hrs	24-48 hrs	48-72 hrs
05.04.91	0.7	0.7	0.7	13.4	16 · 11.0 · -13.5	15 · 9.0 · -17.3	14 · 5.0 · -18.2
19.11.91	0.5	2.6	2.7	6.5	30 · 5.0 · - 3.5	25 · 8.5 · - 2.1	15 · 4.5 · -10.0
05.11.92	0.0	0.1	10.1	11.5	15 · 5.0 · -14.4	15 · 4.5 · -10.0	28 · 6.0 · - 2.1
16.03.93	0.1	0.2	16.6	17.7	16 · 9.0 · - 6.0	16 · 8.5 · - 5.8	16 · 8.5 · - 5.4

Figure 11: Recorded intensity of snow and corresponding wind during 6 extreme weather periods between 1957-1993, and recorded precipitation and wind during 2 avalanche periods in 1993.



Local Wind And Precipitation

The current wind and precipitation data from Svalbard Lufthavn are not adequate for evaluation of acute risk in Longyearbyen, at least not for avalanches. Location of supplementary instruments as well as observation routines have been suggested.

The effect of snow fences is sensitive to the windspeed and direction. Due to uncertainties about the wind conditions in Lia and further north, a stepwise building of fences is recommended in the two areas, as well as constructions with the possibility of adjusting the height. The wind is also critical to the loads and thus the design and cost of fences.

Better knowledge of the local wind is also the key to optimize future location and design of road embankments, buildings and constructions.

The Run-out Of Avalanches And Debris Flows

Knowledge of the critical run-out of debris flows, slushflows and avalanches is vital in area planning. The lack of methods adjusted to the climatic region may affect the precision of the boundary lines. Hopefully, the errors are acceptable.

Some calculations of avalanche run-out have, however, been questioned by the client. Fortunately, evaluation of avalanche run-out always includes correlation between three different statistical models, and one of these models only involves topographic parameters. The result should therefore be fairly reliable. Only unforeseen differences in snow properties between the high mountains of mainland Norway and Svalbard, may influence the validity.

Motion And Impact Of Rapid Mass Movement

The volume, density and speed of rapid mass movement are essential to the location and design of safety measures. Motion and impacts of snow avalanches are fairly accurately derived from the existing models. Adequate models for assessment of the potential speed and loads of debris flows and slushflows are missing.

Debris flows of limited size, comparable to those observed around buildings and in planning areas in Longyearbyen, could, however, easily be handled. The potential slushflow problem of Vannledningsdalen is worse. Field measurements of huge slushflows are scarce. No registrations of speed, super-elevation in curved tracks, density profiles of flows, or impact measurements, are available. Thus, the efficiency of the existing deflecting dam on Haugen has been questioned by NGI.

CONCLUDING REMARKS

Rapid mass movements and drifting snow interfere with the infrastructure and development of Longyearbyen.

The methods used in handling the problems are based on up-to-date professional knowledge. The accuracy of the professional work is, however, influenced by limitations in meteorological data and the lack of applied research within these fields in arctic regions. This state of affairs will be a source of uncertainty until local meteorological data are available and local research is carried out.

The problem of estimating return periods of snow avalanches of extreme run-out is primarily connected to the reliability of meteorological recordings. The evaluation of acute avalanche risk is linked to location, seasonal development of snowpack and current weather conditions. A research project on this second aspect is being discussed by NGI.

Three applied research projects within arctic hydrology have been at the planning stage for some time (Hestnes 1993). The preliminary titles of the three projects are: i) Analysis and remediation of construction and operational problems caused by drifting snow in arctic regions; ii) The flowpattern of arctic slushflows is the key to slushflow control; and iii) Hydrological processes initiating slope instability in permafrost areas.

NGI is looking for financial support for these challenging projects.

ACKNOWLEDGEMENT

The author is greatful to Svalbard Samfunnsdrift A/S and Odd Gregersen, NGI,

Vedlegg D

Hovedreferanser - en oversikt

048. Bra-Trykk AS

Oppdragsrapporter m.v.

NGI-Rapport 904025-1 av 15.02.1991.
Longyearbyen.
Vurdering av tiltak mot snøskred, sørpeskred og drivsnø i Longyearbyen

NGI-Rapport 904025-2 av 28.07.1992.
Lia, Longyearbyen.
Vurdering av snøskredfare og tiltak for å hindre ulykkeer ved veg 226-230.

NGI-Rapport 924004-1 av 26.05.1992.
Longyearbyen – Gruvedalen.
Skredfarevurdering av planlagt utbyggingsområde.

NGI-Rapport 934037-1 av 30.07.1993.
Longyearbyen.
Vurdering av akutt skredfare 27-28 mars 1993.

NGI-Rapport 944079-1 av 13.10.1994.
Vei 217.221, Longyearbyen.
Skredfarevurdering av planlagt utbyggingsområde.

Sak 984018. Brev av 27.02.1998.
Høydebasseng i Longyearbyen.
Beregning av belastning fra skred.

NGI-Teknisk notat 20001324 av 21.12.2000.
Fortettingstomter i Lia, Longyearbyen.
Vedr. skredfaren ved aktuelle fortettingstomter i Lia.

NGI-Teknisk notat 20001324 av 22.12.2000.
Lia. Skredfaregrense.
Skredfaregrense Lia-Gruvedalen ovafor Vei 230.

NGI-Teknisk notat 20001324 av 21.09.2001.
Lia. Skredfaregrense.
Skredfaregrense ved Vei 222.

048. Bra-Trykk AS

Forskningsrapporter og artikkel.

Lied og Hestnes, 1986. NGI-Rapport 52703-1 av 25.01.1986.
Geomorfologisk kartlegging av overflatestrukturer i Longyearbyen, Svalbard.

Hestnes, 1999. NGI-Rapport 589100-4 av 30.12.1999.
Snø og snøskred på Svalbard.
Registrering av snøforhold, snøskred og utløpslengder.

Hestnes, 1994.
Impact of rapid mass movement and drifting snow on the infrastructure and development of Longyearbyen, Svalbard. Proceedings, Tenth International Northern Research Basins Symposium and Workshop, Spitsbergen, Norway, 23-46, 1994.

048. Bra-Trykk AS

Vedlegg E

Utdrag av artikkel i Geografiska Annaler 64A, 1982 ved Stig Larsson.

Geomorphological effects on the slopes of Longyear valley, Spitsbergen, after a heavy rainstorm in July 1972.

048. Bra-Trykk AS

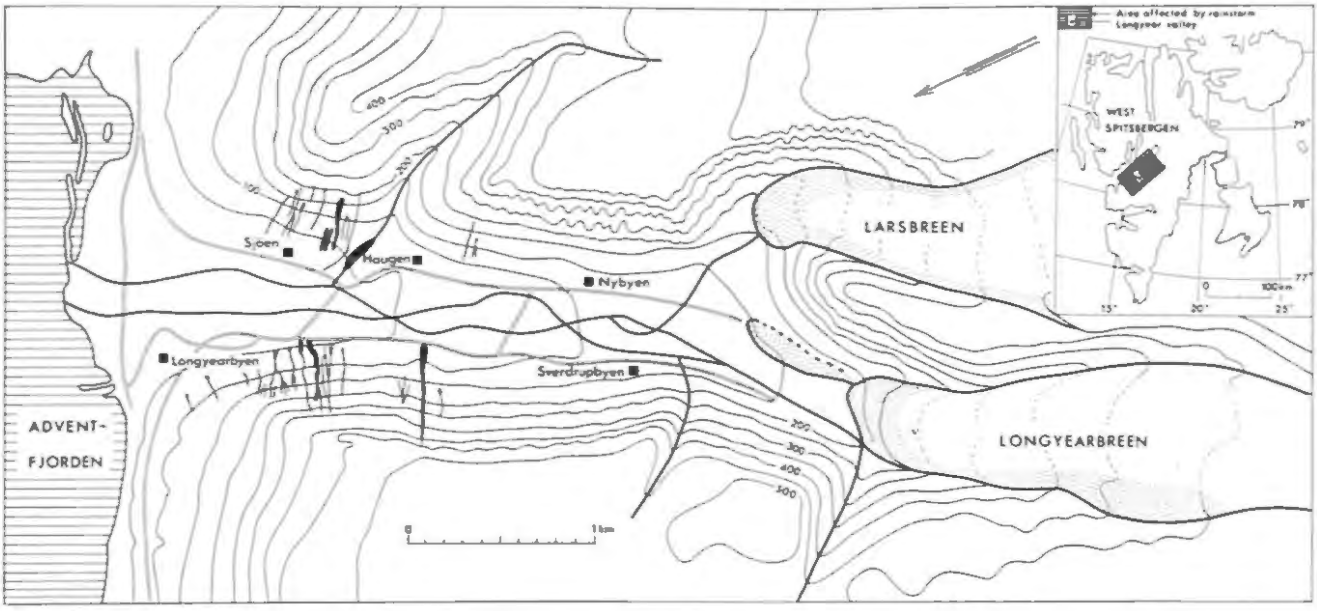


Fig. 1. Location map of the Longyear valley area. Debris flows of 10–11 July 1972 were concentrated in the valley mouth. Blackened tracks on side slopes near the valley mouth represent investigated sites.

