STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE

RAPPORT
REPORT No 15

Kartering och klassificering av lerområdens stabilitetsförutsättningar

LEIF VIBERG

LINKÖPING 1982

STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE

RAPPORT
REPORT No 15

Kartering och klassificering av lerområdens stabilitetsförutsättningar

LEIF VIBERG

Detta projekt har finansierats av Statens råd för byggnadsforsknings, forskningsanslag 770254-6 och SGI.

LINKÖPING 1982

ISSN 0348-0755

TRYCK-CENTER AB Linköping 1982

FÖRORD

Detta projekt initierades av SGI:s framlidne överdirektör Leif Andréasson. Projektet planerades före Tuve-skredet och blev beviljat anslag från Statens råd för byggnadsforskning (BFR) dagarna före Tuve-skredet.

I rapporten beskrivs en metod för kartering och klassificering av lerområdens stabilitetsförutsättningar. Stort arbete har nedlagts på inventering och analys av befintliga skred - ett material som utgör grunden för metodutvecklingen. Det har bedömts angeläget att även redovisa beskrivningen av dessa olika faktorer som inverkar på ett lerområdes stabilitet.

Den beskrivna metoden ingår som en del i SGI:s pågående (1981-83) skredriskkartering på västkusten. En metod som försöker kartera en sådan komplicerad fråga som stabilitetsproblem kan rimligen inte vara fix och färdig efter endast kort tillämpning. Viss modifiering kan erfordras allteftersom nya erfarenheter fås.

Projektet har kunnat genomföras tack vare flera personers insatser. Inventeringen av befintliga skred har genomförts av civ.ing Jan Inganäs, numera AB Jacobson & Widmark. Det geohydrologiska avsnittet har utarbetats av civ.ing Bengt Rosén. Vegetationskarteringen och en stor del av datasammanställningen har geolog Ann-Christine Ahlberg svarat för. Ing Rolf Fogelström har deltagit vid planering och genomförande av fältundersökningarna. Sprickkartering av berggrunden har letts av tekn.dr. Tom Lundgren. Datorprogrammen har utarbetats av civ.ing Mats Jansson. Utskrift av flera generationer manuskript har assistent Eva Dyrenäs genomfört.

Till dessa och andra personer som medverkat till projektets genomförande riktar författaren sitt varma tack.

INNEHÅLL

	Sid
SUMMARY	7
SAMMANFATTNING	13
1. INLEDNING	19
1.1 Bakgrund	19
1.2 Syfte och omfattning	19
2. INFORMATIONSKÄLLOR	22
2.1 Kontakter	22
2.2 Litteraturinventering	23
2.3 Flygbilder och termografi	23
2.4 Fältarbeten	24
3. ÖVERSIKT AV BEFINTLIGA KARTERINGSMETODER	25
3.1 Inledning	25
3.2 Principer för befintliga skredkarterings-metoder	25
3.3 Frekvensstudier	28
4. FÖRSLAG TILL METODIK FÖR KLASSIFICERING AV STABILITETSFÖRUTSÄTTNINGAR	30
4.1 Klassificeringsprinciper	30
4.2 Beskrivning av stabilitetsklasserna	32
4.3 Avgränsning av klasserna	35
4.4 Prioritering inom IB- och IC-områden	35
4.5 Exempel på klassificering av stabilitets-förutsättningar	41
5. FAKTORER AV BETYDELSE FÖR LEROMRÅDENS STABILITET	45
5.1 Topografi - geomorfologi	47
5.2 Geologi - geohydrologi	48
5.3 Geotekniska egenskaper	50
5.4 Klimat	50
5.5 Vegetation	53
6. BEFINTLIGA SKRED	56
6.1 Värdet av att kartera befintliga skred	56
6.2 Befintliga skreds utseende och omgivning	57
6.3 Markanvändning	72
6.4 Falska "skred"	73
6.5 Erosion	73

		Sid
7.	GEOBILDTOLKNING AV BEFINTLIGA SKRED	76
7.1	Flygbilder - kvalitetsaspekter	76
7.2	Tolkningsexempel	78
8.	STATISTIK ÖVER BEFINTLIGA SKRED	85
8.1	Geografisk fördelning	85
8.2	Skredens fördelning på årtal och storlek	85
8.3	Skredens fördelning på årstid	87
8.4	Skredorsaker	90
8.5	Skredens geometri och geologi	90
8.6	Släntlutning och -höjd	98
8.7	Vegetation i skredbottnar	102
9.	GEOHYDROLOGI	103
9.1	Bakgrund	103
9.2	Skredförekomst - klimat	103
9.3	Skredyta - avrinningsområde - utströmnings-område	109
9.4	Test av termografiteknikens möjligheter för geohydrologiska studier	114
10.	GEOTEKNISKA EGENSKAPER	118
10.1	Allmänt	118
10.2	Odränerad skjuvhållfasthet	118
10.3	Sensitivitet	123
10.4	Rapiditet och resistivitet	127
LITTERATUR		129

BILAGOR:

1. Utländska skredriskkarteringsmetoder
2. Skredkarta över Göta älvs dalgång
3. Flygbildskvaliténs beroende av geografiskt läge
4. Slänthöjd och lutning
5. Översiktlig kartering av vegetationstyper i skredärr
6. Resultat av fältundersökningar
7. Sammanställning av τ_{fu}
8. Statistisk redovisning av τ_{fu}
9. Manuella medelvärden för τ_{fu}
10. Sammanställning av τ/σ'
11. Sensitivitet
12. Sektioner genom skred

MAPPING AND CLASSIFICATION OF THE STABILITY CONDITIONS WITHIN CLAY AREAS

SUMMARY

BACKGROUND

Landslides in clay occur every year in Sweden and cause damages and cost. During the last 40 year period one landslide of disastrous magnitude (>10 ha) has on an average occurred every decade, the latest in Tuve, Gothenburg 1977-11-30. The direct landslide cost are on an average at least 10 million Sw Cr per year. After the Tuve landslide the Swedish government decided to carry out a survey mapping of the landslide hazard within built up and planned areas within certain landslide susceptible cities.

The purpose of this project has been to develop a method to map the conditions for instability within clay areas as to separate areas with conditions for instability from areas with very little probability for instability. The developed method is one part of a total landslide hazard mapping the purpose of which is to determine the risk of landslides. It is important to remark that the risk of landslide is not mapped by the method, it is only the physical conditions for instability that are considered. The risk is calculated at a later stage.

WORKING METHOD

Existing landslides and their environments have been investigated in order to get a base for the development of the method. Literature studies and enquetes have resulted into a landslide map of Sweden, and other valuable data. Mapping of landslides by means of aerial photographs has been carried out in Göta River Valley, from where most of the statistical data have come. Foreign landslide mapping methods have been analysed.

STABILITY CONDITIONS

Existing landslides give valuable information on among other things frequency, magnitude, climatic conditions, topographical, geological, hydrological and geotechnical conditions. In some cases there are even possibilities to judge the cause of the landslide, especially if the conditions before the landslide can be studied on aerial photographs.

Existing landslides are in most cases easily mapped by aerial photographic interpretation because of characteristic geometrical properties of the landslides. Aerial photographic interpretation is a common method in foreign landslide mapping methods. Despite the information on existing landslides are of varying quality, statistics on landslide data give valuable information on for example regional occurrence, prerequisites and causes.

The landslides in Sweden are often concentrated to greater valleys. The frequency of the landslides with time gives interesting information on large landslides. Human acitivity such as the construction of the rail road net from the end of the 19th century and the urban expansion after the 2nd World War have increased the landslide frequency. The frequency of very large landslides (>10 ha) has increased in a dramatical way after 1945.

The influence of climate is evident. In southern Sweden the autumn is a typical period for landslides (autumn rains in combination with little evaporation), while the landslide frequency in northern Sweden has its maximum in springtime (snow melt and thawing of the frozen soil). In both cases the conditions for high pore pressures and heavy erosion increase. However, there are slides in southern Sweden which have been preceded by long dry periods.

The landslides in the Göta River Valley have been investigated as regards their geometrical properties and surrounding geology. There are two different types of plan forms: one is freely developed with clay along all the landslide rim and the form is symmetrical. The other form is governed by firmer material along some part of the landslide rim. Most of the large landslides are in contact with the surrounding firm material, which shows the importance of analysing the surrounding geology. The latter influences both topographically and hydrologically (infiltration, pore pressure, quick clay formation). A special importance is played by existing clay slopes which seem to make effective stop for landslides.

Data from Swedish, Norwegian and Canadian landslides on inclination and heights of slopes where initial landslides have occurred show, that no slope had less inclination than 1:8 (~7°). On the basis of this the inclination of $\geq$1:10 (~6°) is used as a stability criterion.

The most important geotechnical properties in stability connection are shear strength and sensitivity. Compilation and statistical processing by means of computor of undrained shear strength for a number of landslides have been carried out. The results may primarily be used for calculations of the stability, but also as a classification tool.

In all large Swedish landslides which are investigated, quick clay has been found, why the sensitivity is a good indication of the risk for development of large landslides. Quick clay may under certain circumstances be interpreted by means of aerial photographs, by frequency, form and extension of existing landslides. Erosion is a common cause of landslides and it is therefore very important to map erosion activities. Indications on aerial photographs are white tones, surfaces free of vegetation, inclined trees, river and brook bendings and human activity.

PROPOSAL FOR CLASSIFICATION OF STABILITY CONDITIONS

It is the conditions for initial landslides that are classified. Inclined clay areas are subdivided into areas with different stability conditions. The purpose is to sort out those inclined clay areas where it is urgent to calculate the stability. This does not mean that the rest of the inclined clay areas are completely safe, only that the probability of instability is less.

The classification is based on a number of stability criteria (topography, geology, hydrogeology, geotechnics, human activities) that combined give the conditions for shear stresses and pore pressures which form the base for the following stability classes:

CLASS 0 — No conditions for instability.
Clay areas inclining <1:50
Other soils than clay

CLASS I — All clay areas inclining ≥1:50. Subdivided into classes IA, IB and IC.

IA — Clay areas with little inclination, 1:10-1:50.

The conditions do not favour high pore pressures and high shear stresses. Very little probability of instability.

IB — Clay areas with inclination ≥1:50.

Conditions for high pore pressures

IC — Clay areas with inclination ≥1:50

Conditions for high shear stresses.

Stability criteria and stability classes are shown principally in FIG 1.

A further subdivision of IB- and IC-areas into three priority classes is made to rate the urgency of the subsequent field investigations.

The proposed classification method has been tested within seven landslides where aerial photographs were available before the landslides occurred. Within all test areas both IB and/or IC conditions could be identified. In six cases both IB and IC conditions were mapped.

KARTERING OCH KLASSIFICERING AV LEROMRÅDENS STABILITETSFÖRUTSÄTTNINGAR

SAMMANFATTNING

BAKGRUND OCH SYFTE

Lerskred inträffar årligen i Sverige och förorsakar skador och kostnader för samhälle, näringsliv och privatpersoner. Under den senaste 40-årsperioden har i genomsnitt 1 katastrofskred (>10 ha) per decennium inträffat, det senaste i Tuve, Göteborg 1977-11-30. De direkta skredskadorna kostar i genomsnitt minst 10 milj kr per år. Efter Tuve-skredet beslutade regeringen om en översiktlig kartläggning av skredriskerna inom bebyggda och detaljplanerade områden inom vissa skredbenägna kommuner.

Avsikten med detta projekt är att utveckla en metod att kartera förutsättningar för instabilitet inom leromården, så att områden med förutsättningar för instabilitet - där det sålunda finns behov att beräkna stabiliteten - kan skiljas från områden med mycket liten sannolikhet för instabilitet - där inga ytterligare undersökningar är nödvändiga. Det bör poängteras att "förutsättningar för instabilitet" inte innebär något ställningstagande till säkerhetsfaktorns storlek.

Den utvecklade metoden ingår som en del i den totala skredriskkarteringen vars syfte är att bestämma risken för skred.

ARBETSMETOD

För att få underlag för metodutvecklingen har befintliga skred och dess omgivningar undersökts. Litteraturstudier och enkäter har resulterat i en skredfrekvenskarta över Sverige, FIG19 och andra värdefulla data. Kartering av skred med flygbilder har utförts i Göta älv, varifrån merparten av statistiska data har hämtats. Utländska metoder har studerats.

STABILITETSFÖRUTSÄTTNINGAR

Befintliga skred ger värdefull information om bl a frekvens, storlek, klimatbetingelser, topografiska, geologiska, geohydrologiska och geotekniska förhållanden. Ibland finns det även möjligheter att i efterhand bedöma skredorsak, speciellt om förhållandena före skred kan studeras på flygbilder.

Befintliga skred karteras bäst genom flygbildstolkning tack vare skredens typiska geometriska egenskaper. Flygbildstolkning är vanligt förekommande i utländska skredkarteringsmetoder.

Trots att uppgifter om befintliga skred är av varierande kvalitet ger statistik över skreddata värdefull information om t ex regional förekomst, förutsättningar och orsaker.

Skreden är ofta koncentrerade till större dalgångar inom respektive region. Skredens fördelning på decennium, FIG 20, ger intressanta informationer om stora skred. Mänsklig aktivitet som utbyggnad av järnvägsnätet från slutet av 1800-talet och den urbana expansionen efter andra världskriget har med största sannolikhet påverkat skredfrekvensen. Frekvensen av mycket stora skred (>10 ha) har ökat dramatiskt efter 1945, sett från ett längre tidsperspektiv.

Inverkan av klimat framgår tydligt av FIG 21, där antal skred avsatts mot månad. I södra Sverige är hösten typisk skredtid (höstregn, liten avdunstning), medan skredfrekvensen i Norrland är högst på våren (snösmältning, tjällossning). I båda fallen ökar förutsättningarna för höga portryck och kraftig erosion. Det förekommer emellertid höstskred på västkusten, som föregåtts av längre torrperioder, varför även andra orsaker, främst mänskliga måste beaktas. Diagrammen visar dock att "skredbenägenheten" är störst under de nämnda perioderna.

Skreden i Göta älvdalen har undersökts med avseende på geometriska egenskaper och omgivande geologi.

Det finns två olika typer av planformer: Den ena är fritt utvecklad med lera längs hela skredranden och är symmetrisk. Den andra formen är styrd av fastare material längs någon del av randen. De flesta stora skred är i kontakt med omgivande fastmark, vilket visar betydelsen av att analysera densamma. Omgivande fastmark inverkar både topografiskt (lutning) och geohydrologiskt (infiltration, portryck, kvicklerebildning). En speciell ställning i detta sammanhang har äldre lerslänter, som tycks utgöra effektiva stopp för skred.

Data från svenska, norska och kanadensiska skredplatser om lutning och höjder för slänter där initialskred inträffat visar, att ingen slänt lutade mindre än 1:8 ($\sim 7^{\circ}$) i dessa fall. På grundval av detta underlag används därför släntlutningen $\geq$1:10 ($\sim 6^{\circ}$) som ett stabilitetskriterium.

De viktigaste geotekniska egenskaperna i stabilitetssammanhang är skjuvhållfasthet och sensitivitet. Sammanställning och statistisk bearbetning med datorteknik av odränerad skjuvhållfasthet, τ_{fu}, för ett antal skredplatser, redovisas i FIG 34. Resultaten används främst som underlag för beräkningar.

I alla större undersökta svenska skred har påträffats kvicklera, varför sensitiviteten är en god indikation på risken för att stora skred skall utvecklas. Kvicklera kan i vissa fall flygbildtolkas med hjälp av frekvens, form och utsträckning hos befintliga skred.

Erosion är en vanlig skredorsak och det är därför mycket viktigt att kartera erosionsaktiviteter. Indikationer på flygbilder är ljusa toner, vegetationsfria ytor, lutande träd, å- och bäckkrökar och mänsklig aktivitet.

FÖRSLAG TILL KLASSIFICERING AV STABILITETSFÖRUTSÄTTNINGAR

Det är förutsättningarna för initialskred som klassificeras. Lutande lermark indelas i områden med olika stabilitetsförutsättningar. Syftet är att få fram de lutande leromården där det är angeläget att beräkna stabiliteten. Detta innebär inte att övriga lutande lermarksområden är fullständigt säkra, utan att sannolikheten för instabilitet där är mycket liten.

Klassificeringen baseras på ett antal stabilitetskriterier (topografi, geologi, geohydrologi, geoteknik, mänsklig aktivitet), som sammantagna ger förutsättningar för skjuvspänning och portryck, som bildar underlag för följande s k stabilitetsklasser:

KLASS 0 — Inga förutsättningar för instabilitet.
Leromården som lutar <1:50
Andra jordar än lera

KLASS I — Alla leromården som lutar ≥ 1:50.
Indelning i klasserna IA, IB och IC.

IA — Leromården med liten lutning, 1:10-1:50.
Små förutsättningar för höga portryck och höga skjuvspänningar.
Mycket liten sannolikhet för instabilitet.

IB — Leromården med lutning ≥1:50.
Förutsättningar för höga portryck.

IC — Leromården med lutning ≥1:50.
Förutsättningar för höga skjuvspänningar.

Stabilitetskriterier och stabilitetsklasser visas principiellt i FIG 1.

En ytterligare uppdelning av IB- och IC-områdena i tre prioritetsklasser görs för att angelägenhetsgradera de efterföljande detaljundersökningar, FIG 2.

Den föreslagna klassificeringsmetoden har testats inom 7 skredplatser, där flygbilder före skred fanns. Inom samtliga testplatser kunde IB- och/eller IC-förutsättningar identifieras. På 6 platser förekom både IB- och IC-villkor.

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund

Det är ett samhällsintresse att någon form av översiktlig kartering och kontroll av stabilitetsförhållandena inom skredfarliga områden utförs, så att dels skredfarligheten kan beaktas vid all planering och dels att erforderliga åtgärder för förhindrande av skred inom framför allt bebyggda områden kan insättas.

Efter skredet i Tuve, Göteborg, 1977-11-30 beslutade regeringen att en nationell skredriskkartering skall utföras med SGI som huvudman. På grund av ekonomiska begränsningar utförs karteringen inom de 10 mest utsatta kommunerna i Göteborgs och Bohus län och Älvsborgs län. Karteringen genomförs i steg, där en allt snävare inringning av instabila områden sker i varje steg. Kostnaderna för konventionella stabilitetsundersökningar är stora och det är ekonomiskt orimligt att på konventionell väg undersöka stora arealer, t ex hela dalgångar. Behov av en översiktlig metodik att upptäcka, kartlägga, beskriva och klassificera skredfarliga områden föreligger och målet för detta projekt har varit att med geobildtolkning (geologisk-geoteknisk flygbildstolkning) som huvudmetod utveckla en sådan metodik att ingå som en del i den totala skredriskkarteringen.

En rad olika faktorers betydelse för skredfarlighet måste analyseras i utvecklingsarbetet, även sådana som inte kan studeras på flygbilder t ex klimatologiska data, geotekniska egenskaper såsom skjuvhållfasthet, sensitivitet och lagerföljder.

1.2 Syfte och omfattning

Skredfarliga områden kan definieras som terrängavsnitt där förutsättningarna är sådana att skred kan inträffa om förutsättningarna är tillräckligt ogynnsamma. Förutsättningar för instabilitet kan beskrivas med hjälp av ett antal faktorer, som har studerats i detta projekt.

Syftet med det föreliggande projektet har varit att utveckla och testa en översiktlig, snabb och ekonomiskt rimlig metod för upptäckt, kartering och klassificering av skredfarliga områden. Geobildtolkning har bedömts vara en lämplig metod som kan uppfylla det nämnda målet. Med geobildtolkning avses tolkning av flygbilder med avseende på geologiska och geotekniska förhållandena kompletterat med geologisk och geotekniskt befintligt material, fältkontroll samt inte minst erfarenheter från liknande terräng. Metoden skall ses som ett av de första stegen vid undersökning av skredfarliga områden och skall alltid följas av sedvanliga geotekniska fältundersökningar och stabilitetsberäkningar inom områden som klassificeras som skredfarliga.

I detta projekt har vi

- testat geobildtolkningens möjligheter för kartering och klassificering av inträffade skred
- studerat faktorer som sammanhänger med skredfarlighet.

Här redovisas några faktorer som på basis av tidigare forskningsarbeten och erfarenheter bedömts vara möjliga att studera med geobildtolkning.

Topografi
- Ytformer
- Lutningar

Geologiska och geotekniska förhållanden
- Jordarter
- Infiltrationsområden för grundvatten
- Vissa mäktighetsförhållanden inom leromräden (uppstickande fastmarkspartier och lerytans ytformer och gråtoner)
- Erosion i slänter

Hydrologiska förhållanden

- Ytlig dränering - naturligt och mänskligt betingad
- Grundvattenläckage i slänter, sluttningar och skredärr genom mörka gråtoner, riklig vegetation eller försumpning

Befintliga skred

- Geometrisk form
- Olika skredformer som funktion av de geologiska, hydrologiska och geotekniska förhållandena
- Skreds ålder och utveckling genom studier och flygbilder från olika år (flygbilder från 1930-talet och framåt finns över Göta-älvdalgången)
- Markanvändning i skredbottnar

Markanvändning

- Olika typer av markanvändning
- Förändringar i markanvändning
- Schaktningar, uppfyllningar, bebyggelse

Data har framför allt hämtats från Götaälvdalen, där förhållandena är väl kända efter omfattande geologiska och geotekniska undersökningar och en stor mängd fältdata finns tillgängliga på SGI i Götaälvarkivet. Data från andra dalgångar har även utnyttjats.

I största utsträckning har befintliga fältundersökningar utnyttjats. Vissa kompletteringar inom Göta Älvs dalgång har dock erfordrats.

2. INFORMATIONSKÄLLOR

Insamling av data och information av intresse för projektet har skett med följande metoder

- Kontakter - studiebesök och deltagande i internationella konferenser
- Litteraturinventering
- Flygbilder och termografier ("värmebilder")
- Fältarbeten
- Övrigt - befintliga geotekniska undersökningar
  - geologiska kartblad

De olika delmetoderna - med undantag av "övrigt" - kommenteras här kortfattat.

