



**STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT**  
**SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE**

**RAPPORT**  
**REPORT      No11a**

**Tuveskredet**  
**Slutrapport**

**LINKÖPING 1984**





**STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT**  
**SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE**

**RAPPORT**  
**REPORT      No 11a**

**Tuveskredet**  
**Slutrapport**

**JAN HARTLÉN**

**LINKÖPING 1984**

**ISSN 0348-0755**

AB ÖSTGÖTATRYCK LKPG 1984

## FÖRORD

Med anledning av Tuveskredet uppdrog bostadsdepartementet 1978-06-08 åt Statens geotekniska institut, SGI, att närmare undersöka de geotekniska förhållandena kring skredet. Från regeringsbeslutet citeras:

"Regeringen uppdrar åt Statens geotekniska institut att i samråd med Sveriges geologiska undersökning, institutionerna för geoteknik och geologi vid Chalmers tekniska högskola samt Göteborgs kommun utreda de geotekniska förhållanden som förelåg i Tuve vid skredtillfället och vilka faktorer som kan ha utlöst skredet. Sådana resultat som är av betydelse för bedömning av skredrisker inom andra områden bör särskilt redovisas. Institutet bör till statens planverk redovisa om undersökningen ger anledning till överväganden om revidering eller komplettering av gällande föreskrifter, råd och anvisningar till 9 och 16§§ byggnadsstadgan."

SGI tillsatte en styrgrupp som fick följande sammansättning: professor Sven Hansbo vid institutionen för geoteknik vid CTH, professor K Gösta Eriksson vid institutionen för geologi vid CTH, 1:e statsgeolog Curt Fredén vid SGU, civilingenjör Eddy Ismael vid Göteborgs gatukontor, samt överdirektör Leif Andréasson vid SGI. Leif Andréassons tragiska bortgång våren 1980 medförde att undertecknad ersatte honom i gruppen. Till gruppen adjungerades även överingenjör Torbjörn Stål vid SGI och Göran Sällfors vid CTH.

SGI har valt att redovisa utredningen i fyra separata rapporter. Föreliggande Rapport nr 11 a utgör slutrapporten och beskriver skredförloppet och orsakerna till skredet samt redogör för forskningsinsatser och övriga verksamheter som, delvis, initierats med anledning av skredet. En detaljerad redogörelse av de geotekniska förhållandena återfinns i SGI Rapport nr 18, framtagen av Larsson & Jansson vid SGI.

De geologiska förhållandena har undersökts av geologer vid Sveriges geologiska undersökning och Geologiska institutionen, Chalmers tekniska högskola, och finns redovisade i SGI Rapport nr 11 b.

De geohydrologiska förhållandena har studerats av Blomqvist och Gustafson genom anslag från Statens råd för byggnadsforskning. Resultatet finns redovisat i SGI Rapport nr 11 c.

Hypoteser till Tuveskredets orsak har vidare givits av erfarna svenska geotekniker. Materialet finns redovisat i SGI Rapport nr 10.

Ett flertal geotekniker vid SGI har aktivt arbetat med Tuveutredningen. Speciellt skall Mats Jansson och Rolf Larsson uppmärksammas. Till samtliga de som på olika sätt har medverkat vid framtagandet av kunskap om Tuveskredets orsaker liksom de som lämnat värdefulla synpunkter på innehållet i denna rapport vill under-tecknad framföra ett varmt tack.

Överväganden om fortsatta insatser från statsmakternas sida och eventuella behov av att förändra nuvarande föreskrifter och anvisningar diskuteras i särskild ordning.

Linköping i februari 1984

STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT

Jan Hartlén

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sid
SUMMARY	7
SAMMANFATTNING	11
1. BESKRIVNING AV TUVESKREDET	15
1.1 Inledning	15
1.2 Geografiskt läge och topografi	15
1.3 Bebyggelse	19
1.4 Händelseförlopp	20
1.5 Skador samt åtgärder efter skredet	26
1.6 Återställningsarbetet	29
2. UTREDNINGAR I SAMBAND MED TUVESKREDET	32
2.1 Allmänt	32
2.2 Geologi	32
2.3 Hydrogeologi	37
2.4 Geoteknik	39
3. ORSAKER TILL TUVESKREDET	46
3.1 Bakgrund	46
3.2 Förutsättningar för skred	48
3.3 Skredmekanismen	55
3.4 Progressivt brott	65
3.5 Slutsatser	72
4. BEHOV AV FORSKNING	75
4.1 Allmänt	75
4.2 Studium av skredmekanism vid progressiva brott	75
4.3 Spänningar och förskjutningar i naturliga slänter	76
4.4 Kemins betydelse	77
4.5 Riskanalyser	77
4.6 Förstärkningsmetoder	78
4.7 Skredvarningssystem	79
5. VERKSAMHETER EFTER TUVESKREDET	80
5.1 Kartering av potentiella skredriskområden	80
5.2 Räddningstjänstingripanden	81
5.3 Undersökning av allvarliga olyckshändelser	81
5.4 Göta älv	81
5.5 Prövning av planärenden	83
5.6 Byggnadslovsgivning	83
LITTERATUR	84





## SUMMARY

The Tuve landslide occurred on the 30th November, 1977, just after 4 o'clock in the afternoon. In the course of a few minutes, the appearance of an area covering 17 hectares was changed completely. Nine people died and 65 buildings were swept away in the landslide. A further 86 buildings, some very severely damaged, were found to be in an area subject to the risk of new landslides. The maximum length of the slide in the direction of travel was some 800 m and the greatest width was about 600 m. In the upper central parts affected by the landslide the ground level fell by up to 10 m, whereas that of the lower part of the area was lifted by about 5 m.

The Tuve landslide was no unique event. In many respects it was like the one that occurred at Surte in 1950. But at Tuve the buildings were closer together, so the consequences were more serious.

The SGI was instructed to investigate the conditions associated with the slide, in consultation with the Geological Survey of Sweden (SGU), the Departments of Geotechnical Engineering and Geology of Chalmers University of Technology, and the Gothenburg Local Authority. A steering group was appointed for the execution of the work.

The investigation has earlier been reported in four separate reports. This one, Report No. 11 a, constitutes the final report and describes the course of the landslide and its causes. The report also contains a description of the research and other activities that were initiated (partly) as a result of the Tuve landslide. A detailed presentation of the geotechnical conditions is contained in Report No. 18, which was prepared by SGI. The geological conditions are described in Report No. 11 b, which was prepared by the SGU and the Department of Geology of Chalmers University of

Technology. Finally, the hydrogeological conditions are described in Report No. 11 c, which was prepared by VIAK AB.

One difficulty in the evaluation of the Tuve landslide has been that no detailed geotechnical investigations were performed before the slide. At the planning permission examination it had been pointed out that no large movement of masses was allowed because the factor of safety against sliding was limited. To increase the safety a local part of the brook through the slide area was put in a culvert. But an analysis of the total stability of the area was never made. This now made the investigation more difficult.

There were still local parts of Tuve Kyrkväg where the stability was low and heavy rain initiated the landslide. The culvert mentioned earlier was unable to cope with the surface water runoff, so that water accumulated on the ground above Tuve Kyrkväg. The water infiltrated the soil and high pore pressures were built up. Thus, the development of the area in itself may have contributed to the landslide, and this may explain why the slide did not occur during earlier heavy rainfalls.

The steep incline of the firm bottom material below the clay implied that the slope was sensitive to disturbance. Because the stability was already low, when the pore water pressures increased, a gradual movement started in the slope. Primarily the increase in pore pressures was developed in frictional material underneath the clay in that part where the inclination of the firm bottom was large. The increase in pore water pressures also "softened" the clay in the active zone. To support this extra driving force, the deformations were successively transmitted downwards to the lower part of the slope. These deformations resulted in a further increase in the excess pore pressure and reduction of the soil strength, thus accounting for the progressive development of the landslide.

The conclusion that can be drawn from the Tuve landslide is that greater attention must be paid to the geohydrological conditions in an area. It is especially important to make clear how development in the area will change these conditions. Furthermore, the scope of geotechnical investigations must be extended. The incidence of permeable layers and the topography of the firm bottom material shall be made clear and the soil parameters of the clay and of silt and sand layers determined more accurately.

The methods of analysis for assessing the risk of progressive landslides must be developed by further research.

It is important to state that matters relating to landslides must be made clear during the planning stage, when a decision is taken on how an area should be developed. Later it is much more difficult, if not impossible, for the individual contractor to improve an area in which there is a potential risk for progressive landslides.

The report also describes the research that was started, as well as further requirements. The research areas of special interest are A. The mechanism of progressive failure, B. Stresses and displacements in natural slopes, C. The importance of chemistry, D. The development of methods of risk analyses, E. Strengthening methods, and F. Landslide warning systems.

Finally, the report describes activities that have taken place after the Tuve landslide. These include mapping of potential landslide risk areas, preventive actions, investigation of serious accidents and consultation in various contexts.



## SAMMANFATTNING

Tuveskredet inträffade den 30 november 1977 strax efter kl 16.00. På några minuter ändrade ett område på 17 hektar fullständigt utseende. Nio människor omkom och 65 fastigheter följde med i skredet. Ytterligare 86 fastigheter, några mycket svårt skadade, kom att ligga inom ett område med risk för nya skred. Skredet hade en största längd i rörelseriktningen på ca 800 m och en största bredd på ca 600 m. I dess övre centrala delar sänktes markytan som mest 10 m, medan den i områdets nedre del hävdes ca 5 m.

Tuveskredet är inte någon unik händelse. Det liknar i många avseenden det skred som inträffade år 1950 vid Surte. I Tuve var emellertid bebyggelsen tätare, varför konsekvenserna blev svårare.

SGI fick i uppdrag att i samråd med Sveriges geologiska undersökning, institutionerna för geoteknik och geologi vid CTH samt Göteborgs kommun utreda förhållandena kring skredet. För arbetets genomförande tillsattes en styrgrupp.

Utredningen redovisas i fyra separata rapporter. Föreliggande Rapport nr 11 a utgör slutrapporten och beskriver skredförloppet och orsakerna till skredet. I rapporten redogörs även för den forskning och annan verksamhet som (delvis) initierats med anledning av Tuveskredet. En detaljerad redogörelse av de geotekniska förhållandena återfinns i Rapport nr 18. De geologiska förhållandena finns beskrivna i Rapport nr 11 b, framtagen av SGU och inst för geologi, CTH. De hydrogeologiska förhållandena, slutligen, finns beskrivna i Rapport nr 11 c, framtagen av VIAK AB.

En svårighet vid utvärderingen av Tuveskredet är att det ej finns detaljerade geotekniska undersökningar gjorda före skredet. Det hade påpekats vid byggnads-

lovsprövningen att några större massförflyttningar ej fick göras med tanke på att säkerheten mot skred var begränsad. En totalanalys av områdets stabilitet hade dock ej gjorts. Detta försvårar nu analysen.

Det fanns lokala partier vid Tuve Kyrkväg med låg stabilitet. Det var stor nederbörd som initierade skredet. En kulvert klarade ej av att ta hand om ytvattentillrinningen, utan vatten ansamlades på markytan ovanför Tuve Kyrkväg. Vattnet infiltrerade jorden och höga porvattentryck utbildades. Exploateringen i sig kan således ha varit en bidragande orsak till skredet, och som då förklarar varför skredet ej utbildats vid tidigare stora regn.

Fasta bottnens stora lutning vid Tuve Kyrkväg innebar att slänten var känslig för störning. I och med att stabiliteten redan tidigare var låg utbildades, när porvattentrycken steg, en successiv rörelse i slänten. Porvattentrycken utbildades i friktionsjorden i den del där fasta bottnen hade stor lutning. För att bära denna extra påskjutande kraft spred sig deformationerna till den nedre delen av slänten. Dessa deformationer resulterade samtidigt i ytterligare porvattenövertäck och reduktion av jordens hållfasthet. På så sätt fick skredet en stor utbredning.

Någon entydig bild av hur stora progressiva skred likt Tuveskredet skall beskrivas finns ej. I rapporten beskrivs olika modeller. Det kan dock konstateras att de senaste årens forskning gjort bilden klarare, men ännu är kunskaperna ej tillräckliga för att teoretiskt beräkna ett skreds exakta omfattning. Däremot kan man med god noggrannhet beräkna risken för initialscred. Om åtgärder vidtas så att ett initialscred ej utbildas, utbildas normalt inte heller ett stort (progressivt) skred.

Slutsatsen man kan dra av Tuveskredet är att större hänsyn måste tas till de geohydrologiska förhållandena

i ett område. Speciellt viktigt är att klargöra hur en exploatering förändrar dessa förhållanden. Vidare måste de geotekniska undersökningarna få en större omfattning än idag. Undersökningarna måste klargöra förekomsten av permeabla lager och fasta bottens topografi samt jordparametrarna både i lerjord och i silt- och sandskikt måste bestämmas noggrannare.

Analysmetoderna för bedömning av risken för progressiva skred måste samtidigt utvecklas.

Viktigt att konstatera är att skredfrågorna måste klargäggas redan i planskedet, då man tar ställning till om och hur ett område eventuellt skall bebyggas. Det är senare mycket svårt, om inte omöjligt, för den enskilde byggaren att förbättra ett områdes stabilitet där potentiell risk för progressiva skred föreligger.

Rapporten beskriver även den forskning som igångsatts och vilka ytterligare satsningar som bör göras. De frågor som behandlas är a) mekanismen vid progressiva brott, b) spänningar och förskjutningar i naturliga slänter, c) kemins betydelse, d) utveckling av riskanalyser, e) förstärkningsmetoder samt f) skredvarningssystem.

Rapporten beskriver avslutningsvis de verksamheter som skett efter Tuveskredet. Hit hör kartering av potentiella skredriskområden, räddningstjänstingripanden, undersökning av allvarliga olyckshändelser samt rådgivning i olika sammanhang.





## 1. BESKRIVNING AV TUVESKREDET

### 1.1 Inledning

Tuveskredet inträffade den 30 november 1977 strax efter kl 16.00. På några minuter ändrade ett område på 27 hektar fullständigt utseende. Nio människor omkom och 65 fastigheter följde med i skredet. Ytterligare 86 fastigheter, några mycket svårt skadade, kom att ligga inom ett område med risk för nya skred. Skredet hade en största längd i rörelseriktningen på ca 800 m och en största bredd på ca 600 m. I dess övre centrala delar sänktes markytan som mest 10 m, medan den i områdets nedre del hävdes ca 5 m.

Tuveskredet är inte någon unik händelse. Det liknar i många avseenden det skred som inträffade år 1950 vid Surte. I Tuve var emellertid bebyggelsen tätare och därför blev konsekvenserna svårare.

### 1.2 Geografiskt läge och topografi

Tuve är beläget på Hisingen, inom Göteborgs kommun, ca 10 km norr om Göteborgs centrum, se figur 1.1. Skredet inträffade i en tvärgående sidodal till Kvillebäckens dalgång, som sträcker sig tvärs över Hisingen från Göta älv till Nordre älv. I Kvilledalen finns inga tydliga ärr från äldre skred. Tuve ligger dock inom den del av Sverige som är hårdast drabbad av stora lerskred, figur 1.2.

Kvilledalen, som skredet mynnade i, ligger i sina lägsta delar endast ett par meter över havets nivå. Det egentliga skredområdet hade karaktären av en liten sidodal omgiven av berg i norr och söder. Genom dalen rann en mindre bäck, som hade eroderat ut en ravin med lokalt branta slänter. Bäckens var i sin övre del, väster om Tuve Kyrkväg, kulverterad och mynnade nere i Kvillebäckens ut i Kvillebäckens.

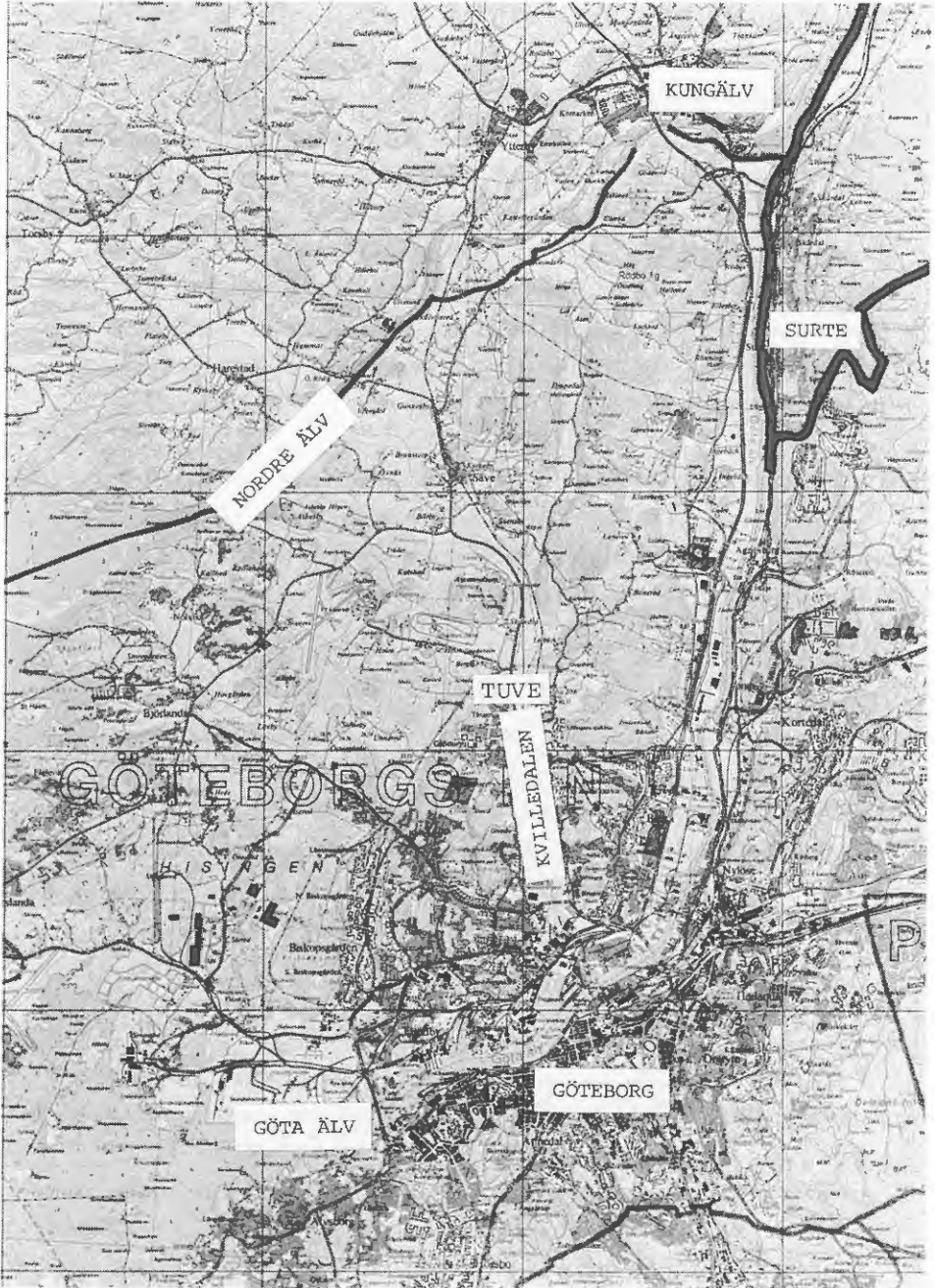


Fig. 1.1. Tuves lokalisering



Fig. 1.2. Skred inträffade i södra Sverige. Förteckningen är inte komplett.