meter. The slope material has a loose soil texture. Fig 3 illustrates the grain size distribution for 10 samples from different sites. The climate of Spitsbergen is maritime, but local variations are considerable. Mean temperatures range from about −14°C in the winter to +6°C in the summer. Mean monthly precipitation for 1957–80 was about 15–20 mm except during April to June, which had only about 5–10 mm. Most precipitation normally falls as snow (cf. fig 4). A strong cyclonic activity causes considerable local fluctuations in both wind and precipitation.

The rainstorm of 10–11 July 1972

During the first week of July 1972 the weather over Scandinavia and the Norwegian sea was unstable. Low pressure cells moved westwards over the Scandinavian peninsula, causing torrential rains in the mountain area. Some of these rains caused catastrophic mass movements in the Tarfala area, Swedish Lappland in July 1972 (described by Rapp 1974). At the same time an area with low pressures formed over Iceland. The low pressure intensified and moved northeastward over Spitsbergen. There was great energy in this moist air mass, along with temperature differences of as much as 35°C (Thiedig and Kresling 1973, p. 43). As the low pressure intensified, rain began falling over the stydy area on the afternoon of 10 July and continued without stopping until 0300 hrs 11 July. The Longyearbyen meteorological station recorded 12.0 mm total rainfall between 0700 and 1900 hrs on 10 July and another 18.8 mm between 1900 hrs 10 July and 0700 on 11 July. This total of 30.8 mm actually fell during about a 12-hour period (Tab 1). The previous record maximum for July was 39 mm in 1967, whereas the total of July 1972 rainfall amounted to 69.5 mm.

Mass movements were triggered in an area of about 30 km^2, centering around the mouth of Longyear valley. With increasing distance from Longyearbyen the number of slope failures decreases, though many slide scars could be seen on the slopes of nearby fjords.

Geomorphological effects on slopes in Longyear valley

Fig 5 shows debris slides and flows triggered by the rainstorm of 10–11 July 1972. The map is summarized from a field map in scale 1:2000 with contour intervals of 1 m. The map is a summary of all types of movements due to active processes, their location, triggering points and size. Detailed descriptions later in the text refers to track numbers on the map.

The mass movements triggered by the rainstorm were observed by many eyewithnesses. Mr G. Christiansen, technical director of the local coal mine, gave the following description

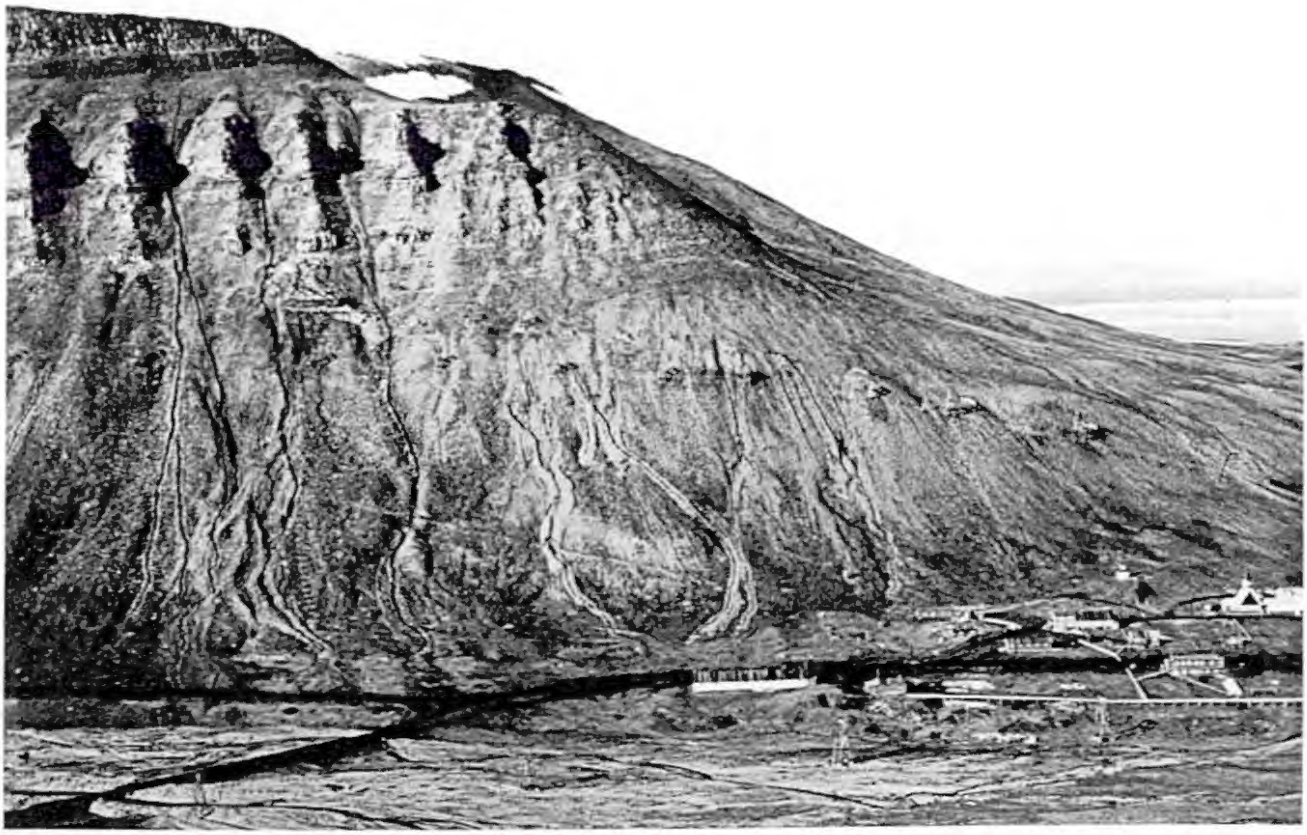
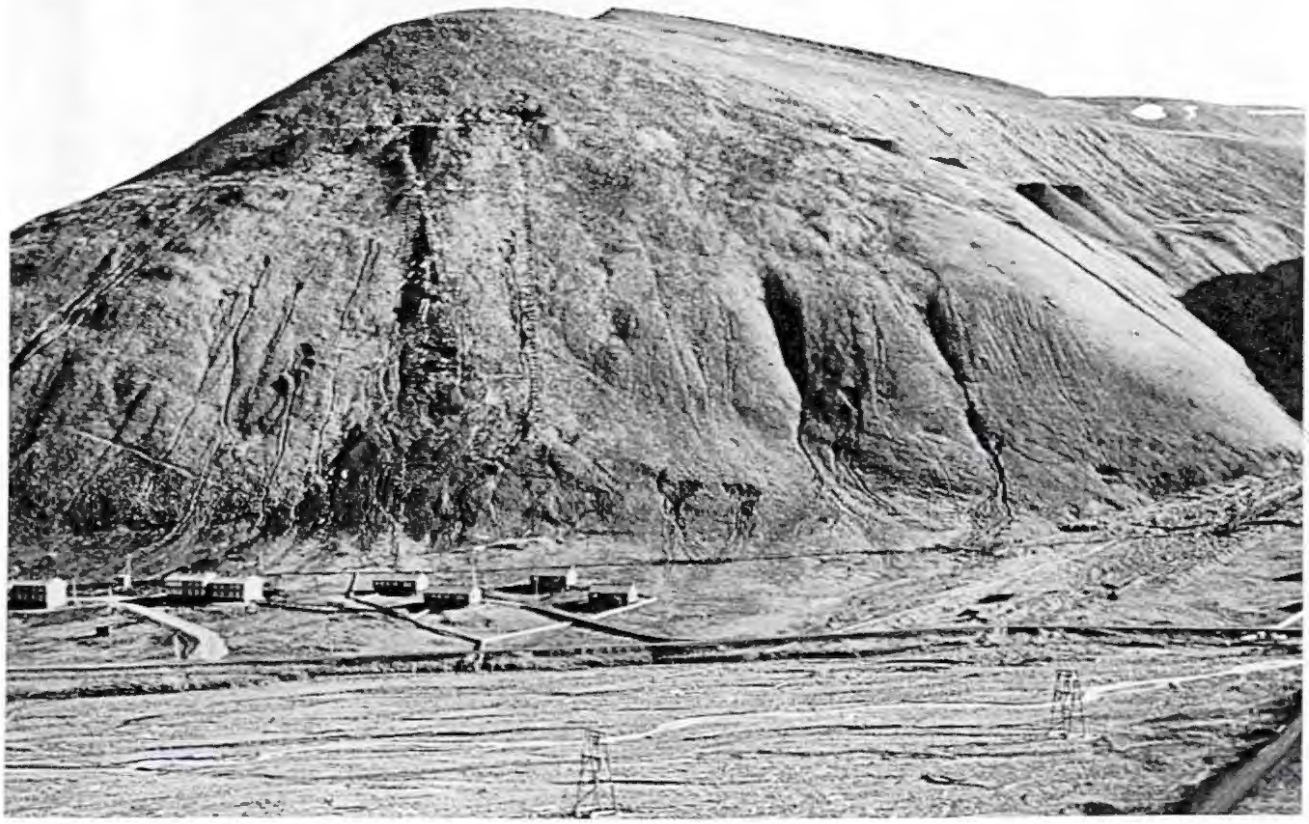