2.1 Kontakter

Jordskred inträffar i de flesta länder. I Norge och Kanada är skredproblematiken ungefär densamma som i Sverige och därför har studiebesök genomförts i dessa båda länder. Dessutom har vi deltagit i två internationella ingenjörsgeologiska symposier där skred behandlats. Nedan följer en förteckning över studiebesök och symposier samt några tillhöriga viktiga data. Separata reserapporter har författats, se litteraturförteckning.

Norges geotekniske institutt, NGI 7-8 mars 1978

> Skredkartering har utförts inom enstaka områden. 1971 föreslog NGI en landsomfattande kartering, som dock ej vann gehör. Efter det stora skredet i Rissa, april 1978, kommer dock en sådan kartering att genomföras. Metodiken avviker emellertid från den tidigare.

IAEG:s, International Association of Engineering Geology, symposium om "Landslides and other mass movements", Prag, 15-16 september 1977,

> Regionala och nationella karteringar av skredrisker förekommer i flera länder. Flera modeller tillämpas.

Studiebesök i Kanada, 10-14 april 1978

Karteringsmetodik för leromräden, baserad bl a på statistiskt synsätt, finns och skredriskkartor har börjat produceras.

IAEG:s II:e internationella kongress, Madrid, 4-8 september 1978.

Metoder för kartering, prognoser och klassificering av skred presenterades.

2.2 Litteraturinventering

Litteraturinventeringen har omfattat ett stort antal artiklar om främst inträffade skred och flera av de diagram som presenteras i denna rapport är baserade på litteraturgenomgången. Den genomgångna litteraturen har sammanställts i en separat arbetsrapport, Inganäs (1979).

2.3 Flygbilder och termografi

Lantmäteriverkets (LMV) arkiv inventerades med avseende på bilder över Götaälvdalen. Flygbilder från 1930-talets början och framåt i tiden har använts. Dessutom utfördes flygfotografering med IR-färgfilm över Göta älv från Agnesberg till Intagan den 11 maj 1978. En delsträcka mellan Slumpån och Intagan fotograferades även med färgfilm. Flyghöjden var 3.000 meter vilket ger originalskalan 1:20.000. IR-färgbilderna har utnyttjats för kartering av skred. Resultatet redovisas i BIL 2. Skreden har numrerats och används som underlag för beskrivning av skredegenskaper och för statistisk bearbetning.

Termografi (även kallad IR-teknik) - dvs tekniken att registrera (infraröd) värmestrålning från mark- och vattenytor - har använts för geohydrologiska studier Två registreringar - en på eftermiddagen och en på kvällen - utfördes över Göta älv den 23 augusti 1978 från 1.000 höjd. Termografistudierna har utförts som separat projekt, som redovisats i särskild rapport till Statens delegation

för rymdverksamhet, Rosén & Viberg (1980). Här återges endast resultat av intresse för detta projekt, se avsnittet 9. GEOHYDROLOGI.

2.4 Fältarbeten

Besiktningar och arbeten i fält har utförts i flera etapper. I april 1978 rekognoscerades och fotograferades ett flertal skred i västra Sverige. Under maj samma år företogs detaljerade studier av ett begränsat antal skred i Götaälvdalen, varvid främst ytformer och geohydrologi undersöktes.

Geoteknisk undersökning omfattande vikt- och vingsondering samt upptagning av ostörda jordprover med kolvborr utfördes inom 3 Götaälv-skred i april 1979.

3. ÖVERSIKT AV BEFINTLIGA KARTERINGSMETODER

3.1 Inledning

Metoder för skredkartering i lersedimentterräng har utvecklats främst i Norge, Kanada och Sovjet, och dessa metoder är primärt intressanta för svenskt vidkommande. Skredkarteringsmetoder för andra geologiska formationer är av intresse ur principiell synpunkt. Sådana metoder finns i t ex USA, Sovjet, Tjeckoslovakien, Spanien, Frankrike och Australien.

3.2 Principer för befintliga skredkarteringsmetoder

De befintliga metoderna för skredriskkartering har på grund av olika förutsättningar (främst skillnader i geologi) olika karaktär, BIL 1. En sammanställning av de faktorer som används ges i TAB 1. Tabellen utgör en god checklista över de faktorer som kan beaktas vid skredkartering. Samtliga faktorer är inte av intresse för svenskt vidkommande.

Principerna för klassificeringen av skredfarligheten redovisas i TAB 2 och har mycket grovt klassats i "Enstaka faktorer" och "Flera faktorer". Prognoser baserade på enstaka faktorer medför relativt klart samband mellan prognos och utnyttjade faktorer. Prognosen uttrycks i de flesta metoder i "riskklasser". Härmed avses i allmänhet ett relativt mått på sannolikheten för att skred skall inträffa.

När flera faktorer sammanvägs och prognosen uttrycks i "riskklasser" utan bakomliggande stabilitetsberäkning blir sambandet mellan prognoser och faktorer komplicerat. Att sammanväga faktorer av olika karaktär och uttrycka prognosen i "risk" kräver mycket god kännedom om de olika faktorernas inverkan var för sig och deras samverkan för att riskprognosen skall bli tillförlitlig. Endast om gott statistiskt material utgör underlag och de ingående faktorernas konstans och variationer med tiden är kända (se avsnitt 3.3 Frekvensstudier) bör sådana "riskklasser" upprättas.

TABELL 1 Skredkarteringsmetoder - sammanställning av använda faktorer.

	KARTERINGSMETOD (se BIL 1)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
GEOMORFOLOGI-TOPOGRAFI														
topografi										x				x
ravindjup	x													
slänthöjd			x						x					
släntlutning			x										x	x
släntens utseende													x	
berggrundstopografi														x
GEOLOGI														
jordart		x								x	x	x		x
bergart										x	x	x		
lertyp		x												
lermäktighet														x
skikt i leran														x
lerans ålder									x					
tektonik								x						
landhöjning								x						
lokala avlagringar (belastande och vattensamlande)														x
BEFINTLIGA SKRED frekvens	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
skredårtal		x		x										
olika generationer		x												
dränering i skredärr														x
KLIMAT		x						x		x				
MARKANVÄNDNING													x	
byggnation (allmänt)		x								x		x		x
schaktning													x	
belastning													x	x
dränering														x
vibrationer														x

TABELL 1 (forts)

	KARTERINGSMETOD (se BIL 1)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
GEOHYDROLOGI														
portryck		x												
GW-ytans nivå													x	x
ytlig dränering														x
källsprång														x
vattenmättad zon														x
vattenstånd i vatten-drag														x
erosion	x	x	x									x		x
konstgjorda dammar														x
GW-flöden (kanal-formade)														x
GEOTEKNISKA EGENSKAPER														
kvicklera	x	x	x			x								x
överkonsolidering		x												
c;ϕ (regionala värden)			x											
τ_f ostörd			x					x	x					
omrörd			x											
som funktion av djupet						x								
sprickbildning														x
plasticitet (I_p)													x	

TABELL 2 Principer för utländska skred-karteringsmetoder.

KLASSIFICERING BASERAS PÅ:

1. ENSTAKA FAKTORER

   skredfrekvens
   skjuvhållfasthet och sensitivitet

2. FLERA FAKTORER

   sammanvägning utan poängsättning av faktorer

      beräkning av F_c
      beräkning av frekvenssannolikhet
      bedömning

   sammanvägning med poängsättning av faktorer

      summa poäng eller antal faktorer

Skredfarlighetsprognosen (typ, noggrannhet och tillförlitlighet) skall avpassas till hur resultatet skall användas. För mycket översiktlig planering (typ regionplanering) är skredfrekvenskartor användbara. Sådana kartor ger upplysning om ett större områdes (typ dalgång eller delar därav) skredbenägenhet. För planering av mindre områden är detta inte tillräckligt - undersökning av det lokala områdets stabilitetsförutsättningar och verkliga stabilitet krävs.

3.3 Frekvensstudier

De befintliga skredkarteringsmetoderna representerar flera olika principer för bedömning av skredrisken. Ett gemensamt drag för de flesta metoderna är att befintliga skred ingår i bedömningsunderlaget. Grovt sett kan man skilja mellan

1. Regional kartering
2. Kartering av avgränsat område

Den regionala karteringen baseras i första hand på frekvens av befintliga skred i olika typer av topografi och geologi. Frekvensen kan uttryckas i

- antal skred inom en region eller område
- skredareal per total areal av viss geologisk bildning
- sammanlagd skredlängd per total längd utmed vattendrag.

De olika kvoterna är ett mått på skredfrekvensen sett över den studerade tidsperioden. Kvoten är en funktion av sannolikheten endast om de "skredutlösande förutsättningarna" är konstanta i tiden. Ju längre tidsperiod som frekvensen gäller för desto större är möjligheterna att förutsättningarna varierat. Det är därför viktigt att uppskatta olika inverkande faktorers konstans/variation med tiden. En indelning av olika faktorer med hänsyn till variationer är följande:

- Konstanta faktorer (ex: jordlagerföljd och geomorfologi)
- Långsamt varierande faktorer (ex: tektoniska och landhöjningsrörelser, skjuvhållfasthetsförändringar inuti lerlager)
- Snabbt varierande faktorer (ex: klimatiska faktorer, nederbörd, torka, portryck, skjuvhållfasthet i och nära permeabla skikt; mänsklig aktivitet som uppfyllningar, regleringar av vattenstånd)
- Tillfälliga kortvariga faktorer (ex: jordskalv; vibrationer av sprängning, pålning, trafik).

Indelningen som angetts av Sheko, se IAEG,(1977) har modifierats för svenska förhållanden.

Frekvensstudier utan hänsyn till "skredförutsättningarnas variation" kan ge helt missvisande framtidsprognos om t ex någon väsentlig skredförutsättning/orsak försvunnit eller om någon skredorsak tillkommer under den tid prognosen gäller:

Några exempel för svenska förhållanden:

- Jordskalv (kanske inte förekommer under prognostiden men har förorsakat skred som ingår i frekvensstudien)
- Byggnation på lermark (den naturligt betingade skredfrekvensen "störs" av mänskliga aktiviteter).

4. FÖRSLAG TILL METODIK FÖR KLASSIFICERING AV STABILITETSFÖRUTSÄTTNINGAR

4.1 Klassificeringsprinciper

De utförda inventeringarna i denna utredning ligger till grund för en översiktlig karteringsmetodik att klassificera stabilitetsförutsättningar inom svenska leromräden. Det som till syvende och sist är avgörande för en slänts stabilitet är skjuvspänningens nivå i förhållande till skjuvhållfastheten. Portryckets betydelse för skred och kanske främst för utveckling av storskred är oomtvistligt och måste därför beaktas vid kartering. I detta sammanhang inkluderas även grundvattentryck i permeabla jordlager under och i leran i begreppet portryck. Karteringen går därför ut på att klassificera förutsättningarna för

- höga skjuvspänningar
- höga portryck

De partier som blir klassade på så sätt är inte nödvändigtvis instabila. Den aktuella skjuvhållfastheten bestämmer släntens säkerhetsmarginal mot utglidning. Eftersom slänterna står är säkerhetsfaktorn större än 1,0 och troligen i många fall betryggande, dvs större än 1,5. Släntens verkliga stabilitet kan endast avgöras genom stabilitetsberäkning. Karteringen lokaliserar områden där stabiliteten bör undersökas närmare.

De faktorer som används för klassificeringen beskrivs närmare i de följande avsnitten.

En översiktlig karteringmetodik måste byggas på areella informationer. Borrhålsinformation är alltför tillfällig - stora ytor saknar borrningar - och får därför ses som ett komplement, där borrningsresultat finns.

Klassificeringen utförs därför med hjälp av kartor över lerutbredning och flygbildstolkning. Tolkningsresultatet kontrolleras genom besiktning i fält.

Klassificeringen består av indelning av lutande lermark i delområden med olika förutsättningar (portryck och skjuvpåkänningar) för instabilitet. Syftet med klassificeringen är att skilja ut områden där det är angeläget att utreda stabiliteten. Resterande lutande leromräden har också förutsättningar för instabilitet, men sannolikheten för skred bedöms vara betydligt mindre (låga portryck och låga skjuvpåkänningar).

Med skred avses här förflyttningar av jordmassor i lutande lerterräng. Angränsande horisontala lermarker kan också beröras, speciellt i sensitiv lera. Lokala brott i jorden p g a belastningar som överskrider lerans skjuvhållfasthet beaktas inte. Sådana s k bärighetsbrott kan uppstå oberoende av lermarkens lutningsförhållanden.

Det är i första hand förutsättningarna för initialskred som klassificeras.

Klassificeringen baseras på ett antal stabilitetskriterier som sammantagna ger förutsättningar för skjuvspänning och portryck. Vid klassificeringen kombineras befintliga material, främst kartor över lerans utbredning, och flygbildstolkning (med fältkontroll) av topografiska geologiska och geohydrologiska förhållanden. Den aktuella terrängens geotekniska egenskaper (τ_{fu}, S_t) används ej direkt för identifiering och lokalisering av de olika stabilitetsklasserna utan som tillkommande information och som underlag för efterföljande stabilitetsberäkningar.

Lerterrängens lutning är ett övergripande kriterium som alltid skall ingå i klassificeringsunderlaget. Vid branta lutningar ($\geq$1:10, $\geq 6^{\circ}$) är lutningen ensamt avgörande. Vid mindre lutningar, 1:10-1:50, måste lutningen kombineras med andra kriterier för klassificering.

Stabilitetsklasserna indelas med hänsyn till förutsättningarna för höga portryck och/eller höga skjuvspänningar i s k stabilitetsklasser, TAB 3.

TABELL 3. Klassindelning av stabilitetsförutsättningar - stabilitetsklasser

KLASS 0	Förutsättningar för instabilitet saknas
KLASS I	Alla leromräden med lutning $\geq$1:50
IA	Leromräden med ringa lutning, 1:10-1:50, små avrinningsområden och ingen belastning. Mycket liten sannolikhet för instabilitet.
IB	Leromräden (lutning >1:50) med förutsättningar för höga portryck
IC	Leromräden (lutning >1:50) med förutsättningar för höga skjuvspänningar.

Klasserna IB och IC kan kombineras - IBC - vilket innebär att området har förutsättningar för både höga portryck och höga skjuvspänningar.

Stabilitetsklasserna illustreras principiellt i FIG 1.

4.2 Beskrivning av stabilitetsklasserna

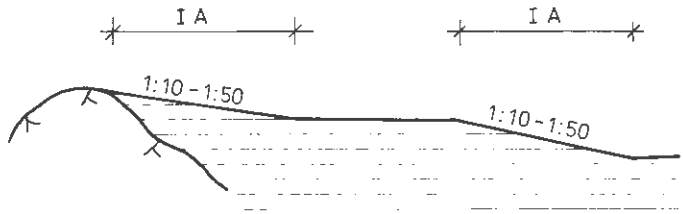
4.2.1 Klass 0

Klass 0 utgörs av horisontal eller mycket flack lermark (lutning <1:50) och andra jordar än lera. Det bör observeras att denna lermarkstyp kan ingå i undersökningsområde för stabilitetsberäkning eftersom sådan mark kan omfattas av bakåt- eller framåtgripande skred.

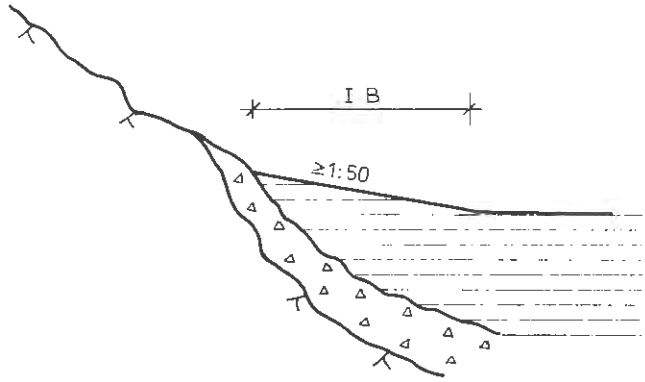
4.2.2 Klass I

Hit räknas alla leromräden med lutning >1:50. Områdena underindelas i Klass IA, IB och IC beroende på förutsättningarna för instabilitet.

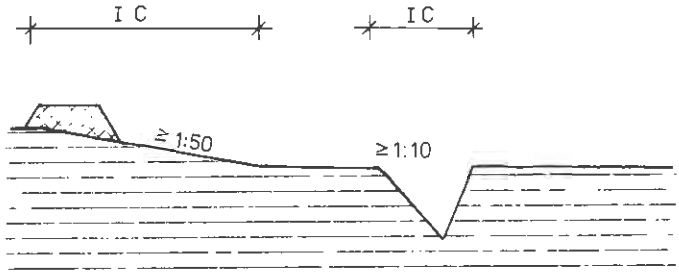
STABILITETSKLASS I A



STABILITETSKLASS I B



STABILITETSKLASS I C



FIGUR 1 Illustration av stabilitetsklasser.

Klass IA utgörs av lutande leromräden med lutning >1:50 och <1:10 (6°) och små låga avrinningsområden. Inga fyllningar eller andra utbredda belastningar förekommer. Enstaka mindre byggnaders vikt kan försummas i förhållande till jordens vikt. I denna typ av lerterräng har inga initialskred påträffats enligt den utförda inventeringen och sannolikheten för instabilitet bedöms därför vara mycket liten. Ingen stabilitetsundersökning behöver därför utföras för dessa områden.

Klass IB utgörs av lutande leromräden (>1:50) där förutsättningar för höga portryck finns.

Kännetecken:

- stort avrinningsområde
- hög omgivande topografi
- goda infiltrationsmöjligheter
  - friktionsjord vid lergräns, spec isälvsavlagringar
  - sprickig berggrund
  - silt-/sandskikt i leran
- hög grundvattenyta
  - källor
  - organisk jord, försumpningar
  - diken
  - fuktighet i markytan
  - fuktighetskrävande vegetation
  - dämningströsklar (pasströsklar)
  - sjöar och dammar över lerytans nivå
  - mätresultat (GW-nivå och portryck)
- låg skjuvhållfasthet
- kvicklera
- befintliga skred

} används ej för identifiering av klasser

Klass IC utgörs av lutande leromräden (>1:50) med förutsättningar för höga skjuvpåkänningar i leran.

Kännetecken:

- ⊙ brant sluttning >1:10 (6°) (belastad eller obelastad)
- ⊙ sluttning >1:50 (belastad)
- ⊙ hög sluttning (vanligen $\geq$ 4 m)
- ⊙ aktiv erosion eller förutsättningar för erosion
- ⊙ belastningar (fyllning, upplag, tät eller hög bebyggelse etc)
- ● avlastningar (skärningar, schakter) i sluttningens nedre delar
- ⊙ oberoende av avrinningsområdets storlek och omgivande topografi
- ● låg skjuvhållfasthet
- ● kvicklera
- ● befintliga skred

} används ej för identifiering av klasser

4.3 Avgränsning av klasserna

Gränserna för de olika klasserna blir ofta ungefärliga p g a klassificeringens översiktliga karaktär. Det är med dagens kunskapsnivå omöjligt att göra prognoser för framtida skreds omfattning. Många små sluttningskred inträffar varje år i Sverige, men endast ett fåtal utvecklas till större skred. Befintliga skreds omfattning utgör en mycket värdefull information för bedömning av undersökningsområdets utsträckning.

Vid förekomst av kvicklera utsträcks undersökningsområdet till närmaste fastmarksgräns om denna ligger på rimligt avstånd från den klassificerade sluttningen.

4.4 Prioritering inom IB- och IC-områden

Den generella stabilitetsklassificeringen enligt avsnitten 4.1-2 blir i många fall inte särskilt vägledande, eftersom större delen av den lutande lermarken blir klassad som IB, IC eller IBC. Det behövs därför en mer detaljerad uppdelning av dessa klasser för att de klassade områdena skall kunna prioriteras för detaljundersökningarna.

Prioriteringen har indelats i tre grader. Innebörden av de olika prioriteringsgraderna beskrivs nedan och illustreras principiellt i FIG 2.

4.4.1 Högsta prioritet (IB1, IC1, IBC1)

Slänter med lutning $\geq$ 1:10 och höjd $\geq$ 4 m. Ej genomgående fast lera.

Dessa slänter bör detaljundersökas för fastställande av stabiliteten. Eftersom många av slänterna troligen har tillfredsställande stabilitet, rekommenderas att detaljundersökningarna inleds med relativt enkla metoder som tryck- eller viktsondering och vingsondering för att lokalisera kritiska slänter.

4.4.2 Mellanprioritet (IB2, IC2, IBC2)

a. Slänter med lutning $\geq$ 1:10. Lerlagren bedömda som grunda och fasta.

b. Slänter med lutning 1:10-1:50 intill vatten eller med belastning eller intill infiltrationsområde.

c. Slänter med lutning $\geq$ 1:10 och höjd < 4 m.

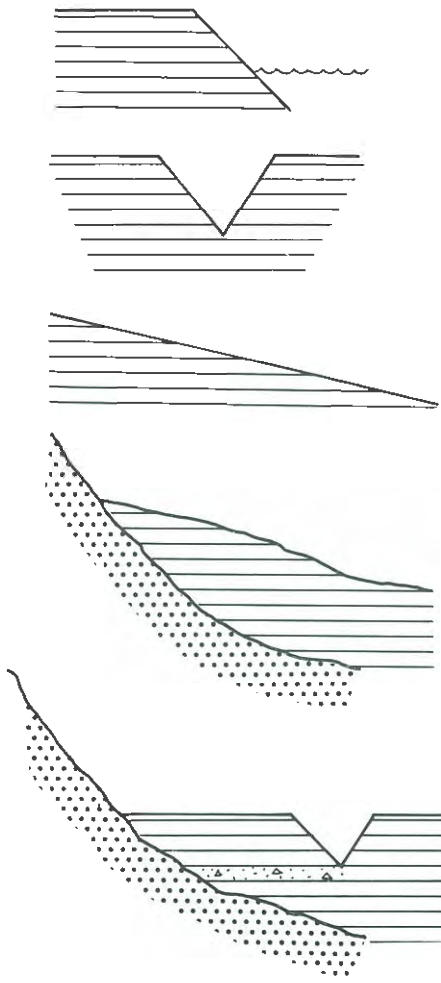
För dessa slänter bedöms sannolikheten för instabilitet vara betydligt mindre än för slänter i högsta prioritet. Med relativt enkel undersökning (främst sondering) kan kontroll av bedömningar enligt a. utföras. Om grunda och fasta lerlager påvisas genom borrningar kan områdena klassas som stabila och någon detaljundersökning behöver inte utföras. Områden enligt b. bör kontrolleras, men undersökningsbehovet är beroende på förhållandena.