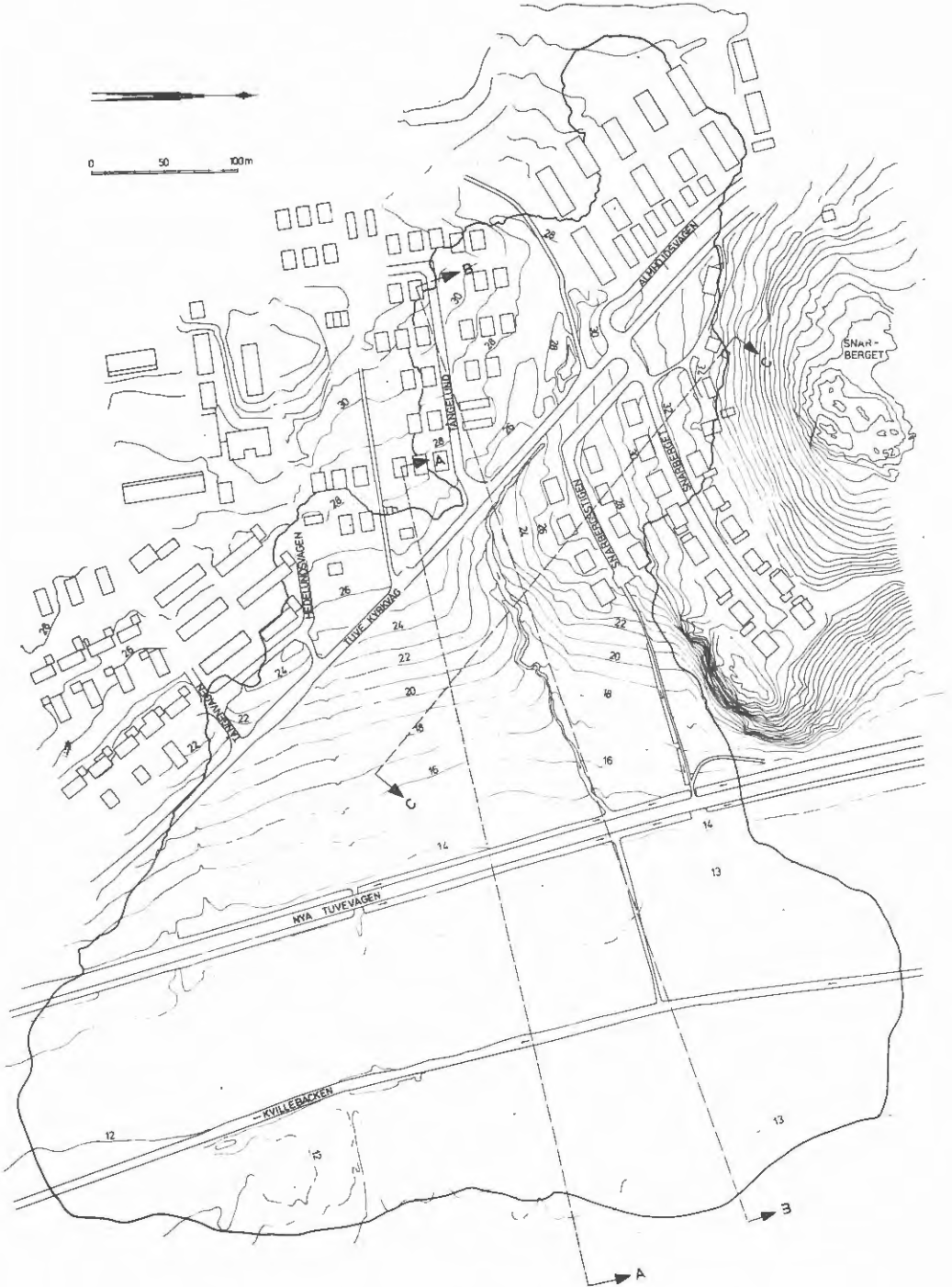


Fig. 1.3. Områdets topografi före skredet. Skredets utbredning visas också. Nivåerna hänför sig till Göteborgs höjdsystem.

En detaljplan över de topografiska förhållandena före skredet redovisas i fig 1.3. Mellan Kvillebäcken och Nya Tuvevägen lutade markytan 1:50. Inom området mellan Nya Tuvevägen och Tuve Kyrkväg var lutningen något kraftigare och uppgick till ca 1:12. De brantaste partierna fanns i anslutning till bäckravinen strax öster om Tuve Kyrkväg. Där förekom släntlutningar på ca 1:5, lokalt även så brant som 1:3. Nivåskillnaden mellan bäckfåran och vägen uppgick till 4 å 5 m. Väster om Tuve Kyrkväg planade terrängen ut. Höjdskillnaden mellan skredområdets högsta och lägsta del uppgick före skredet till ca 22 m. Det horisontella avståndet mellan dessa punkter uppgick till 700 m.

### 1.3 Bebyggelse

Bebyggelsen inom området är av relativt sent datum. Den egentliga exploateringen inleddes 1957, då ett antal tvåplans radhus uppfördes vid Tångenvägen (fig 1.3). Under mitten av 1960-talet fortsatte exploateringen med Tångelundsområdet, som då bebyggdes med källarlösa kedjehus. Ett par år senare exploaterades slutligen Almhöjdsområdet och Snarberget. Inom det förstnämnda området uppfördes 1½-plans radhus med källare medan Snarbergsområdet bebyggdes med friliggande enplanshus med och utan källare.

Väster om skredområdet byggdes under samma tidsperiod två områden med flerfamiljshus, Norums Höjd och Tuve Centrum. Vid uppförandet av denna bebyggelse anslöts dagvattennätet till bäcken genom skredområdet. Detta innebar att bäckens maximala vattenföring kom att öka väsentligt. Vid exploateringen kulverterades delar av bäcken. Arbetet genomfördes i två skilda etapper. Den första etappen, utförd omkring 1965, omfattade den del av bäcken som rann väster om villorna i Tångelund. År 1970 kulverterades sträckan söder om Almhöjdsområdet fram till Tuve Kyrkväg. Arbetet innebar bl a en uppfyllnad väster om vägen på 1-2 m.

Tuve Kyrkväg hade under mycket lång tid haft oförändrad sträckning genom området. En omfattande ombyggnad utfördes 1936, då den breddades, belades med smågatsten och höjdes 0,4-1,0 m. Efter ombyggnaden kom vägen att gå på en ca 80 m lång bank vid passagen av bäcken. Banken var som högst där bäcken i en trumma korsade vägen. Här uppgick bankhöjden till ca 3 m. Enligt kända uppgifter har efter ombyggnaden 1936 endast justeringar av vägens överbyggnad utförts.

Nya Tuvevägen, som också berördes av skredet, byggdes 1962 och övertog då den genomfartstrafik som tidigare utnyttjat Tuve Kyrkväg.

#### 1.4 Händelseförlopp

Efter skredet intervjuades ett stort antal personer som var bosatta i området eller befann sig där vid tidpunkten för skredet. Materialet finns sammanställt i en rapport utgiven av Institutionen för geologi vid Chalmers tekniska högskola (Fält, 1978).

Endast ett begränsat antal personer var direkta ögonvittnen till händelsen. Detta berodde främst på att skredet inträffade vid en tidpunkt då de flesta ännu ej återvänt hem från skola eller arbete men även på det dåliga vädret som gjorde att man höll sig inomhus. På grund av dimma och skymning var dessutom sikten begränsad. Detta innebär bl a att observationer från området nedanför Tuve Kyrkväg helt saknas.

Enligt uppgifter från vittnen som befann sig inomhus började skredet med att lampor slocknade och att knäppningar och knakningar hördes i husens stommar. Strax därefter började husen röra sig. Personer som befann sig utomhus berättade att det första man lade märke till var att en lyktstolpe började svänga fram och tillbaka. Strax därefter sprack marken upp, följt av större markförskjutningar

Det är möjligt att jorden i skredets inledningsskede rörde sig så långsamt att inga tydliga tecken kunde observeras vid denna tidpunkt. Senare konstaterades att skredet följt det underliggande bergets ojämna kontur. Detta innebar att skredmassorna måste brytas sönder efter en relativt begränsad förskjutning. Vid den tidpunkt, när marksprickor öppnade sig och husen började röra sig i förhållande till varandra, måste skredrörelserna ha märkts tydligt. De insamlade vittnesuppgifterna kan inte ge en exakt redogörelse för skredförloppet men en sammanställning av materialet har givit följande bild.

Strax efter kl 16 utbildades en spricka i Tuve Kyrkväg. Sprickan löpte från busshållplatsen vid Snarberget ned mot Tängelundsvägens utfart. I det skred som utvecklades gled delar av Tuve Kyrkväg ned i riktning mot Nya Tuvevägen (område 1 i fig 1.4). Skredet grep nu bakåt och åt sidorna. Villorna vid Snarbergsstigen gled iväg i ost-sydostlig riktning. Därefter drabbades bebyggelsen på Snarberget (område 2 a) och den ostliga delen av Tängelundsområdet (område 2 b). Ungefär samtidigt nådde skredet husen i området kring Hedelundsvägen (område 2 c). Sedan gav sig husen vid Tängenvägen (område 3 a) och resterande bebyggelse i Tängelund (område 3 b) iväg. Det bakåtgripande skredet nådde därefter Almhöjdsvägen och radhuslängorna gled iväg en och en (område 4-7) i riktning mot Nya Tuvevägen. Uppmätta horisontella rörelser för resp hus redovisas i fig 1.5. När skredet nådde omgivande fastmarkspartier avstannade det och avslutades med ett antal mindre stabiliseringsskred längs den uppkomna rasbranten. Det är inte möjligt att, utgående från vittnesuppgifter, avgöra hur stor del av det skuggade området (område 1 i fig 1.4) som det initiella skredet omfattade. Det är inte heller klarlagt om intialskredet utbildades helt eller om endast stora jordrörelser utbildades. Ravinen och Snarbergsstigsområdet återfanns relativt intakt i skredets nederdel enligt



Fig. 1.4. Skredets utveckling enligt ögonvittnesskildringar. Uppgifter om förloppet i den nedre delen av skredområdet saknas. Siffrorna anger skredförloppet i den övre delen av slänten.



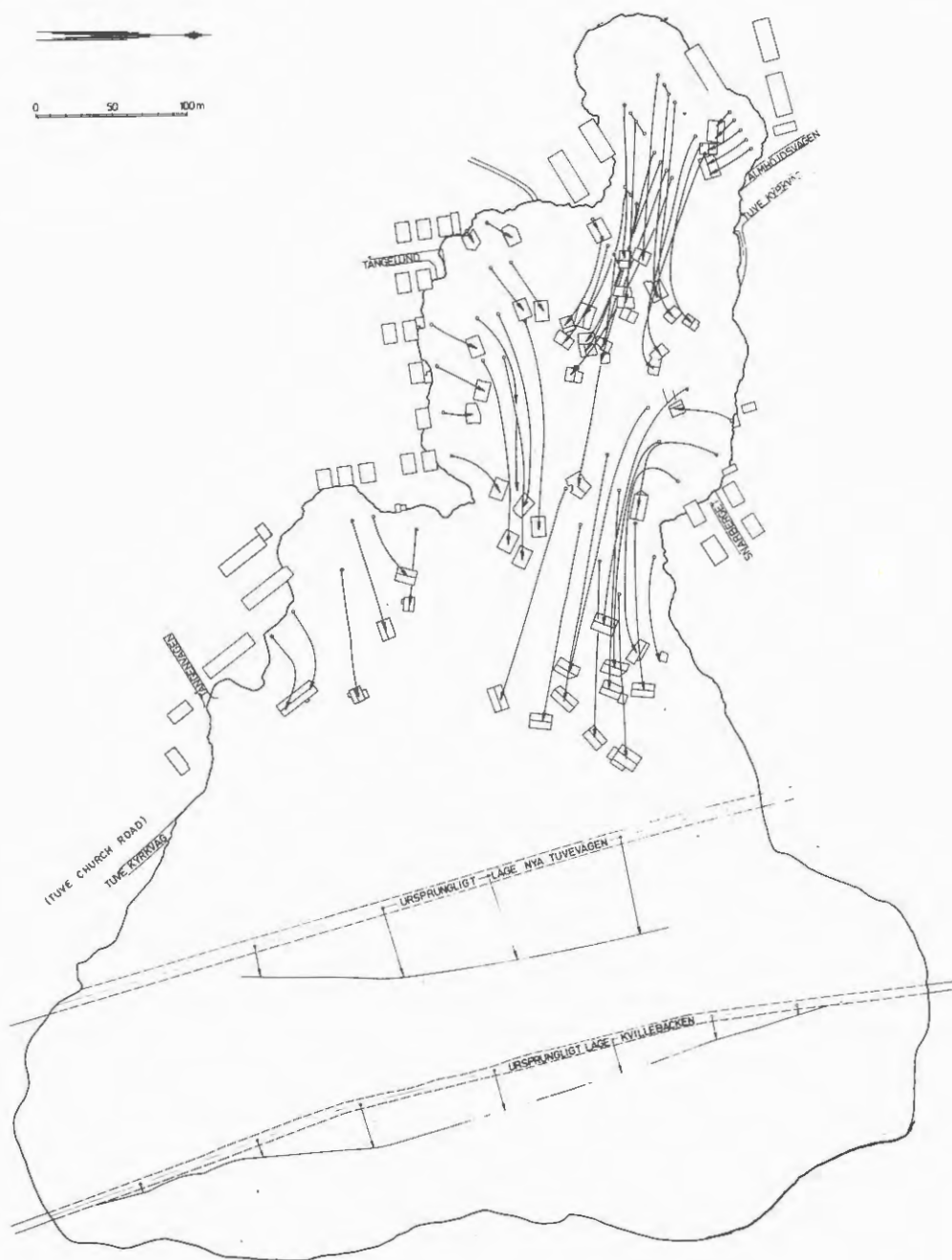


Fig. 1.5. Rörelser hos byggnader, Nya Tuvevägen och Kvillebäcken till följd av skredet.

vad flygbilder visar. Detta innebär att detta område måste ha glidit iväg i ett stort sammanhängande stycke. På samma sätt kan konstateras att den passiva zonen (nedre delen) även rörde sig i sidled.

Skredförloppet har kunnat tidsbestämmas noggrant genom vittnesuppgifter och automatiska registreringar av brott på elkablar i området. Mellan kl 16.05.33 och 16.09.41 släts sju elkablar av som svarade för elförsörjningen till både Tuveområdet och de närliggande områdena Skogome och Lillhagen. Det första kabelbrottet kan ha orsakats av det initiella skredet. Det sista inträffade i Almhöjdsområdet, dit det bakåtgripande skredet nådde i slutskedet. Alla större jordrörelser under skredet tycks alltså ha ägt rum inom loppet av ca fem minuter.

De insamlade vittnesmålen innehåller även uppgifter om iakttagelser före skredet. Smärre markrörelser med sprickbildningar hade konstaterats i området. Vidare förekom problem med ytvatten i samband med kraftig nederbörd eller snösmältning. En allmän uppfattning var att vattenföringen i bäcken, under dagarna före skredet, var den högsta som någonsin förekommit. Området väster om Tuve Kyrkväg var vid skredtillfället översvämmat p g a att kulverten ej var dimensionerad för så stora regn som var fallet före Tuveskredet.

Skredets fullständiga omfattning blev känd först i gryningen efterföljande morgon. Dess totala yta var 27 hektar (270.000 m<sup>2</sup>), vilket innebar att det var något större än Surteskredet. Skredet begränsades i norr och söder av fastmarkspartier. På södra sidan fanns emellertid några lerfyllda områden kvar. I väster nådde inte skredet fram till fastmark utan här utgjordes skredkanten av lera med en mäktighet på upp till 10 m.

Skredet gick djupt och följde till stor del fasta bottenens kontur. Längs skredkanterna kunde på flera



Fig. 1.6. Bilderna visar en glidyta från övre delen av skredet som följer fastmarkskonturen (övre bilden) samt den uppskjutna markytan i den passiva zonen (nedre bilden).

ställen väl utbildade glidytor iakttas i leran, se fig 1.6 (övre bilden). Även dessa blottlagda glidytor följde fastmarkskonturen, och den återstående lerans mäktighet var i allmänhet endast någon meter. Skredkanterna utbildades i stor utsträckning till vertikala eller nästan vertikala branter.

Inom övre delen av skredområdet sänktes markytan maximalt 10 m och hävdes i områdets nedre del ca 5 m. Markytan i de centrala delarna av skredområdet försköts upp till 200 meter.