Fig. 2a. West side of Longyear valley, close to the valley mouth. Tracks of debris flows from July 10–11 1972. The rocks are Tertiary sandstones (top section) and Cretaceous sandstones, siltstones and shales (below the bedrock chutes). Photo: S. Larsson, July 1973.

Fig. 2 b. Same as above, east side. A new settlement, Sjöen, under construction. Photo: S. Larsson, July 1973.



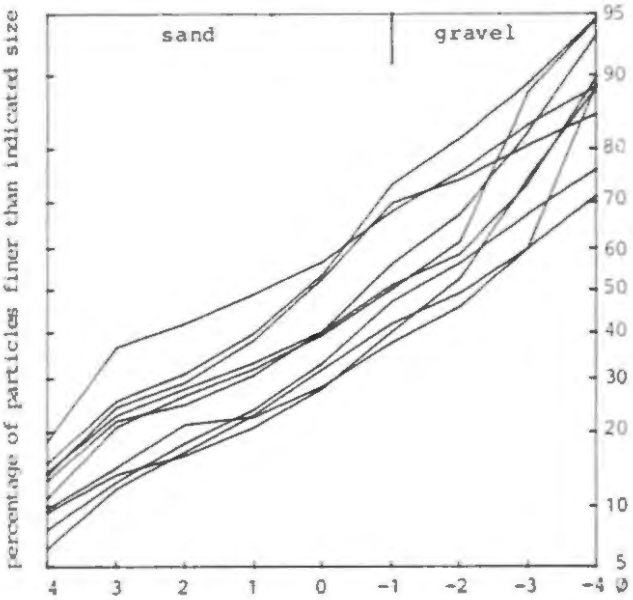


Fig. 3. Particle size distirbution for 10 sites of debris slides.

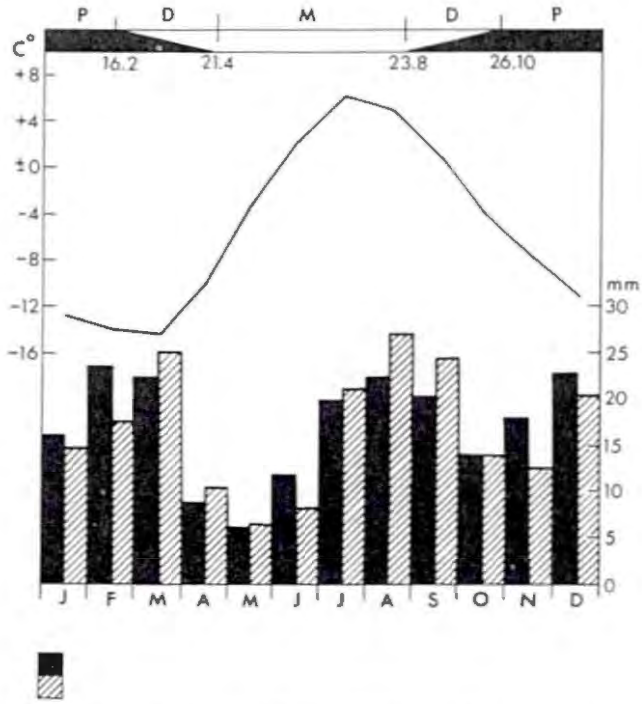


Fig. 4. Monthly means of precipitation and temperature at Longyearbyen (1957–1980).
– period 1957–1980 (year = 202.6 mm)
– period 1969–1980 (year = 198.1 mm)
P = polar night D = day sun M = midnight sun.

(written communication, 1973): "The active layer on the top plateau and on slopes was successively saturated with water. Drainage first followed natural stream channels which were depend. When the top plateau became oversaturated, water seeped down everywhere and slopes were washed ... At about 2000 hrs earth started to move down the slopes. The active layer was now oversaturated and masses moved down on top of the permafrost layer. Mass movements went on continuously till 0300 the next morning. Possibly, the intensity was highest at 0100–0130 hrs. Next morning at 0600 hrs when work started in the mines, no mass movements occurred any more ..." Watching from a window in his apartement, Mr Christiansen could note some details about the actual processes: "The mass movements started as debris slides, which for a moment seemed to stop in the lower and narrowing part of the slide scar. From there it continued by debris flow, apparently in one single pulse for most flows. The flows were deposited in flow lobes at the base of the slopes. Some slides crossed roads (A12, A13, A16). Flow B15 moved a pumphouse several meters

Table 1. Weather records from Longyearbyen meteorological station, July 8–12 1972. Altitude 37 m.a.s.l.

Date	Hour	Air temp C°	Wind direction	Wind speed m/s	Rainfall mm
July 8	0700	7.6	calm	0	0.2
	1900	9.8	NW	4.5	0
9	0700	12.1	SSE	10.5	1.0
	1900	14.8	SSE	10	0
10	0700	7.8	calm	0	0.1
	1900	6.4	SSW	8	12.0
11	0700	7.0	WSW	8	18.8
	1900	6.4	NNW	7	0
12	0700	7.0	NW	2.5	0
	1900	9.2	NW	2.5	0