4.4.3 Lägsta prioritet (IB3, IC3, IBC3)

Slänter med lutning 1:10-1:50 som är instängda av fastmark. Slänter > 1:50, inklusive > 1:10, med påvisbara grunda lerlager.

Dessa slänter är intill visshet gränsande sannolikhet stabila och behöver därför inte detaljundersökas.

a. Slänter >1:10 Obelastade eller
Höjd ≥ 4 m belastade



Vid vattendrag IC1

Vid ravin IC1

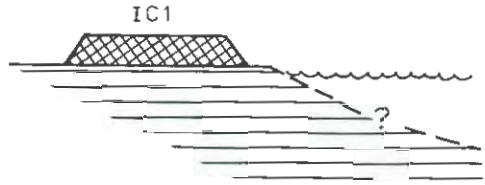
Lång sluttning IC1

Intill infiltrations-
område IBC1

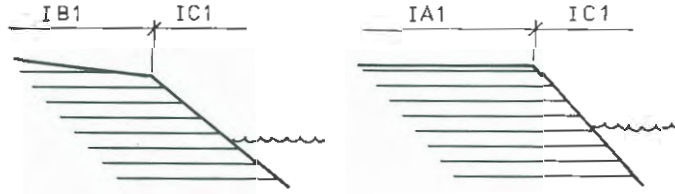
I närheten av hög
topografi IBC1

FIGUR 2a. Prioritering av IB- och IC-områden.
Högsta prioritet (IB1, IC1, IBC1).

b. All belastad lermark gränsande mot vatten



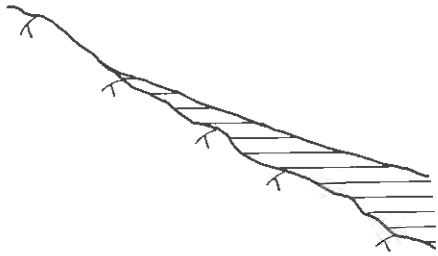
c. Slänter <1:10 gränsande mot IC1- och IBC1-partier med klara förutsättningar för instabilitet.



d. Erosion, befintliga skred och förekomst av kvicklera medför ökad angelägenhet.

FIGUR 2a. (forts)

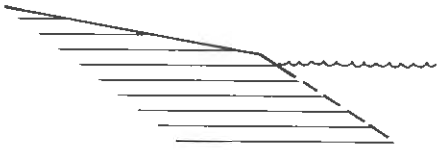
a. Slänter >1:10 vid fastmarkssluttningar där mäktigheten bedöms som liten. (Kontroll av mäktighet och fasthet.)



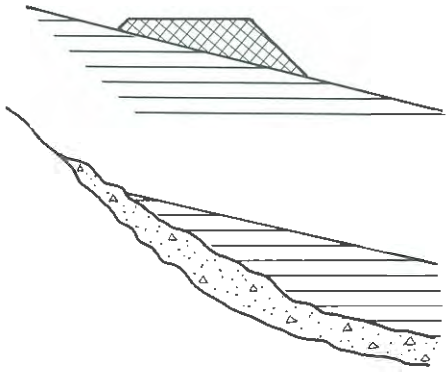
IBC2 (grunt?)

IC2 (grunt?)

b. Slänter 1:10-1:50



Gränsande mot vatten
IC2 och IBC2

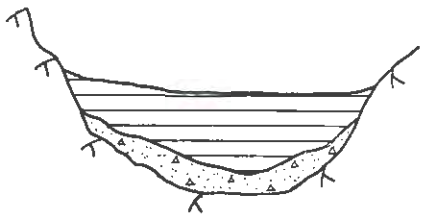


Belastade
IC2

Intill infiltrationsområde
IB2

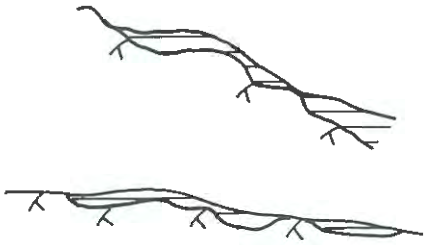
FIGUR 2b. Prioritering av IB- och IC-områden. Mellanprioritet (IB2, IC2, IBC2).

a. Slänter 1:10-1:50



Instängda lerbassänger
IB3

b. Slänter >1:10 och 1:10-1:50



IBC3
IC3

IB3

Slänter där fältdata visar grunda förhållanden, dvs genomgående fast. Ofta uppstickande block, lera eller morän i lerytan.

FIGUR 2c. Prioritering av IB- och IC-områden.
Lägsta prioritet (IB3, IC3, IBC3).

4.5 Exempel på klassificering av stabilitetsförutsättningar

Den föreslagna metoden att klassificera stabilitetsförutsättningar har testats inom 7 skredplatser och 2 platser där marksprickor uppstått. För samtliga skred utom det vid Saltkällan har flygbilder tagna före skred kunnat studeras. Med hjälp av dessa flygbilder och befintliga kartor har stabilitetskriterierna analyserats inom de blivande skredområdena och stabilitetsklass har bestämts. Resultaten redovisas i TAB 4. Skjuvhållfasthet (τ_{min}) och sensitivitet (S_t) utgör resultat av fält- och laboratorieundersökningar.

Samtliga studerade platser hade sådana kriterier att de kunde klassas som IB, IC eller IBC, varav IBC är den vanligaste (6 st). Vattnets avgörande betydelse för skredutveckling framgår tydligt av resultaten. I samtliga studerade fall inverkar vattnet antingen genom höga portryck eller erosion.

TABELL 4. Test av föreslagen klassificeringsmetodik.

SKRED-PLATS	STABILITETSKRITERIER (före skred)											STAB.KLASS Bedömd före skred	SKRED-ORSAK
	Lutning Nivåskillnad		Omgivande topografi	Avrinn. område	Infiltration	GW Portryck	Erosion	Belastn. Avlastn.	τ_{fmin} kPa **	S_t Kvicklera **	Bef.skred		
	Sedimentplan	Ravin Älvsänt	m.ö. sedimentplan	ha									
SALTKÄLLAN 1909-10-30 0,7 ha (a) flaskskred	1:6 (~10°)	Bäckravin före skred (inga data)	max 25 m	120 Merparten i bäck	Möjligen vid bergfot	-	Troligen kraftig	-	-	-	-	IC erosion lutning	Trol. erosion
SURTE 1950-09-29	1:30* (350 m) 1:6 (100 m) 15 m	Ev mkt grunda raviner Flera diken	90	85	Friktionsmaterial och sprickigt berg	Diken börjar mitt i slänten, indikerar gw-läckage	Endast ytlig	Enfamiljshus ev uppfyllda p g a marklutningen	<10	Allmänt förekommande**	Topografin före skred ev resultat av tidigare skred	IB portryck IC lutning	Pålning och/eller tågtrafik och höga portryck
ÖREKILSÄLVEN 1959-03-09 0,5 ha (a)	<1:50 (sedimentplan)	>1:10 10-15 m	10-15 m närmast max 50 m	1	Ringa friktionsmaterial i ytan		Älvslänten obevuxen och oregelbunden, trol erosion. Forsande vatten	-	-	-	Flera stora skred i närheten	IC lutning erosion	Trol. erosion

* Inom parentes anges längd för vilken lutning och nivåskillnad uppmätts.

** Skjuvhållfasthet och sensitivitet för fältundersökningar.

TABELL 4. (forts)

SKRED-PLATS	STABILITETSKRITERIER (före skred)											STAB.KLASS Bedömd före skred	SKRED ORSAK
	Lutning Nivåskillnad		Omgivande topografi	Avrinn. område	Infiltration	GW Portryck	Erosion	Belastn. Avlastn.	τ_{fmin} kPa **	S_t Kvicklera **	Bef.skred		
	Sedimentplan	Ravin Älvslänt	m.ö. sedimentplan	ha									
ROLLSBO Kungälv 1967-08-02 ca 0,6 ha (a) 1,2(p)	1:8-1:15	-	25	~4	2 stora bergsprickor leder mot skredplatsen	Goda föruts.	-	-	<10	Ja	-	IB portryck IC lutning	Slagning av vertikaldräner och artesiskt gw
JORDBRO 1972-10-17 4,5 ha 1,5(a) 3 (p)	1:17 Lokalt 1:6 3 m	Endast gamla diken	30	10	Stor grusås 500 m Ö. sand- och siltskikt i leran	Kärrbildning i slänten övre del Flera diken. GW-läckage i intilliggande slänt	Obetydligt i dike	(Uppfyllning i samb. med byggnation)	<10	Lagerföljden mycket känslig för störningar	-	IB portryck	Belastning
TUVE 1977-11-30 27 ha (totalt) hälften aktivt	1:10 20 m	1:7 5 m	25	50 Vattnet leds in i högpart. ovan skred	I bergsprickor och utmed branta bergsidor	Trågformad bergtopografi	I ravinens botten och vägbantfot	Vägbank Fyllning för kulvertering och hus. Trafikvibrationer	~15	Lokalt	Ev mindre skred i ravinslänt	IC lutning belastn. erosion IB portryck	Trol. belastning och höga portryck

* Inom parentes anges längd för vilken lutning och nivåskillnad uppmätts.

** Skjuvhållfasthet och sensitivitet för fältundersökningar.

TABELL 4. (forts)

SKRED-PLATS	STABILITETSKRITERIER (före skred)											STAB.KLASS Bedömd före skred	SKRED ORSAK
	Lutning Nivåskillnad		Omgivande topografi	Avrinn. område	Infiltration	GW Portryck	Erosion	Belastn. Avlastn.	τ_{fmin} kPa **	S_t Kvicklera **	Bef.skred		
	Sedimentplan	Ravin Älvslänt	m.ö. sedimentplan	ha									
BERFENDAL 1977-12-18 0,2 ha (a) flaskskred	1:8-1:10 35-40 m	1:1 5-10 m	50 m Mycket brant	250 Merparten i bäck	Möjligen vid bergfot	Den branta och höga bergtopografin ger förutsättningar	Förutsättningar för kraftig erosion vid kraftig avrinning i bäckravinen	-	10	På ca 10 m djup i L si	Oregelbundna ravinslänter p g a tidigare skred och erosion	IC erosion lutning IB portryck	Trol. erosion
G:A BJÖRLANDAV. Hisingen Göteborg 197 Markspricka 200x0,1 m	1:40	-	Brant berg ca 30 m	~2 ha	Bergsprickor	Förutsättning p g a brant berg m. sprickor	-	Äldre enfam. hus	~10	Ja	-	IB IC portrydk	Pålning och höga portryck
RÄVEKÄRR 1971 Markspricka 550x0,3 m	1:8-1:16	-	35 närm. max 65	20	Klyfta i berggrunden ovan del av markspricka	Goda föruts.	-	Äldre enstaka enfam. hus			-	IB portryck IC lutning	Pålning och höga portryck

* Inom parentes anges längd för vilken lutning och nivåskillnad uppmätts.

** Skjuvhållfasthet och sensitivitet för fältundersökningar.

5. FAKTORER AV BETYDELSE FÖR LEROMRÅDENS STABILITET

Målet för projektet har varit att analysera förutsättningarna för höga skjuvpåkänningar och höga portryck, se kapitel 4. Det bästa studiematerialet för sådana analyser utgörs av redan inträffade skred. Därför har största vikten lagts vid att inventera sådana och analysera faktorer som är förknippade med ett områdes stabilitet.

Orsakerna till skred är oftast svåra eller omöjliga att få fram i efterhand eftersom "bevisen" förstörs vid skredtillfällena och mätningar före skred oftast är knapphändiga eller saknas.

I de flesta fall är det flera orsaker som samverkat.

De faktorer som inverkar på stabilitetsförhållandena kan hänföras till någon av nedan uppräknade grupper, (befintliga skred, topografi, geologi, geohydrologi, geoteknik, klimat, vegetation, mänsklig aktivitet).

I detta kapitel ges en översikt av de olika faktorernas betydelse för stabiliteten. Flertalet faktorer analyseras utförligare i hänvisade kapitel.

Befintliga skred (behandlas i kapitel 6-8)

- Storlek
- Form
- Frekvens - areellt
- Frekvens i tiden - periodicitet
- Läge
- Utseende
- Markanvändning

Topografi-geomorfologi (behandlas även i avsnitten 6.2 och 8.5-6)

- Nivå
- Höjdskillnader
- Lutning
- Ytformer

Geologi (behandlas även i avsnitten 6.2 och 8.5)

- Jordart
- Jordlagerföljd
- Mäktighet
- Omgivningens geologi

Geohydrologi (behandlas även i kapitel 9)

- Berggrundens spricksystem, tektonik
- Infiltrationsområden - permeabilitet
- Nederbörd
- Avrinningsområden
- Grundvatten - nivåer, strömningar, volym
- Portryck
- Vattenstånd i vattendrag
- Erosion

Geoteknik (behandlas även i kapitel 10)

- Skjuvhållfasthet
- Sensitivitet

Klimat (behandlas även i kapitel 8.3)

- Nederbörd - frekvens och intensitet
- Tjäle
- Snösmältning
- Torka

Vegetation (behandlas även i avsnitt 8.7)

Mänsklig aktivitet

- Belastningar
- Avlastningar
- Vibrationer av byggnadsarbeten, sprängning trafik etc
- Dammreglering
- Utsläpp och infiltration av förorenat vatten

5.1 Topografi - geomorfologi

Topografin är markytans nivå- och formegenskaper.

Till denna faktorgrupp hör
- nivå
- höjdskillnader
- lutningar
- ytformer

Topografin kan studeras med hjälp av topografiska kartor, stereobetraktning av flygbilder eller med direkt betraktning och avvägning i terrängen.

De topografiska kartorna ger god överblick över topografin men innebär alltid en generalisering av verkligheten på även de mest detaljerade kartorna. På de allmänna kartorna, topografiska - 1:50.000 - ekonomiska med nivåkurvor - 1:10.000 - är nivåkurvornas ekvidistans 5 m, vilket är en relativt grov upplösning. Kartor i större skala och med ekvidistanser på 2 m och 1 m täcker som regel endast mindre ytor och ger normalt ingen översikt. Deras största värde för översiktlig skredkartering ligger i att de ger underlag för tillräckligt noggranna beräkningsprofiler.

Stereobetraktning av flygbilder ger en detaljerad bild av topografin. Genom stereomodellens överdrivna höjdskala kan även relativt små höjdskillnader studeras. Upplösningen i höjdled är beroende av flygbildsskalan och stereoeffekt. God stereoeffekt förutsätter kontraster i flygbilderna. Ytor med jämna (kontrastlösa) gråtoner/färger (ex jämnt upptorkade obevuxna åkrar, åkrar med gröda) ger dålig stereoeffekt. Bästa flygbilder för topografisk information är relativt storskaliga och fotograferade tidigt på våren med goda fuktighetsvariationer inom obevuxna fält.

Det är både lerområdens och omkringliggande terrängs topografi som är av intresse. Den senares inverkan är främst av geohydrologisk natur genom att avrinning och

infiltration till leromräden sker i terräng som omger lermarken. Eftersom information om geohydrologin är nödvändig vid skredkartering måste även fastmarksterrängen "ovanför" lerområdet studeras. Intressanta topografiska faktorer inom den omgivande terrängen är:

- höjd över lerområdet
- lutningar
- sänkor (från dalstråk till större sprickor)
- markytans ytformer

Lerområdens topografi ger information om geologi och befintliga skred samt för beräkningsprofiler, varvid följande topografiska egenskaper är intressanta:

- lerytans lutning i stort
  - sedimentplan
  - slänter
- detaljformer
  - övergångar till fastmark
  - skredmorfologi

Sedimentplanets nivå skall jämföras med HK, postglaciala transgressionsgränsen och andra geologiska nivåer.

5.2 Geologi-geohydrologi

De geologiska och geohydrologiska faktorerna karteras m h a geologiska kartor och beskrivningar, befintliga undersökningar, flygbildstolkning och fältarbete. Noggrannheten i resultatet varierar med tätheten i befintliga undersökningar. Över hela undersökningsområdet bör dock ligga en bestämd kvalitet. Det är dock svårt att helt uppfylla detta krav eftersom informationens kvalitet varierar.

5.2.1 Geologi

Följande geologiska förutsättningar är av intresse:

- Lerområden:
  - bildningssätt

- bildningsmiljö
- lagerföljd spec skikt av sand/silt
- mäktighet
- grundvattenförhållanden
  - nivåer - tryck
  - strömningar
  - flöden (volym)
- svallningslager

Närliggande (geohydrologiskt inverkande) fastmarksterräng:

- berggrundens karaktär
  - bergart
  - spricksystem
  - infiltrationskapacitet
- morän
  - mäktighet
  - grov/fin - infiltrationskapacitet
- sand, grus
  - isälvsmaterial
  - svallningsmaterial

5.2.2 Geohydrologi

Geohydrologiska faktorer av intresse är:

Faktorer karterbara m geol karta, flygbilder, fältkontroll

- Ytlig dränering (bäckar, diken)
- Erosion
- Ytvatten
- Grundvattenläckage, försumpningar, kärr, mossar
- Dämningströsklar (speciellt pasströsklar i bäckbottnar)
- Inströmnings- och utströmningsområden
- Avrinningsområden
- Infiltrationskapacitet

Faktorer karterbara m bef undersökningar

- GW-nivå (borrhål, GW-rör, brunnar)
- Portryck (portrycksmätning)

Höga portryck indikeras indirekt av grundvattenläckage, frodig vegetation, försumpningar etc, FIG 3 a-c. Erosion är en viktig faktor eftersom aktiv erosion i en slänt successivt försämrar släntens stabilitet, FIG 4. Erosionen kan studeras med hjälp av flygbilder eller besiktning. Med aktiv erosion avses slänter med bar jord, dvs vegetationstäcke saknas, åtminstone fläckvis. I vissa fall, t ex kraftig erosion som bildar skredliknande former i slänten, kan det vara svårt eller omöjligt att skilja erosion från skred om man inte har möjlighet att studera släntens utseende före erosionen/skredet. Erosionen är en ytlig process som successivt förändrar slänten, medan skred går djupare och utvecklas mycket hastigt jämfört med erosion.

Larsson (1975) har undersökt flygbildtolkningens möjligheter för erosionsstudier, se avsnittet 6.5 Erosion.

5.3 Geotekniska egenskaper

Det är i första hand skjuvhållfasthet, τ_{fu}, och sensitivitet, S_t, som är av intresse. τ_{fu} och S_t kan endast erhållas genom borrningar. Med stöd av kunskaper om geologi (bildningssätt, -miljö), geohydrologi och tillgång till befintliga borrningar som ger geotekniska egenskaper i några punkter kan man med hjälp av flygbildstolkning och kompletterande stickprov göra en grov geoteknisk klassificering av området.

5.4 Klimat

Vattnet har en avgörande roll för stabiliteten. Vatten påverkar stabiliteten på flera sätt:

Egenvikt
Skjuvhållfasthet
Portryck
Erosion

a.

b.

c.

FIGUR 3 a-b Dålig bärighet p g a läckande grundvatten. a. Fråstad (nr 80)*, b. Köpingen (nr 32)*.

c. Frodig vegetation, slänt med högt grundvattentryck. Surte (nr 148).*

*) Numreringen hänvisar till skred enl BIL 2.

FIGUR 4. Aktiv erosion. Jordfallet (nr 147).

Ett sätt att på indirekt väg se klimatets inverkan är att upprätta en månadsvis fördelning av skred, sid 89.

Under torkperioder förbättras i allmänhet stabiliteten genom att egenvikt, portryck och erosion minskar. Lågvattenstånd inverkar dock negativt genom minskande motstånd. De sprickor i lerans översta lager som bildas under torka anses också vara negativa för stabiliteten eftersom skjuvhållfastheten i sprickzonerna måste reduceras vid stabilitetsberäkningar. Vid regn fylls sprickorna och de vattentryck som uppstår inverkar negativt, liksom också vattnets egenvikt. Sprickornas betydelse för stabiliteten är ofullständigt känd.

5.5 Vegetation

Vegetationens betydelse för stabiliteten i svensk lerterräng är ofullständigt känd.

Prandini et al, Brasilien, se IAEG (1977), har angett följande positiva effekter av vegetation på släntstabilitet:

Träd och buskar

a) skyddar slänten från direkt påverkan från regn, vind och solsken
b) hindrar en del av regnet att nå marken
c) minskar vattenmängden under markytan genom transpiration

Markskiktet (förnan)

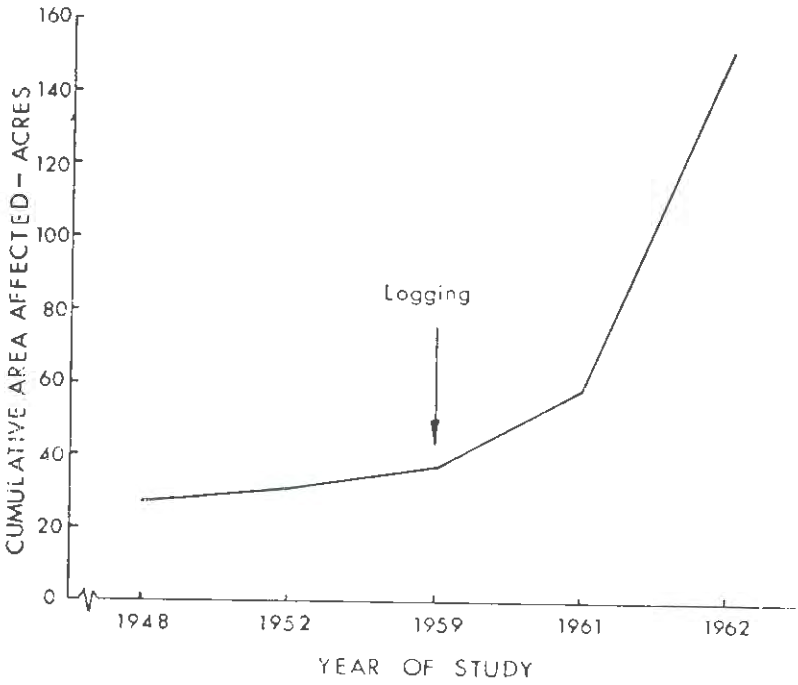
d) håller vatten och minskar såväl ytavrinningen som infiltrationen
e) medverkar tillsammans med rotsystemet till avrinning under markytan (underflow)

Rotsystemet

f) ökar jordens skjuvhållfasthet
g) ökar permeabiliteten och möjliggör därmed "underflow"
h) minskar portrycket genom uppsugning.