#### 1.5 Skador samt åtgärder efter skredet.

Skredet drabbade ett bebyggt område. Byggnader, vägar, ledningar, kablar och andra konstruktioner deformerades, försköts och bröts sönder. Under skredet omkom 8 personer och närmare 40 skadade fördes till sjukhus. Endast 8 av dessa behövde kvarligga för vård. En man var dock så svårt skadad att han senare avled.

65 enfamiljsfastigheter - friliggande hus, kedjehus och radhus - följde med jordmassorna. Ytterligare 86 hus kom att ligga i riskzonen för sekundära skred. Av dessa låg ett trettiotal kvar på själva skredkanten i mer eller mindre svårt skadat skick. Totalt blev 436 personer hemlösa, 230 inom själva skredområdet, 206 inom riskområdet. Av vägarna inom området var det endast Nya Tuvevägen som hade karaktär av genomfartsled. Den genomgående trafiken kunde därför utan större svårighet ledas runt skredområdet. Bortsett från en del lokala störningar ledde Tuveskredet därför inte till några allvarliga trafikproblem.

Brott på elkablar och VA-ledningar medförde att även några kringliggande områden blev utan försörjning. För dessa områden ordnades emellertid snabbt provisoriska anslutningar.

Kvillebäcken dämades upp av rasmassorna. Dämningen förorsakade emellertid ej någon översvämning då bäckens naturliga vattendelare låg endast några hundra meter norrut och obetydligt högre än skredområdets nedre del.

Det första larmet om katastrofen gick till brandförsvaret, vars manskap var på plats inom loppet av 10 minuter. Deras första uppgift blev att undsätta nödställda i själva skredområdet, och i detta skede räddades ett 60-tal personer. När katastrofens omfattning blev känd begärde brandchefen att länsstyrelsen skulle överta ledningen av räddningstjänsten, och detta skedde också samma kväll. Under de närmast följande dagarna deltog ca 70 personer från brandförsvaret kontinuerligt i räddningsarbetet. En stor personalstyrka från hemvärn och olika militära förband sattes också in i arbetet. Länsstyrelsen behöll ledningen av räddningstjänsten till måndagen den 5 december. En detaljerad rapport om verksamheten har skrivits av Länsstyrelsen i Ö län, 1978.

Den geotekniska verksamheten leddes redan från början av Göteborgs kommuns geotekniker. Ett nära samarbete etablerades mellan geoteknikerna på stadsbyggnads- och gatukontoret. Arbetet organiserades så att stadsbyggnadskontoret svarade för administrationen och gatukontoret för ledningen av den geotekniska verksamheten på platsen. Denna organisation bibehölls under de två år återställningsarbetena varade.

Göteborgs kommun anlidade två konsultföretag, Jacobson & Widmark AB och VIAK AB, för medverkan i de geotekniska undersökningarna och bedömningarna. Dessutom engagerade kommunen en rådgivningsgrupp bestående av tre externa specialister. Dessa var Leif Andréasson, SGI, Gösta Berg, Ludvigssons Ingenjörbyrå och Allan Bergfeldt, Chalmers tekniska högskola.

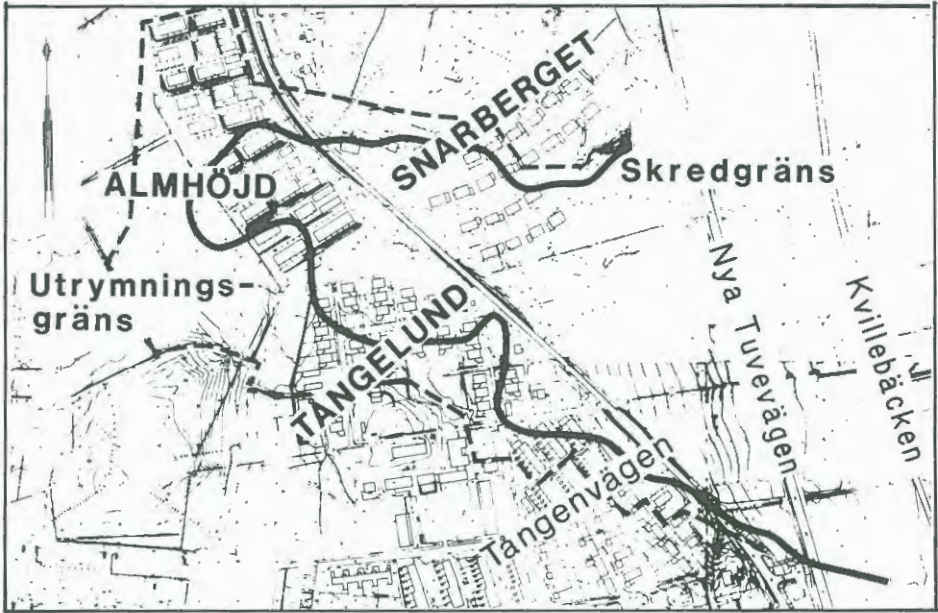


Fig. 1.7. Gränslinje för utrymning av bostäder.

De geotekniska insatserna inleddes samma kväll som skredet inträffade med en inventering av tidigare utförda undersökningar inom området. Nästa dag påbörjades byggandet av provisoriska vägar in i skredområdet. Dessutom inleddes undersökningar för att klarlägga risken för sekundära skred. Den viktigaste uppgiften för geoteknikerna omedelbart efter katastrofen var att avgränsa ett riskområde runt skredplatsen. Utöver de 65 hus som följde med i skredet, bedömdes 132 hus ligga i farozonen för nya skred. Vid ett tillfälle ansågs ytterligare ett 100-tal fastigheter osäkra och en evakuering av dessa påbörjades men efter ytterligare undersökningar kunde denna avbrytas. De geotekniska undersökningarna som erfordrades för att bestämma riskzonens gränser slutfördes under veckan efter skredet. Fredagen den 9 december kunde en gränslinje för skredriskområdet redovisas, fig 1.7. Den fastlagda gränslinjen tillät återinflyttning i 46 hus medan 86 hus fortfarande ansågs osäkra.

#### 1.6 Återställningsarbetet

Efter den första veckan inriktades den geotekniska verksamheten på att rädda vad som kunde och borde räddas och att ta fram underlag för en ny stadsplan över området. Geoteknikerna arbetade bland annat fram kalkyler över kostnader för erforderliga återställningsarbeten. Dessa låg sedan till grund för bedömningar av vilka byggnader som skulle bevaras respektive rivas.

Direkt efter skredet påbörjades provisoriska förstärkningsåtgärder av olika slag. En metod som användes i ett tidigt skede var sprutning med fiberbetong för att förhindra spjälkning av leran i vissa branta partier längs skredkanten. Några hus stöttades med balkar och strävor, andra säkrades genom att en tillfällig, lätt fyllning utlades. I vissa fall vidtogs förstärkningsåtgärderna för att husen inte skulle skadas ytterligare innan en restaurering kunde påbörjas, i andra fall för att en riskfri evakuering av lösöre skulle kunna genomföras före rivning. Se fig 1.8.



Tillfällig uppstöttningsavhus.



Bank av sprängsten utlagd mellan förankrad spont.



Lättfyllning utlagd för att förbättra stabiliteten.

Fig. 1.8. Återställningsarbeten inom skredområdet



Återställningsarbetet bedrevs med sikte på att kvarstående hus skulle få en "helt tillfredsställande" säkerhet mot framtida skred. Detta innebar omfattande förstärkningsåtgärder för Almhöjdsområdet och för samtliga byggnader längs södra kanten av skredområdet. Däremot krävdes ej särskilt omfattande åtgärder för byggnaderna på Snarberget, då dessa var grundlagda på berg eller fast jord. Det största problemet med denna bebyggelse var att åstadkomma en lämplig tillfartsväg till området.

Den mest använda förstärkningsmetoden var utfyllnad med sprängsten varvid leran schaktades bort lokalt och ersattes med sprängstensbankar. Söder om Almhöjdsområdet, slogs först en dragstagsförankrad spont innan schaktning och sprängstensutläggning påbörjades, se fig 1.8. Dragstagsförankrade sponter användes även på ett par sträckor norr om Tängelund. Inom ett mindre parti, vid Tångenvägens anslutning till den kvarstående bebyggelsen, var dock lermäktigheten så stor att andra åtgärder måste tillgripas. Inom detta område stabiliserades leran med bl a ringsponter.

De nya vägarna inom skredområdet drogs i största möjliga utsträckning fram på utlagd sprängstensfyllning. I de centrala delarna av området var detta ej möjligt utan vägbankarna lades flytande på leran. Detta innebär att man i framtiden kommer att få vissa sättningsrörelser.

Lätt fyllning (lättklinker) användes vid Almhöjdsområdet och vid Tångenvägen för att åstadkomma acceptabla slänter utan att påföra för stor belastning. Inom andra partier kunde lämplig slänthlutning erhållas genom utplaning av den branta skredkanten. Detta var t ex fallet vid "udden" i områdets västra del, där markytan planades ut efter det att de båda kvarstående skadade radhuslängorna rivits.

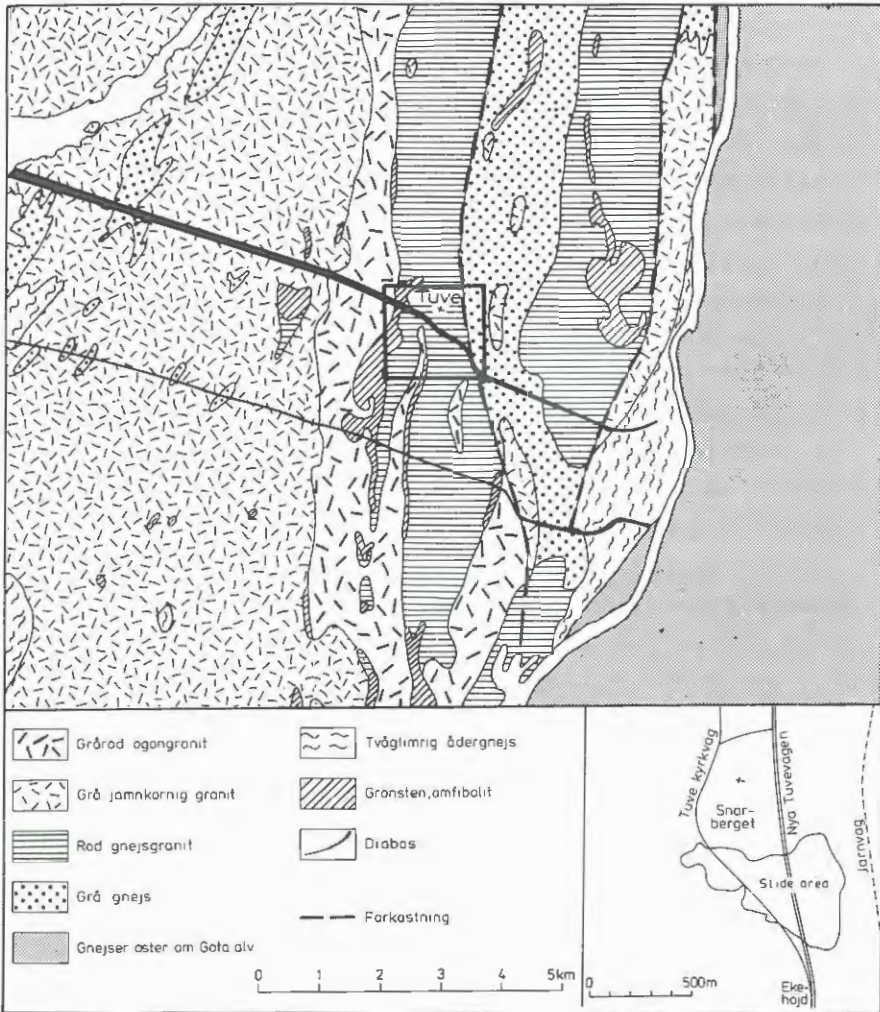


Fig. 2.1. Generaliserad berggrundskarta över Tuveområdet.

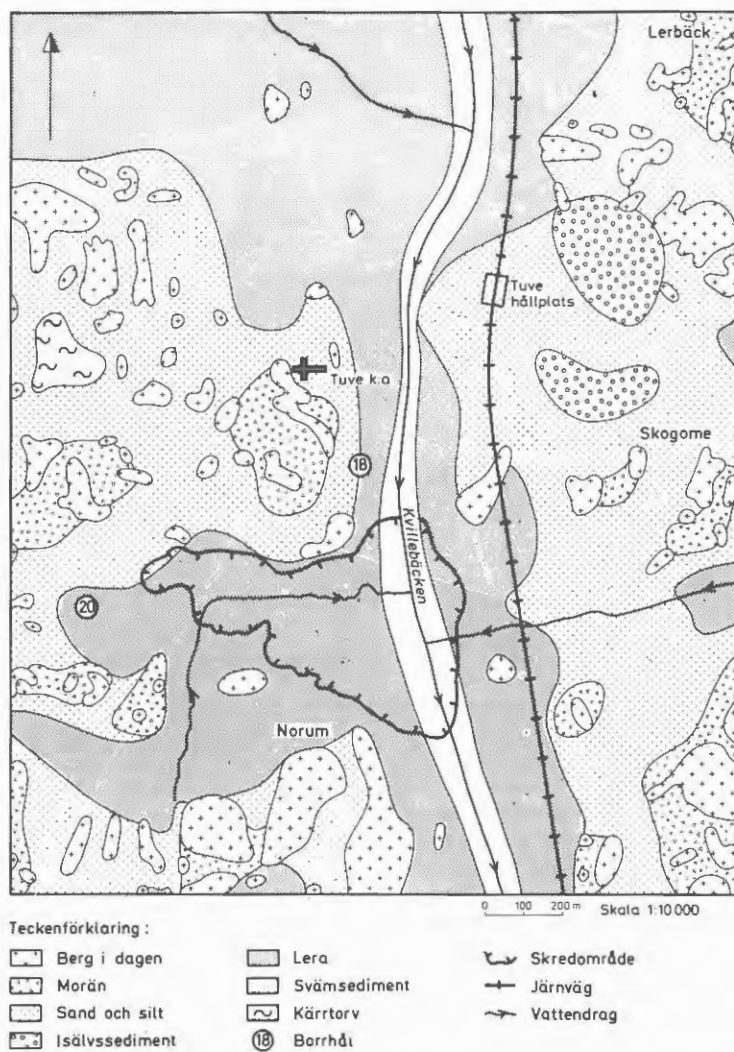


Fig. 2.2. Översiktlig jordartskarta över området kring Tuve.

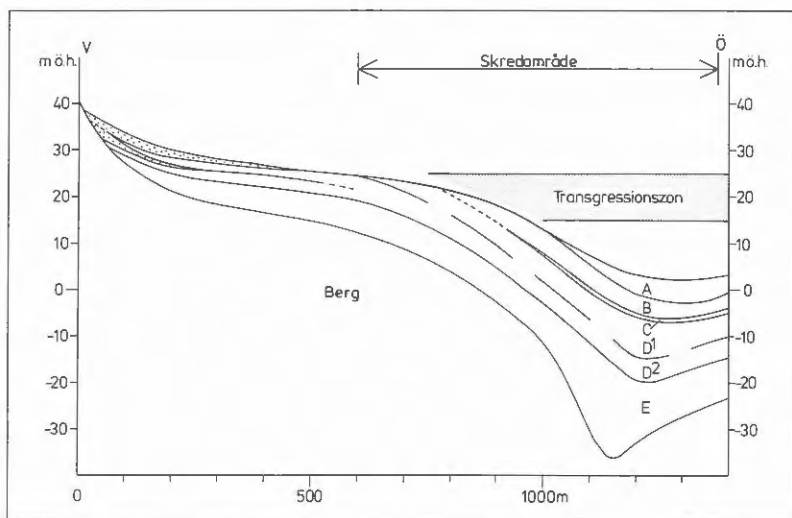


Fig. 2.3. Generaliserad jordartsprofil över skredområdet i Tuve. Närmast berget i väster förekommer sandskikt (prickat) i och på leran. A=gyttjelera, B=styv lera (75-80% ler), C=lera med siltskikt, D=styv lera, E=varvig lera.

lagren genom sin höga lerhalt (75-80 viktsprocent), utan också genom sin extremt låga karbonathalt (<1,5%) och sin stora rikedom på sötvattensdiatoméer (kisel-lager, främst *Melosira islandica*). Den senare förekommer bitvis så ymnigt att den i vissa mm-tjocka skikt upptar en avsevärd del av volymen i dessa. Huvuddelen av lerpartiklarna och kiselalger i denna del härrör från landisens avsmältning i norra Vänerområdet. I Kvilledalen utgörs lagerföljdens översta del under torrskorpan av gyttjelera.

Den postglaciala transgressionen (översvämningen) i Västsverige berörde områden på Hisingen belägna mellan 15 och 25 m ö h. Sedan dessa delar efter inlandsisens bortsmältande torrlagts genom landhöjningen blev de således åter dränkta av havet under en tidsrymd av 1000-2000 år innan de slutligen torrlades.

Grundvatten - speciellt vid artesiskt tryck - och ned-sipprande regnvatten har sedan dess i olika hög grad kunnat urlaka lerorna på dess innehåll av salter och därmed försvagat bindningarna mellan lerpartiklarna. Innehållet av bl a Na, Mg och Cl i borrhöjningarna från Kvilledalen vittnar om en urlakning av lerorna underifrån till följd av det rådande artesiska trycket i lagerföljdens undre del.

Den låga koncentrationen av bl a nämnda joner i lagerföljdens understa delar, liksom den låga karbonathalten och den stora tätheten av kiselalger i en zon i lagerföljdens övre del, kan tillsammans med förekommande siltlager ha bidragit till en minskad hållfasthet (och större sensitivitet) av leran.

### 2.3 Hydrogeologi

Efter skredet erhöll konsultföretaget VIAK medel från Statens råd för byggnadsforskning för att undersöka de hydrogeologiska förhållandena i området. Resultaten

från denna undersökning har redovisats i SGI Rapport nr 11 c (Blomquist & Gustafson, 1981).