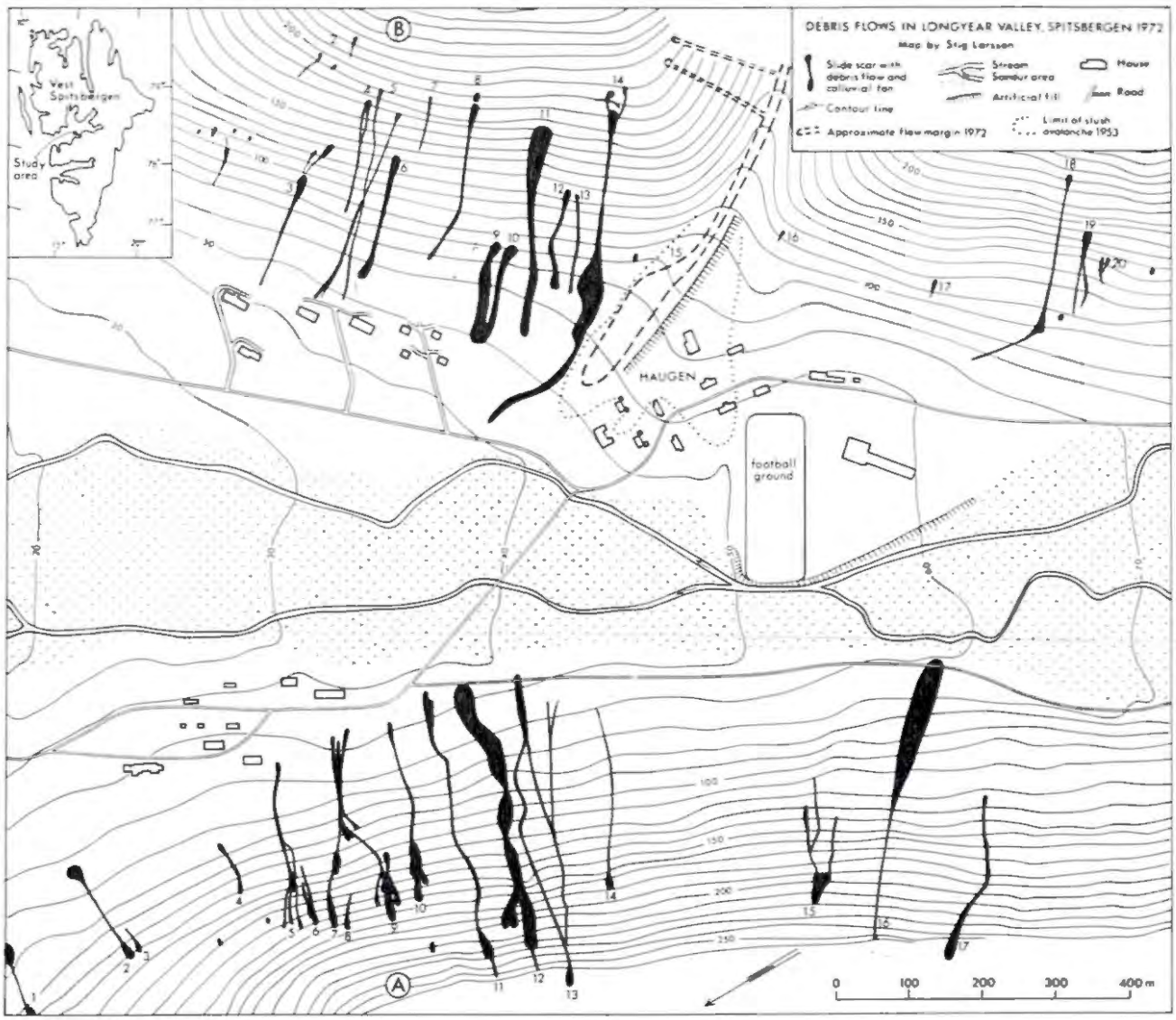


Fig. 5. Debris flow tracks in Longyear valley after a rainstorm of 10–11 July 1972.

downslope. Other damage was done to pipelines for water. Cleaning up roads and other sites took 10 days work by 6 bulldozers and about 20 men". People who had lived in Longyear valley for many years could not remember an event like this before.

Type of mass movements

Slope stability depends upon a balance between the forces tending to produce downslope movement (shear force or shear stress) and the forces resisting such a movement (shear strength of the soil). The triggering mechanism for the debris slides in Longyear valley is a combination of the following factors:

1. The large amount of water due to the heavy rains fills up the pores in the favourable soil and add weight to the earth. This results in greater shear stress.
2. Changes in intergranular forces due to pore water pressure (seepage pressure of percolating ground water upon permafrost) lower the shear strength or resistance.

The types of mass movements caused by the oversaturation can generally be described as follows:

A. Semicircular cracks

In the lowest part of the slope profile, where the shear force very quickly drops below the critical value balanced by the shear strenght, small semicircular cracks appeared (fig 6).

ling (1974, p. 47) feel that, because snowmelt run off rather quickly, not enough water penetrates the ground to induce slides during snowmelt. Rapp and Nyberg (1981, p. 2) discuss a similar event in Swedish Lappland and conclude that "the large size and long downslope range of debris flows make it likely that even the old debris flows were triggered by rainstorms in summer—on unfrozen ground—and not by snowmelt.

Since the rains in August 1976 (63 mm) did not cause debris flows, it is hard to believe that snowmelt in the springtime could be the principal—or even possible—reason for this kind of mass movement. In August, when the maximum depth to permafrost is reached, shear forces on slopes must be close to the threshold of failure, especially after periods of longlasting rains. In springtime, during the snowmelt, drainage activity should be concentrated on the slope surface. This is also shown by the presence of many small rills on the slopes. It might be possible that small debris flows could be triggered in favourable exposures by a combination of rapid snowmelt and rain in springtime. The geomorphic effects of these occasions, however, must be negligible compared to the effects caused by rainstorms in summertime.

Hillside depressions, steepness and orientation

Triggering points of the Longyear valley slides occur on different levels and on different gradients on hillslope. Debris flows associated with gully erosion begin in local depressions as rock-wall chutes or pre-existing gully heads where collection of water is favourable.

Most of the new forms created in 1972 were slides with flows, triggered on plane slopes. Longitudinal profiles shown in figures 8, 10, 12 and 15, indicate that triggering points are not limited to specific levels or hillside gradients. Most scars have one in common; they appear where slopes are steep, or where steepness changes to a lower gradient in the concave part of the profile. A similar connection was observed by Williams and Guy (1973, p. 24–25) investigating debris flows in central Virginia. They found that "at least 9 of the 12 cases began at the lower end of the upper convex zone of the hillside, that is, at the junction where the convex upper zone merges with the concave or straight section immediately below". The explanation according to the same authors could be any of two reasons: (1) the gradient may not be steep enough in the upper convex region and (2) the water flowing on and under the surface might result in more water per unit volume of soil with greater distance from the crest. In the Longyear case, shear forces seem to be greatest on steep sections and at the break between steep sections and lower gradients. This fits in well with the explanation given above, in that shear strength decreases with steepness and soil moisture is concentrated in concavities.

Hillside orientation seems to be of less significance since slide and flow frequency are similar on both valley sides. The rainstorm followed a track from SW to NE and dominating winds were SSW–SSE (Table 1), parallell to valley direction.

More striking is the absence of 1972 failures in the upper part of the valley, in view of their abundance in the lower part. I consider this difference to depend on the different types of slopes. The upper valley slopes have well-developed talus cones with chutes and rock-fall funnels. The talus consists of coarse material (5–20 cm) with high permeability. The surface is not covered by vegetation. The drainage functions were good enough to prevent slope failures in 1972. There are, however, traces of debris flows on many talus slopes, indicating that this type of movement occurs even in this area. Apart from these differences, there is also the possibility of uneven rainfall distribution. Rainstorm center and rainfall intensity may have been concentrated near the valley mouth.

Frequency of catastrophic events in Longyear valley

The 1972 debris flows in Longyear valley were calculated to correspond to an average denudation of loose material of about 1 mm in a subcatchment area of 6.8 km^2. This is a high rate of denudation. Were the 1972 movements a unique, infrequent or common event for this environment? To help answer this, I studied two other sites on Spitsbergen. The preliminary results show that slopes in these other areas are stable but that they are influenced by rapid mass movements with long return periods during the past 100 years.