Negativa effekter av kalhuggning är bl a höjning av grundvattennivå och erosion. Rotsystemet behåller sin stabiliserande inverkan en tid, men bryts så småningom ned.

Ett exempel från Alaska, FIG 5, visar kalhuggningens påtagliga inverkan på skredutvecklingen.



FIGUR 5. Exempel från Alaska, som visar kalhuggningens inverkan på skredutveckling, Bailey (1972).

Vegetationen har otvetydigt en avgörande betydelse för erosionsutvecklingen - och därmed för stabiliteten - i branta lerslänter. Vegetationen binder genom sitt rotsystem de ytliga jordlagren och ingen erosion kan uppstå. I branta slänter blir ofta trädstammar krökta p g a de ytliga jordlagrens strävan nedåt i tjällossningsperioder.

Hur djupt ned trädrötternas stabiliserande effekt går är ofullständigt känt. Den rent mekaniska armeringen är begränsad till ca 0,5 m djup, medan effekten av vattenuppsugning på portryck och torrskorpebildning är mycket litet känd.

Träds inverkan genom egenvikt och överföring av vindkrafter torde vara försumbara i förhållande till övriga krafter.

6. BEFINTLIGA SKRED

6.1 Värdet av att kartera befintliga skred

Redan inträffade skred är en viktig informationskälla vid skredriskkartering. Det faktum att ett skred inträffat innebär ju att partiet var instabilt en gång i tiden. Områden med befintliga skred behöver inte nödvändigtvis vara instabila idag, men befintliga skred bör uppfattas som en varningssignal för närliggande leromåden.

Genom studier av geologi, topografi, geohydrologi och geotekniska egenskaper kan man få fram de principiella förutsättningar som rådde och eventuellt bedöma skredorsakerna och därigenom få stöd för bedömning av närliggande likartade leromåden. En osäker faktor är att de yttre förhållandena kan ha ändrats sedan skreden inträffat.

De faktorer hos befintliga skred som är värda att studera är följande:

- Geometrisk form (plan- och profilform)
- Storlek
- Frekvens - areellt och i tiden
- Angränsande geologi (jordarter, berg, raviner, angränsande skred)
- Skredbottnens morfologi
- Skredbottnens lutning
- Rekonstruerad mark- och sluntlutning

Dessa data ger värdefulla upplysningar.

Ett område med flera skred visar att området har/har haft förutsättningar för instabilitet. Ett skredfritt område ger endast den informationen att inget skred inträffat. Det ger ingen garanti för en skredfri framtid.

Jordens egenskaper kan i viss mån utläsas av skredens form, storlek och omgivning. Skred med smal mynning, päron- eller flaskformade, utbildas i jord som blir lättflytande vid omrörning - kvicklera eller lera med skikt av vattenförande sand/silt.

Viss ledning för bedömning av framtida skreds utbredning får man av befintliga skreds utsträckning.

I detta och följande kapitel refereras till skrednummer som återfinns i skredkartan över Göta älvs dalgång, BIL 2.

6.2 Befintliga skreds utseende och omgivning

Identifiering av befintliga skred karteras enklast genom flygbildstolkning. Flygbilderna ger i många fall bättre information än fältkartering. Den överdrivna stereoeffekten i flygbilder är till stor nytta, eftersom skred i första hand identifieras genom sina ytformer. Alla skred är emellertid inte lätta att identifiera. Tveksamma områden besiktigas i fält.

Det finns många typer och utseenden av skred. Följande faktorer inverkar på utseendet:

- planform
- profilform
- bottnens jämnhet
- fuktighetsvariationer
- vegetation
- markanvändning

Skredens utseenden på flygbilder varierar med år och årstid för fotografering, flygbildsskala och i viss mån även av filmtyp, jfr kapitel 7.

Vid identifiering av skred är det även nödvändigt att analysera skredens angränsande omgivning, såsom:

- sedimentplan
- lerkammar
- omgivande berg- och friktionsjord.

6.2.1 Planform

Skredens planform kan uppdelas i

- fritt utvecklad - symmetrisk - planform
- styrd - oregelbunden - planform

De fritt utvecklade skreden är i allmänhet relativt små. Endast enstaka skred är större än 1 ha.

Alla stora skred i Göta älvdalen har styrd planform. Styrningen har huvudsakligen skett genom fastmark. Det är sålunda ett starkt samband mellan stora skred och fastmark, se vidare avsnitt 6.2.4 Angränsande jord och berg.

Skred med fritt utvecklad planform (ex skred nr 33, 34 och 60), FIG 6 (skred nr 78), gränsar utefter större delen av skredkanterna mot finsedimentplan. Närmast skredmynningarna gränsar skredkanterna mot lerkammar när skredmynningen är smalare än maximala skredbredden.

Planformen är mer eller mindre symmetrisk, och kan i de flesta fall tillnärmelsevis benämnas cirkulär, elliptisk eller päronformad.

Skred med styrd planform (ex skred nr 5, 19, 21, 81) FIG 7 (skred nr 5), gränsar med någon del av skredkanten mot fastmark eller lerkam. Planformen blir oregelbunden. Det är tillräckligt att endast ett kort stycke av skredkanten - med undantag av området närmast mynningen - tangerar fastmark eller lerkam för att skredet skall klassificeras som oregelbundet. Någon del av skredkanten kan dock i en del fall utvecklas fritt.

Flera stora skred gränsar med större delen av skredkanterna mot fastmark. Skredformen blir då helt styrd av fastmarksgränsen.

6.2.2 Profilform

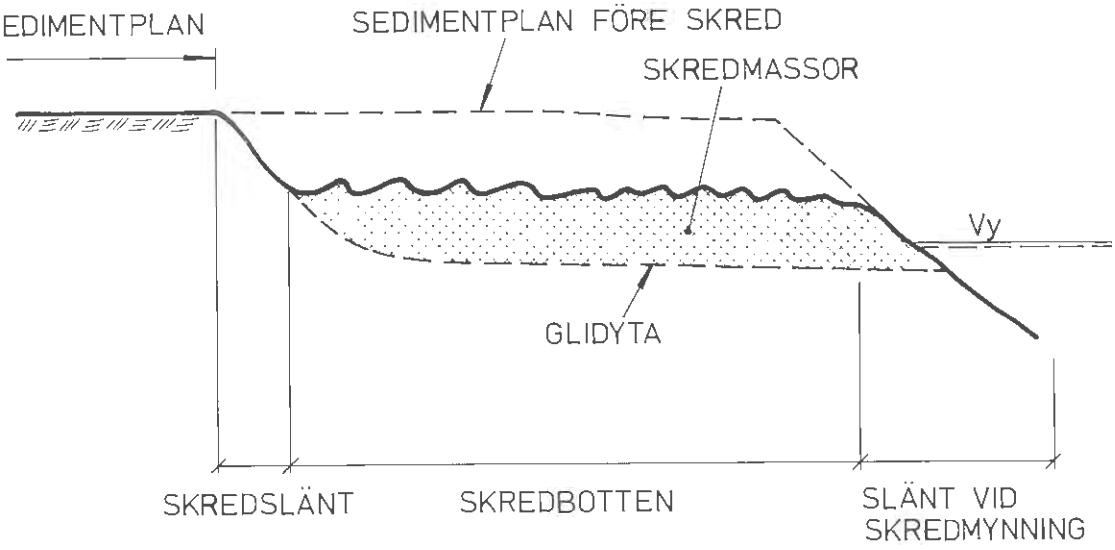
Skredprofilen sammansätts av skredbottnen, skredkantens sländ (skredsländ) samt mynningssländen, FIG 8. Det bör observeras att skredbottnen sällan är identisk med glidytan. Även vid mycket flytbenägna jordmassor blir ett mer eller mindre tjockt lager skredmassor kvar över glidytan och skredbottnen består alltså av utglidna massor.

b.

a.

FIGUR 6. Fritt utvecklat skred. Hansgården.
a. Översikt. b. Detalj.

FIGUR 7. Skred med styrd planform, Intagan.
Styrning av lerkam (ravin) till vänster
och berg i bakgrunden.



FIGUR 8. Profil skred. Definitioner.

Hur mäktiga skredmassor som blir kvar i skredärret beror på massornas lättflutenhet, gradienten och om mynningen har fritt utlopp eller om dämningar förekommer. I extremfallet, t ex skredet vid Saltkällan där glidning skedde på en lutande bergyta och utloppet var fritt, försvinner så gott som hela lermassan ned till det fasta underlaget. Vid kraftigt lutande underliggande bergtopografi kan berg blottläggas. Lutningsförhållandena i skredområden beskrivs närmare i avsnitt 8.6 Släntlutning-slänthöjd. Se även BIL 12. Såväl skredslänters som skredbottnars lutningar varierar inom vida gränser.

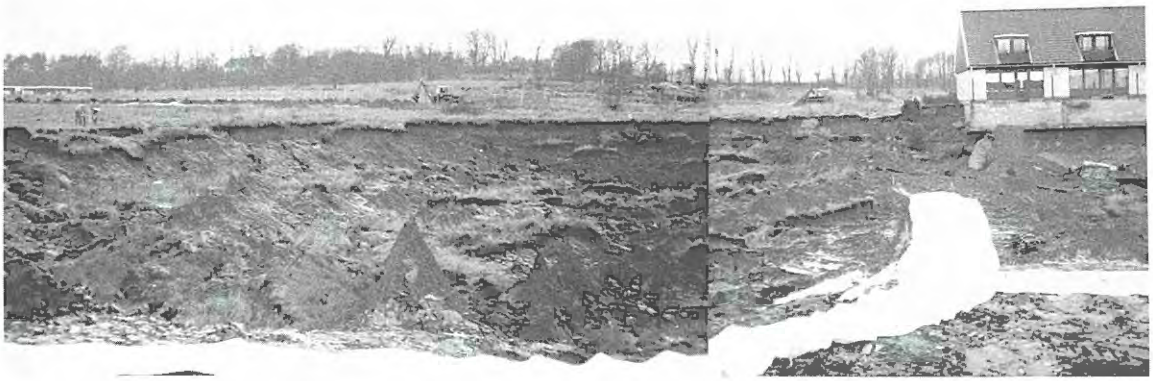
Skredbottnens lutning i större skred är i allmänhet flack beroende på den utjämning i topografin som sker vid skredet. Ju större lättflutenhet skredmassorna har desto flackare blir skredbottnen. Det fasta underlagets lutning inverkar på skredbottnens lutning när djupet till underlaget är litet. Branta skredbottnar förekommer framför allt vid mindre ytliga släntskred. Vid mycket små släntskred blir skredslänten helt dominerande.

6.2.3 Skredbottnens jämnhet och fuktighetsmönster

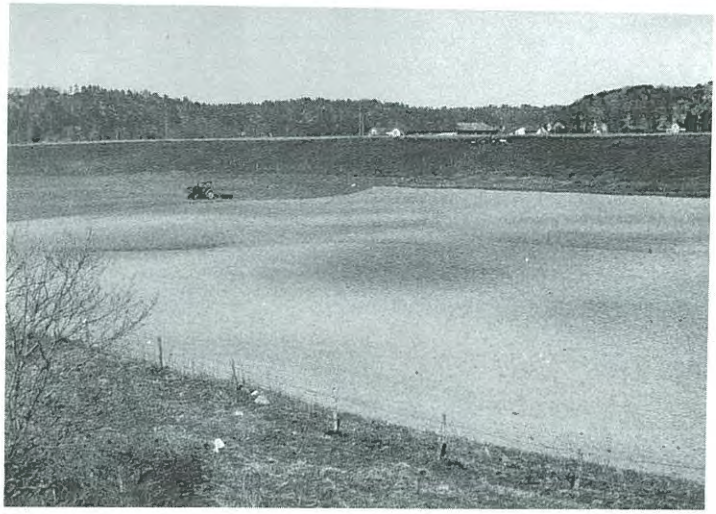
Skredbottnens jämnhet beror i huvudsak av följande faktorer:

- jordens egenskaper (främst skjuvhållfasthet, sensitivitet, rapiditet)
- skredtyp (beroende av jordegenskaper)
- markanvändning (åkermark eller annat)
- ålder

Ett färskt skred uppvisar normalt en mycket ojämn bottenmorfologi med spetsiga toppar och krön, FIG 9. Detaljmorfologin avrundas emellertid snabbt genom tjäle, regn (erosion) och upptorkning. Genom åkerbruk sker ytterligare utjämning. Skredmorfologin utjämnas emellertid inte helt, FIG 10. En viss vågighet i markytan kvarstår sålunda. Permanenta skredskållor finns i många skred, FIG 11 och FIG 12. Undantag utgör skred där jorden blir helt flytande och breder ut sig som ett jämnt täcke.

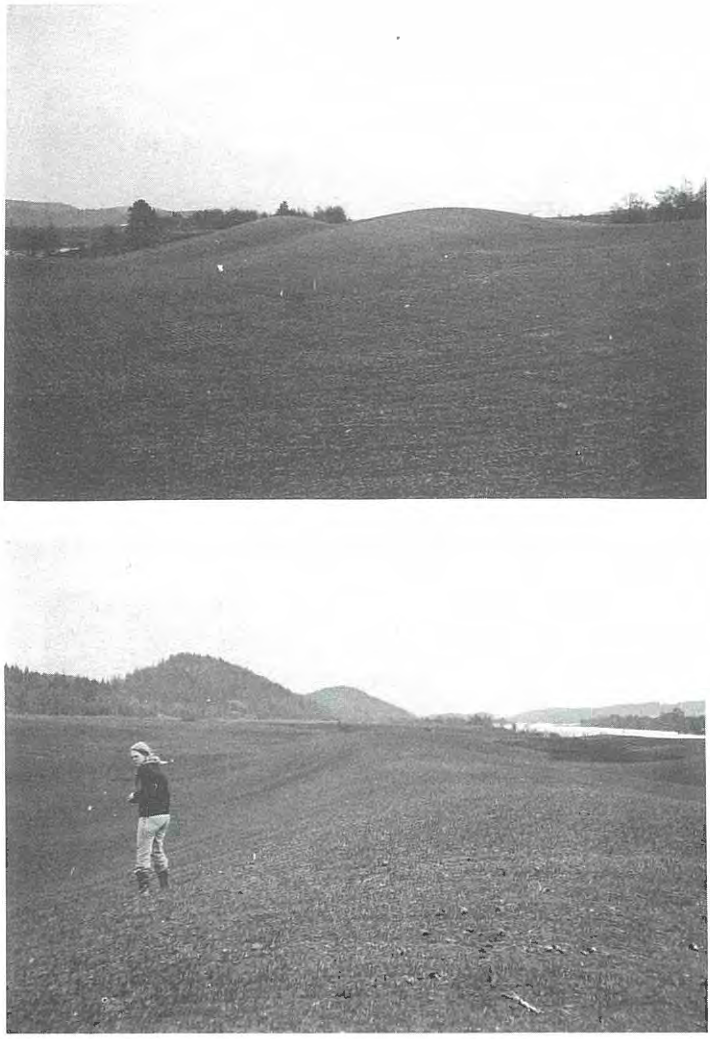


FIGUR 9 . Skredbotten i bakre delen av färskt skred, Tuve.
a. Översikt av skredskållor
b. Detalj



FIGUR 10. Svagt vågig skredbotten och ojämn fuktighet, flaskskred vid Gunnilse, Göteborg.

FIGUR 11 . Skredskållor i Sköttorp-skredet.



FIGUR 12 · Skredskållor i Fråstad-skredet. (Skred nr 81)

En förutsättning är dock att torrskorpan också bryts ned fullständigt eller glider bort från skredområdet.

Jordens egenskaper inverkar främst genom att de bestämmer skredtyp. Det är i första hand jordens sensitivitet och omrörd skjuvhållfasthet som är av intresse. En jord som blir lättflytande efter brott bildar i regel relativt jämna skredbottnar. Helt plana skredbottnar har inte påträffats. Det finns alltid en viss vågighet, som oftast betingar en ojämn fuktighetsfördelning i ytan, se FIG 10. Fuktigheten bildar olika mönster beroende på skredtyp. Sammanhängande skredskållor ger linjära mönster, vanligtvis i skredens bakre delar närmast skredslänten. Sönderbrutna skållor ger ett oregelbundet fläckigt mönster. Vid studier av fuktighetsmönster måste upptorkningsförhållandena beaktas. Långvarig torka kan radera ut mönstren.

Skredbottnens jämnhet kan grovt indelas i:

- Jämn - inget fuktighetsmönster betingat av skredmorfologi
  mycket svag vågighet förekommer
- Svagt ojämn - fuktighetsmönster betingat av skredmorfologi
  svag vågighet förekommer
  odlingsbart
- Ojämn - mer eller mindre tydliga skållor;
  ofta ytvatten mellan upphöjningar;
  svårodlad mark p g a ojämnheter och fuktighet.

6.2.4 Angränsande jord och berg

Lerkammar

Som tidigare nämnts är få stora skred omgivna av sedimentplan utefter hela skredkanten. I områden med hög skredfrekvens och/eller hög ravinfrekvens gränsar de flesta skred i större eller mindre utsträckning mot s k lerkammar,

se FIG 7. Ett skreds utbredning begränsas och styrs av intilliggande raviner och äldre skred genom att det nya skredet inte bryter igenom de befintliga ravin- och skredslänterna. Detta förhållande förekommer även i Norge och Kanada. En möjlig förklaring till lerkammarnas uppkomst är torrskorpebildning i befintliga äldre slänter. En hypotes för torrskorpebildning i en slänt redovisas i FIG 13. Enligt denna hypotes är torrskorpan kraftigare vid släntkrön och skulle därmed kunna bjuda extra motstånd mot utglidning. Hypotesen har inte undersökts, men den kraftiga torrskorpan i lerkammar vid Intagan, BIL 6:1, borrhål C och Vesten, BIL 6:2, borrhål B motsäger inte hypotesen. Minskande aktivt tryck, när utglidning närmar sig de gamla slänterna, är också en möjlig förklaring.

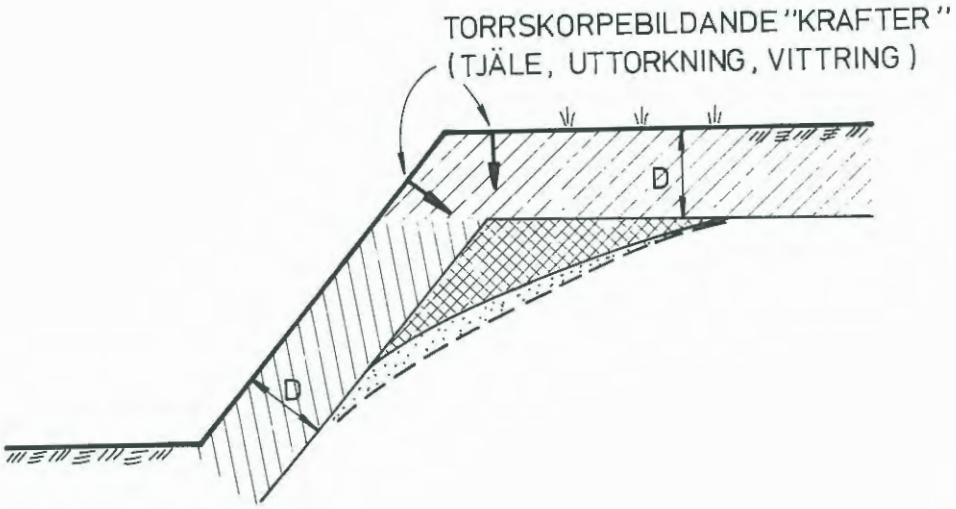
Berg och friktionsjord (fastmark)

Många skred gränsar mot fastmark efter större eller mindre del av skredkanten, se FIG 23c. De flesta stora skreden har långa gränser mot fastmark , se FIG 14.

Fastmarken styr skreden och påverkar såväl skredens form som deras utbredning. Skreden kan nå ända intill fastmarken, så att så gott som all lera har försvunnit, FIG 15 a, eller kan en rest med varierande bredd av sedimentplanet finnas kvar, FIG 15 b-c.

I fall a, FIG 15, kan det ibland vara svårt att fastställa om skred överhuvudtaget har inträffat, när inget angränsande sedimentplan finns kvar. Jämförelse måste då göras med närliggande sedimentplans nivå. Bedömningen blir emellertid alltid osäker i detta fall, eftersom inga säkra bevis finns kvar.

I fall c, FIG 15, är det svårt att mer exakt bestämma skredgränsen mot fastmarken, eftersom skredslänten är flack. Vid uppgrundningar i lerlagren är lerytan ofta kuperad och den intakta lerytan kan då likna en utflackad skredslänt.