Undersökningen visar att berggrunden i området, i jämförelse med överlagrande friktionsjord, bör betraktas som tät. Områdets huvudsakliga grundvattenmagasin utgjordes av den friktionsjord som överlagrade berget. Magasinet var slutet och dess kapacitet var begränsad. Den överlagrande leran hade låg vattentransporterande förmåga. Eftersom leran fungerade som ett tätande lager skedde nybildning av grundvatten vid dalsidorna, där friktionsjorden gick i dagen. Beroende på topografin och förekomsten av ett tätande ytlager rådde tidvis artesiska grundvattenförhållanden i dalgången. Det artesiska trycket begränsades dock av att grundvattnet bräddade där den täckande leran längs dalsidorna upphörde.

På grund av sin begränsade volym reagerade grundvattenmagasinet kraftigt på nederbörd och fylldes snabbt upp till bräddningsnivån. Därefter avgick nederbörden som ytvatten. Enligt utredningen rådde vid tidpunkten för skredet denna situation med maximala trycknivåer i bottenlagren och bräddning i magasinet. Detta innebär att grundvattnets trycknivå i bottenlagren inom stora delar av området låg mer än två meter över markytans nivå, i vissa lågpartier upp till fyra meter. En infiltration från sprickzoner i berget kan ha inneburit lokalt ändå högre tryck.

En studie av nettonederbörden, nederbörd minus avdunstning, i området visar att 1977 var ett normalt våtår, med undantag för november månad som var extremt våt. Då grundvattennivån inte kunde stiga över bräddningsnivån, antas ytavrinningen ha varit mycket hög under november 1977. Detta bekräftas också av vittnesuppgifter.

## 2.4 Geoteknik

Exploateringen av skredområdet skedde som tidigare nämnts etappvis. I samband med planarbetet för olika delområden utfördes lokala geotekniska undersökningar. Varje undersökning omfattade normalt vikt- eller trycksondering i ett till terrängen anpassat rutnät med ett hålavstånd på ca 40 m samt provtagning med kolvprovtagare i en eller ett par punkter. Totalt hade inom området för skredet sondering utförts i ett 60-tal punkter samt provtagning med kolvprovtagare i 7 punkter.

I de utlåtanden som berör områden i anslutning till bäckkravinen påtalades risken för lokala skred i ravinslänterna om belastningen på markytan ökades. Av den anledningen rekommenderades lastfria zoner närmast bäcken. Vid planeringen av området togs hänsyn till dessa restriktioner. Dessutom eliminerades den påtalade risken för lokala skred i ravinslätten söder om Almhöjdsområdet genom kulverteringen av bäcken.

Dagen efter skredet inleddes omfattande geotekniska undersökningar. I verksamheten deltog Göteborgs kommun, konsultföretagen Jacobson & Widmark AB (J&W) och VIAK AB, institutionen för geoteknik med grundläggning vid Chalmers tekniska högskola (CTH) samt Statens geotekniska institut (SGI). Under den första veckan koncentrerades verksamheten till bostadsområdena i skredets omedelbara närhet med syfte att klarlägga stabiliteten längs skredkanten. Resultaten från dessa undersökningar användes vid upprättandet av en utrymningszon, se fig 1.7. När detta arbete slutförts påbörjades undersökningarna i det egentliga skredområdet. Avsikten med dessa var att ta fram ett underlag för bedömning av erforderliga förstärkningsåtgärder. Samtidigt inleddes undersökningar för projekteringen av kommande återställningsarbeten. Eftersom syftet med de utförda undersökningarna varierade har de redovisats vid olika tidpunkter och i olika form.

Parallellt med dessa undersökningar utfördes kartläggningsarbeten samt rörelsemätningar på ett antal hus nära skredkanten. Så snart vädret tillät flygfotograferades hela området. För att dokumentera eventuella förändringar utfördes ytterligare en flygfotografering i mitten av januari -78.

I juni 1978 fick SGI officiellt i uppdrag att utreda Tuveskredet. Undersökningen, som dock hade påbörjats långt tidigare, har genomförts i samarbete med institutionen för geoteknik med grundläggning vid CTH samt med SGU och geologiska institutionen vid CTH/Göteborgs universitet.

Fältundersökningarna genomfördes i två etapper. Första etappen utfördes under tiden januari till mars -78 och omfattade:

- tryck- och viktsondering för bestämning av jordlagrens mäktighet och relativa fasthet
- skjuvhållfasthetsbestämning med vingsond. Sonderingarna utfördes med vingdimension 65 x 130 mm. Vid undersökningarna har utrustning både med och utan skyddskåpa använts
- portrycksondering för registrering av jordlagerföljd med speciell inriktning på förekomst av permeabla skikt
- tagning av ostörda prover med kolvprovtagare, St I och foliekärnprovtagare för laboratorieprovning
- portrycksmätningar
- bestämning i fält av jordens elektriska ledningsförmåga med saltsond för identifiering av ev glidzoner.

Resultaten från dessa undersökningar visade att skredet gått djupare än vad man först antog. Därför gjordes kompletterande undersökningar i februari och mars 1979. Dessa utfördes till fast botten och omfattade:

- vingsondering i fyra punkter belägna centralt i skredområdet.



- upptagning av ostörda jordprover med kolvprovtagare St I.

En planritning med SGI:s samtliga undersökningshål redovisas i figur 2.4. Två av hålen, 18 och 20, är belägna utanför skredområdet, där jorden inte bör ha påverkats av skredet.

Prover tagna med foliekärnprovtagare och kolvprovtagare analyserades på institutionen för geoteknik, CTH samt på SGI:s laboratorium. Materialet undersöktes med avseende på naturlig vattenkvot, konsistensgränser, skrymdensitet, resistivitet, kornstorleksfördelning samt skjuvhållfasthet och sensitivitet. Hållfasthetsbestämningen utfördes med hjälp av fallkon. Lerans förkonsolideringstryck bestämdes genom CRS-försök (ödometerförsök med konstant deformationshastighet). Den dränerade och odränerade hållfastheten undersöktes i aktiva och passiva triaxialförsök samt i ett antal dränerade direkta skjuvförsök. På upptagna prover utfördes vidare kemiska och bakteriologiska analyser.

I SGI Rapport nr 18 redovisas resultaten av dessa fält- och laboratorieundersökningar detaljerat.

Jorden inom skredområdet påverkades av skredet i större eller mindre omfattning, eftersom den försköts, bröts sönder och i vissa partier knådades och blandades. Detta innebär att resultaten till större delen ej är representativa för de förhållanden som rådde före skredet.

Utgående från undersökningsresultaten, inklusive de två referensundersökningarna utanför skredområdet, äldre geotekniska utredningar samt allmänna erfarenheter från Västsverige har följande bild av förhållandena före skredet erhållits:

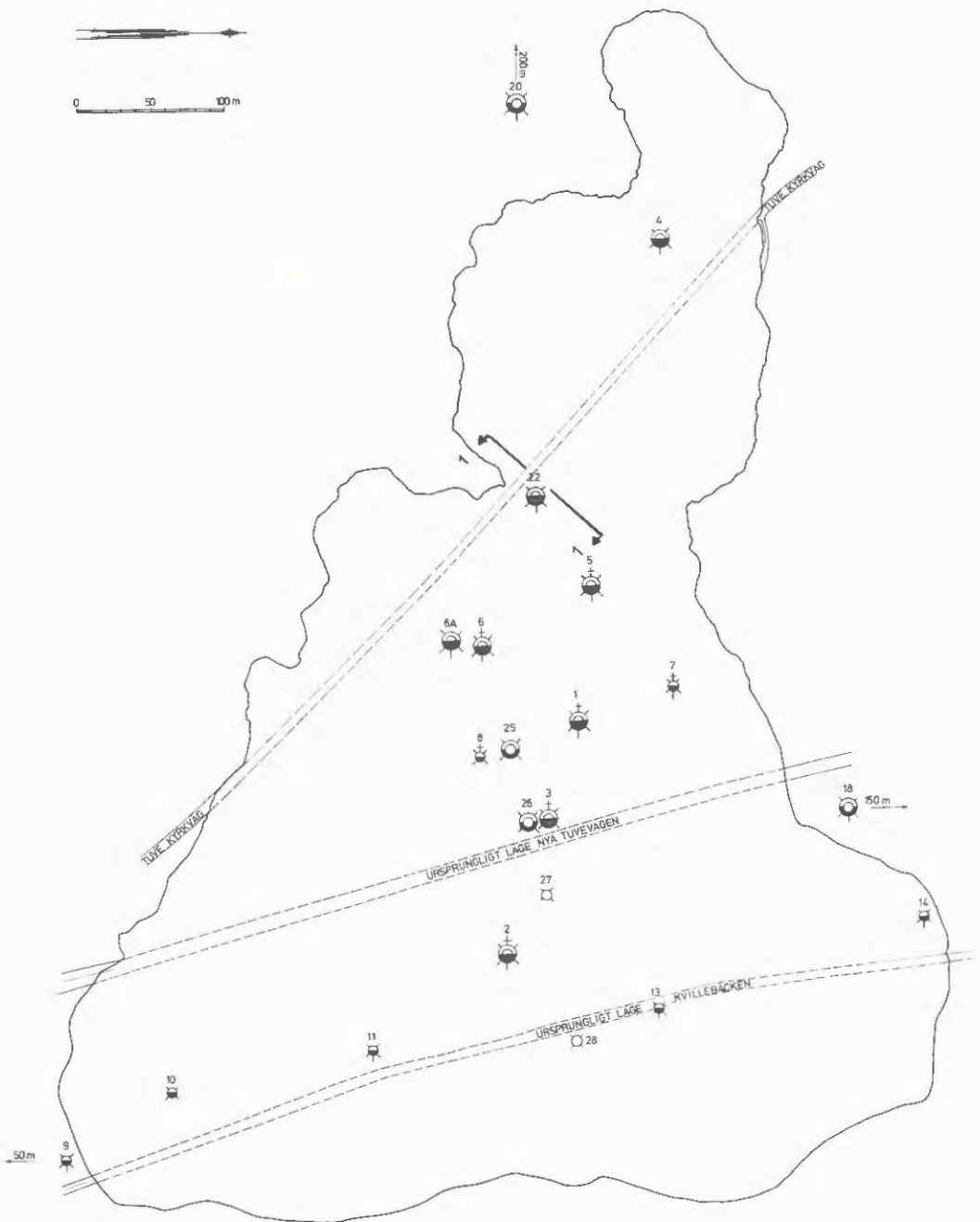


Fig. 2.4. Plan över SGI:s undersökningspunkter-

- statisk sondering
- ⊙ ostörd provtagning
- ⊗ vingsondering
- ⊖ sondering till fast botten

Sidodalen och den del av Kvilledalen, där skredet ägde rum, var fylld med en relativt homogen marin lera. På de översta nivåerna förekom en del organiskt material och enstaka sand- och siltskikt. Både lerinnehåll och plasticitet minskade med djupet. Under den homogena leran förekom ett tjockt lager lös siltig lera och lera med silt- och sandskikt. Tjockleken på detta lager varierade mellan 3 och 10 meter. Under leran fanns ett friktionsjordlager som vilade direkt på berg. Leran var, med undantag av torrskorpan och ett begränsat område i anslutning till bäckravinen, normalkonsoliderad för en grundvattennivå ca en meter under markytan. Den naturliga vattenkvoten sjönk med djupet, från ca 70% till ca 40% i lerans siltiga bottenlager. Konflytgränsen var ca 10% lägre. Skrymdensiteten uppgick till  $1,6 \text{ t/m}^3$  vid markytan och ökade till ca  $1,9 \text{ t/m}^3$  i bottenlagren.

Resultaten tyder vidare på att leran haft en konstant odränerad hållfasthet på ca 15 kPa ned till ett djup av 5 m, för att därunder långsamt öka med djupet ned till ungefär 2/3 av lerlagrets tjocklek. Från denna nivå och ned till de siltiga bottenlagren avtog lerans hållfasthet. Figur 2.5 visar en sektion tvärs Tuve Kyrkväg.

Den homogena lerans sensitivitet låg normalt i intervallet 20-40 med de lägsta värdena i Kvillebäckens dalgång. I närheten av Tuve Kyrkväg förekom dock skikt av kvicklera ner till ca 10 m djup. Utbredningen i plan är ej känd.

Markytan inom skredområdet låg i genomsnitt i lutning 1:30. De brantaste partierna fanns i anslutning till bäckravinen. Lokalt förekom här släntlutningar på upp till 1:3. Fasta bottnens topografi redovisas i fig 2.6. De största lutningarna förekommer vid Snarberget och längs Tuve Kyrkväg.

Efter skredet lutade markytan inom skredets övre del i genomsnitt 1:40 medan markytan i dess nedre del var

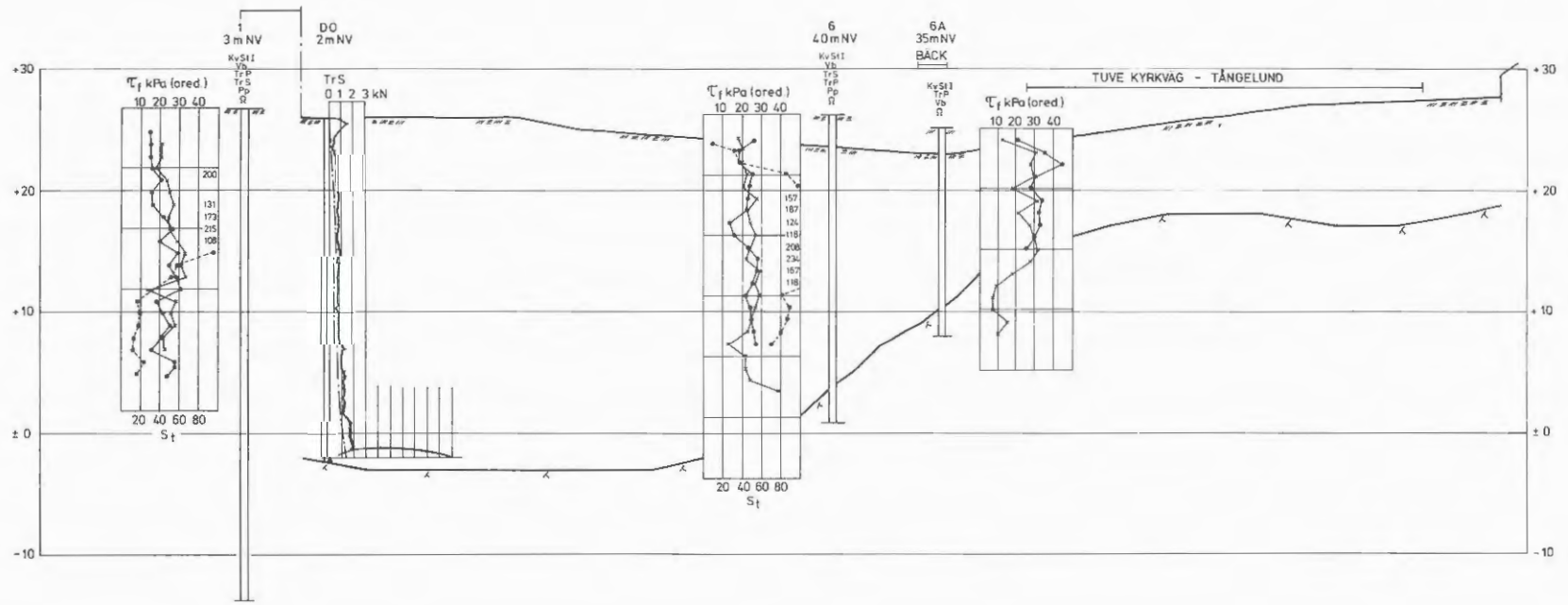


Fig. 2.5. Geoteknisk profil tvärs Tuve Kyrkväg, jfr fig, 2.4.



Fig. 2.6. Fasta bottnens topografi i Tuve.

nästan horisontell. I regel nådde skredet i den övre västliga delen fram till angränsande fastmarkspartier. Här uppgick mäktigheten hos den kvarvarande leran till mellan 2 och 8 meter. Djupet till fast botten ökade successivt österut i riktning mot Nya Tuvevägen. Lerlagret i de centrala delarna av skredområdet hade en mäktighet av ca 20 m. Av undersökningsresultaten framgår att leran inom den övre delen av skredet var påtagligt inhomogen och ältad av skredrörelser ända ned till fasta botten. I de centrala delarna var förhållandena annorlunda. Leran har inom detta parti förskjutits i stora sammanhängande block. Under dessa, inom en zon på upp till 10 m närmast fasta botten, har dock leran utsatts för kraftiga störningar. Detta visar att skredet gått mycket djupt och sannolikt följt fasta bottenkontur. Det är omöjligt att bestämma den egentliga glidzonens tjocklek, eftersom störningen i den undre siltiga leran även beror på den ältning leran utsattes för då den försköts långa sträckor över den ojämna berggrunden.

### 3. ORSAKER TILL TUVEKREDET

#### 3.1 Allmänt

Omedelbart efter det att Tuveskredet inträffat startade diskussioner om orsakerna till dess uppkomst. De förhållanden som då fördes fram var att det skett en pålastning inom släntens övre delar och att höga vattentryck uppkommit p g a en regnig period. Andra faktorer som berördes var om en hållfasthetsnedsättning ägt rum i leran p g a urlakning eller kemisk påverkan. De beräkningar som gjordes alldeles efter skredet baserades på vissa antaganden, eftersom de exakta geotekniska förhållandena före skredet ej var bekanta. Andréasson (1978) visade då att det inom områdets brantare delar förekom partier med låg säkerhet mot brott. Han angav således att säkerhetsfaktorn legat

mellan 1,0 och 1,1, om lerans odränerade hållfasthet antogs vara 15 kPa.

De fortsatta analyserna, som baserades på en ökande kunskap om de geotekniska förhållandena, visade på svårigheter att med gängse beräkningsmetoder kunna förklara skredets stora omfattning. Olika hypoteser rörande skredmekanismen fördes fram, utan att någon tycktes vara mer trolig än den andra. Den stora svårigheten vid en analys av skredet är att det, även nu efter det att kompletterande undersökningar genomförts, ej finns tillräckliga kunskaper om de geotekniska förhållandena före skredet.