Fig. 16 gives some information about slope processes in the upper part of the Longear valley

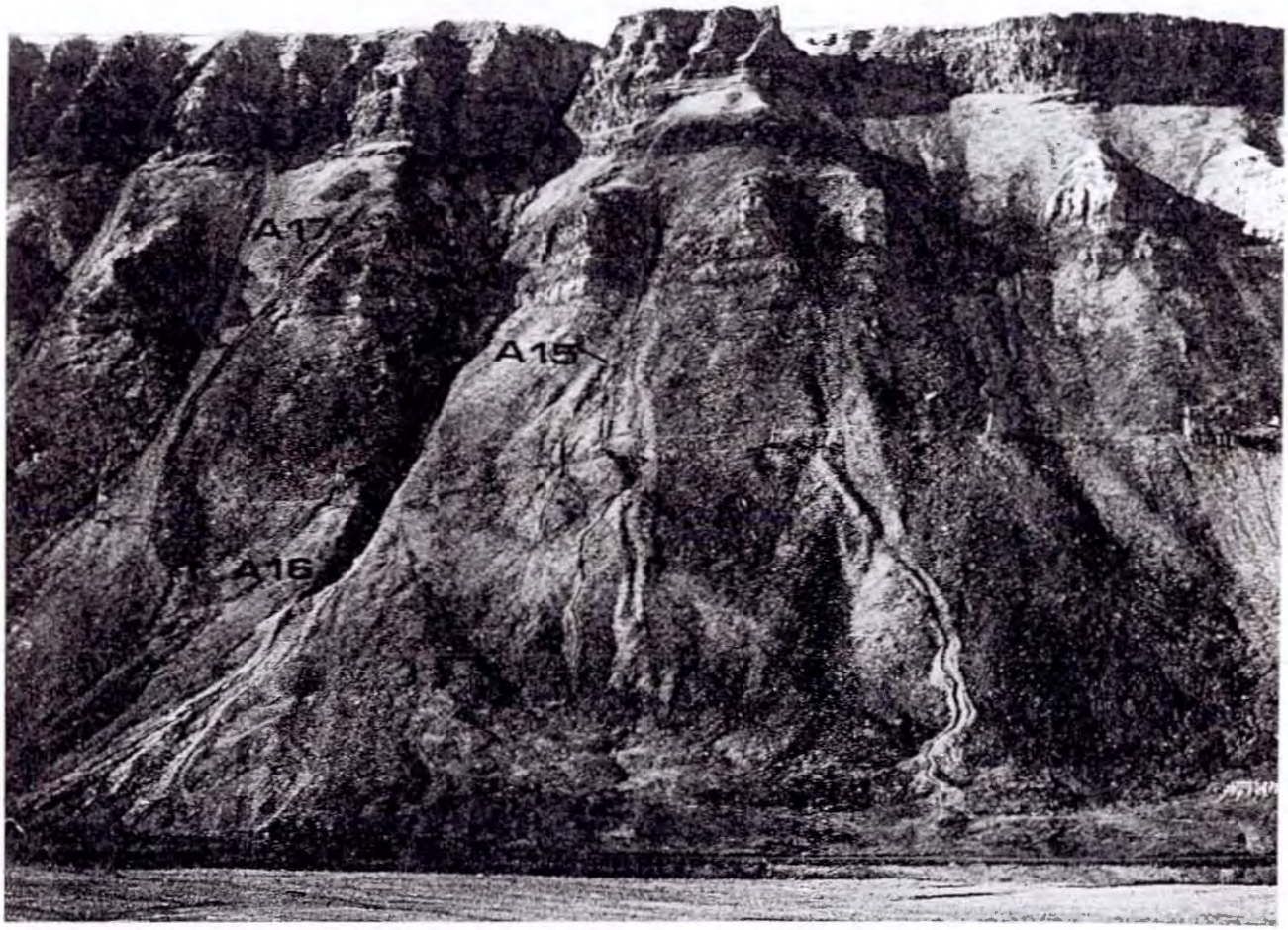


Fig. 16. Debris flow tracks in the central part of Longyear valley, west side. Traces of fresh and old debris flow deposits are visible. Photo: S. Larsson, July 1973.

area, affected by the rains in 1972. In the center of the picture, a gully is cut out in the Tertiary sandstone. In the lower part of the gully a talus cone is undergoing a transformation to a fan-like form. In 1972 the debris flow here (A16) was restricted to this main gully. A colluvial cone of about 800 m³ accumulated on top of the road bordering the sandur. Some of the material came from thin slides in the upper gully system, but most of it came from the walls of the initial gully.

The picture shows that there are many old debris flows and lobes, both on the simple scree slopes and on the colluvial fan. The age of these forms could not be determined, but the smoothened micromorphology indicates that the forms are old. Unfortunately, rainfall records were of no help in studying the possible frequency of debris flows in Longyear valley, since similar extreme events had never happened during the period of record. Nor was any help given by local historical descriptions. It seems, however, that the use of lichenometrical methods could be a tool for the estimation of the frequency. The basic requirements are present, namely old debris flow leveés and lobes covered by lichens.

The frequency of events can vary with changes in climate. Recent changes in the climate of Spitsbergen were described by Åkerman (1980, p. 14–31). Total annual precipitation has gradually increased during the period of available data (1934–1975). Åkermans data are for the station Isfjord Radio, but the general trend is also valid for Longyearbyen. Of great interest are changes in seasonal variations (Fig. 4) with higher amounts of rain in late summer. If this trend continues it means that the frequency of catastrophic events caused by heavy rainstorms should increase. Their significance for the evolution of slopes would then be of even greater importance.

An indication of this is provided by the occurence of another case of heavy rainfall on Spitsbergen. On 4–5 of August 1981, as much as 55 mm of rain was recorded during 30 hrs at Longyear airport. A large number of slides and debris flows were triggered at Longyearbyen, partly in the same tracks as 1972 (personal information by J. Åkerman 1981).

Conclusions

The rainstorm of 10–11 July 1972 in Longyear valley caused about 80 debris flows. Some mass movements started as slides on plane slopes, continued into flows creating parallell leveé-ridges and terminal lobes. Other debris flows were associated with pre-existing drainage channels. Small, narrow gullies were deepened by fluvial erosion which cuased laterally slumpage. In deeply incised gullies the fluvial removal was complete and all eroded debris was deposited on old colluvial cones.

The total amount of eroded debris was about 7000 m^3 in a subcatchment area of 6.8 km^2. This corresponds to an average denudation of about 1 mm.

Rainfall intensity combined with the existence of a permafrost plane were of greatest importance as concerns the triggering mechanism. Slope failures appeared when rainfall intensity amounted to about 2.5 mm per hour. This is a value far below a general threshold suggested for failures of the debris flow type in other climatic areas.

The investigations in Longyear valley together with preliminary results from nearby areas show that mass movements caused by heavy rainstorms are of great significance for the present evolution of slopes on Spitsbergen. Their importance in the future will increase if the present trend with gradually increasing amounts of precipitations continues.

Acknowledgements

Financial support was recieved from the funds of the Swedish Natural Science Research Council, Stockholm and from the Swedish Society for Antropology and Geography, Stockholm. The author is indebted to Prof. A. Rapp, University of Lund, Prof. Å. Sundborg and Dr. T. Stenborg, University of Uppsala and to Dr. G. Williams, U S Geological Survey, Denver, for constructive criticism of the manuscript and valuable additional information. Miss Kerstin Andersson made the drawings and Mr. A. Lindberg and Mr M. Feuer reproduced the photographs. I also want to express my gratitude to may brother Mr. L. Larsson for invaluable help with the field work.

Mr. Stig Larsson, Department of Physical Geography, University of Uppsala, Box 554, S-751 22 Uppsala, Sweden.

References

Åkerman, J., 1980: Studies on periglacial geomorphology in West Spitsbergen. Medd. Lunds Univ. Geogr. Inst. Avh. LXXIX.

Caine, N., 1980: The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows. *Geogr. Ann.* 62A (1–2): 23–27.

Jahn, A., 1960: Some remarks on the evolution of slopes on Spitsbergen. *Zeitschr. f. Geomorph.* Supplbd., 1: 49–58.

— 1961: Quantitative analyses of some periglacial processes in Spitsbergen. Uniwer. Wrozlawski, Zeszyty Naukowe, Seria b, Nr 5.

— 1967: Some features of mass movements on Spitsbergen slopes. *Geogr. Ann.* 49A: 213–255.

— 1976: Contemporaneous geomorphological processes in Longyeardalen, Vestspitsbergen (Svalbard). *Builetyn Perygl.* 26: 254–268. Lodz 1976.