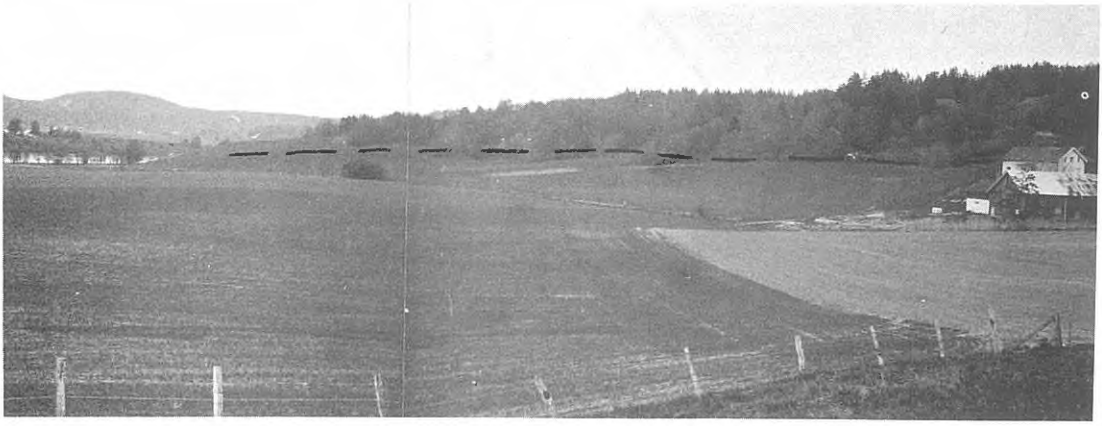


D = normal torrskorpetjocklek

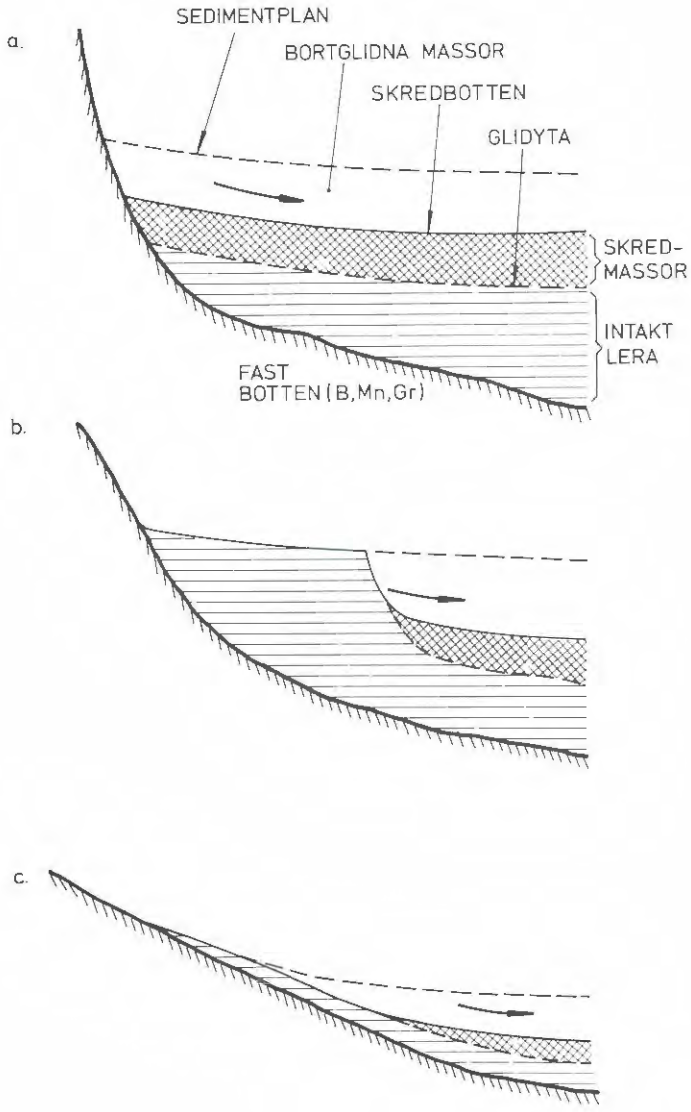
extra torrskorpetillväxt vid krönet p g a att de torrskorpebildande effekterna (tjäle, uttorkning, vittring) angriper från två håll och bör samverka med större "inträngningsförmåga" som följd.

ev extra torrskorpetillväxt p g a dränering.

FIGUR 13. Hypotes angående torrskorpetillväxt vid släntkrön.



FIGUR 14. Skred med planform styrd av fastmark. Skredgränsen streckmarkerad. Skredet vid Köpingen (nr 32).



FIGUR 15 . Olika typer av skredgränser.

a. Skred i kontakt med omgivande branta fastmark - all lera fram till fastmark utgliden.

b. Skred med brant slänt i lera

c. Skred med flack slänt intill flackt lutande fastmark

Berg och friktionsjord inverkar på stabiliteten på i princip 2 sätt:

Geohydrologiskt
Topografiskt

Geohydrologiskt inverkar fastmarken genom att grundvatten leds ut i fastmarken under lerlagren. Portrycken under och i leran betingas av fastmarkens topografi utanför (ovan) och under lerområdet. Grundvattenströmningen kan ske som en utbredd, kontinuerlig strömning i friktionsjord på bergytan eller som en linjär strömning från och utmed sprickor i berget under leran.

Fastmarkens lutning under leran inverkar förutom rent stabilitetsmässigt även på "glidbenägenheten" när väl ett skred kommit igång. Under vissa topografiska och geometriska betingelser följer glidytans form bergytans. I de få fall som observerats åker leran kana på berget endast om berget har kraftig lutning. Vid mindre lutningar går glidytorna ofta i ler-, silt- eller sandlager strax ovanför bergytan och kan vara konvexa. (Ex Tuve, Jordbro, Surte). Jordlagerföljden och grundvattenförhållandena närmast bergytan är uppenbarligen avgörande för glidytans läge.

Det faktum att de flesta stora skreden gränsar mot fastmark efter stor del av sin omkrets kan förklaras av fastmarkens geohydrologiska och topografiska inverkan. Detta förhållande bör uppmärksammas vid såväl översiktliga skredriskkarteringar som detaljerade stabilitetsutredningar.

6.3 Markanvändning

Markanvändning i befintliga skred beror i första hand på skredbottnens jämnhet, skredslänternas lutning och fuktighetsförhållanden. Följande markanvändningar har observerats:

åkermark
betesmark
naturlig vegetation (träd, buskar, örter)
bebyggelse (bostäder, industri)
kommunikationer
grönområden (park, idrottsplan o likn)

Det vanligaste är att skredbottnen - om den är någorlunga jämn - utnyttjas som åkermark. Även skredslänterna är ofta uppodlade.

6.4 Falska "skred"

Det förekommer terrängformer som liknar skredärr utan att vara det. Sådana former kan vara naturliga eller beroende på mänsklig aktivitet.

En naturlig form som omnämnts tidigare är uppgrundning av lersediment, varvid lerytan höjs och sådana slänter kan under vissa omständigheter påminna om skredslänter. Dessa falska skredformer avslöjas i de flesta fall genom att sammanhängande skredrand saknas. Mänskliga ingrepp såsom övergivna lertäkter och andra schaktningsarbeten kan ibland bilda former som påtagligt liknar skredärr. Dessa former har emellertid relativt raka, onaturliga begränsningar. På äldre kartor finns tegelbruket normalt markerat.

6.5 Erosion

Möjligheterna att med flygbildstolkning studera erosion i slänter är beroende av en rad faktorer. Larsson (1975) har analyserat erosionsförhållanden i Klarälvens övre lopp med 3 olika filmtyper (svartvit, färg och IR-färg) i skalan 1:10 000. Vissa av resultaten, som omfattar både friktions- och kohesionsmaterial, sammanfattas här.

Erosionsaktiviteten indelas i 5 grader

- stor aktivitet (stora vegetationsfria områden; många starkt lutande eller nedfallna träd; grumling av vattnet utanför skada kan förekomma)

- måttlig aktivitet (små vegetationsfria områden; lutande träd kan förekomma)
- ringa aktivitet (få vegetationsfria ytor; ev lutande träd kan ha uppåtväxande topp)
- läkt skada
- kan ej bedömas.

Erosionsaktiviteten indikeras av

- färg- eller gråton (ljusa toner)
- grumling i vattnet nedanför släntfoten
- skadetyp-morfologi (ex ursköljning i vattenlinjen; ytliga släntskred)
- lutande träd
- lutande träd med uppåtväxande topp
- luckor i vegetationstäcket
- läget i terrängen (speciellt utsatta partier)
- mänsklig aktivitet (ex bryggor; erosionsskydd; timmervältning).

Vid stereobetraktning av flygbilder förekommer följande störande faktorer:

- avskärmning av släntkrön
- avskärmning av träd eller buskar
- solreflexer i vattenytor
- mörk ton (tät skugga eller underexponering)
- ljus ton (överstrålning eller överexponering)
- vegetation i slänter (svåraste störningen)
- mänsklig aktivitet (soptippar etc).

Larsson har även undersökt hur inblickbarheten, dvs hur stor del av markytan som framträder, beror av avskärmningseffekter och direkt hindrande vegetation samt av flygbildernas övertäckningsgrad. För papperskopior av svartvita flygbilder är inblickbarheten klart sämst men ökar vid ökning av övertäckningen från 60% till 80%. För

diapositiv i svartvitt och färg är inblickbarheten lika vid 60% och 80% övertäckning. Larsson rekommenderar, att erosionsstudier görs i stereoinstrument med variabel förstoringsgrad, lämpligen i intervallet 5-15 ggr.

I det föreliggande arbetet har det visat sig att den ljusa tonen är den överlägset bästa indikatorn på erosion. Övriga indikatorer är svåra att se i flygbildskalor mindre än 1:15000. IR-färgfilm återger speciellt små erosionssår betydligt bättre än övriga filmtyper.

Analys av erosion sker bäst med

- färg- eller IR-färg (helst diapositiv)
- stor skala (ca $\geq$1:20000, helst $\geq$1:10000)
- bilder tagna före lövsprickning

Flygbilder i 1:30000 tagna under vegetationsperioden ger ringa information om erosion. Endast större erosionssår kan upptäckas. Med lämpligt bildmaterial uppnås mycket goda resultat. Man bör dock alltid göra någon fältkontroll av erosionsförhållandena p g a erosionens stora betydelse i skredsammanhang och att ytterligare erosion kan ha inträffat efter fotograferingsdatumet.

7. GEOBILDTOLKNING AV BEFINTLIGA SKRED

I detta kapitel behandlas faktorer som inverkar på flygbildskvalitén, med speciell inriktning på möjligheterna att analysera skredområden. Flygbildstolkning av skred har även inlemmats i beskrivningen av skreds utseende, kapitel 6.

7.1 Flygbilder - kvalitetsaspekter

De informationer som kan fås via flygbilder är beroende av naturens utseende och flygbildernas förmåga att återge naturen.

Naturens utseende skiftar med årstiden och väderleken. Bästa fotograferingstid ur tolkningssynpunkt är tidig vår efter snösmältningen och före lövsprickningen.

Flygbildernas förmåga beror av filmtyp och skala (flyghöjd). Svartvit, färg och infraröd känslig (IR-färg) film har jämförts och generellt kan sägas att färg och IR-färg ger mer information än svartvit film. Detaljupplösningen är i första hand beroende av skalan, men även bildmaterialet inverkar genom att diapositiv har större upplösningsförmåga än papperskopior.

Tolkning av befintliga skredområden har utförts i en rad olika flygbilder med variation i filmtyper, skalor, årtal och årstiden. En grov, subjektiv klassning av kvalitén på dessa flygbilder med avseende på kontrast, stereoeffekt och fuktighetsåtergivning inom lermark har gjorts med följande indelningsgrunder:

KONTRAST Kombination av naturens kontrastrikedom (jordart/fuktighet) och bildernas förmåga att återge den.

A = mycket god - stora tydliga variationer, obevuxna fält
B = god - relativt stora variationer, men något diffusa
C = svag - vissa svaga kontraster finns
D = dålig - ingen variation, kompakta grödor, helt jämntorkade åkrar

STEREOEFFEKT Kombination av naturens morfologi och bildernas förmåga att återge den. Storkuperad morfologi återges av alla flygbilder; detaljmorfologi kräver god kvalitet, god detaljupplösning och "släta" markytor (obevuxna).

A = mycket bra - små detaljer framträder skarpt i stereo
B = bra - detaljer syns relativt bra
C = mindre bra - detaljer kan skönjas i stereo
D = dålig - inga detaljer i stereo, stormorfologin ej helt tydlig

FUKTIGHET (TORRHET) Kombination av markytans fuktighetsvariation och flygbildernas förmåga att återge den.

A = mycket stora - stora, klara variationer
B = stora - fuktighetsvariationer framträder relativt bra
C = små - fuktighet kan skönjas
D = inga

Kvalitetsbedömningen har utförts inom 7 skredområden i Göta älvs dalgång.

De 3 parametrarna kontrast, stereoeffekt och fuktighetsåtergivning är i viss mån beroende av varandra, vilket även återspeglas i resultaten, FIG 16 a-b. Om man bortser från att observationerna är ojämnt fördelade kan följande slutsatser dras:

7.1.1 Årstidens inverkan på kvalitén (FIG 16 a)

April är i genomsnitt bästa månaden. Dålig kvalitet erhölls 1974 i 1:30.000-bilder. Maj erbjuder varierande förhållanden beroende på vårens ankomst. Upptorkning och lövsprickning försämrar tolkningsmöjligheterna radikalt.

Övriga månader är klart sämre. Dock kan goda fuktighetsvariationer fås i oktober.

Årtalet har stor inverkan. Vissa år råder goda förutsättningar på våren med hög fuktighet och sen lövsprickning medan snabb upptorkning sker andra år, vilket är negativt såsom nämnts ovan.

7.1.2 Flygbildskalans inverkan på kvalitén (FIG 16 b)

Generellt gäller att kvalitén är bäst för detaljbilder (stor skala) och minskar för flygbilder med mindre skala. Här bör observeras, att fotograferingstidpunkten för de aktuella flygbilderna påverkar resultaten eftersom de flesta detaljbilderna är vårbilder medan merparten av de småskaliga bilderna är från senare tidpunkter.

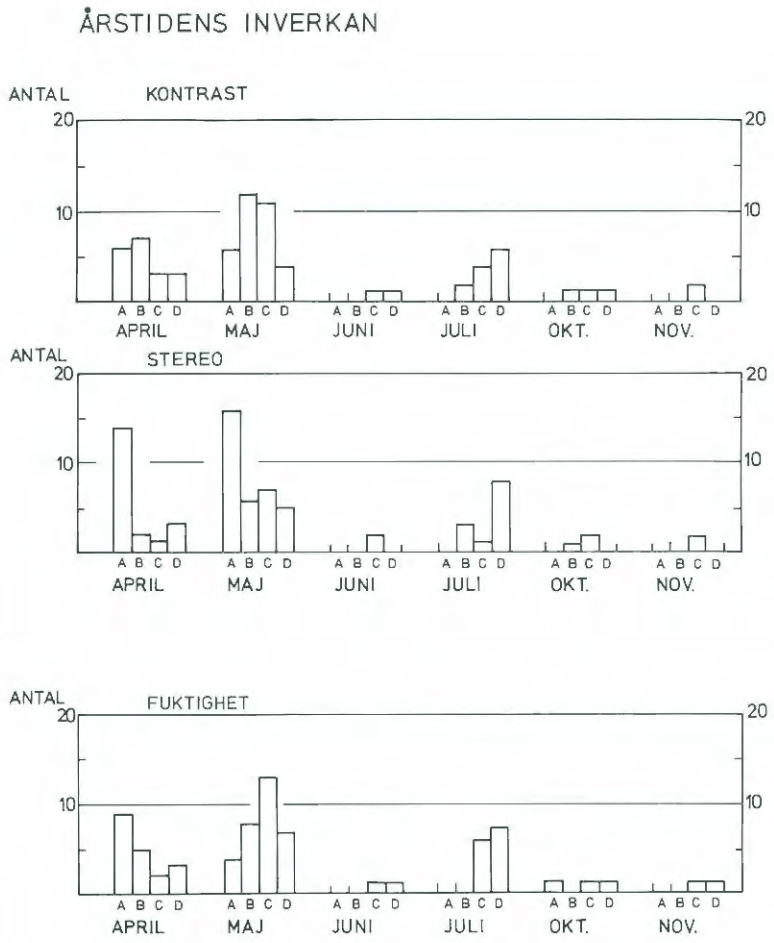
7.1.3 Inverkan av geografiskt läge

Observationsplatsernas utseende inverkar på kvalitén. Flygbilder ur ett och samma flygstråk kan klassas olika beroende på de lokala förhållandena, se BIL 3.

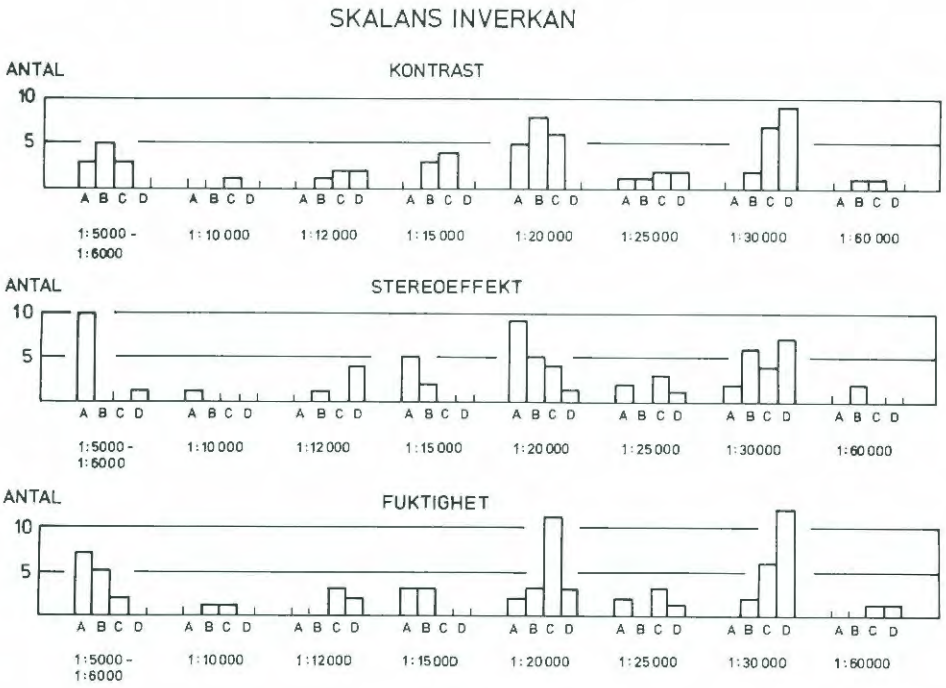
Två flygbildsexponeringar täcker samtliga skred nämligen 1958-04-29 skala 1:15100 och 1978-05-11 skala 1:20000. 1958-bilderna är genomgående bra främst beroende på lämplig fuktighetsfördelning i marken. 1978-bildernas information varierar mycket. Den dåliga kvalitén i Intagan och Köpingen beror på upptorkningseffekter - markytorna har mycket jämn, ljus färgton, som suddar ur stereoeffekten.

7.2 Tolkningsexempel

Som exempel på tolkningsmöjligheter i olika flygbilder visas tolkningsresultat för Surte-skredet, TAB 5 och ett urval flygbilder före och efter skredet, FIG 17. Några markfoton FIG 18, visar förhållandena våren 1978.



FIGUR 16 a. Årstidens inverkan på flygbildskvalitet.



FIGUR 16b.Skalans inverkan på flygbildskvalitet.

FLYGBILDER KVALITET SKALA, DATUM	IDENTIFIERING AV SKREDET	GRÅTONER	FUKTIGHET DRÄNERING	VEGETATION MARKANVÄNDNING
1930-talsbilder 291-292 F 1:12100	Före skred. Sluttningen utskiljbar, men inte så tydligt	Både ljusa(stubbåkrar) och mörka (åkrar med gröda). I södra delen mörka vindlande stråk i sluttningen - grunda fuktiga raviner. Ljusa fläckar runt ravinen antyder bar uttorkad mark - sand/silt? Ett ljust fält med markant mörkt stråk vattensjukt dike.	F: Se gråtoner. Den södra delen är uppenbart vattensjuk. D: Se gråtoner. Den ytliga dräneringen i södra delen framträder genom mörka stråk (ravin+dike).	Sommargröda med mörka gråtoner. Ett par fält skördade - ljusa stubbåkrar. 3 bostadshus (varav 2 mindre) i sluttningen. Utmed riksvägen ett bostadshus och en lada. I övrigt jordbruksmark.
Oa 47 25 20-21 Ngt oskarpa 1:20000 47-07-23	Före skred. Terrängen terrassformad. Grunda "raviner" synliga i SO.	Gröda på åkrarna skymmer markens egna gråtoner. Variationer i grödan antyder olika fuktighet, spec. i S där ett fuktigt parti kan ses (läckage). I N och NO är gråtoner ljusare i den högre sed.ytan än i sluttningen. Två mörka fläckar i dikeslinje. Den lägre (västra) kan betyda sanka förhåll. Vit fläck på sluttningskrönet (betyd.?)	F: Se gråtoner. D: Dike från berget i N och sedan utmed bebyggelsen ut i Göta älv. Grunda "åkerdiken" i S. Grunda "raviner" i SO ute på fälten.	Åkermark. Fåtal tomter med uppvuxna träd. Resten nybyggda?
Pn 50 22 04-06 Mycket god 1:5000 50-10-12	Färskt skred Framträder med stor skärpa.	Skredmassor ljusgrå-mellangrå. Ursprunglig markyta ngt mörkare. I norra gipen mkt ljus yta - utflutna silt/sand. Vatten i skredbotten i vitt (beroende på hög slamhalt?)	F: Mycket vatten i skredbotten, se gråtoner. D: framgår relativt dåligt.	Hässjor på fält och i utglidna massor. Lövträd delvis avlövade.
P55 09 07-08 God kvalitet 1:25000 55-05-30	Mycket väl. Skillnader i morfologi och gråton. Skredgropen mycket tydlig. Detaljmorfologin i skredslänten mkt tydlig och i skredbottnen kan den skönjas.	I allmänhet mellangrå ton. Ljusa-vita i skredslänt antydande aktiv erosion, speciellt kraftig i den norra gipen. Småljusa stråk i skredbottnen - betydelse?	F: Mörkare fläckar och stråk förekommer. I nordöstra gipen (ett parti) och ett stråk - bäck -från norra gipen. Västra plana delen mörkare än övriga delarna antydande hög fuktighet spec. i SV. D: se fuktighet.	Busk- och trädlöst. Vissa partier helt obevuxna, se gråtoner. Bostadsgata anlagd i SO. En villa uppförd.

TABELL 5. Tolkningsmöjligheter i olika flygbilder, Surteskredet.