För att erhålla ett så brett underlag som möjligt vid den slutliga analysen av Tuveskredet valde SGI att bjuda in ett tiotal erfarna geotekniker i Sverige att presentera sina hypoteser. Befintligt undersökningsmaterial ställdes till deras förfogande. Deras redogörelser finns publicerade i SGI rapport nr 10. Det framgår av denna rapport att det finns skilda uppfattningar om orsaken till skredets stora omfattning. I kap 3.3 analyseras och jämförs de olika ansatserna.

För att ytterligare bredda underlaget inbjöds ledande skredforskare från Norge, Kanada och Sverige till ett arbetssymposium i Linköping. Skredmekanismer i lös lera diskuterades då, och bidragen finns publicerade i SGI Rapport nr 17. Inte heller vid detta symposium framkom någon entydig förklaring till mekanismerna i stora skred i lös lera och hur stabiliteten skall beräknas.

En beskrivning av de geologiska och geohydrologiska förhållandena vid skredtillfället är enligt ovan återgivna i SGI Rapport nr 11 b resp 11 c. I Rapport nr 18 har Larsson & Jansson (1982) beskrivit de geotekniska förhållandena samt gjort en analys av skredorsaken. Senare har Larsson (1983) i Rapport nr 19



Fig. 3.1. Indelning av primära och sekundära områden med avseende på skredrisk.



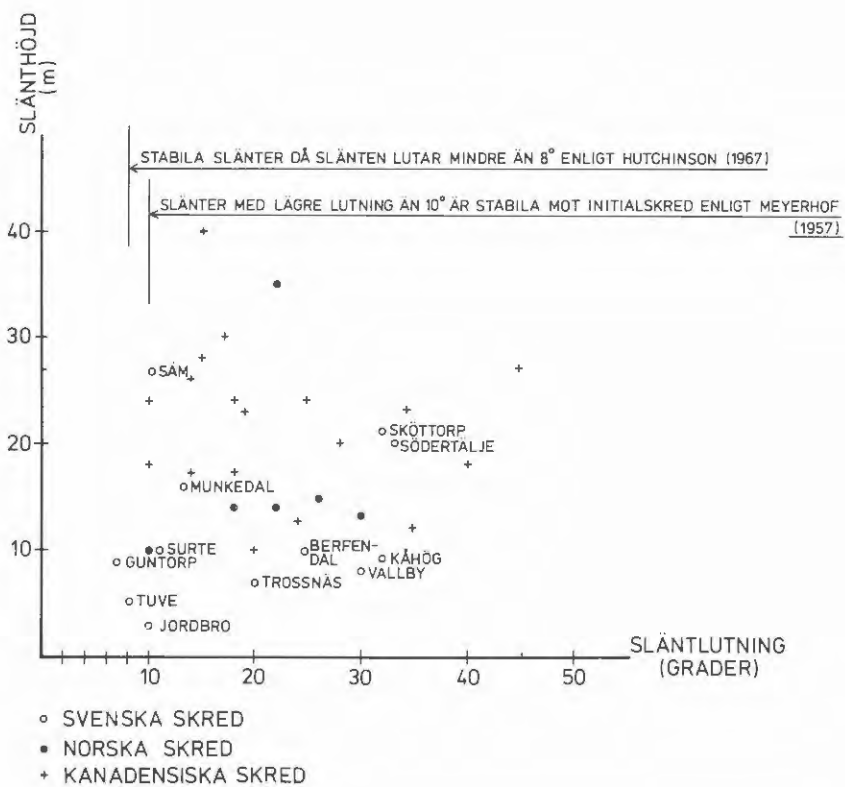


Fig. 3.2. Slänthöjd och slänthöjd hos svenska, norska och kanadensiska slänter, där skred inträffat (Viberg, 1982).

material kan vid störning falla in i en tätare lagring med ökade porvattentryck som följd. Hållfastheten reduceras då markant och dessa skikt kan vid skred uppträda likt en kvicklera.

Det är av stor betydelse att i förväg kunna bedöma när skred kan utbildas och om skredet kommer att bli begränsat eller omfattande. De naturliga faktorerna som kan medverka till att ett skred utbildas är, förutom jordlagrens lutning,

regn	
snösmältning	
vattenståndsvariationer	
erosion	
jordskalv	
landhöjning	} långsam process
salturlakning	

Inventering av inträffade skred i svenska leror visar att skreden oftast är klimatiskt betingade och inträffar till större delen på våren och hösten, d v s i samband med vattenöverskott från snösmältning och höstregn (Viberg, 1982). I fallet Tuve var hösten nederbördsrik, fig 3.3. November 1977 var extremt våt och netto-nederbörden resulterade i att artesiskt vattentryck erhöles i bottenlagren, se kap 2.3

Regn och snösmältning medför att vatten infiltrerar och orsakar vattentryck i sprickor, höga porvattentryck och större tyngd p g a vattenmättnad i torrskorpedelen. Porvattentrycket höjs främst i de permeabla lagren. Dessa lager förekommer i form av silt- och sandskikt underlagrande leran och ibland också i leran, främst mot fastmarkspartier. I Tuve fanns vidare ett kiselalgrikt lager, som genom sina hålrum var permeabelt. Höga vattentryck kan med tiden även reducera hållfastheten i leran. Larsson (1982) visar att portryckets inverkan på lerans hållfasthet beror på överkonsolideringsgraden. I normalkonsoliderade lösa leror blir effekten dock normalt måttlig och sker främst i aktivzonen av ett presumtvt skred och i

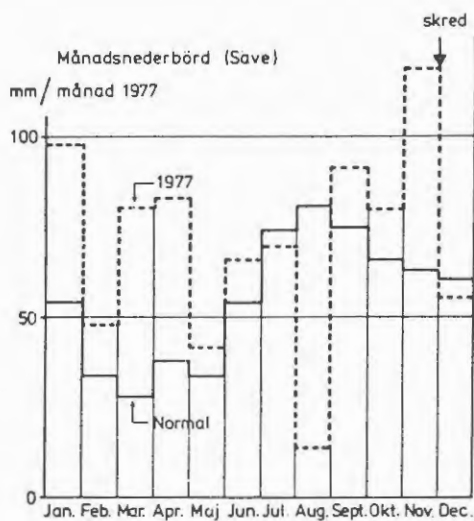


Fig. 3.3. Nederbördsmängderna vid Säve (strax norr om Tuve) 1977. November var med sina 120 mm en mycket regnrik månad, dock inte exceptionell - september 1974 hade 149 mm och oktober 1967 hela 220 mm (sammanställningen gjord av Allan Bergfelt, CTH).

lerans ytliga delar. Vid höga artesiska tryck kan dock reduktionen bli påtaglig.

En önskad höjning av porvattentrycken kan även erhållas på konstgjord väg när grundvattentäkter läggs ner och pumpningen upphör.

Slänter som gränsar mot vattendrag och sjöar påverkas av förändringar av vattenstånden. Skred inträffar ofta vid extrema lågvattenstånd, speciellt om vattenstands-sänkningen sker snabbt.

Erosion erhålls i vattendrag av strömmande vatten och vågsvall och kan också uppstå i branta slänter genom ytvattenströmning (ravinbildning). Inre erosion kan fås av grundvattenströmning genom borttransport av fin-kornigt material ur jorden. Genom erosion i vattendrag tas en del av de mothållande krafterna bort och slänt-lutningen ökar. Erosionsskydd utläggs och kompletteras därför successivt i olika vattendrag, t ex Göta älv och Sävån. Schaktning i slänters nedre delar ger samma effekt som erosion.

Förutom de naturliga faktorerna kan de mänskliga med-verka till att skred utbildas. I samband med exploater-ing av ett område sker alltid viss massförflyttning; schaktning görs för husgrunder och ledningar och upp-fyllning görs för körytor, terrasser m m. Vidare för-ändras belastningen genom att byggnader uppförs och upplag tillkommer. De stora förändringarna i en slänts stabilitet orsakas dock normalt av massförflyttningarna och ej av hustyngderna vid låghusbebyggelse. Skred kan vidare utlösas av andra aktiviteter, som stör leran. Hit hör exvis påslagning och vibrationer från t ex tra-fik. Pålning och vibrationer kan bygga upp höga por-tryck i permeabla lager till stort avstånd från stör-ningskällan. Påslagning innebär också att jordmassor måste trängas undan, vilket resulterar i ett större horisontaltryck. Vidare reduceras lerans hållfasthet temporärt i närheten av pålarna. I Tuve pågick dock

ingen påslagning vid skredtillfället.

Sprängning kan också ge upphov till stora vibrationer. Skredet i Fröland 1973 (Bjurström, 1982) är ett exempel på detta. Skredet berodde på jordflytning (liquefaction) i silt- och sandskikt inlagrade i leran vid sprängning i ett stenbrott. I Tuve pågick dock inte sprängning.

### 3.3 Skredmekanismen

#### 3.3.1 Initialskred

Många skred, framförallt i naturliga slänter, inträffar genom successiva utglidningar. Stor betydelse har då det första, initiala, skredet. Om säkerheten är tillfredsställande mot ett initialskred i den mest ansträngda sektionen, finns normalt inte heller förutsättningar för en fortsatt utbredning framåt eller bakåt av skredet.

Det initiala skredet låter sig normalt beräknas med gängse accepterade metoder. Beräkningen görs ofta med en cirkulär cylindrisk glidyta. Vid beräkning med cirkulär cylindrisk glidyta i lera används hållfastheten bestämd med vingsond eller konprov. En empirisk korrektion av uppmätta värden görs med ledning av lerans flytgräns. Analysen görs med odränerade/dränerade parametrar i lera och dränerade parametrar i friktionsjord. Ett stort problem är att rätt bedöma förväntade maximala portryck i förekommande permeabla lager vid dränerad analys.

Det har visats av exvis Bjerrum (1973) att den odränerade hållfastheten ofta är anisotrop. För svenska leror har data tagits fram som visar att hållfasthetsanisotropin kan relateras till lerans konsistensgränser. Anisotropin i hållfasthet innebär att den mobiliserbara odränerade skjuvhållfastheten i en slänt är beroende av slänthlutningen, fig 3.4. Vid en brant slänt blir den passiva delen liten, varför säkerheten underskattas när beräkningen baseras på hållfastheten

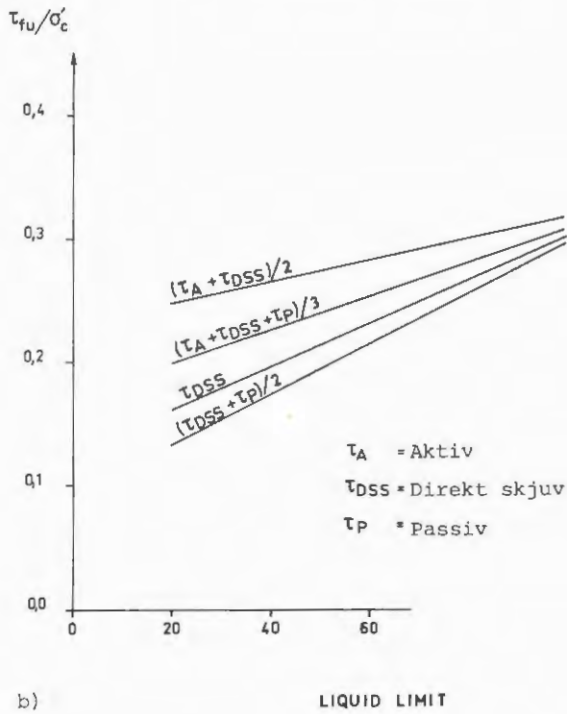
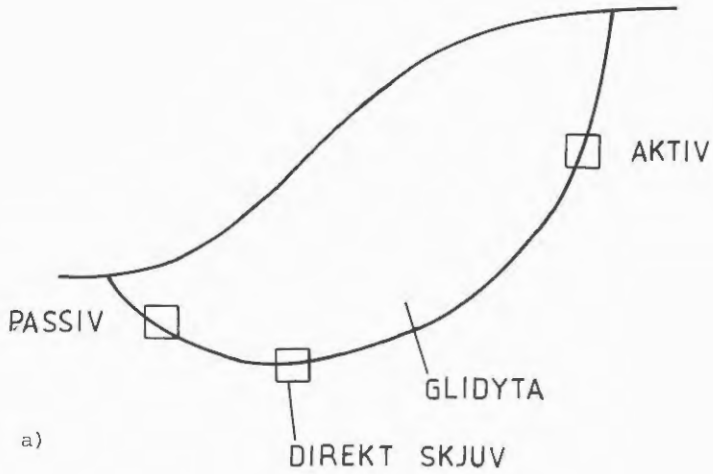


Fig. 3.4. Spänningstillstånd i en slänt (a) och hållfasthets-skillnaden i de olika zonerna (b) (Larsson & Jansson, 1982).

bestämd med konprov eller vingsond. Det motsatta förhållandet fås för mycket flacka slänter.

Strax efter Tuveskredet konstaterades med konventionell beräkningsmetodik att ett parti av slänten invid Tuve Kyrkväg var hårt ansträngd. Beräkningarna baserades på ett fåtal undersökningar utförda före skredet. Dessa undersökningar är dock de enda som gjorts på ursprungligt ostört material inom skredområdet och alla andra hållfasthetsparametrar har senare antagits eller rekonstruerats. De ursprungliga undersökningarna angav att hållfastheten var 15 kPa genom hela profilen. Beräkningarna gav säkerhetsfaktorn nära 1,0 för stora delar av området vid Tuve Kyrkväg och nedanför Snarbergstigen (Andréasson, 1978). En mera normal hållfasthetsprofil för Göteborgsområdet är att den odränerade skjuvhållfastheten är 15 kPa till 5 m djup och därunder tillväxer med 1,3 kPa/m. Säkerhetsfaktorn blir fortfarande nära 1,0 för partier invid Tuve Kyrkväg medan relativt ytliga glidytor mellan Snarbergstigen och bäcken får en säkerhetsfaktor av 1,3.

Sällfors, SGI Rapport nr 10, har med en förenklad beräkningsmetod visat att det förekom flera hårt ansträngda partier i slänten, fig 3.5. Beräkningen baseras främst på fasta bottenens lutning.

Att delar av slänten varit hårt ansträngda före skredet styrks av konstaterade rörelser under en längre tid (krypdeformationer). Enligt intervjuer med de boende förekom jordrörelser under hösten (Fält, 1978). En spricka på 2-3 cm noterades i Almhöjdsvägen 1-2 veckor före skredet. Sprickan uppstod ca 130 m ovanför Tuve Kyrkväg. Enligt vittnesutsago lutade en lyktstolpe på Tuve Kyrkväg märkbart. Lutningen hade successivt ökat under flera år.

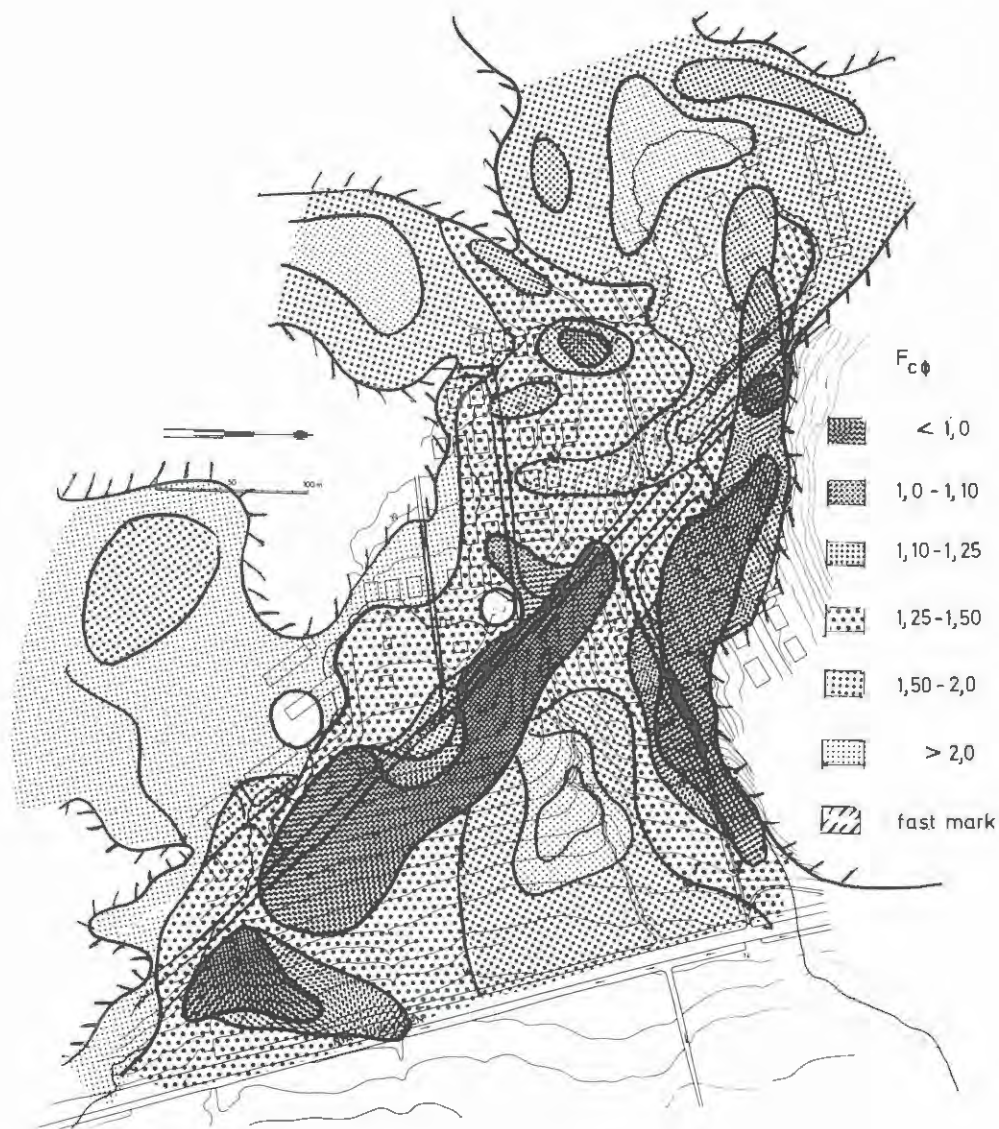


Fig. 3.5. En uppskattning av hur ansträngda olika delar av Tuve var enligt beräkning gjord av Sällfors (1982).