Rapp, A., 1957: Studien uber Schutthalden in Lappland und auf Spizbergen. *Zeitschr. f. Geomorph.*, 1: 179–200.

— 1960: Talus slopes and mountain walls at Tempelfjorden, Spitsberger. Norsk Polarinst. Skrifter 119: 1–96. Oslo 1960.

— 1960: Recent development of mountain slopes in Kärkevagge and surroundings, Northern Scandinavia. *Geogr. Ann.* 42: 73–200.

— 1963: The debris slides at Ulvådal, Western Norway. An example of catastrophic slope processes in Scandinavia. Nachr. Akad. Wiss. Göttingen 13: 195–210.

— 1974: Slope erosion due to extreme rainfall, with examples from tropical and arctic mountains. Nachr. Akad. Wiss. Göttingen 29: 118–136.

Rapp, A. and *Strömquist, L.*, 1976: Slope erosion due to extreme rainfall in the Scandinavian mountains. *Geogr. Ann.* 58A(3): 193–200.

Rapp, A. and *Nyberg, R.*, 1981: Alpine debris flows triggered by a violent rainstorme on June 23, 1979, near Abisko, N Sweden. Trans. Japan Geom. Union 1:3 (manuscript).

— 1981: Alpine debris flows in northern Scandinavia. Morphology and dating by lichenometry. *Geogr. Ann.* 63A (3–4): 183–196.

Rudberg, S., 1958: Some observations concerning mass movement on slopes in Sweden. *Geol. För. Stockh. Förh.* 80(1): 114–125.

Sharp, C. F. S., 1938: Landlsides and related Phenomena: New York, Columbia Univ. Press, 137 p.

Strömquist, L., 1976: Massrörelser initierade av extrem nederbörd. Ett exempel från Andøya i Nordnorge. *Norsk Geogr. Tidskr.* 30: 41–50.

Thiedig, F., und *Kresling, A.*, 1973: Meteorologische und Geologische Bedinungen bei der Entstehung von Muren im Juli 1972 auf Spitsbergen. Polarforschung, 43: 40–49.

Thiedig, F., und *Lehmann, U.*, 1973: Die Entstehung von Muren als säkulares Ereignis auf Spitzbergen (Svalbard) und ihre Bedeutung fur die Denudation in der Frostschuttzone. Mitt. Geol. Paläontol. Inst. Univ. Hamburg 42: 71–80.

Williams, G. P., and *Guy, H. P.*, 1971: Debris avalanches- A geomorphic hazard. In Coates, D., (edit) 1971: Environemntal Geomorphology: 25–45.

Vedlegg F

Utdrag av NGI-rapport 924004-1 datert 26.05.1992

Longyearbyen – Gruvedalen

048. Bra-Trykk AS

SKREDFAREN I PLANOMRÅDET

Fjellsida ovafor utbyggingsområdet er bratt nok til at det kan løsne snøskred, og det er tydelige spor etter både flomskred og løsmasseutglidninger både ovafor og innen området.

Snøskred

Den blokkrike fjellsida ovafor planområdet er NØ-vendt uten markerte rygger eller forsenkninger. Terrenghelningen i de høgereliggende områdene er 30-40°. Snøskred kan løsne i terreng som er brattere enn 30°. Når terrenggradienten er så lav som i dette området vil imidlertid skredfrekvensen være liten.

Fjellsida ligger i le for vind fra sektoren S-V. Vind fra andre retninger vil pga. fjellets form blåse snø vekk fra fjellsida.

En gjennomgang av de meteorologiske data for Longyearbyen og Svalbard Lufthavn viser at framherskende nedbørførende vindretning om vinteren er fra sektoren SSV-NNV. Det kommer imidlertid også en del snø med østlig vind. Som regel er snøfallene ledsaget av vind som omfordeler snøen. Hovedvindretning utenom snøfallene er fra SØ. Mellom snøfallene er likevel periodene med klart, kaldt vær, lite vind og sterk utstråling langt mer fremtredende enn periodene med snødrift. I slike perioder dannes det gjerne rimkrystaller på snøoverflata.

Nedbørregistreringene fra Longyearbyen (Skjæringa) og Svalbard Lufthavn viser at det kommer mer nedbør på Skjæringa enn på flyplassen. Vanligvis er nedbørmengdene beskjedne. Statistikk for observert og påregnelig nedbør i vintermånedene viser imidlertid at det også kan komme relativt store nedbørmengder på kort tid (vedlegg 2, fig. 4).

I observasjonsperioden 1957-1992 var det 6 vintre som ut fra nedbørmengden skilte seg ut som mulige skredvintre i den aktuelle fjellsida. Fire situasjoner hadde 3-døgn nedbørsum større enn 40 mm. Alle hadde kalde forvintre, et par med betydelige snøfall. Disse situasjonene inntraff vintrene 1958/59, 1959/60, desember 1960 og 1973/74. To andre vintre hadde høg totalnedbør, vind fra SV i det aktuelle tidsrommet, men lavere nedbørtopp (1965/66 og 1985/86).

En nærmere analyse av de meteorologiske data fra disse situasjonene har imidlertid vist at forholdene ikke har ligget til rette for større snøskred i

Tabell 1 Noen værdata fra 6 vintre i perioden 1957 - 1992

Nedbør					Nedbørtype		Vindretning	
							Dekagrader	
År	Dato	Total mm	24 t mm	72 t mm	Obs.	300 m o.h.	v/ nedbør	Seinere
1958:	10.11-12.11	13,6			S-R-S	?		
	19.11-22.11	21,4			S	S	22-23	14-18
	24.12-28.12	**30,2**			S	S	27, 20	14-(18)
1959:	03.02-06.02	19,6			S	S	27 (18-34)	-
	08.02-12.02	**33,2**			S	S	26 (22-27)	-
	14.02-16.02	**41,2**	32,0	40,9	S (SL)	S	27-30	14
1959:	26.12-27.12	15,4			S	S	29, 20	16
1960:	11.01-13.01	4,2			S	S	13	29-32
	29.01-05.02	20,9			S	S	22-32, 14-18	-
	08.02-09.02	**39,2**	38,2	-	S	S	(18), 09	09→16
1960:	01.11-07.12	~16,0			S	S		16-20
	08.12-12.12	**52,7**	20,7	42,5	S	S	22-36	-
	13.12-17.12	8,4			S	S		
1966:	06.11-12.11	12,3			S	S	20-28	(27)
	19.11-22.11	**32,1**			S	S	22-34	16-19
	06.12-07.12	0,8			R	R?		
	26.12-28.12	25,7			R(→S)	R→S	18-22	-
1967:	28.01-03.02	10,6			S	S	25-35	16-18
	11.02-17.02	**32,3**	11,7	15,9	S	S	20-29 (32)	-
1974:	26.02-01.03	17,0			S	S	20, 11, 27	-
	03.03-05.03	**41,7**	34,0	41,7	SL-S-R-S	S(SL)	(20-)27	-
1985:	12.10-16.10	10,4			S	S	24-03	-
	12.11-19.11	10,4			S	S	13-27	-
1986:	05.01-06.01	5,0			S	S	24-01	-
	20.01-22.01	4,4			S	S	13-14, 35	-
	27.01	10,2			SL	S	14-18	14
	29.01-01.02	6,3			S	S	23-26	22-24
	03.02-05.02	16,0			S	S	21-27	(26-35) -
	13.02-14.02	11,8			S	S	23-34	24-27
	05.03-10.03	5,4			S	S	(10-19),25-32	-
	11.03-14.03	**35,9**	14,5	22,6	R/SL, S	S	20-26	21-25
	16.03-23.03	12,8			S	S	23-25, (13)	-

S = snø, R = regn, Sl = sludd

fjellsida ovafor planområdet disse årene. Dels var det kommet lite snø forut for de aktuelle skredsituasjonene, dels var ikke nedbørførende vindretning fra S-V, eller innslag av regn reduserte muligheten for skred (tabell 1). Framherskende vindretninger og styrker ved de nevnte situasjonene er vist på figur 5.