FLYGBILDER KVALITET SKALA, DATUM	IDENTIFIERING AV SKREDET	GRÅTONER	FUKTIGHET DRÄNERING	VEGETATION MARKANVÄNDNING
71 Be 065 25-26 1:30000 71-06-04	Skredet syns men är inte så framträdande pga mörk gråton i både skred och dess omgivning. Endast de större kammarna i N och stora kammen i Ö syns. Östra skredkanten är svagt markerad pga olikheter i markanvändning.	Mörka gråtoner över hela skredet pga grönskan. Ngt mörkare i skredets västra del - den horisontala - och vissa partier i östra delen.	F: De mörkare gråtonerna beror troligen på intensivare grönska - fuktighetskrävande örter. D: Se gråtoner och fuktighet.	Träd och buskar helt gröna och avtecknar sig mycket bra. Enstaka exemplar syns. Väg i södra delen.
IRF 78 685 01 05-06 Papperskop. 2:20000 78-05-11	Mkt tydligt genom bra stereoeffekt. Skredslänternas ytformer tydliga. Lerkammar syns väl. Skredbottnens morfologi ej tydlig.	I allmänhet mellangrå. Ljusare toner i sedimentplanet i öster. Några vita fläckar i slänterna. Erosion möjlig i några av dem.	Variationer i fuktighet syns dåligt. I sydost finns ett mörkare parti i skredbotten antydande fuktigare förhållanden. Indirekt kan dräneringsvägar spåras i skredbotten genom vegetationsstråk.	Buskar och en del träd med utslagna löv. Några mörkare partier antyder viss markflora. Naturmark
IRF 78 685 01 05-06 Diapositiv 1:20000 78-05-11	Framträder mycket bra. Stor- och detaljformer framträder med skärpa. Några skredvalkar kan skönjas i bakre delen av skredet. I övrigt relativt utjämnad bottenmorfologi. Grustaget i S igenvuxet och syns mycket dåligt.	Ljust rödflammigt mot ljus bakgrund. Gräs och öster grönskande. Vissa delar av slänten mörkare röd, spec i norra delen. Odlingslotter med bar jord i grå toner.	Endast via vegetation. Några öppna vattenytor syns ej.	Markvegetationen syns genom rödflammigheten. Träd och buskar de flesta med löv, andra helt lövfria. Naturmark. Några smärre soptippar syns.

TABELL 5. forts

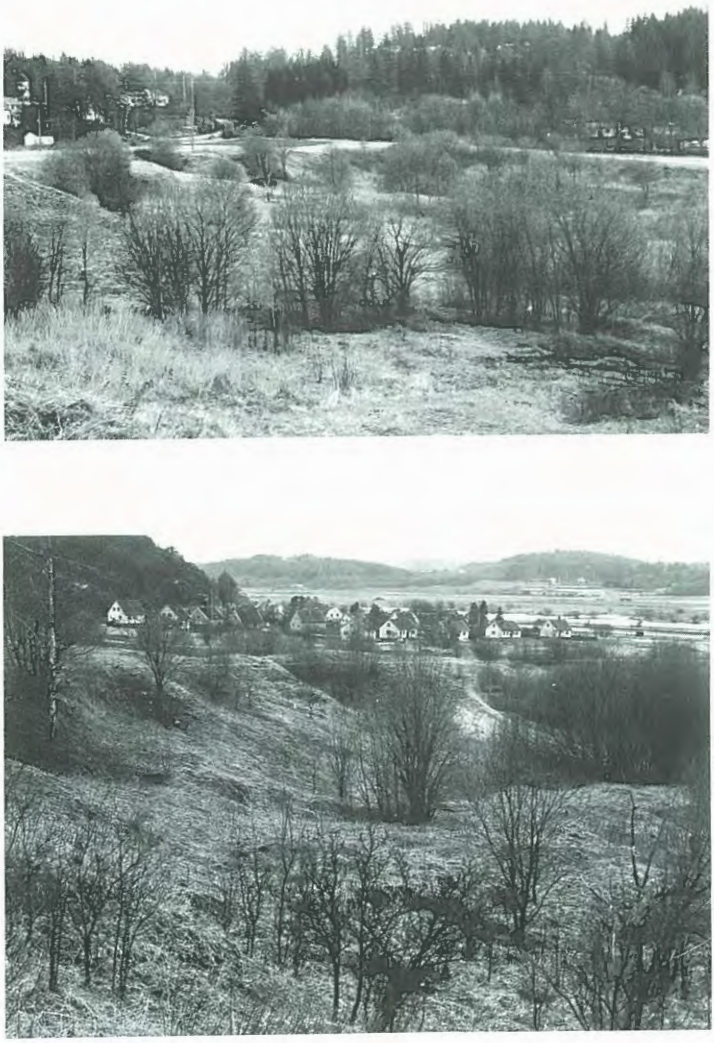
1930-talet. Före skred.
Originalskala 1:12100.

1947-09-23. Före skred.
Originalskala 1:20000.

1950-10-12. 13 dagar efter skreddagen. Originalskala 1:5000.

FIGUR 17. Flygbilder över Surteområdet.
Skreddatum 1950-09-29.
(Godkänd ur sekretessynpunkt för spridning.
Statens lantmäteriverk 1982-02-22)

1978-05-11. Efter skred.
Originalskala 1:20000.



FIGUR 18. Östra delen av Surte-skredet april 1978.
Se även FIG 3 c.

8. STATISTIK ÖVER BEFINTLIGA SKRED

8.1 Geografisk fördelning

Inventering av skred i Sverige har utförts genom litteraturstudier, enkäter och intervjuer och i Götaälvdalen även genom flygbildstolkning, FIG 19. Inventeringen är sålunda inte heltäckande men torde ändå ge en någorlunda rättvisande bild av skredfrekvensen i Sverige.

Skredens fördelning inom lermarken är ojämn och vissa regioner är hårdare drabbade än andra. Sålunda har huvuddelen av landets skred inträffat inom Göteborgs och Bohus län, Älvsborgs län, Skaraborgs län, Värmlands län, Östergötlands län och Västernorrland län.

Ett genomgående drag är att huvuddelen av de inventerade skreden är koncentrerade till några större å- och älvdalgångar inom respektive län enligt följande.

Göteborgs och Bohus län: 60% av skreden inom Lärjeåns, Säveåns och Örekilsälvens dalgångar.

Älvsborgs län: ~97% av skreden inom Göta älvs, Säveåns och Viskans dalgångar.

Skaraborgs län: ~97% av skreden inom Lidans dalgång.

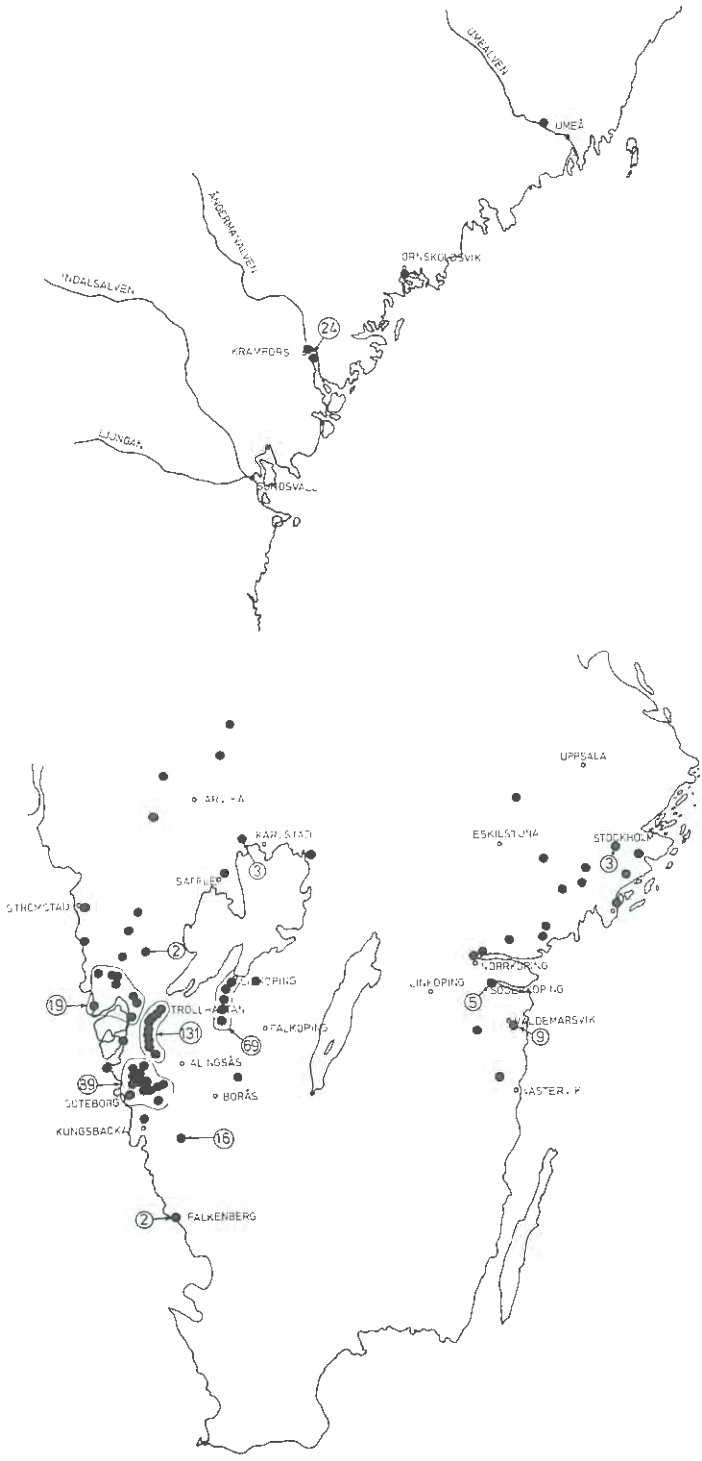
Värmlands län: ~30% av skreden inom Norsälvens dalgång.

Östergötlands län: ~85% av skreden inom dalgångar vid Söderköping och Valdemarsvik.

Västernorrlands län: ~95% av skreden inom Ångermanälvens dalgång.

8.2 Skredens fördelning på årtal och storlek

Tillgången på uppgifter om befintliga skred är varierande. Vissa områden är noggrant undersökta, t ex Götaälvdalen, medan andra saknar undersökningar och uppgifterna blir där något slumpmässiga. När det gäller större skred



FIGUR 19. Karta över skred i Sverige.
Godkänd ur sekretessynpunkt.
Statens lantmäteriverk 1982-02-22.

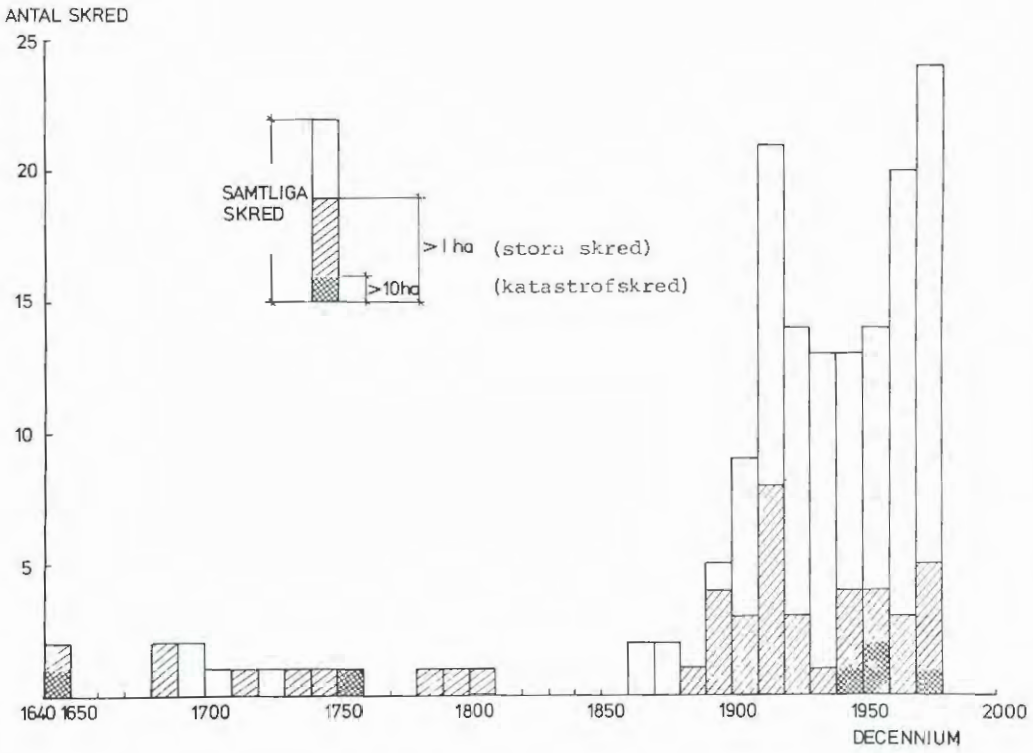
(>1 ha) bedöms emellertid statistiken ha hög tillförlitlighet, eftersom sådana skred har uppmärksammats bättre. Fördelningen av daterade skred visas i FIG 20. De äldre daterade skreden är i allmänhet >1 ha. Förekomsten av daterade skred ökar markant fr o m sekelskiftet främst beroende på utbyggnaden av järnvägsnätet och den noggranna dokumentationen som SJ:s geotekniska kommission gjorde under SJ:s stora utbyggnadsperiod.

Det framgår också att stora skred blivit vanligare under 1900-talet. Starkt bidragande till detta är troligen det kraftigt ökande byggandet. Av de 4 skreden >10 ha under 1900-talet kan endast skredet vid Lidan 1946 hänföras till renodlat naturliga orsaker. Övriga tre, Surte, Göta och Tuve, var alla bebyggda och mänskliga åtgärder har troligen varit bidragande till skreden.

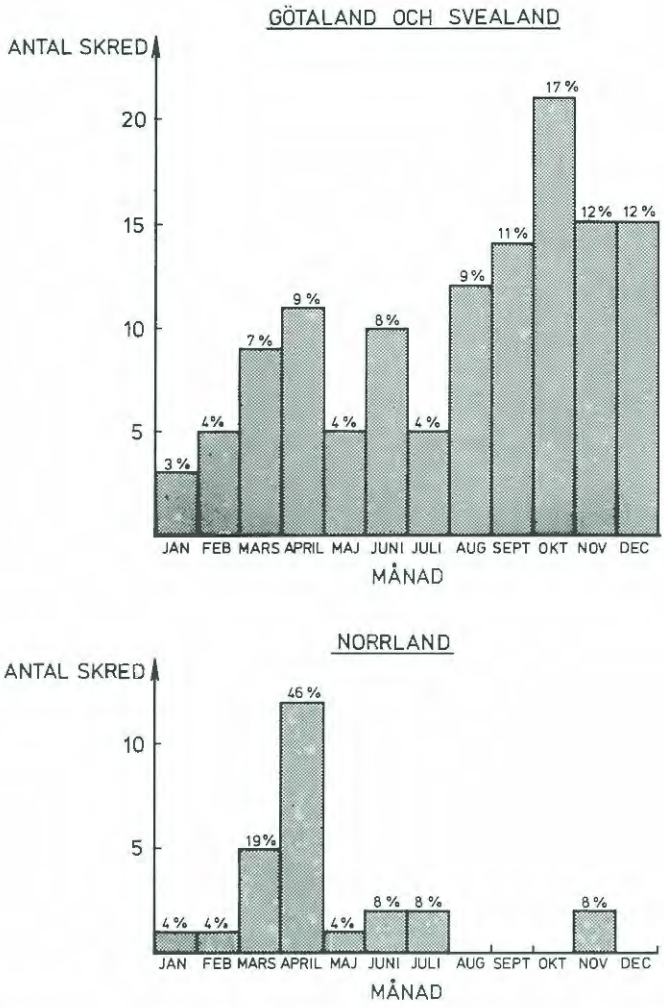
Före 1850 påverkade mänskliga ingrepp troligen inte skredfrekvensen, utan den återspeglar grovt en naturlig skredutveckling påverkad av främst klimat, jordbävningar och landhöjning. Det förekommer långa perioder utan större skred och detta skulle tala för att det är mer sannolikt att skred utlöses oftare av tillfälliga orsaker såsom extremklimat och jordbävningar än kontinuerliga processer som landhöjning. Den observerade perioden är dock mycket liten sedd ur geologiskt perspektiv, varför det är vanskligt att dra några säkra slutsatser.

8.3 Skredens fördelning på årstid

Inventeringen har tillsammans med en senare utförd intervjuundersökning resulterat i diagram över skredens månadsfördelning, FIG 21.



FIGUR 20 Skredfrekvens relaterad till decennium.



FIGUR 21. Månadsfördelning av svenska skred.

Skreden är som synes klimatiskt betingade och inträffar till största delen på våren och hösten, dvs i samband med snösmältningen och höstregnen. Man kan också se att våren är skredtid i Norrland medan skredfrekvensen i Götaland och Svealand är något jämnare fördelad mellan vår och höst, dock med tyngdpunkten på hösten.

I Norrland har troligen den kraftiga vårfloden i samband med snösmältningen och tjällossningen stor betydelse medan skredfrekvensen i södra Sverige påverkas mer av höstregnen. Likartade förhållanden råder i Norge, Jörstad (1978). Man bör tolka FIG 21 så att "skredkänsligheten"

ökar under vissa perioder och skreden utlöses helt naturligt eller mänskliga åtgärder kan då lättare utlösa skred och därmed påskynda den naturliga processen.

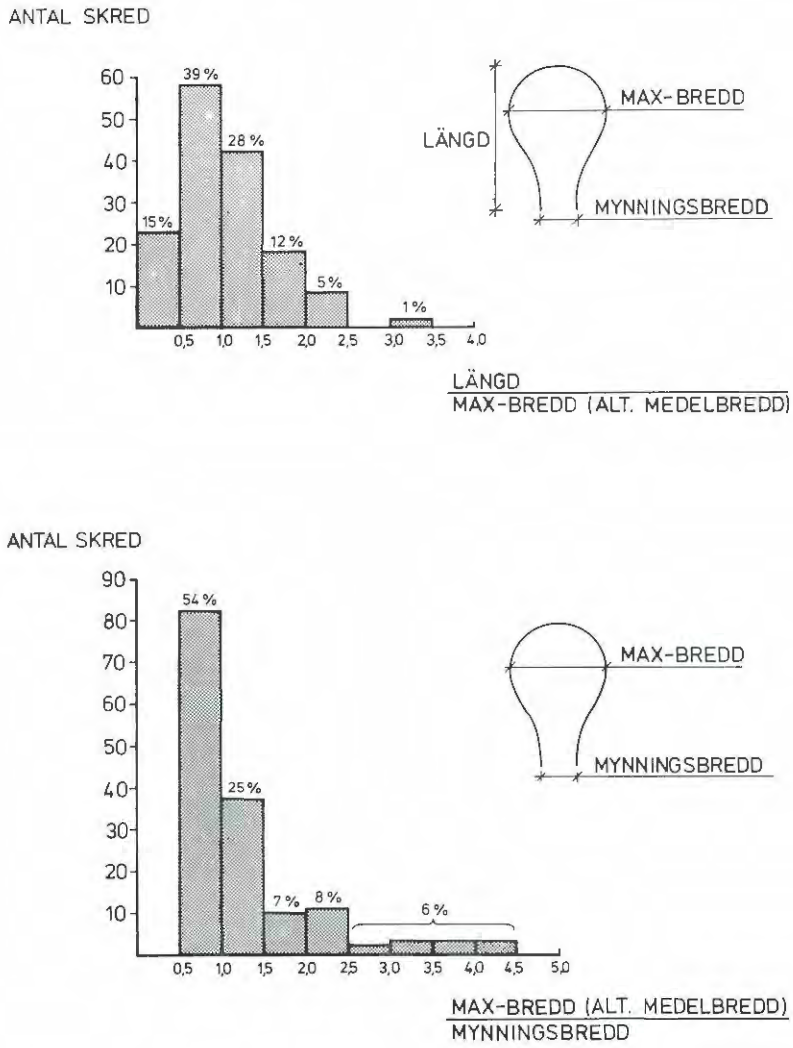
8.4 Skredorsaker

Definitiva skredorsaker är som regel svåra att exakt fastställa. Ofta kan flera faktorer ha samverkat. När det gäller naturliga skred, dvs sådana som ej orsakas av någon mer påtaglig mänsklig aktivitet, har som väntat vatten en avgörande betydelse. Av 22 svenska, norska och kanadensiska skred där man tror sig ha kunnat fastställa orsakerna fås följande fördelning:

	Sverige		Norge + Kanada		Totalt	
	Antal	%	Antal	%	Antal	%
• Höga portryck	7	54	5	56	12	55
• Erosion	5	38	4	44	9	41
• Jordskalv	1	8	0	0	1	4

8.5 Skredens geometri och geologi

Tillräckligt material för statistisk bearbetning av skredens geometri och angränsande geologi, FIG 22, har endast funnits för skred inom Göta älvs dalgång, där en fullständig inventering genomförts med flygbildstolkning, se BILAGA 2.



FIGUR 22. Skredens geometri inom Göta älvs dalgång.

I FIG 22 har endast medtagits skred, där randen begränsas helt av finsediment. Skredgeometrin påverkas sålunda inte av berg eller friktionsjord.

Diagrammen utgör underlag för grov klassificering av skredtypen. För de flesta kvicklereskreden torde värdena på förhållandena längd/maxbredd och maxbredd/mynningsbredd överstiga 1, såsom anges av skisserna i FIG 22.

Angränsande geologi har analyserats för 51 skred med areal >2 ha. Geologin har delats upp i följande grupper.

	Antal skred	Procentuell andel
Finsediment (inkl lerkammar)	51	100
Lerkammar	36	71
Friktionsjord (sand, grus, morän)	20	39
Berg	18	35

Siffrorna anger antalet skred med angiven geologi utmed del av eller hela skredranden, dvs längs skredperiferin. Skredmynningen har undantagits.