De stora jordrörelserna började med att en spricka utbildades i Tuve Kyrkväg, se kap 1.4. Vittnesuppgifter visar alltså att skredet började i den del där säkerhetsfaktorn var låg.

Skredet fick dock en avsevärt större omfattning än de beräkningsmässigt farligaste glidytorerna visar. Under utredningens gång gjordes bl a beräkningar av stabiliteten som om skredmassorna glidit ut som en stel kropp. För dessa långa glidytor finner man att den beräkningsmässiga säkerheten varit betryggande. Såväl dränerade som odränerade analyser visar detta. Vid de dränerade analyserna antogs för leran kohesionen  $c' = 0$  och friktionsvinkeln  $\phi' = 30^\circ$  för spänningar under förkonsolideringstrycket. I friktionsjorden (under leran) sattes friktionsvinkeln till  $\phi' = 30^\circ$ . Olika antaganden om porvattentrycket i friktionsjorden gjordes. Som en rimlig ansats valdes ett porvattentryck motsvarande en grundvattenyta i markytan i området ovanför Tuve Kyrkväg och ett artesiskt tryck motsvarande en grundvattenyta 4 m över ursprunglig markyta nedanför Tuve Kyrkväg. Resultatet från olika beräkningar visas i fig 3.6. De dränerade analyserna ger en högre säkerhetsfaktor än de odränerade analyserna. Även om trycknivån ökas motsvarande 5 m ger de dränerade analyserna säkerhetsfaktorer i intervallet 1,8-2,2.

Dessa beräkningar visar att konventionella beräkningsmetoder ej är tillämpbara. Metoderna kan dock användas för att finna den beräkningsmässigt farligaste glidytan inom ett område. Skulle ett initierat skred inträffa, ändras sedan förutsättningarna radikalt för övriga delar av området och för området som helhet. För att kunna använda konventionella beräkningsmetoder för skredets fortsatta utbredning måste man alltså kunna bestämma de successiva förändringar i förutsättningarna som orsakas av skredförloppet.

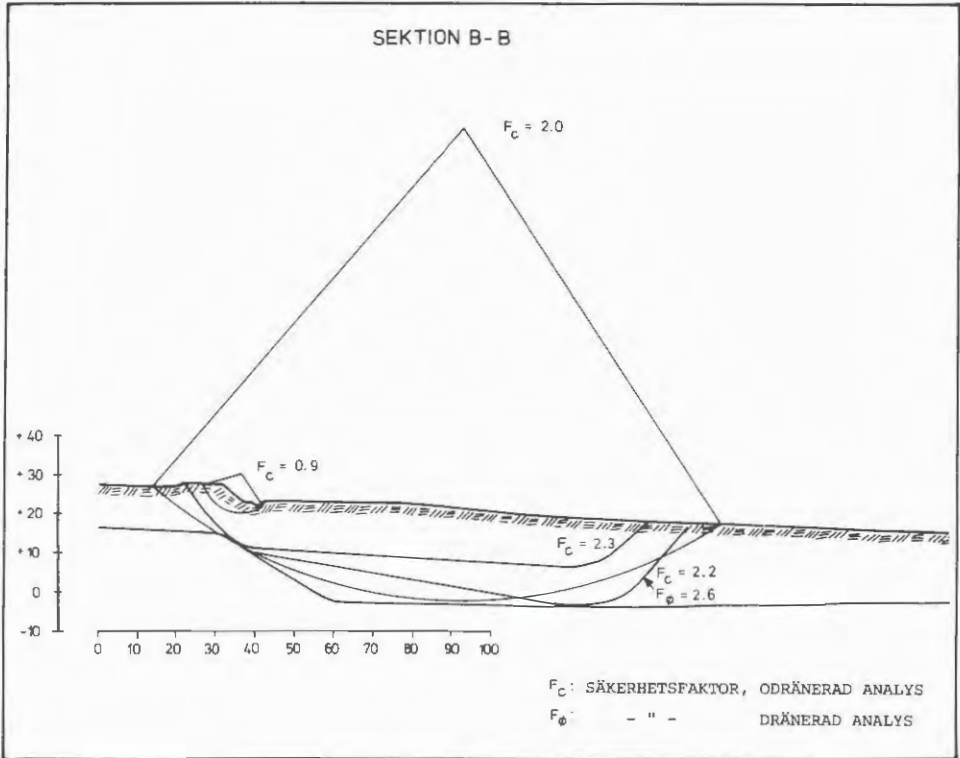


Fig. 3.6. Beräkning av säkerheten för olika glidytor enligt konventionell metod. Plan se fig 1.3 (Jansson & Stål, 1981).

I analyserna av orsakerna till skredets omfattning framförs även samma konstaterande av de olika författarna (SGI Rapport nr 10). Några citat ges nedan:

Berg: "att glidytor som i verkligheten har förorsakat ras ej kunnat räknas till brott, utan att anta osannolikt låga värden på lerans skjuvhållfasthet eller orimligt höga portryck i lerlagrets nedre del."

Bergfeldt: "finner man med vanliga antaganden att man borde haft en viss säkerhet."

Bernander & Olofsson konstaterar att plasticitetsteorin ej kan förklara Tuveskredet. Den grad av deformationsmjuknande som kan fås vid skjuvning anges vara tillräcklig för att förklara skredets omfattning.

Broms & Fagerström: "konventionella stabilitetsberäkningar svårligen kan göras tillräckligt noggranna för att säkert urvärdera skredrisken i ett komplicerat läge eller för att bedöma riskområdets storlek."

Berntson & Lind: "odränerad analys har inte kunnat förklara skreden i Surte, Göta, Körkarlen, Råvekärr eller Tuve."

Lundström anger att hänsyn måste tas till de dynamiska krafterna.

Löfquist: "En sådan glidning kan inte förklaras genom vanliga beräkningsmetoder och utgör ett alldeles speciellt problem. Hur kan brottet bli så starkt progressivt?"

Sällfors: "Omfattningen av skredet är svårt att förklara med traditionell stabilitetsanalys. Med rimliga värden på skjuvhållfasthetsparametrar och portryck blir säkerhetsfaktorn förhållandevis hög för stora glidytor. Med stora glidytor avses här glidytor med en längd större än 100 m."

Flera av författarna (Bergfeldt, Bernander & Olofsson, Broms & Fagerström, Berntson & Lind och Löfquist) anger att förklaringen måste sökas i bl a höga vattentryck.

Samtliga författare kopplar mer eller mindre tydligt sina analyser till en progressiv brottutbildning.

### 3.3.2 Detaljerad analys

En mer fullständig bild har genom de kompletterande undersökningarna erhållits av de geotekniska förhållandena och hållfasthetsparametrarna, och nya stabilitetsberäkningar har genomförts (Larsson & Jansson, 1982).

Med ledning av den geohydrologiska analysen, kap 3.3, antas porvattentrycket i friktionsjorden vara artesiskt med en trycknivå 2 m över markytan. En 1,0 m djup vattenfylld spricka antas finnas i den aktiva zonen. Vidare antar Larsson & Jansson i sin analys att leran i denna zon successivt har "mjuknat" för aktuella portryck ( $\tau = \sigma' \tan 30^\circ$ ). I kap 1.4 omnämndes att vatten stod upp till nivån för vägen. Den odränerade skjuvhållfastheten i direkta skjuvzonen och passiva zonen baseras på fig 3.7. Anledningen härtill är att det saknas relevanta värden på den ostörda hållfastheten före skredet. Det skall noteras att sambanden är empiriska. Hållfastheten i den passiva zonen översta 5 m sättes till 12 kPa. I de djupare jordlagren var leran siltig och det fanns lösa silt- och sandskikt. Hållfastheten i detta material uppskattas från Hansbos samband (1963), från utförda vingsonderingar och från efterberäkningar av skred i Norge (exvis Eide & Bjerrum, 1955). Hållfastheten i detta nedre lager bedöms som lägst ha uppgått till  $0,12 \sigma'$ .

Med dessa antaganden, vilka anger en lägsta trolig hållfasthet, erhålls liksom vid de ursprungligen gjorda beräkningarna en säkerhetsfaktor på 1,0 à 1,1 vid Snarberget mot bäcken liksom nedanför Tuve Kyrkväg. De farligaste glidyterna blir med nu gjorda antaganden djupa och följer det djupa siltiga lagret. De får en total längd av 120-150 m, fig 3.8. Vid undersök-

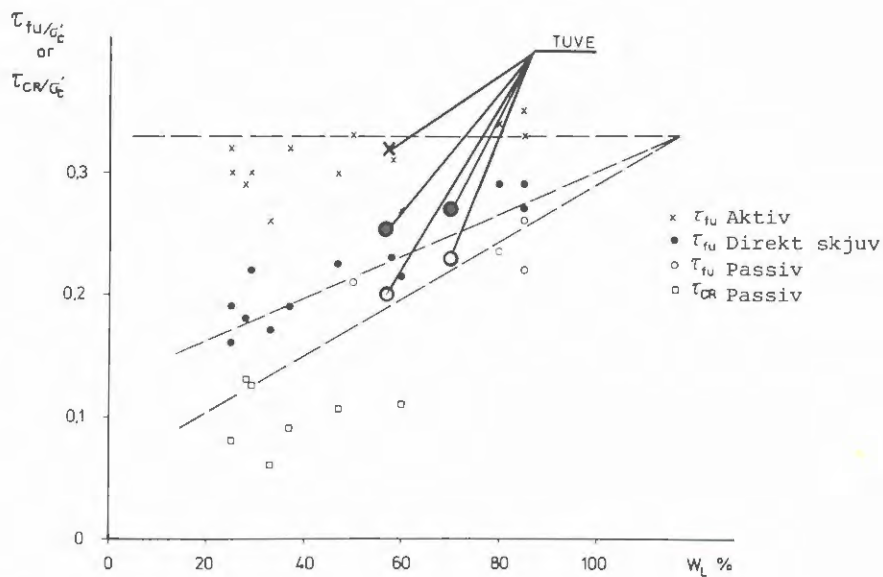
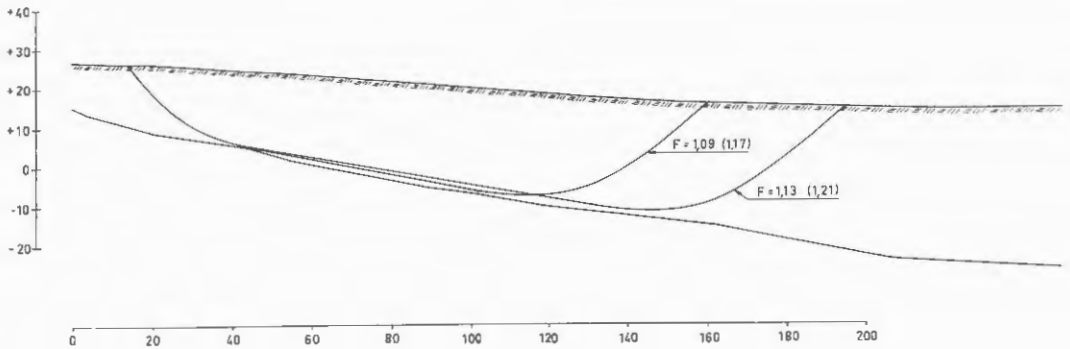


Fig. 3.7. Empiriska samband mellan skjuvhållfasthet och förkonsolideringstryck vid aktiva och passiva triaxialförsök och direkta skjuvförsök (Larsson & Jansson, 1982).

## SEKTION A-A



## SEKTION C-C

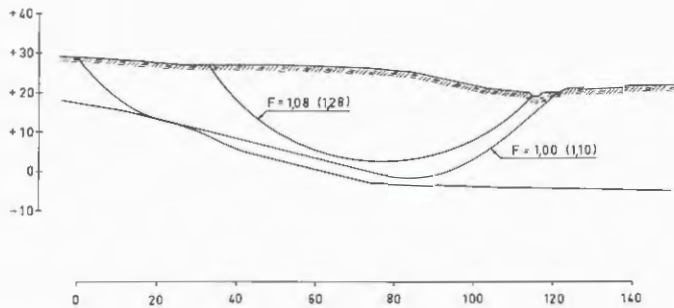


Fig. 3.8. Beräknade säkerhetsfaktorer baserade på empiriska hållfastheter med hänsyn tagen till spänningstillståndet. Inom parentes anges säkerhetsfaktorerna när analysen baseras på vingborrhållfastheter. Plan se fig. 1.3. (Larsson & Jansson, 1982).

ningarna efter skredet konstaterades också att glidytan måste ha gått på stort djup (genom bottenlagren), men den slutliga längden blev avsevärt större.

Om hänsyn tas till vissa massuppfyllnader vid Snarbergsstigen kan hållfastheten längs den plana delen av glidytan ha varit något större än 0,12  $\sigma_c$  utan att säkerhetsfaktorn ökar. Om beräkningen istället baseras på gängse värden erhållna (empiriskt) från vingsondering ökar säkerhetsfaktorn beräkningsmässigt med ca 10%.

Brottmekanismen för det totala skredet diskuteras i kap 3.3. Mekanismen bygger på en successiv (progressiv) utveckling, eftersom man med en konventionell analys ej på ett rimligt sätt kan förklara skredets slutliga utbredning.

### 3.4 Progressivt brott

#### 3.4.1 Allmänt

En progressiv skredutbildning kan ske antingen bakåt eller framåt eller också kombinerat. Det progressiva skredet utgår normalt från ett initialskred.

Initialskred leder till att den kvarstående skredytan får stor lutning och höjd. Detta medför ofta att ytterligare skred utbildas. Omfattningen av dessa bakåt-gripande skred beror dels av fasta bottenens lutning, markytans lutning samt lerans hållfasthet och känslighet för störning (sensitivitet/rapiditet). De bakåt-gripande skreden stoppas för normalsensitiva leror upp när de skredade massorna bildar en stabiliserande tryckbank (Kjellman, 1954).

Janbu (1980) har beskrivit kvicklereskred. Skredet börjar normalt nära en slänt, utan någon särskild yttre orsak. Efter initialskredet utbildas bakåt-gripande skred snabbt och sprids i alla riktningar bakåt från öppningen, orsakade av initialskredet. De bakåt-

gripande skreden fås av att leran rör sig horisontellt mot öppningen av initialskredet och pelare bildas, vilka bryts ner av skjuvning.

Ett typiskt kvicklereskred utbildades i Rissa, Norge, 1978. Skredet startade med ett litet initialskred på grund av en begränsad schaktning för tillbyggnad av en lada. Massorna lades utmed stranden, där initialskredet utbildades. Skredet bestod dels av bakåtgripande och dels av flaxskred. Skredet kom totalt att omfatta en yta av 330.000 m<sup>2</sup> med en massförflyttning av 5-6 miljoner m<sup>3</sup> jord.

En speciell typ av bakåtgripande skred kan fås när det finns ett löst skikt inlagrat. Det lösa materialet kan i ett sådant fall pressas ut (Bjerrum, 1955).

Motsatsen till de bakåtgripande skreden är de framåtgripande. Det framåtgripande skredet karaktäriseras av att rörelsen successivt fortplantas nerför slänten. En lång, plan glidyta utbildas avslutad med en eller flera uppskjutningar i passivzonen. Den långa glidytan orsakas av en successiv hållfasthetssänkning, vilken i sin tur orsakas av skjuvdeformationer och omrörning och därav ökade porvattentryck. Speciellt kan höga porvattentryck erhållas genom kollaps av kornskelettet i kontraktanta siltskikt. Dynamiska krafter orsakade av massorna i rörelse påverkar också skredförloppet. Den progressiva utvecklingen kräver ett initiellt skred, eller åtminstone en zon, som är så hårt ansträngd att krypdeformationer äger rum. Exempel på ett stort progressivt skred är det i Surte (Jacobson, 1952, Lundström, 1956). Lundström har presenterat en analys av Surteskredet, där förklaringen till skredets stora utbredning framåt baseras på en dynamisk betraktelse av de krafter som orsakats av jordmassornas rörelse.

Kunskaperna är idag inte sådana att man på ett rutinemässigt sätt kan beräkna risken för och omfattningen



av ett progressivt skred, speciellt gäller detta det framåtgripande skredet. För det fall leran är kvick finns naturligt en risk för en stor utbredning av skredet. Forskning pågår för att finna metoder som kan förutsäga hur känslig en lera är för störning. Söderblom har således sedan början av 1970-talet sökt klassificera känsligheten utifrån lerans rapiditet (1974, 1983). En annan metod utvecklades av Massarsch (1976), där leran pressades genom ett "ekerhjul". Tavenas et al (1982) har studerat rapiditetsbegreppet utifrån bl a direkta skjuvförsök utförda med fram- och återgående skjuvning. Motsvarande försök har utförts på svenska leror (Larsson & Jansson, 1982). Försöken har visat att ett enkelt samband mellan sensitivitet bestämd på standardiserat sätt med kon och andra mer direkta undersökningsmetoder ännu ej kunnat etableras. Lågplastiska material är dock känsligast för störning.

Mot bakgrund av vad som sagts ovan finns det idag inga förutsättningar att med större noggrannhet i förväg kunna beräkna ett skreds slutliga omfattning. En modell är under utveckling av Bernander, (Bernander, 1978; Bernander & Olofsson, 1981) som utgående från en statisk betraktelse, men som även inkluderar vissa dynamiska bidrag, beskriver ett skreds slutliga omfattning. Metoden beskrivs ytterligare nedan. Erfarenheterna av denna beräkningsmodell är ännu så länge begränsade. Av speciellt intresse är hur hållfasthetsparametrarna skall bestämmas för de snabba förlopp som blir aktuella vid den progressiva skredutvecklingen.