En forutsetning for at større snøskred skal bli utløst i fjellsida ovafor planområdet er at det alt vesentligste av stein og andre ujevnheter er dekket med snø før relativt store snømengder kommer med SV-lig vind. NGI har ikke klart å verifisere at dette har skjedd i denne fjellsida, som utenom nedbørsituasjonene vanligvis er eksponert for vind som blåser vekk snø. De meteorologiske data indikerer imidlertid at det kan forekomme situasjoner da snø vil samle seg i store nok mengder til at snøskred kan bli utløst. Snøfall i Longyearbyen starter ofte når det er vindstille eller når det er velutviklede rimkrystaller på den gamle snøoverflata. Under slike forhold får man et særlig ustabilt lag i bunnen av snøpakka. Man kan derfor ikke se bort ifra at relativt store snøskred kan nå ned i planområdet.

Rekkevidden av snøskred er beregnet langs profillinjene P1-P7 (fig. 2 og 6-7, vedlegg 3). Skred med gjennomsnittlig gjentakelsesintervall på 1000 år vil etter vår vurdering av beregninger og klimadata kunne nå ca 100 meter ned forbi taubanetrasèen i den sørøstligste delen av planområdet, og til ca. 70 meter nedafor trasèen videre forbi strammestasjonen. Deretter avtar rekkevidden mot sørvest pga. den avtakende høgde og helning på ovaforliggende fjellside. Ved profil P8 vil skred kunne nå omlag til øvre grense for planområdet (fig. 2).

De lave, bratte skråningene i nedre del av planområdet ligger også i le for vind hovedsakelig fra SV-lig retning. De skråningene som vinterstid er brattere enn 30° kan under spesielle værforhold være potensielle løsneområder for snøskred. En tilnærmet avgrensning av fareområdene er gitt på figur 2. Fareområdenes utstrekning vil variere med snøforholdene forut for de eventuelle skredsituasjonene.

Flomskred

Det framgår av figur 3 at flomskredaktiviteten i fjellsida har vært relativt liten. Spor etter både eldre og nyere, store og små skred kan likevel observeres. Skredavsetninger av betydning har derimot bare unntaksvis nådd ned forbi taubanetrasèen. Det store skredet 4-5 august 1981 er et eksempel på dette (foto 3).

Flomskredene i området har dels startet som masseutglidning på mer eller mindre tilfeldige steder og har fortsatt som en strøm som dels eroderer, dels avsetter parallelle rygger (levèer) langs løpet og i utløpsområdet, iblant også markerte skredtunger. Andre flomskred er knyttet til tidligere skred-/dreneringskanaler. Fluvial erosjon kombinert med utglidninger i kanalsidene har gitt skredmateriale som er avsatt langs eldre skredløp og på eldre skredformer (foto 3-6).

Utløsningsmekanismen for flomskred er knyttet til stor nedbørintensitet og/eller snøsmelting i kombinasjon med eksistensen av permafrosthorisonten. Ved skredsituasjonen i Longyearbyen 10-11 juli 1972 falt det 30,8 mm i løpet av ca. 12 timer, hvilket gir en gjennomsnittlig nedbørintensitet på ca. 2,5 mm/time. Ved skredsituasjonen i august 1981 ble det på Svalbard Lufthavn registrert 55 mm nedbør i løpet av 30 timer. Ved begge anledninger gikk det et stort antall flomskred i og omkring Longyearbyen.

En gjennomgang av nedbørdata for Isfjord Radio for perioden 1934-1975 viser at den årlige nedbøren har økt gradvis. Denne trenden er også gyldig for Longyearbyen. Det er også en endring mot større nedbørmengder på ettersommeren (Larsson 1982). Dersom trenden fortsetter vil frekvensen av flomskredsituasjoner kunne øke. Flomskred fra fjellsida ovafor planområdet vil således også i framtida kunne nå ned forbi taubanetrasèen. Det er likevel ikke noe som indikerer at framtidige skred vil bli større enn de som kan observeres pr i dag.

På bakgrunn av det foranstående antar NGI at frekvensen av store flomskred også i framtida vil være liten, utenom området ved strammestasjonen. En vegkropp eller dreneringsgrøfter anlagt på høgde med taubanen vil kunne tilpasses slik at det nedaforliggende området får en tilfredsstillende sikkerhet mot flomskred. Mot sørvest kan ei slik fanggrøft anlegges så høgt oppe som ved faregrensa for snøskred.

Ved strammestasjonen antas relativt grove skredmasser å kunne nå ned til ca. kote 80 (fig. 2). Her vil det, på tilsvarende måte som beskrevet ovafor, være behov for ei dreneringsgrøft eller liknende for å fange opp vann og materiale som ellers ville nå lengre nedover. Dersom det er ønskelig å stanse de forventede flomskredmassene høgere oppe, for eksempel på høgde med strammestasjonen, så er det naturligvis mulig å anlegge en fangvoll der.

Andre løsmasseskred

I fjellsida og langs skråningsfoten ovafor taubanetrasèen er det spor etter større løsmasseskred av eldre dato. Innen planområdet kan man observere ulike former for løsmasseutglidninger og erosjonsformer av begrenset størreise.

Enkelte grunne forsenkninger i den bratte fjellsida korresponderer med tungeformede løsmasseavsetninger langs skråningsfoten. Formene er overgrodde og varierer i størrelse og alder. De identifiserbare avsetningene ligger alle ovafor taubanetrasèen, men det er grunn til å tro at en del vann og materiale har drenert videre nedover i terrenget. Enkelte andre løsmasseformer, som dels ligger noe lengre nedover, kan også være rester etter slike skred. Hvor gamle slike avsetninger er er det vanskelig å ha en formening om. Frekvensen på slike hendelser synes imidlertid å være liten. Ingen av de omtalte formene når ned mot den beskrevne faregrensa for snøskred.

Små løsmasseskred, karakterisert ved skredgrop med skredtunge umiddelbart nedafor, er det flere av innen planområdet. Iblant har det strømmet ut så mye vann fra skredgropa at man også har fått en viss transport av masse videre nedover (foto 7).

Langs toppen av bratte skråninger og i eldre skredsår i slike skråninger er mindre løsmasseutglidninger relativt vanlig. Fra slike har det også mange steder strømmet ut så mye vann at det har blitt en viss massetransport (foto 8).

Langs foten av skråninger finnes det også enkelte steder halvmåneformede brudd i løsmassedekket, som ikke har utviklet seg videre til skred (foto 9).

Utløsning av de omtalte løsmasseskredene skyldes både stor vanntilførsel på grunn av nedbør og høgt porevanntrykk på grunn av vannsig i det aktive laget over permafrosten. De små løsmasseskredene kan synes å opptre relativt tilfeldig på hellende terreng. De øvrige er som nevnt knyttet til mer markerte terrengformer.

Ut over dette har det ved snøsmelting og kraftig nedbør forekommet erosjon langs vannsig/ dreneringsveger innen planområdet (foto 10).

De forhold som her er beskrevet vil også gjøre seg gjeldende i framtida. Frekvensen av store løsmasseskred ned forbi taubanetrasèen anses imidlertid for å være sjeldnere enn en gang pr. 1000 år i gjennomsnitt. De andre

problemene kan i stor grad løses i utbyggingssammenheng ved å kontrollere overflatedreneringen og vannsiget i det aktive laget ved hjelp av dreneringsgrøfter og utformingen av vegene i området. Hovedprinsippet vil være å avskjære tilsiget av vann til antatte problemområder og beholde kontrollen på vannet ned gjennom utbyggingsområdet.

AVGRENSNING AV FAREOMRÅDENE

Snøskred er i hht. de foranstående vurderinger den faretype som først og fremst setter grenser for utnyttingen av det planlagte utbyggingsområdet. Flomskred har størst rekkevidde i området nedafor strammestasjonen, men kan relativt enkelt kontrolleres med fangvoll høgere oppe. Problem som er knyttet til små utglidninger av løsmasser, materialetransport og erosjon langs dreneringsveger innen planområdet, kan kontrolleres med dreneringsgrøfter og utforming av veger i utbyggingssammenheng. Faregrensene på figur 2 er trukket på bakgrunn av en samlet evaluering av terrengforhold, klimadata og de matematiske beregninger av rekkevidden til snøskred.