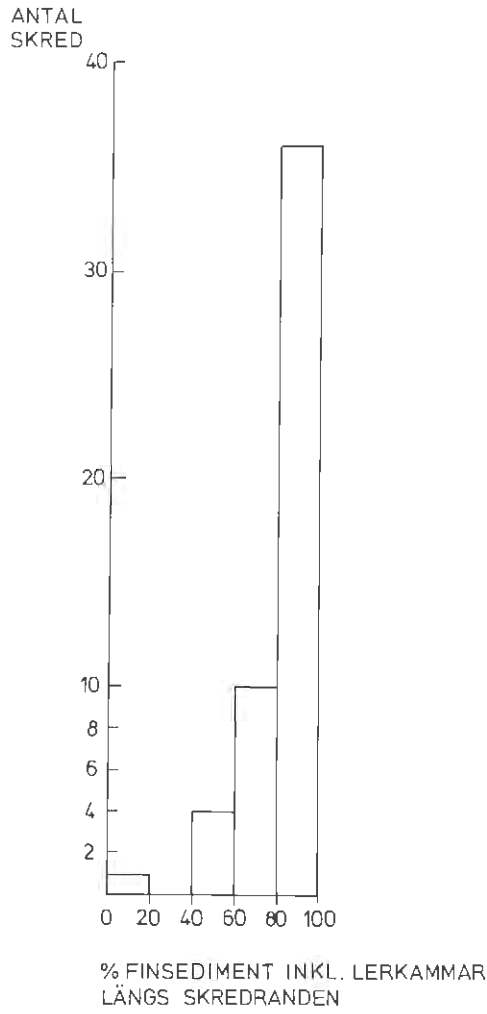
I FIG 23 a, b och c redovisas hur stor del av skredranden som gränsar mot respektive geologi.

Samtliga skred har lera någonstans längs skredranden, FIG 23 a. Det kan dock finnas skred där lera saknas helt. Några misstänkta skred av den typen förekommer utmed Göta älv. Sådana skred är emellertid mycket svåra att säkert fastställa och har inte kunnat medtas i statistiken.

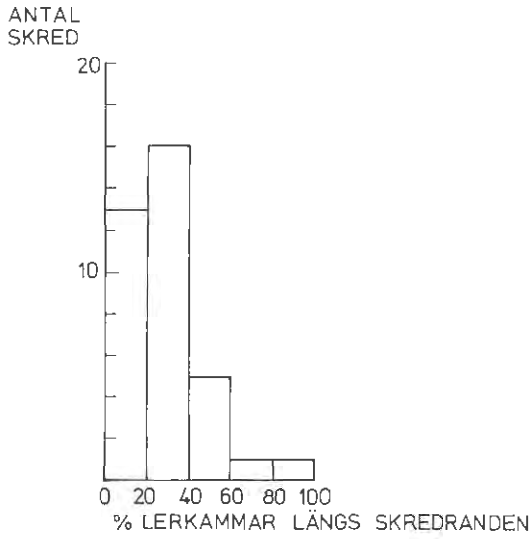
Lerkammarna utgör en mycket väsentlig faktor för skreds utbredning, se FIG 23 b. Ravinslänter och äldre skredslänter utgör mycket effektiva stopp för skred.

Av FIG 23 c framgår att skreden relativt ofta gränsar mot fastmark med en väsentlig sträcka.

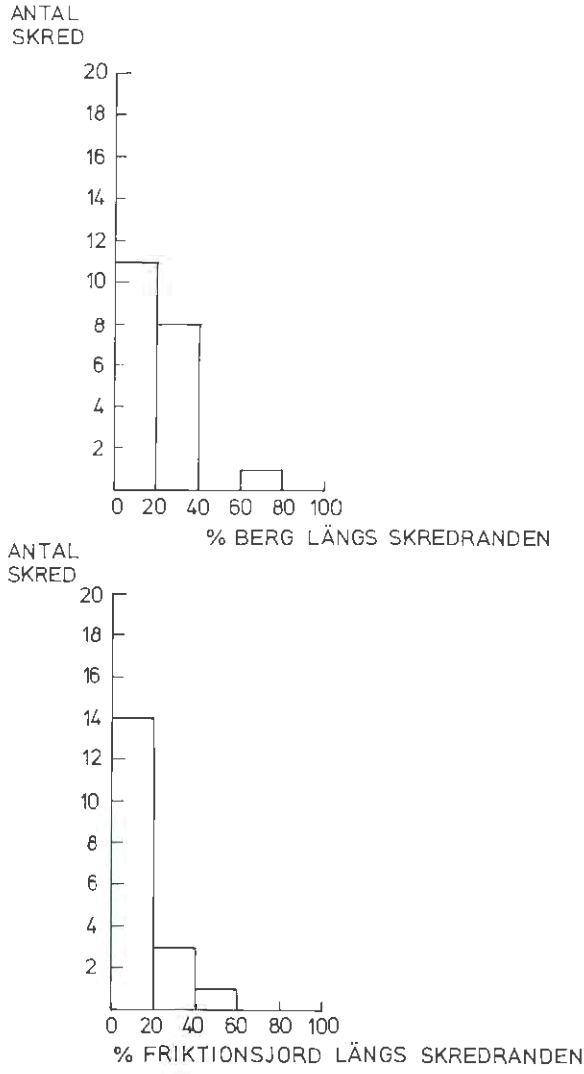
Bergs och friktionsjords geohydrologiska och topografiska inverkan har beskrivits i avsnitt 6.2.4. Inverkan av fastmark på skredutvecklingen har analyserats genom mätning av det kortaste avståndet mellan skredrand och fastmark. Resultaten redovisas i FIG 24 a och b. Det är uppenbart att fastmarkens inverkan är stor för stora skred, som mycket ofta - för skred >14 ha alla - gränsar mot fastmark.



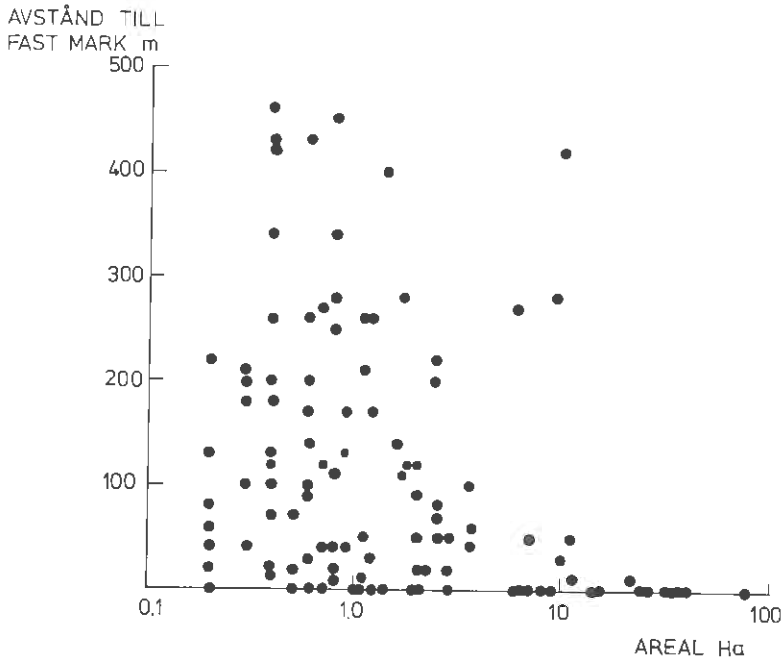
FIGUR 23 a. Geologi längs skredranden. Finsediment.



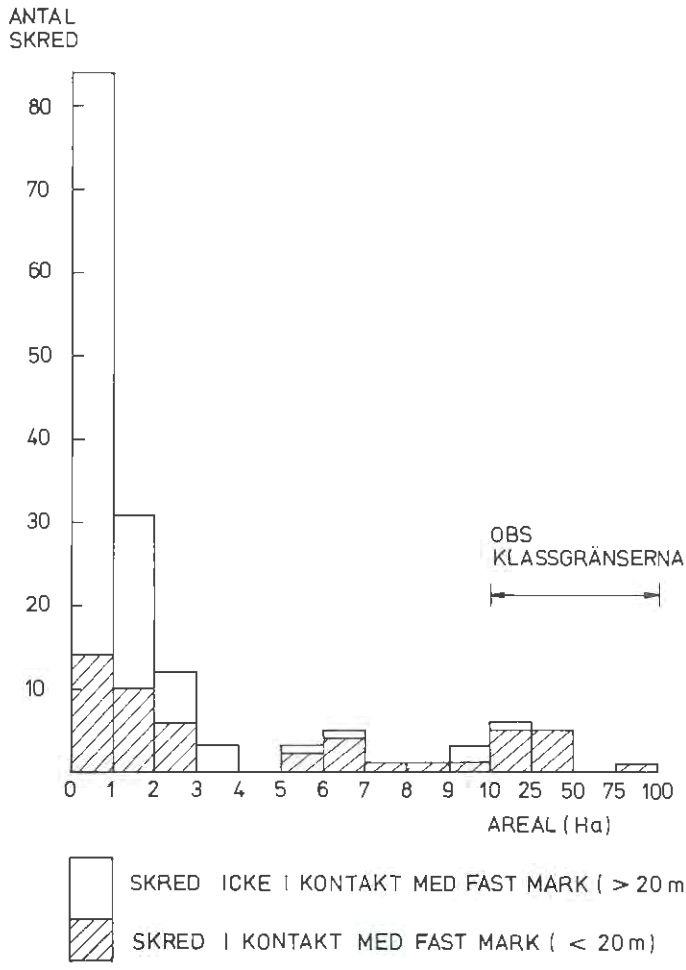
FIGUR 23 b. Geologi längs skredranden. Lerkammar. Antal skred som helt saknar lerkammar längs skredranden är 14 (27%).



FIGUR 23 c. Geologi längs skredranden. Berg och friktionsjord. Antal skred som saknar berg respektive friktionsjord längs skredranden är 31 (61%) resp 33 (65%).



FIGUR 24 a. Inverkan av fastmark på skredutveckling. Minsta avstånd mellan skredrand och fastmark i relation till skredstorlek. Obs. arealen i log-skala.



FIGUR 24b. Inverkan av fastmark på skredutveckling. Frekvens av skred i kontakt med fastmark i relation till skredstorlek.

På vilket sätt fastmarken inverkar framgår dock inte av statistiken, men infiltration, höga portryck, kvicklerebildning och lutningar - både markytan och lerlagrets underlag - är faktorer som betingas av fastmark och som en eller flera ofta förekommer i skredområden.

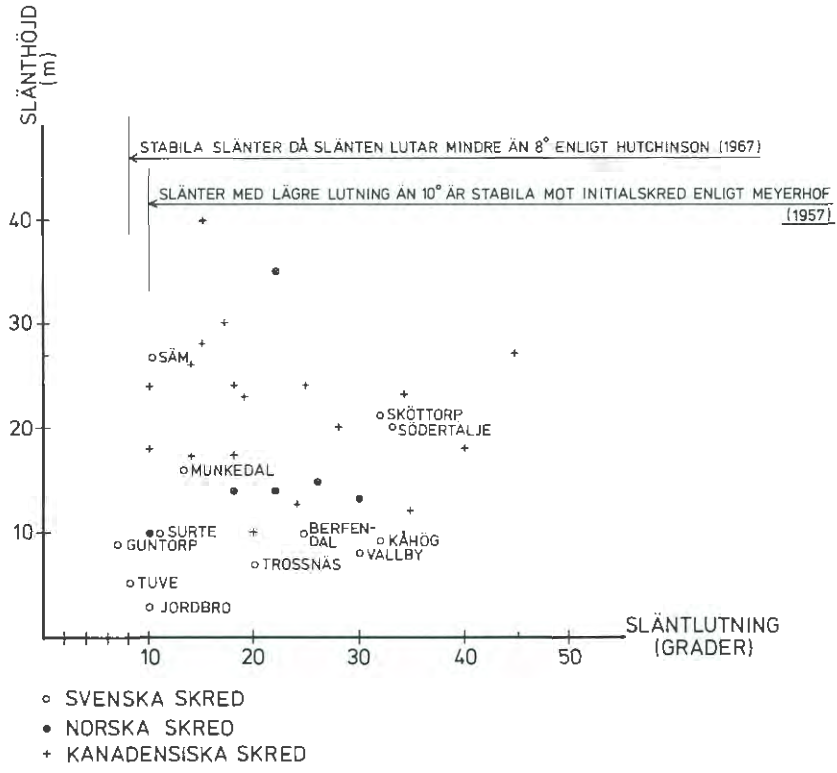
8.6 Släntlutning - slänthöjd

Lutning och höjd hos slänter är väsentliga parametrar i stabilitetssammanhang. Skjuvhållfastheten bestämmer hur hög en slänt med en viss lutning kan bli. För djupt liggande glidytor (s k bascirkelglidytor) är stabiliteten beräkningsmässigt oberoende av släntlutningen för en given höjd.

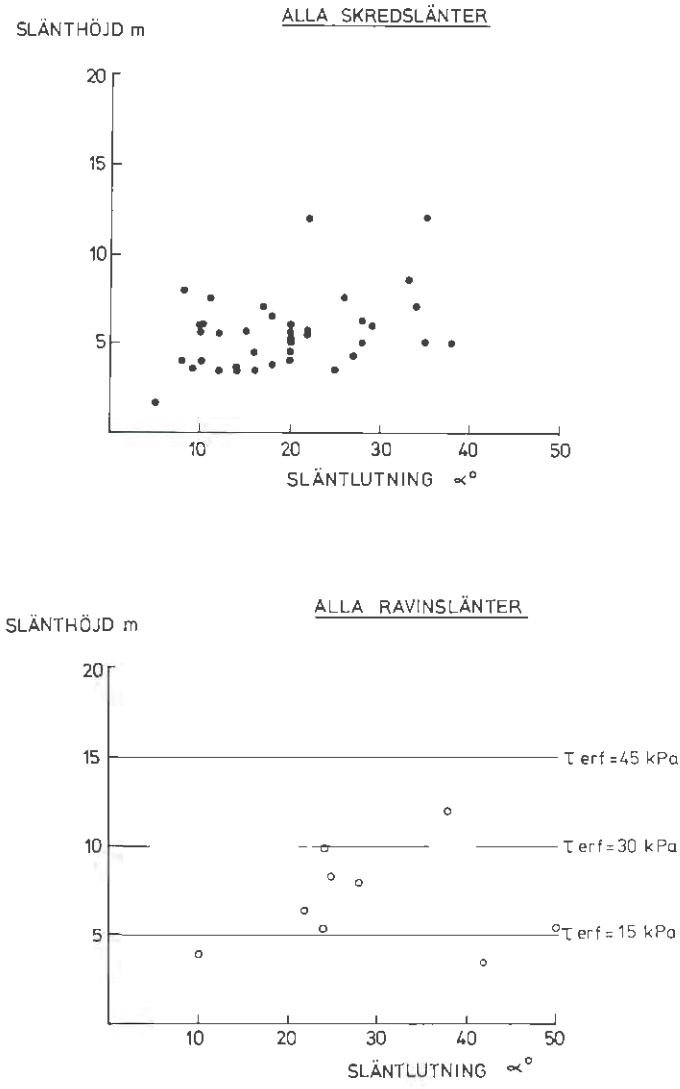
En sammanställning av initialskred visas i FIG 25. Av figuren framgår att initialskred inte påträffats i slänter med mindre lutning än 7° (1:8). Det är naturligtvis inte uteslutet att initialskred kan inträffa i flackare slänter, eftersom antalet skred i FIG 25 är relativt begränsat.

Upptrycksskred eller nollfriktionsskred där hastig portryckökning i friktionsjord under ett lerlager uppstår kan inträffa i mycket flack terräng. I två fall, G:a Björlandavägen på Hisingen, Göteborg och Rävekärr, Mölndal uppstod inga egentliga skred utan endast sprickbildningar i markytan. Det passiva jordtrycket var förmodligen i båda fallen för stort för att riktiga skred skulle utbildas. Dessutom var troligen portrycksökningen snabbt övergående. Vid ett skred i Rollsbo, Kungälv, som utbildades i samband med slagning av vertikaldräner var marklutningen $6\text{-}7^{\circ}$ och nivåskillnaden mellan skredets bakre och främre kanter ca 10 m, och det passiva jordtrycket uppenbarligen ej tillräckligt.

Släntlutningar och -höjder för slänter inom befintliga skred och i angränsande raviner och älvbrinkar inom Götaälvdalen har uppmätts på enkelt sätt med hjälp av lutningsmätare på kompass och avvägningsstång, FIG 26, och BIL 4.



FIGUR 25 Höjd och lutning hos slänter vid inträffade initialskred.



FIGUR 26 Höjd och lutning hos skred- och ravinslänter. 11 skred.

För ravinslänterna har inlagts erforderlig skjuvhållfasthet.

Noggrannheten i lutningen uppskattas till $\pm 2^{o}$ och i höjdmåttet till 10% x höjden. Lutningarna ligger mellan ca 10° och 40° och slänthöjderna mellan 3 och 12 m. Högre slänter än 12 m har sålunda inte påträffats. Med utnyttjande av den enkla formeln $\tau = 0{,}18\ \gamma g H$, kan erforderlig odränerad skjuvhållfasthet, τ, överslagsmässigt beräknas. γ är jordens densitet och H är slänthöjd. Med $\gamma = 1{,}6\ t/m^3$ och H = 12 m fås $\tau_{erf} = 35$ kPa. Jämförelse med sammanställning av skjuvhållfasthetsvärden för Göta älv, FIG 34, visar att detta värde är rimligt och att den aktuella sluttningens säkerhetsfaktor bör vara nära 1. Den tillgängliga odränerade skjuvhållfastheten sätter sålunda gränsen för maximal slänthöjd vid 12 à 15 m.

I FIG 26 har inlagts linjer för erforderlig skjuvhållfasthet beräknade enligt nämnda formel.

Slänter som bildas i samband med skred eller utskärning av älvfåror och raviner har sannolikt en säkerhetsfaktor nära 1 till en början, Om slänten är dränerad ökar hållfastheten och säkerhetsfaktorn med tiden. För att slänten skall bli instabil fordras att den utsätts för belastningar eller vibrationer eller att den blir brantare (t ex genom erosion) eller att hållfastheten minskar (t ex genom ökade portryck eller kemisk påverkan).

Sammanfattningsvis kan konstateras att avgränsning av områden med minsta lutning av 1:50 à 1:25 fångar in alla hittills påträffade kända, helt utbildade initialskred.

Uppmätning av nivåskillnader och lutningar för sedimentplan, skredbottnar och älvslänter i 15 skredområden har genomförts. Sedimentplanens medellutning varierar inom intervallet $0{,}5\text{-}2^{o}$. Lokalt kan lutningen uppgå till ca 5°, t ex Surte. Älvsluttningens medellutning är $10\text{-}15^{o}$, med lokala variationer upp mot 40°. Skredbottnarna har i allmänhet medellutningar kring $0{,}5\text{-}2{,}0^{o}$. Lutningarna är större i skredens bakre delar - upp mot $4\text{-}5^{o}$. Detta kan i de flesta

fall förklaras av uppgrundning av leran eller att lerans omrörda hållfasthet är större och leran därigenom blir mindre flytbenägen.

8.7 Vegetation i skredbottnar

Vegetationstyp har översiktligt karterats i 13 skred utmed Göta älv med syfte att undersöka om vegetationen ger upplysning om fuktighetsförhållandena i skredärret. Resultatet har sammanfattats i BIL 5, som förutom vegetationstyp visar vegetationens frekvens, belägenhet och fuktighet. Fuktigheten har klassats efter vegetationens normala fuktighetskrav i klasserna torr, frisk och våt.

De flesta skred innehåller "våt" vegetation på bottnarna, i några fall även på skredslänternas nedre hälfter. Vanligaste "våta" växter är älgört, starr, kabbeleka, vass, al och sälg. Fräken finns i Surteskredet och säv i Nerängenskredet. I skredet vid Hansgården saknas våt vegetation. Skredslänterna är ofta bevuxna med "torr" vegetation som nypon, hallon och slån, beroende på den goda dräneringen.

Vegetationen visar tydligt fuktighetsförhållandena. I de fuktigaste områdena förekommer vissa karaktärsväxter, se ovan, som kan användas som indikation på hög fuktighet. Huruvida fuktigheten beror på grundvattenläckage eller uppdämt ytvatten p g a dålig dränering kan inte avgöras m h a vegetationstypen.

9. GEOHYDROLOGI

9.1 Bakgrund

Geohydrologiska parametrar har undersökts för att i första hand utröna sambandet mellan skredutlösning och klimat. Eventuell inverkan av avrinningsområde och utströmningsområde på skredstorleken har även undersökts.

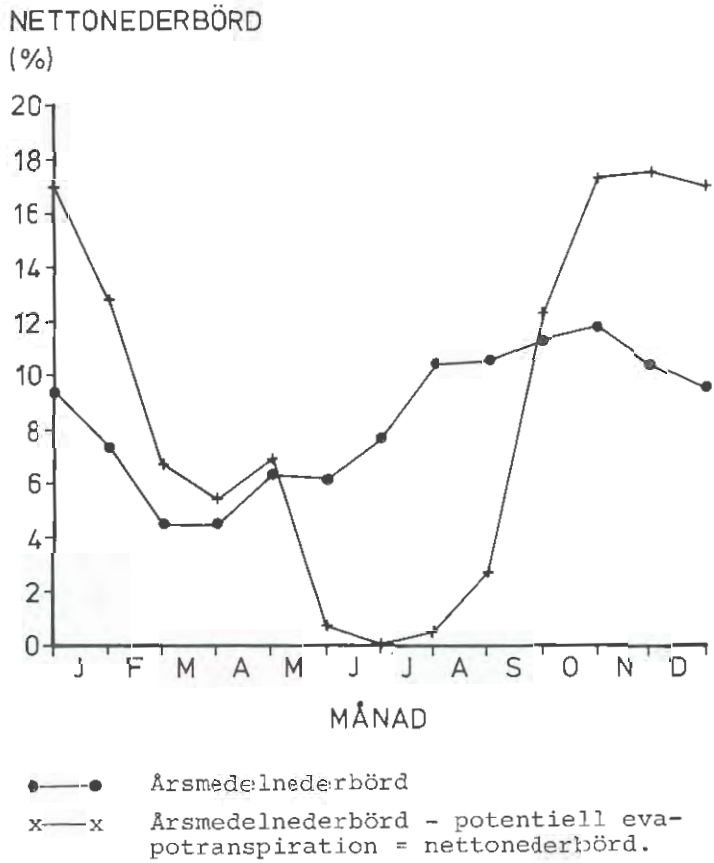
Tretton väldokumenterade skred längs Göta älv har detaljstuderats. För 19 utvalda skred i Göteborgs och Bohus län samt Älvsborgs län 1945-77 har skreddatum ställts i relation till meteorologiska uppgifter. En metod att korrelera skred med nederbörd, utarbetad för Brasilien, har modifierats och testats på västkustmaterialet.