#### 3.4.2 Tuveskredet

Det har visats i kap 3.3 att det fanns partier vid Tuve Kyrkväg, som hade låg säkerhet mot skred. Det är troligt att det först utbildades ett lokalt skred eller åtminstone stora jordrörelser vid Tuve Kyrkväg. Skredet blev i så fall ytligt.

Orsaken till att skredet inträffade 1977 och inte långt tidigare berodde av exploateringen av området. Belastningsförändringarna hade dock varit små, orsakade av anläggande av vägar, terrassering av tomtmark, kulvertering av bäcken ovanför Tuve Kyrkväg och troligen viss erosion i bäcken nedanför Tuve Kyrkväg. Exploateringen ledde till en ökad vattenföring i bäcken. Kulverten synes ha varit underdimensionerad för stora regnmängder som vid Tuveskredet. Kulverten läckte således ut vatten, eftersom den blivit fylld. Vattnet rann först in i omkringliggande fyllning. Vatten ansamlades även ovanför kulverten.

Det var de stora regnmängderna som initierade skredet. Vatten infiltrerade ner i de permeabla bottenlagren och vattentrycket steg. Det är dock inte möjligt att beräkna hur mycket trycket förändrades. Som en följd av det ökade vattentrycket minskade effektivspänningarna och därmed hållfastheten i bottenlagren. Slänten var redan tidigare hårt ansträngd i de brantare delarna. Fasta bottenens lutning hade stor betydelse för att deformationerna spred sig nerför slänten. Ju brantare botten är, desto större tendens har ju leran att glida iväg. Nedanför Tuve Kyrkväg lutande fasta botten mest. Fagerström & Broms (SGI Rapport nr 10) visar att om den fasta botten lutar, kan även en liten ökning av porvattentrycken leda till skred, till och med om markytan är nära horisontell.

När hållfastheten reducerades, medförde det att belastningen måste bäras i högre grad längre ner i slänten. Genom de ökade vattentrycken och tillgången på fritt vatten infiltrerade samtidigt vatten in i leran och befintliga sprickor fylldes. En uppmjukning av leran i aktivzonen torde också skett, jfr kap 3.3.2.

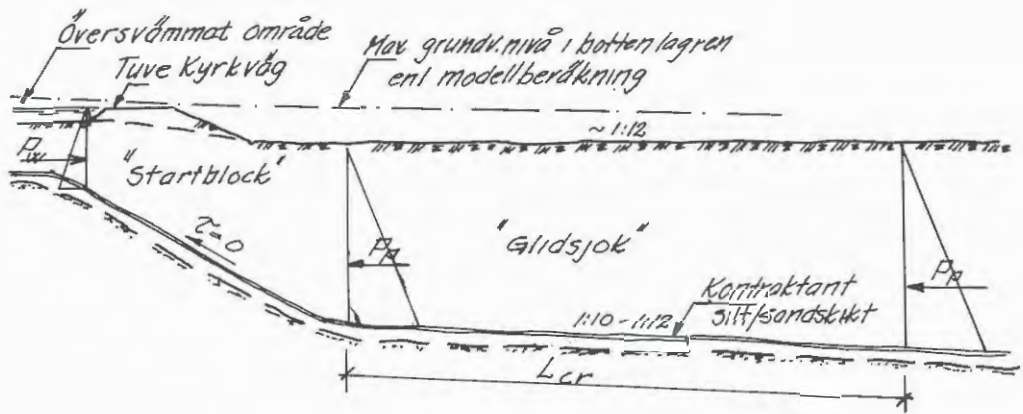
I och med att lerans hållfasthet sjönk ökade pålastningen ytterligare längs den plana delen av skjuvytan. Förekomsten av siltskikt kan ha bidragit till höga portryck i bottenlagren. Det slutliga skredet utbildades. Processen skedde så snabbt att någon bortdränning av porövertrycken, som uppstått i nedre

delen av slänten, ej ägde rum.

Uppbyggnaden av porvattenövertryck kan ge den successiva förskjutningen av slänter till ett nytt jämviktsläge. Mot hållande kraften kan då växa så att ny jämvikt inträder. Denna förskjutning på några centimeter kan resultera i ett högre porvattentryck än det som förutsattes ovan vid beräkningarna i kap 3.3. Såväl Löfquist som Fagerström & Broms omnämner i SGI Rapport nr 10 att, om lagringstätheten är låg i ett permeabelt lager, medför en förskjutning, att kornstrukturen kollapsar och jordvolymen vill reduceras. Den progressiva utbildningen har av Löfquist beskrivits i form av en hydraulisk kil. Denna kil orsakas av en kollaps i konstruktionen och kan utbreda sig som en tryckvåg framåt. Om det permeabla lagret är inneslutet av icke-dränerande (tätt) material (lera) kan detta resultera i mycket höga portryck. Portrycken kan bli lika höga som totaltrycket, vilket innebär att effektivspänningen och därmed hållfastheten reduceras till noll. Skreden utbildas då i de permeabla sand- och siltlagren och inte i leran, Jacobson (1952) noterade vid undersökningen av Surteskredet att glidyten ej gick i kvickleran utan i grovkornigare jordlager.

Berntson & Lindh (SGI Rapport nr 10) visar också betydelsen av lutande lager och beskriver skredprocessen utifrån ett "startblock", fig 3.9, vilket motsvarar det tidigare nämnda initialskredet. Genom beräkningar finner de att ett porvattenövertryck motsvarande en vattenyta 2-3 m över markytan är tillräcklig att göra "startblocket" instabilt. När det horisontella förkonsolideringstrycket överskrids, byggs höga porvattentryck upp, vilka medför kollaps av kontraktanta siltskikt. En tryckvåg fortplantas härefter vidare längs silt/sandsikt på sådant sätt som beskrivs ovan.

Bernander & Olofsson (1981) har utvecklat en teori för



Fig, 3.9. Beskrivning av skredet enligt Berntson & Lindh.  
 Sektion genom Tuve Kyrkväg.

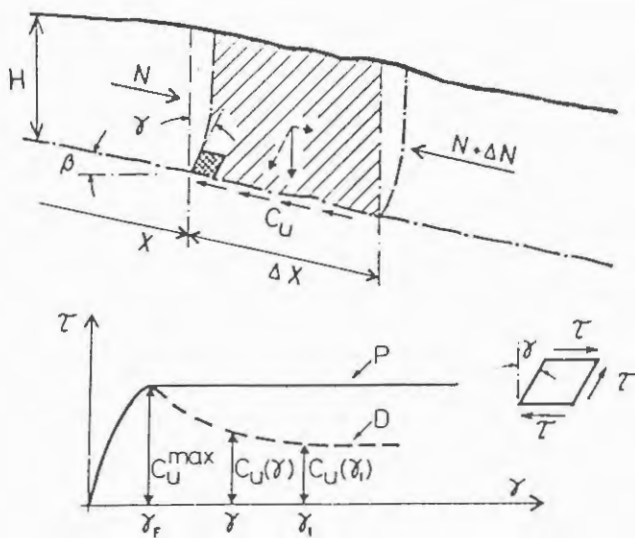


Fig. 3.10. Jordtryckens och hållfasthetens förändring i en likformig slänt under brott (Bernander, 1983).

beräkning av progressiv skredutbildning. Enligt denna teori är det tveksamt om man kan tillgodoräkna sig ett mothållande passivt tryck (som  $P_p$  i fig 3.9).

Bernander (1983) utgår även ifrån en lokal instabilitet föranledd av höga porvattentryck. Den krypning som då fås, ger upphov till en drivande kraft nerför slänten. Bernander visar i sin modell, hur man matematiskt kan beräkna skredets totala utbredning. Hänsyn tas därvid till en dynamisk uppbyggnad av jordtrycken i släntens nederdel. Analysen bygger på att jordens hållfasthet vid stora deformationer faller till ett residualvärde, fig 3.10. Bernanders analys innebär att porvattenövertryckens storlek ej behöver bestämmas. Svårigheten är å andra sidan att korrekt bestämma hållfasthetens beroende av deformationens och deformationshastighetens storlek. Vid Bernanders analys av Tuveskredet erfordras ej att lösa silt- och sandskikt fanns närvarande, i vilka höga porvattentryck byggdes upp under skredets utbredning.

Att korrekt kunna förutsäga ett skreds totala omfattning bedöms trots dessa presenterade ansatser ännu ej vara möjligt

Den bakåtgripande delen av skredet ledde till skredets slutliga omfattning. Utglidningen skedde på grund av att mothållande massor successivt skridit bort. Det bakåtgripande skredet stoppade först när det nått omgivande fastmarkspartier eller då skredkanten blev stabil till följd av uppgrundning av skredområdet och stabilisering från skridna massor.

### 3.5 Slutsatser

En svårighet vid utvärderingen av Tuveskredet är att det ej finns erforderliga geotekniska undersökningar gjorda före skredet. Det hade påpekats vid byggnadslovsprövningen att några större massförflyttningar ej

fick göras med tanke på att säkerheten mot skred var begränsad. En totalanalys av områdets stabilitet hade dock ej gjorts. Detta försvårar nu analysen. Hållfasthetsvärden och porvattentryck måste delvis baseras på antaganden och empiri.

Skredet i Tuve uppvisar likhet med flera andra stor-skred, exvis det i Surte. Generellt kan sägas att kunskapen ännu är otillräcklig vid analys av risken för stora skred. Det kan dock konstateras att en analys skulle visat att säkerheten längs Tuve Kyrkväg och vid Snarbergsstigen var låg. Betydelsen av fasta bottenens topografi, inverkan av exploatering på de hydrologiska förhållandena var dock ej utvecklad vid den tidpunkten.

Tuveskredet berodde av flera faktorer. Det fanns lokala partier vid Tuve Kyrkväg med låg stabilitet. Det var stor nederbörd som blev den utlösande faktorn. Områdets exploatering ledde till större vattenföring i Kvillebäcken med viss erosion som följd och den genomförda kulverteringen klarade ej stor nederbörd. Som en följd härav erhöles vattensamling över och i närheten av Tuve Kyrkväg. Vattnet infiltrerade jorden och höga porvattentryck utbildades. Man kan således konstatera att exploateringen i sig kan ha varit en bidragande orsak till skredet och som förklarar varför skredet ej utbildats vid tidigare stora regnmängder.

Fasta bottenens stora lutning vid Tuve Kyrkväg innebar att slänten var känslig för störning. I och med att stabiliteten redan tidigare var låg, startade en successiv rörelse i slänten, när portrycken steg. För att bära denna extra påskjutande kraft fördes krafter (och därmed deformationer) ner i den nedre delen av slänten. Dessa deformationer resulterade i ytterligare porvattenövertryck och reduktion i jordens hållfasthet. På så sätt fick skredet sin stora utbredning.

Det råder delade meningar om hur den progressiva brottutbildningen skall beskrivas. Fortfarande är kunskaperna således ej tillräckliga för att förutsäga ett progressivt skreds totala omfattning. Forskning pågår som visar på möjliga vägar att gå fram. Ett problem är att ta hänsyn till hur den stora hastighet, som skredmassorna rör sig med i slutskedet, påverkar porvattentryckets uppbyggnad och därmed hållfasthet samt storleken på de dynamiska krafterna.

Slutsatsen man kan dra av Tuveskredet är att större hänsyn måste tas till de geohydrologiska förhållandena i ett område. Speciellt viktigt är att klargöra hur en exploatering förändrar dessa förhållanden. Vidare måste de geotekniska undersökningarna bli mer detaljerade än idag. Det är väsentligt att klargöra ett områdes totalstabilitet. Undersökningarna måste klargöra förekomsten av permeabla lager och fasta bottens topografi samt noggrannare bestämma jordparametrarna både i lerjord och silt- och sandskikt. Analysmetoderna för bedömning av risken för progressiva skred måste utvecklas.

Viktigt att konstatera är att skredfrågorna måste klarläggas redan i planskedet, då man tar ställning till om och hur ett område eventuellt skall bebyggas. Det är senare mycket svårt, om inte omöjligt, för den enskilde byggaren att förbättra ett område med potentiell risk för progressiva skred.



#### 4. BEHOV AV FORSKNING

##### 4.1 Allmänt

Det konstaterades i kap 3 att kunskaperna om den slutliga utbredningen av skred fortfarande är bristfälliga. Nya beräkningsmetoder och även nya provningsförfaranden måste därför utvecklas. Fältmetoder för att urskilja vattengenomsläppliga skikt bör utvecklas.

Det finns många områden i Sverige som utgör riskområden för skred. Eftersom det samhällsekonomiskt inte är möjligt att stabilisera alla slänter, är det viktigt att olika typer av skredvarningssystem kan erbjudas. Något färdigt system finns inte idag, men forskning pågår.

På nuvarande stadium bedöms stabiliteten hos en slänt utifrån en beräknad säkerhetsfaktor. Det som är väsentligare är däremot att klargöra sannolikheten för att ett skred skall inträffa. Om denna sannolikhet är känd, kan samhället på ett enklare sätt prioritera mellan olika åtgärder. Det krävs dock ett omfattande forskningsarbete, innan man nått så långt.

Stabiliseringsmetoder kräver även en utveckling och att anvisningar för deras tillämpning utarbetas. Nedan beskrivs behovet av skredforskning inom ett kortare tidsperspektiv. I några fall pågår redan projekt.

##### 4.2 Studium av skredmekanism vid progressiva brott

I Sverige används idag oftast den klassiska stabilitetsanalysen med antagandet om stel plastisk rörelse och skjuvmotstånd från någon metod för hållfasthetsprovning. Vid uppföljning av de skred och stora markrörelser, som skett i Sverige, har det visat sig att denna metod inte alltid på ett nöjaktigt sätt har förklarat vad som skett. Detta gäller speciellt skredens slutliga omfattning.

Det framkommer successivt förslag till modeller för beräkning av skreds utveckling. Sällfors studerar den lokala stabiliteten hos långa slänter, vilket ger en uppfattning om var hårt ansträngda zoner finns och även i viss mån risk för progressivt brott.

Modeller som nu tas fram för att analysera mekanismer vid skred är exvis:

- Progressivt brott (Bernander)
- Portrycksgenerering (Larsson)
- Kritisk töjningsnivå (Leonards)

För att kunna göra en rimlig sannolikhetsbedömning bör beräkningsmodellen väl beskriva vad som händer. Om man inte lyckas få fram en trolig brottmekanism, kommer bedömningen att innehålla osäkerheter, som kan vara oacceptabelt stora. Målsättningen måste hela tiden vara att ta fram ett så bra underlag som möjligt samt att resurserna används till att ta fram parametrar som beskriver ett troligt händelseförlopp.

#### 4.3 Spänningar och förskjutningar i naturliga slänter

Målsättningen med detta projekt är att nå en bättre förståelse för en naturlig slänts beteende samt i förlängningen en bättre förståelse för vilken mekanism som orsakar skred. Detta skall ske genom mätning av spänningar (totaltryck och portryck) och förskjutningar i några typslänter. Dessa mätningar skall jämföras med resultat från olika typer av beräkningar. Projektet bedrivs i samarbete mellan SGI och institutionen för geoteknik med grundläggning, CTH. Spänningsmätning har redan utförts i två slänter i Göteborgsområdet.

Resultatet från projektet förväntas ge underlag för vilken typ och omfattning av instrumentering som erfordras vid övervakning av en slänt och vilka larmnivåer som skall väljas. Det skall också förbättra

kunskaperna om spänningstillståndet i naturliga slänter och därmed öka möjligheten till en korrekt analys av stabiliteten.

#### 4.4 Kemins betydelse

Lerslänter är utsatta för en mer eller mindre hastig, kemisk omvandling. Det förekommer dels naturliga, långsamma kemiska processer och dels relativt snabba dylika orsakade av infiltration från bebyggelse. Det är av stor betydelse att man vid bedömning av långtidsstabiliteten hos en slänt har full kontroll över de processer som pågår samt har möjlighet att påverka dessa. Sådan kunskap saknas idag. Forskning pågår för närvarande där man studerar hur det kemiskt utbildas spröda flytbenägna material i naturen och hur den ostörda hållfastheten kan förändras.

Åldring av upptagna jordprover är ett annat väsentligt problem att undersöka. Det finns studier som visar att prover som uppvisar syneresis (krympning, svettning) redan efter några dagars åldring kan uppvisa en förhöjd hållfasthet.

#### 4.5 Risکانalyser

Vid bedömning av sannolikheten för skred används som huvudunderlag oftast resultatet från en stabilitetsutredning. Resultatet från utredningen är en konsekvens av gjorda antaganden om t ex dimensionerande sektion, geometrisk och geologisk beskrivning, brottmodell, analysmetod och materialegenskaper. Alla dessa antaganden innebär delbeslut med vissa osäkerheter, vars konsekvens ej belyses i en normal utredning.

Med en sannolikhetsanalys kan man beskriva osäkerheten i varje delbeslut och som slutresultat dels få en uppgift om en nominell säkerhet och dels en beskrivning av osäkerheten i detta värde. Sannolikhetsanalysen kan även användas för att undersöka vilken

osäkerhet det är mest lönsamt att förbättra kunskapen om.

SGI driver i samarbete med institutionen för jord- och bergmekanik, KTH, ett BFR-projekt "Partialkoefficienter i geotekniken". Projektets syfte är att utreda vilka faktorer som styr valet av partialkoefficienter, speciellt inom området naturliga lerslänter. Projektet innehåller även ett studium om användning av riskanalys.

Nyttan med en sannolikhetsanalys ligger i möjligheten att använda osäkerheterna till att få en uppfattning om risknivåer. Sannolikhetsanalysen är ingen ersättning av den traditionella analysen utan ett komplement och en illustrativ beskrivning av osäkerheter i analysen.

#### 4.6 Förstärkningsmetoder

Flertalet metoder som används för att höja stabiliteten hos naturliga slänter har ursprungligen tillkommit för att öka jordens bärighet eller för att reducera sättningar. För den speciella tillämpningen som gäller stabilisering av slänter krävs i vissa fall att metoderna utvecklas och även att kompletterande riktlinjer tas fram. För valet av lämplig förstärkningsmetod samt för bestämning av förstärkningens omfattning krävs ingående kunskaper om skredmekanismerna för den aktuella slänten. Risk finns annars att åtgärderna i värsta fall kan motverka sitt syfte.