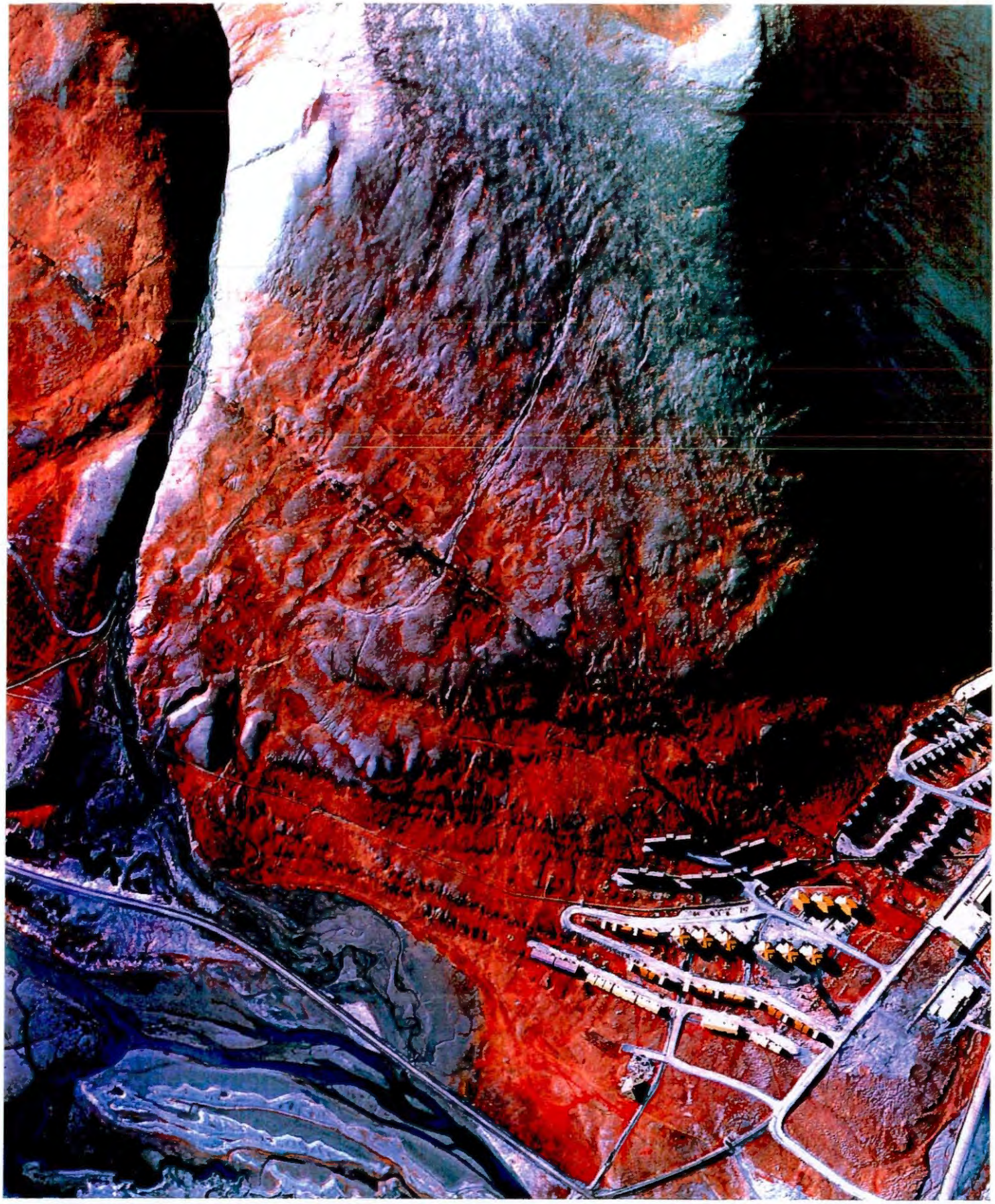
Etter som det knytter seg en viss usikkerhet til i hvilken grad fjellsida over utbyggingsområdet kan samle mye snø enkelte vintre, kan det være av interesse å forsøke å verifisere/ avkrefte dette. Dersom dette forhold med sikkerhet kan avkreftes, vil det være mulig å revurdere den angitte faregrense for snøskred.

Tilstrekkelig grunnlagsmateriale for en slik revurdering vil være å ta stereofoto av fjellsida fra vegen til Gruve 7, f.eks. 3 ganger hver vinter. Første fotografering bør skje så snart lysforholdene tillater det, og så med ca. en måneds mellomrom. Tidspunktene for fotografering må angis på alle foto.

Bildematerialet vurderes opp imot meteorologiske data for de samme vintre når det er grunn til å tro at man har hatt vintre med "gode betingelser" for snøavlagring i fjellsida. I perioden 1957-1992 har det muligens bare vært 2 vintre med slike forhold, så en slik fotografering vil måtte planlegges for en del år. Rimeligvis går det også en del år før behovet for å utnytte den øvre del av planområdet melder seg.

Foto 3 Fjellsida med den tydelige flomskredbanen fra 4-5 august 1981. Det har tidligere gått skred langs samme bane. Grovt materiale i forgrunnen. (Foto 1985)

Foto 4 Flomskredavsetningene fra august 1981. Grovt materiale er transportert forbi strammestasjonen. (Foto 1985)



LONGYEARBYEN - GRUVEDALEN	Rapport nr. 924004-1	Figur nr. 3
OVERFLATESTRUKTURENE I UNDERSØKELSESOMRÅDET Flomskred, løsmasseskred, mindre brattkanter med løsmasse-utglidninger og vannsig/dreneringsveger med erosjonsspor ca M 1:5 000	Tegner EH	Dato 92-05-26
	Kontrollert SBa.	NGI
	Godkjent	

1000 9-88 Sch 4 3 2

Kontroll- og referanseside/
Review and reference page

NGI

Oppdragsgiver/*Client* Svalbard Samfunnsdrift AS **Kontraktsreferanse/ *Contract reference*** Kontrakt av 15.06.01	**Dokument nr/*Document No.*** 20011167-1 **Dato/*Date*** 15. oktober 2001.
Dokumenttittel/*Document title* Vannledningsdalen-Gruvedalen, Longyearbyen **Prosjektleder/*Project Manager*** Erik Hestnes **Utarbeidet av/*Prepared by*** Erik Hestnes	**Distribusjon/*Distribution*** ☐ Fri/*Unlimited* ☒ Begrenset/*Limited* ☐ Ingen/*None*
Emneord/*Keywords* Arealplanlegging, skredfare, snøskred, flomskred	
Land, fylke/*Country, County* Norge, Svalbard **Kommune/*Municipality*** Svalbard **Sted/*Location*** Longyearbyen **Kartblad/*Map*** Blad C 9 **UTM-koordinater/*UTM-coordinates***	**Havområde/*Offshore area*** **Feltnavn/*Field name*** **Sted/*Location*** **Felt, blokknr./*Field, Block No.***

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

Kontrollert av/ *Reviewed by*	Kontrolltype/ *Type of review*	Dokument/*Document* Kontrollert/*Reviewed* Dato/*Date*	Sign.	Revisjon 1/*Revision 1* Kontrollert/*Reviewed* Dato/*Date*	Sign.	Revisjon 2/*Revision 2* Kontrollert/*Reviewed* Dato/*Date*	Sign.
SBa	Helhetsvurdering/ *General Evaluation* *	15.10.01	SBa.				
SBa	Språk/*Style*	15.10.01	SBa.				
SBa	Teknisk/Technical - Skjønn/*Intelligence*	15.10.01	SBa.				
	- Total/*Extensive* - Tverrfaglig/						
	Interdisciplinary						
SBa	Utforming/*Layout*	15.10.01	SBa.				
EH	Slutt/*Final*	15.10.01	EH				
JS	Kopiering/*Copy quality*	18/10-01	JS				

* Gjennomlesning av hele rapporten og skjønnsmessig vurdering av innhold og presentasjonsform/ *On the basis of an overall evaluation of the report, its technical content and form of presentation*

Dokument godkjent for utsendelse/ *Document approved for release*	**Dato/*Date*** 15.10.2001	**Sign.** Erik Hestnes