Förstärkningsmetoderna kan indelas enligt följande:

- Geometriska metoder (exv avlastning, tryckbankar)
- Geohydrologiska metoder (exv ytdränering, djupdränering, elektroosmos)
- Kemiska och mekaniska metoder (exv injektering, elektrokemisk stabilisering, kalkpelare, pålning, erosionskydd)

Som exempel på speciella förhållanden i anslutning till förstärkning av slänter som bör belysas kan nämnas skjuvhållfasthetsreducering i överkonsoliderade leror vid avlastning samt temporär skjuvhållfasthetsreducering genom portrycksökning vid pålning, injektering och sättning av kalkpelare. Funktionskrav måste uppställas för att exvis säkerställa långtidseffekten av djupdränering. Utformningen av erosionsskydd kan i vissa fall behöva anpassas till krav på reproduktionsmöjligheter för ädelfisk. Kunskap saknas för skogsvård i älvslänter i stabilitetsförbättrande syfte.

#### 4.7 Skredvarningssystem

Ett varningssystem för bebyggda områden, vilkas stabilitet ej är tillfredsställande, måste utlösa larm i så god tid att området hinner utrymmas. Samtidigt måste risken för falska larm vara mycket liten. Detta ställer stora krav på systemets driftsäkerhet och på larmkriteriernas träffsäkerhet.

De angivna kraven torde kunna uppfyllas genom att ett flertal olika parametrar kontinuerligt övervakas i flera punkter i slänten. Övervakning av en enstaka parameter bedöms ej i dagsläget kunna ge den eftersträvade säkerheten, eftersom erfarenheterna från denna typ av kontinuerliga mätningar är begränsade, liksom kunskaperna om skredmekanismer m m. I första hand studeras portryck, lutningsändringar, horisontal- och vertikallrörelser och senare bl a horisontellt totaltryck och akustisk emission.

Förutom ett varningssystem bedöms projektet, genom insamlade data, ge ett värdefullt bidrag till våra kunskaper om spänningar i slänter och om olika skredmekanismer.

## 5. VERKSAMHETER EFTER TUVESKREDET

### 5.1 Kartering av potentiella skredriskområden

Enligt byggnadsstadgan skall alltid utredning av stabilitetsförhållandena göras vid planeringen av ny bebyggelse. En stor del av den äldre bebyggelsen i Sverige har dock tillkommit, innan noggranna överväganden om skredrisker blev vanliga. Därför uppdrog regeringen i december 1978 åt SGI att i samarbete med SGU utföra en översiktlig kartering av bebyggda områden med potentiella skredrisker. På grund av begränsade ekonomiska resurser har karteringen skett endast i 11 speciellt utvalda kommuner på västkusten.

Liknande utredningar, dock med en något lägre ambitionsnivå, har SGI utfört på uppdrag av länsstyrelserna för vissa tätorter i Älvsborgs län (1978), Östergötlands län (1979) och Västmanlands län (1983). Speciella utredningar av stabilitetsförhållandena längs vissa älvsträckor utfördes av SGI redan före Tuveskredet, såsom Göta älv och delar av Säveån och Viskan. Stora delar av landets skredfarliga områden återstår dock att kartera.

Skredriskkartorna tjänar två väsentliga syften. Dels skall de vara vägledande för de fortsatta stabilitetsutredningar och förebyggande åtgärder mot jordskred som kan visa sig erforderliga. Dels skall kartorna ange var man skall vara speciellt uppmärksam på stabilitetsförhållandena vid planläggning och byggnadslovgivning.

När det gäller genomförandet av förebyggande åtgärder mot jordskred i bebyggda områden har denna fråga utretts av Räddningstjänstkommittén (Kn 1979:01). I ett delbetänkande (Ds FÖ 1983:2) har kommittén framlagt ett förslag till fördelning av det administrativa och ekonomiska ansvaret. Efter regeringens prövning kommer frågan troligen att tas upp till beslut i riksdagen under 1984.

## 5.2 Räddningstjänstingripanden

Om befintlig bebyggelse är utsatt för omedelbar fara för jordskred kan förebyggande åtgärder för att avvärja faran sättas in med stöd av brandlagen. Motsvarande gäller när ett skred redan har inträffat, då åtgärder kan sättas in för att avvärja ytterligare skador.

Efter Tuveskredet har ett 15-tal små och medelstora skred inträffat i anslutning till befintlig bebyggelse, se fig 5.1. Ca 1/3 av dessa har föranlett räddningstjänstingripanden. I ytterligare ett 10-tal fall har det konstaterats att "omedelbar fara" har förelegat och även i dessa fall har samhällets räddningstjänst ingripit. Dessa ärenden handläggs av kommunen, i vissa fall på initiativ från länsstyrelsen. SGI medverkar med råd till kommun, länsstyrelse och statens brandnämnd i frågor som rör erforderliga utredningsinsatser, värdering av resultat, konsekvensbedömningar och val av förebyggande åtgärder.

## 5.3 Undersökning av allvarliga olyckshändelser

Efter utredning av Räddningstjänstkommittén (delbetänkande Ds Kn 1980:1) har regeringen under 1982 tillsatt en särskild kommitté för utredning av allvarliga olyckshändelser. Till sådana händelser räknas exempelvis jordskred. Kommittén består av fyra ledamöter samt ett antal experter, varav en geotekniker.

## 5.4 Göta älv

Verksamheten längs Göta älv regleras genom anvisningar till kommunerna utfärdade av länsstyrelserna i juni 1968. Inom särskilt angivna zoner åläggs kommunerna att särskilt beakta stabilitetsförhållandena vid upprättande av planer och vid byggnadslovs-givning. SGI skall regelmässigt rådfrågas. Kanaltrafikens påverkan på stabiliteten samt muddringar och andra arbeten i älven övervakas av Kanalbolaget i samråd med SGI.

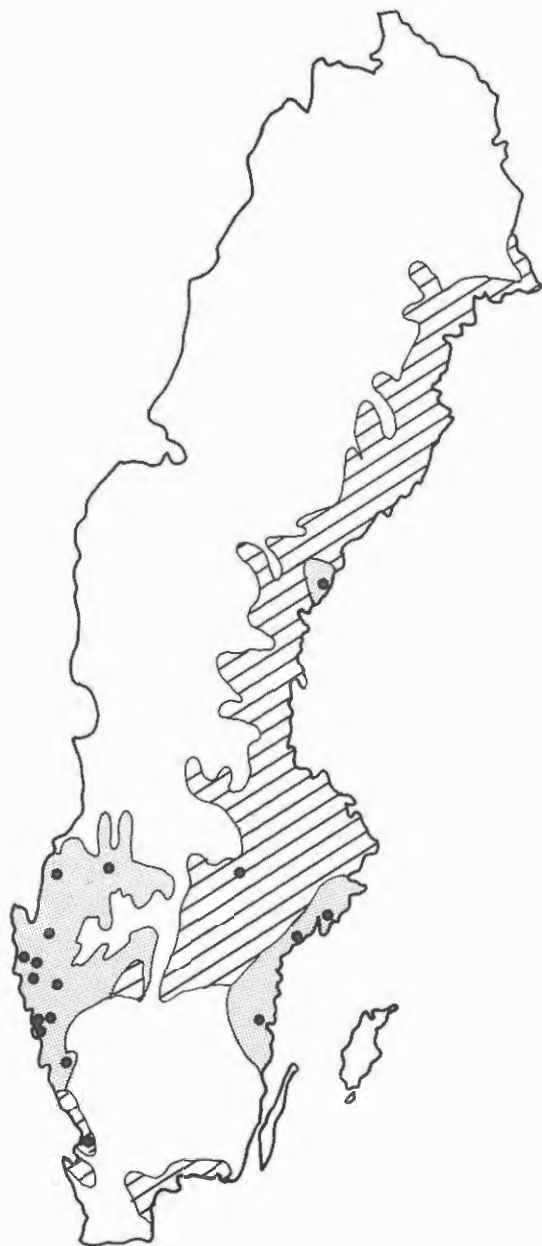


Fig. 5.1. Skred inträffade efter Tuveskredet.  
Rastrerade områden avser områden med  
skredrisk, jfr fig. 3.1.



### 5.5 Prövning av planärenden

Enligt byggnadslagen ankommer det på länsstyrelsen att vid fastställelseprövningen avgöra om de utredningar som bifogats förslagen är tillfyllest och om planförslagen till följd av de redovisade resultaten kan fastställas. Emellertid har länsstyrelserna ingen egen geoteknisk expertis för sådan bedömning. Till följd härav har två länsstyrelser, i Göteborgs och Bohus län och Älvsborgs län, sedan 1979 anlitat SGI på konsultbasis för att regelmässigt biträda vid den geotekniska prövningen. Övriga länsstyrelser med skredfarliga områden har vid behov kunnat rådfråga SGI.

Som en vägledning för länsstyrelser och kommuner har SGI i samverkan med planverket i april 1978 utgivit en cirkulärskrivelse "Geotekniska undersökningar vid bebyggelseplanering".

### 5.6 Byggnadslovsgivning

Inom områden med potentiella skredrisker skall alla byggnads- och anläggningsarbeten föregås av en utredning av stabilitetsförhållandena. Kommunerna har vid behov kunnat rådfråga SGI om erforderliga utredningsinsatser, värdering av resultat och riskbedömningar samt vid överväganden om nybyggnadsförbud och planändringar. Behovet av denna rådgivning accentuerades högst påtagligt i och med att SGI påbörjade den ovan nämnda karteringen av skredrisker i vissa västkustkommuner. Sedan 1982 har därför 10 av dessa 11 kommuner som saknar egen expertis kunnat anlita SGI på konsultbasis genom särskilt tilldelade statliga medel.

## LITTERATUR

- Andréasson, L., 1978. Tuveskredet. Väg- & Vattenbyggaren nr 1, 1978.
- Bernander, S., 1978. Brittle failures in normally consolidated soils. Väg- och Vattenbyggaren, 8-9, 1978.
- Bernander, S., & Olofsson, I., 1981. On Formation of Progressive Failures in Slopes. Proceedings 10th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Stockholm.
- Bernander, S. & Olofsson, I., 1983. The Landslide at Tuve, November 1977. Symposium on Slopes on Soft Clays. SGI Rapport nr 17, Linköping.
- Bjerrum, L., 1955. Stability of natural slopes in quick clay. Geotechnique, Vol 5, No 1.
- Bjerrum, L., 1973. Problems of soil mechanics and construction on soft clays. State of the Art Report, Proceedings, 8th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Moscow.
- Bjurström, G., 1982. Skredet vid Fröland. BFR nr T26, Stockholm.
- Blomqvist, Th. & Gustafsson, G., 1981. Tuveskredet. Geohydrologi. SGI Rapport nr 11 c. Linköping.
- Eide, O. & Bjerrum, L., 1955. The slide at Bekkelaget. Norges Geotekniske Institutt, Publikasjon nr 10, Oslo.
- Fredén, C., Brusewitz, A.M., Cato, I., Fält, L.M., Häger, K.O., Miller, U. & Samuelsson, L., 1981. Tuveskredet 1977-11-30. Geologiska undersökningar. Sveriges geologiska undersökning, Rapporter och meddelanden 16, Uppsala och SGI Rapport nr 11 b, Linköping.
- Fält, U., 1978. Tuveskredet. Intervjuer med ögonvittnen. Chalmers University of Technology, Department of Geology, Publ. B107.
- Hansbo, S., 1957. A new Approach to the Determination of the Shear Strength of Clay by the Fall-Cone Test. SGI Proceedings No. 14, Stockholm.
- Jacobsson, B., 1952. The Landslide at Surte on the Göta River. SGI Proceedings No. 5, Stockholm.
- Janbu, N., 1980. Critical Evaluation on the Approaches to Stability Analysis of Landslides and Other Mass Movements. International Symposium on Landslides, New Delhi.

- Jansson, M. & Stål, T., 1981. The Landslide at Tuve on 30 November 1977. SGI Varia nr 56.
- Kjellman, W., 1954. Mechanics of large Swedish landslides. Proceedings. Europ. Regional Conf. on Stability of Earth Slopes, Stockholm.
- Larsson, R., & Jansson, M., 1982. The Landslide at Tuve November 30 1977. SGI Rapport nr 18, Linköping.
- Larsson, R., 1983. Släntstabilitetsberäkningar i lera. Skall man använda totalspänningsanalys, effektivspänningsanalys eller kombinerad analys? SGI Rapport nr 19. Linköping.
- Lundström, R., 1956. The landslide at Surte on the River Göta Älv. Geotechnical parts. Swedish Geological Survey, Ser. Ca. No 27.
- Massarsch, K.R., 1976. Soil movements caused by pile driving in clay. Department of Soil and Rock Mechanics, Royal Institute of Technology, Report JOB No 6.
- Olausson, E. (red.), 1982. The Pleistocene/Holocene boundary in south-western Sweden. Sveriges geologiska undersökning, Ser. C 794. Uppsala
- Söderblom, R., 1974. New lines in quick clay research. SGI Särtryck och Preliminära Rapporter nr 55. Stockholm.
- Söderblom, R., 1983. Slope Stability - A Constant Factor or a Short Time "Parameter"? Symposium on Slopes on Soft Clays. SGI Rapport nr 17. Linköping.
- Tavenas, F. et al, 1982. Remolding energy and risk of slide retrogression in sensitive clays. Symposium on Slopes on Soft Clays. SGI Rapport nr 17, Linköping.
- Viberg, L., 1982. Kartering och klassificering av lerområdets stabilitetsförutsättningar. SGI Rapport nr 15. Linköping.
- \*\*\*\*\*
- Tuveskredet 1977-11-30. Inlägg om skredets orsaker. SGI Rapport nr 10, 1981. Linköping.
- Tuveskredet Geologi. SGI Rapport nr 11 b, 1981. Linköping.
- Tuveskredet Hydrogeologi. SGI Rapport nr 11 c, 1981. Linköping.
- Symposium on Slopes on Soft Clays. SGI Rapport nr 17, 1983. Linköping.

STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT  
Swedish Geotechnical Institute  
S-581 01 Linköping  
Tel: 013/11 51 00

Serien "Rapport" ersätter våra tidigare serier: "Proceedings" (27 nr), "Särtryck och Preliminära rapporter" (60 nr) samt "Meddelanden" (10 nr).

The series "Report" supersedes the previous series: "Proceedings" (27 Nos), "Reprints and Preliminary Reports" (60 Nos) and "Meddelanden" (10 Nos).

RAPPORT/REPORT

No.	Ar	Pris kr (Sw.crs)
1. Grundvattensänkning till följd av tunnelsprängning. <i>P. Ahlberg, T. Lundgren</i>	1977	50:-
2. Påhängskrafter på långa betongpålar. <i>L. Bjerin</i>	1977	50:-
3. Methods for reducing undrained shear strength of soft clay. <i>K.V. Helenelund</i>	1977	30:-
4. Basic behaviour of Scandinavian soft clays. <i>R. Larsson</i>	1977	40:-
5. Snabba ödometerförsök. <i>R. Karlsson, L. Viberg</i>	1978	25:-
6. Skredriskbedömningar med hjälp av elektromagnetisk fältstyrkemätning - provning av ny metod. <i>J. Inganäs</i>	1978	40:-
7. Förebyggande av sättningar i ledningsgravar - en förstudie. <i>U. Bergdahl, R. Fogelström K.-G. Larsson, P. Liljekvist</i>	1979	40:-
8. Grundläggningskostnadernas fördelning. <i>B. Carlsson</i>	1979	25:-
9. Horisontalarmerade fyllningar på lös jord. <i>J. Belfrage</i>	1981	50:-

## RAPPORT/REPORT

No.		År	Pris kr (Sw.crs)
10.	Tuveskredet 1977-11-30 Inlägg om skredets orsaker.	1981	50:-
11a.	Tuveskredet Slutrapport	1984	50:-
11b.	Tuveskredet geologi	1981	50:-
11c.	Tuveskredet hydrogeologi	1981	40:-
12.	Drained behaviour of Swedish clays. <i>R. Larsson</i>	1981	50:-
13.	Long term consolidation beneath the test fills at Väsby, Sweden <i>Y.C.E. Chang</i>	1981	100:-
14.	Bentonittätning mot lakvatten <i>T. Lundgren, L. Karlqvist, U. Qvarfort</i>	1982	60:-
15.	Kartering och klassificering av lerområdets stabilitetsförut- sättningar. <i>L. Viberg</i>	1982	80:-
16.	Geotekniska fältundersökningar. Metoder - Erfarenheter - FoU-behov. <i>E. Ottosson (red.)</i>	1982	60:-
17.	Symposium on Slopes on Soft Clays.	1983	190:-
18.	The Landslide at Tuve November 30 1977. <i>R. Larsson, M. Jansson</i>	1982	75:-
19.	Släntstabilitetsberäkningar i lera Skall man använda totalspänningsanalys, effektivspänningsanalys eller kombinerad analys? <i>R. Larsson</i>	1983	60:-
20.	Portrycksvariationer i leror i Göte- borgsregionen. <i>J. Berntson</i>	1983	150:-
21.	Tekniska egenskaper hos restpro- dukter från kolförbränning - en laboratoriestudie. <i>B. Möller, G. Nilson</i>	1983	65:-

## RAPPORT/REPORT

No.		År	Pris kr (Sw.crs)
22.	Bestämning av jordegenskaper med sondering - en litteraturstudie. <i>U. Bergdahl, U. Eriksson</i>	1983	75:-
23.	Geobildtolkning av grova moräner. <i>L. Viberg</i>	1984	70:-
24.	Radon i jord -Exhalation-vattenkvot -Årstidsvariationer -Permeabilitet <i>A. Lindmark, B. Rosén</i>	1984	75:-



**STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT**

**Besöksadr.: Olaus Magnus väg 35, LINKÖPING**

**Postadr.: 581 01 LINKÖPING, tel 013-11 51 00**