9.2 Skredförekomst - klimat

Götaälvdalen har ingen utpräglad regnperiod, vilket framgår av kurvan för årsmedelnederbörden i Alvhem, FIG 27. Om den potentiella evapotranspirationen subtraheras från nederbörden fås en markant stegring av nettonederbörden i september med kulmen under november-december. Den potentiella evapotranspirationen har beräknats överslagsmässigt med hjälp av månadsmedeltemperaturen enligt Bergsten (1950).

Att skredfrekvensen har varit högst under höst och vår har konstaterats tidigare, FIG 21. I Göteborgs och Bohus län och Älvsborgs län, 1945-77, har ca 60% av skreden inträffat under månaderna september-december. Ett samband mellan nettonederbörd och skredtillfälle förmodas därför.

Guidicini & Iwasa, IAEG (1977) har funnit korrelation mellan regn och skred i Brasilien. Klimatet där kännetecknas av regnrika somrar och nederbördsfattiga vintrar. Västkustens klimat är enligt ovan också periodartat om den potentiella evapotranspirationen subtraheras från nederbörden, FIG 27. En viktig skillnad är emellertid



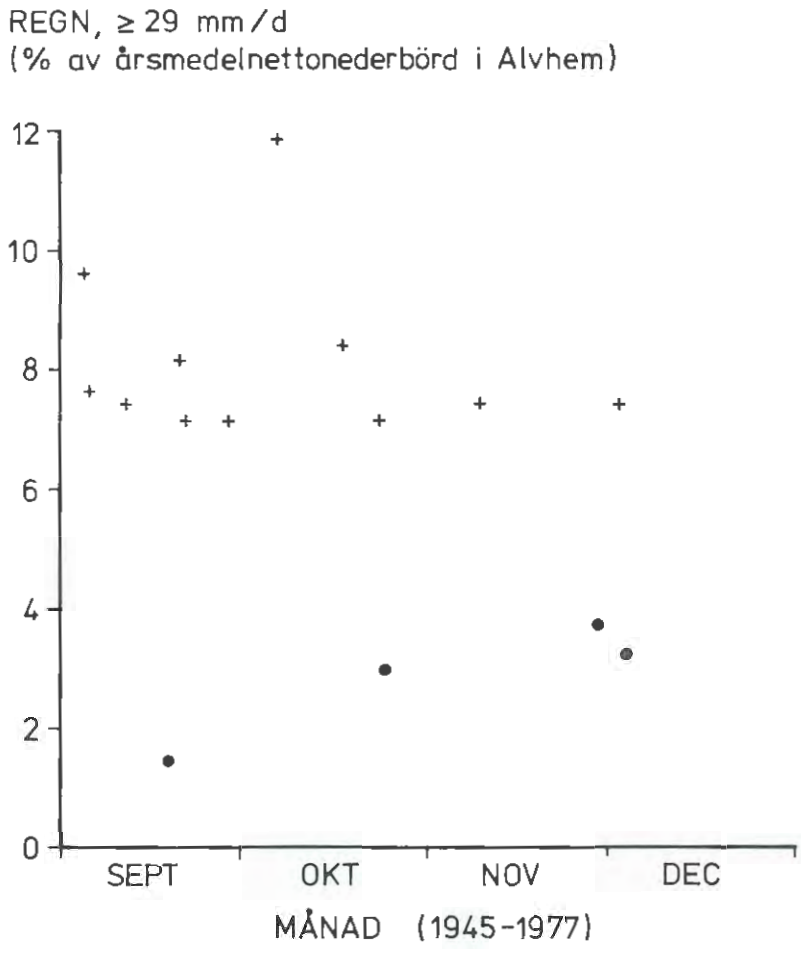
FIGUR 27. Nederbörd i Alvhem. (Götaälvdalen)

regnintensiteten. Inom ett område i Brasilien har det vid 16 tillfällen under en 48 årsperiod regnat ca 130 mm/dygn medan Alvhem utmed Göta älv under en 30-årsperiod fått ca 30 mm/dygn vid 10 tillfällen. Sådana kraftiga regntillfällen varar i Brasilien upp till 3 dygn men på västkusten bara ett. Ur nederbördsstatistik från Alvhem har 12 nederbördstillfällen med minst 29 mm/dygn sorterats fram för höstmånaderna september till december, TAB 6.

TABELL 6. Nederbördstillfällen, $\geq$ 29 mm/dygn, i Göteborg 1945-77. Årsmedelnettonederbörd 405 mm. Från Alvhem 1948-77.

Datum	Nederbörd		Ackumulerad nettonederbörd från 1/9 (% av årsmedel-nettonederbörd)
	(mm)	(% av årsmedelnetto-nederbörd)	
46-09-11	30	7,4	13,4
49-10-23	29	7,2	18,6
52-10-06	48	11,8	25,5
53-09-28	29	7,2	20,2
55-10-17	34	8,4	27,0
59-11-09	30	7,4	29,4
60-09-04	39	9,6	9,0
62-09-05	31	7,6	7,0
64-10-20	33	8,2	38,4
67-10-17	34	8,4	50,1
68-09-21	29	7,2	6,1
75-12-02	30	7,4	47,7

Regnets andel av medelvärdet för nettonederbörden uppgår till mellan 7 och 12%. Detta skall ställas i relation till motsvarande andel för nederbörden den dag då skred inträffat, FIG 28. Endast 4 av 19 undersökta skred hade någon nederbörd samma dag men inga anmärkningsvärda mängder. Att kraftiga regn momentant skulle utlösa skred går inte att visa med detta material.



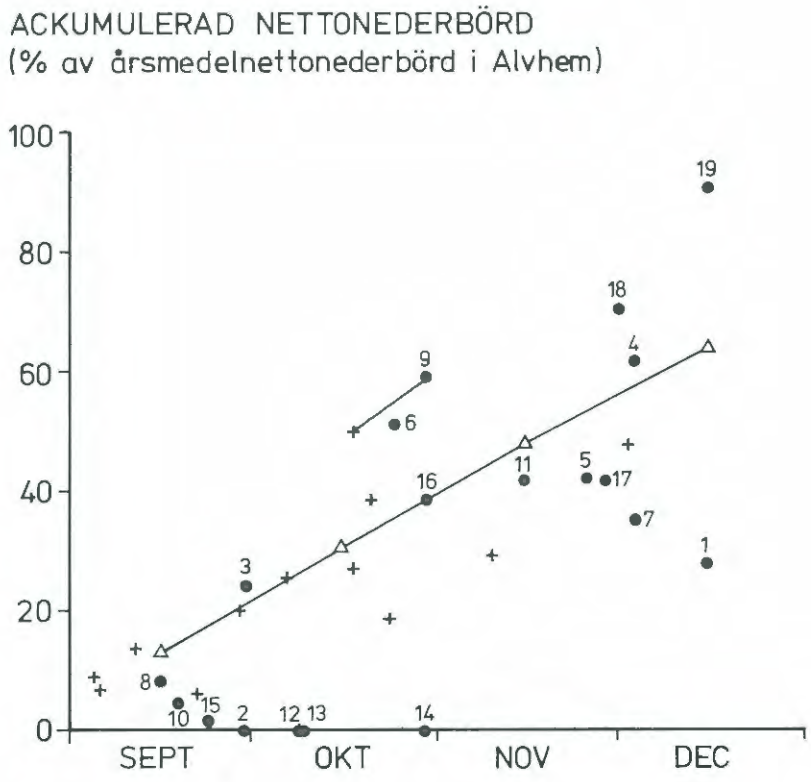
FIGUR 28. Nederbördstillfällen med ≥ 29 mm/d för skredplatser (+). Nederbörd vid skredtillfälle (•).

Den meteorologiska bakgrunden till skred har också betraktats. Som starttidpunkt varje år har 1/9 valts i egenskap av meteorologiskt nyår. Det motiveras av att nederbörden ökar i kombination med att temperaturen sjunker och grundvattenytan stiger från sitt årsminimum. För 19 skred har nettonederbörden från 1/9 det aktuella året till och med skreddagen beräknats som procent av medelvärdet för årsnettonederbörden, TAB 7. Som jämförelse anges medelvärdessiffror. Uppgifterna om mänsklig aktivitet är bristfälliga, vilket innebär att skred, där sådana uppgifter saknas inte med säkerhet kan klassas som naturligt betingade.

TABELL 7. Skredtillfällen med meteorologiska uppgifter och pågående mänskliga aktiviteter. Skred från O- och P-län 1945-77. Meteorologiska uppgifter från Göteborg och Alvhem.

Nr Jfr FIG 29	Datum för skred	Nederbörd skreddag		Ack. nettonederbörd från 1/9 i % av årsmedelnettonederbörd		Mänsklig aktivitet
		mm	% av årsmedel-nettonederbörd	Aktuellt år	Medelvärdesår	
1	45-12	-	-	18,0	64	
2	49-09-29	-	-	0	20	Uppfyllning
3	50-09-29	0	0	23,8	20	Pålning (Surte)
4	50-12-03	1	0	61,6	55	
5	52-11-25	0	0	42,0	52	Brobygge
6	54-10-24	12	3,0	51,0	36	
7	60-12-03	13	3,2	35,1	57	
8	67-09	-	-	8,2	13	
9	67-10-29	1	0	58,9	38	
10	71-09-18	6	1,5	4,8	14	Erosion
11	71-11	-	-	41,7	47	Vägbank
12	72-10-08	-	-	1,5	26	Sprängmassor
13	72-10-09	-	-	1,6	27	Pålning
14	72-10-29	0	0	0	38	
15	73-09-23	-	-	1,3	17	
16	74-10-29	-	-	38,6	38	Lertäkt
17	76-11-28	15	3.7	41,7	54	Vägbygge
18	77-11-30	-	-	70,6	51	(Tuve)
19	77-12-28	-	-	90,6	72	(Berfendal)

Värdena i TAB 7 redovisas grafiskt i FIG 29, där även ackumulerade värden för nederbördstillfällen $\geq$ 29 mm/d har inlagts. Nettonederbörden för de senare värdena sprids relativt jämnt kring det 30-åriga medelvärdet. Av de 19



FIGUR 29. Ackumulerad nettonederbörd från 1/9 till skreddatum (●) och dag med ≥ 29 mm regn (+). Siffror refererar till TAB 7. Medelvärde för 30 års observationer (Δ).

skreden ligger 7 skred på eller över medelvärdet. Höga portryck och/eller erosion kan för dessa fall förmodas vara en starkt bidragande orsak till skredutlösningen. De båda storskreden Surte (nr 3) och Tuve (nr 18) ligger båda över medelvärdet. Av de 12 övriga ligger några mycket lågt och har sålunda föregåtts av långvarig torka. Låga vattenstånd kan därvid ha bidragit till skred. Även andra orsaker än nederbördsbetingade framgår av TAB 7 för dessa fall. Tyvärr saknas ofta uppgifter om skredorsak i skredstatistiken varför någon tillförlitlig analys om nederbördens inverkan är svår att göra.

Det insamlade materialet är för litet för att som i Brasilien korrelera regnintensitet med sannolikhet för skred. Sambandet mellan meteorologiska uppgifter och skred ger på detta sätt ett trubbigt instrument med möjlighet till tvetydiga tolkningar. Grundvattentrycket, som är ett resultat av meteorologiska förändringar, skulle förmodligen ge ett klarare samband med skredförekomst. Sådana mätningar förekommer bara i ett glest nät över Sverige sedan ett tiotal år. En intensifiering skulle på sikt ge erfarenhet om klimatiska samband med framtida skred där höga grundvattentryck förvarnar om hög sannolikhet för skred.

9.3 Skredstorlek - avrinningsområde - utströmningsområde

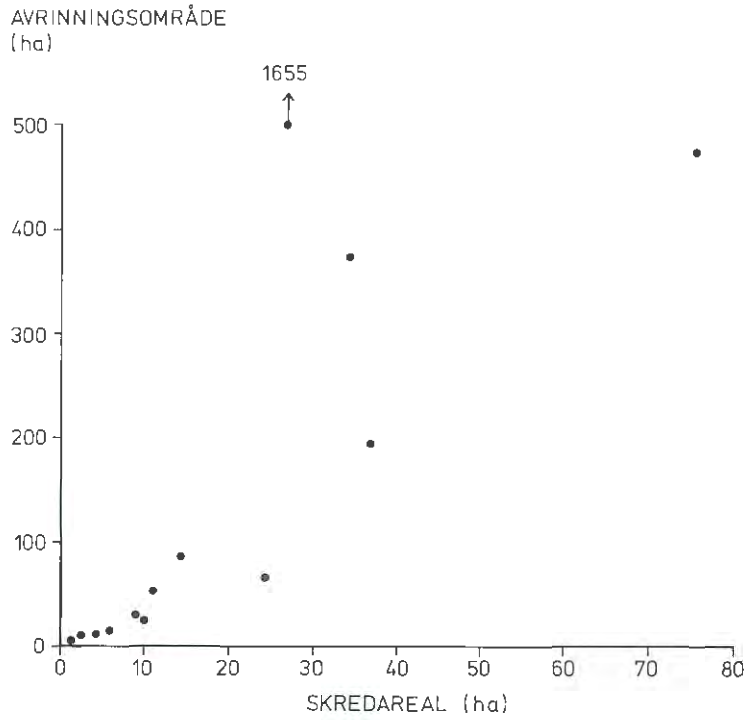
Längs Göta älv mellan Göteborg och Trollhättan har 13 skred särskilt studerats med avseende på geohydrologiska egenskaper. Studien har gjorts på kart- och bildmaterial såsom topografiska kartan (1:50.000), ekonomiska kartan (1:10.000). geologisk karta (1:20.000), flygbilder IR-färg (1:20.000) och termografier (registreringar med IR-teknik i värmestrålningsintervallet) (1:30.000). Från klimatiska samband har bortsetts här då flertalet skred skett innan statistik började föras. Avsikten har varit att finna korrelationer mellan skredutbredning och geohydrologiska förhållanden.

För varje område har skredyta, jordart och berg i dagen uppritats inom tillhörande avrinningsområde. Kartmaterialet har delvis kunnat användas direkt och delvis kompletterats med bildtolkning varefter arealberäkning skett. Utströmningsområden har huvudsakligen tolkats ur termografierna och sedan tagits med i arealberäkningarna, TAB 8.

TABELL 8. Skredområden med hydrologiska uppgifter.

Nr	Skred	Avrinnings-område (ha)	Skredareal (ha)	Utströmnings-område (ha)	Friktions-material (ha)	Infiltrationsmöjligheter
1	Intagan	1655	27	-	1,1	små
2	Vesten	373	34	3,4	25	stora
3	Köpingen	65	24	10,0	3,7	små
4	Slumpån Sländtskredet	2,6	1,2	1,0	-	-
5	Slumpån Flaskskredet	30,0	9,0	0,7	-	-
6	Utby	6,0	4,0	0,7	-	-
7	Nerängen	15,6	6,0	0,6	9,5	?
8	Hansgården	10,0	2,5	-	6,5	?
9	Fråstad-Tösslanda	478	76	6,4	20	små
10	Hjärtum	22,6	10	0,8	8,5	stora
11	Strömkullen	54	11	19,7	3	små
12	Bohus Jordfallet	195	37	10,3	45,4	stora
13	Surte	84,6	14	8,3	9,8	stora

I FIG 30 har avrinningsområdet för ett skred plottats mot skredarealen. Som framgår av figuren är variationerna som väntat stora. Ett principiellt samband mellan skredareal och avrinningsområden kan dock utläsas. Sambandet är i viss mån självuppfyllande eftersom ökande skredstorlek automatiskt berörs av ökande avrinningsareal.



FIGUR 30. Avrinningsområden och skredareal.

För bedömning av potentiella skreds utbredning kan det vara av intresse att bestämma avrinningsområdesarealen, även om dess inverkan inte går att kvantifiera. Skredstorleken beror emellertid inte enbart av avrinningsområdet. Topografi, geohydrologi, skjuvhållfasthet och kvicklereförekomster inom skredområdet spelar större roll. Det är dock viktigt att försöka analysera hur de olika faktorerna samverkar med avrinningsområdet.

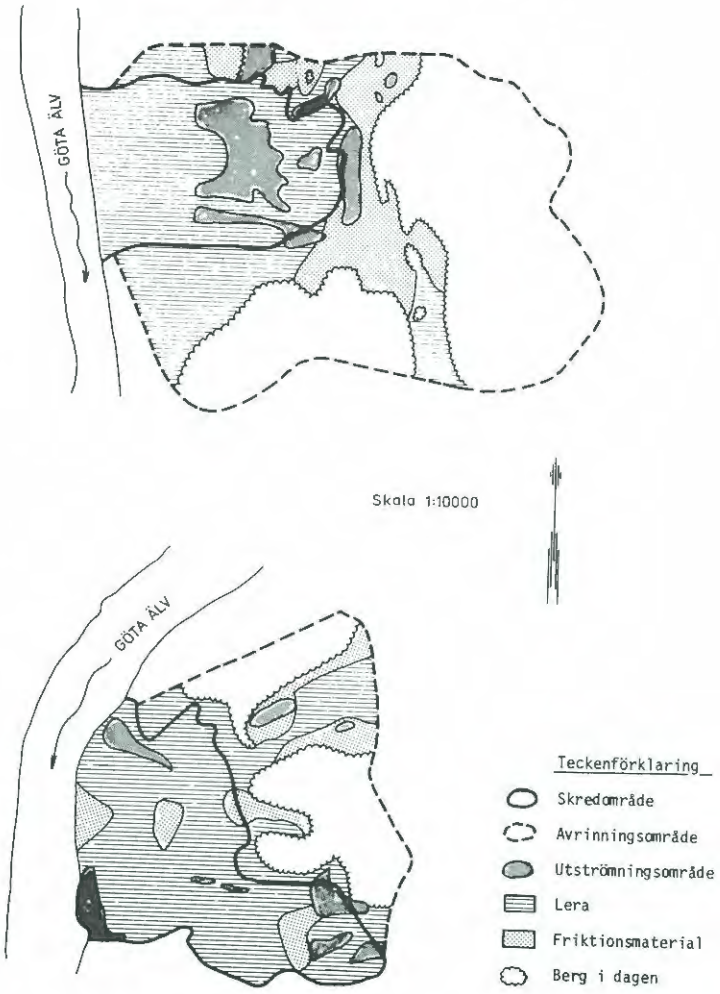
De tolkade utströmningsområdena hamnade på tre principiellt olika lägen i förhållande till skredet.

- Inom skredytan
- Längs skredranden
- Längs avrinningsområdets gränser (Feltolkning)

Inom skredytan uppträder utströmningsområden oregelbundet. Den aktiva strömningen är orsakad av geohydrologiska samband som inte kunnat klarläggas närmare. Utmed skredranden förekommer den andra typen av utströmningsområden. De står ofta i kontakt med friktionsmaterial. Grundvatten strömmar ut ur friktionsmaterialet och utbreder sig över leran nedanför.

Den tredje typen av "utströmningsområden" är en feltolkning, som lätt låter sig röras enbart med hjälp av termografier. I verkligheten är det fråga om mossar som vanligen finns just på gränsen mellan avrinningsområden där markytan bildar flacka höjdpartier.

I FIG 31 visas som exempel två skredområden med stor respektive liten areal för infiltration i friktionsmaterial. Berg i dagen samlar upp nederbörden, som infiltrerar i sprickor och friktionsmaterial. De tretton studerade skredområdena är var för sig mycket olika. Där skred utlösts i en större lågpunkt i terrängen stannar skredärren ofta mot friktionsmaterial på sluttningen. Friktionsmaterial i kombination med höga portryck avslöjar sig på flygbilder genom grundvattenutströmningen.



FIGUR 31. Geohydrologisk kartskiss över Surte (överst) och Köpingen vid Göta älv. Infiltrationsmöjligheterna för Surte är relativt stora och för Köpingen små.

9.4 Test av termografiteknikens möjligheter för geohydrologiska studier

Ett försök att använda termografi (värmestrålning) för studier av utströmmande grundvatten i Göta älvs dalgång har genomförts, Rosén och Viberg (1980). Termografierna registrerades med Rymdbolagets och SMHI:s IR-scanner, som omvandlar värmestrålning från jordytan i våglängdsintervallet 8-13 µm till elektriska signaler, som svärtar en fotografisk film. Försöket genomfördes i Göta älvs dalgång 1978-08-23 med registrering eftermiddag och kväll. Samtidigt utfördes kalibreringsmätningar i fält av ytvattnets temperatur. Hypotesen var att kallt utströmmande grundvatten (7°) skall påverka det varmare ytvattnet (ca 20°).

Kvällsbilderna har visat sig vara väsentligt bättre än eftermiddagsbilderna. Exempel på kvällsbilder, se FIG 32. För vattenytor fås en god upplösning med avseende på temperaturen. Över land kan utströmningsområden särskiljas. Detaljer inom områdena framgår betydligt bättre än med andra typer av flygbilder.

En regional tolkning av Göta älvs ytvatten har gett god överensstämmelse mellan kallare ytvatten och älvbotten bestående av berg/morän, FIG 33. Grundvattenutströmning sker just i friktionsmaterial, som ofta överlagrar berggrunden.

Markanta utströmningar har inte kunnat spåras. Troligen är grundvattenflödena för små i förhållande till älvflödet. En ytterligare negativ faktor är att det kallare grundvattnet är tyngre än ytvattnet, vid den valda tidpunkten.

Vegetationen försvårar tolkningen av termobilder. Vegetation i vatten ger skenbilder liknande kallt ytvatten. En jämförelse med samtidiga IRF-bilder besparar en efterkontroll i fält. Över land döljer kraftig vegetation

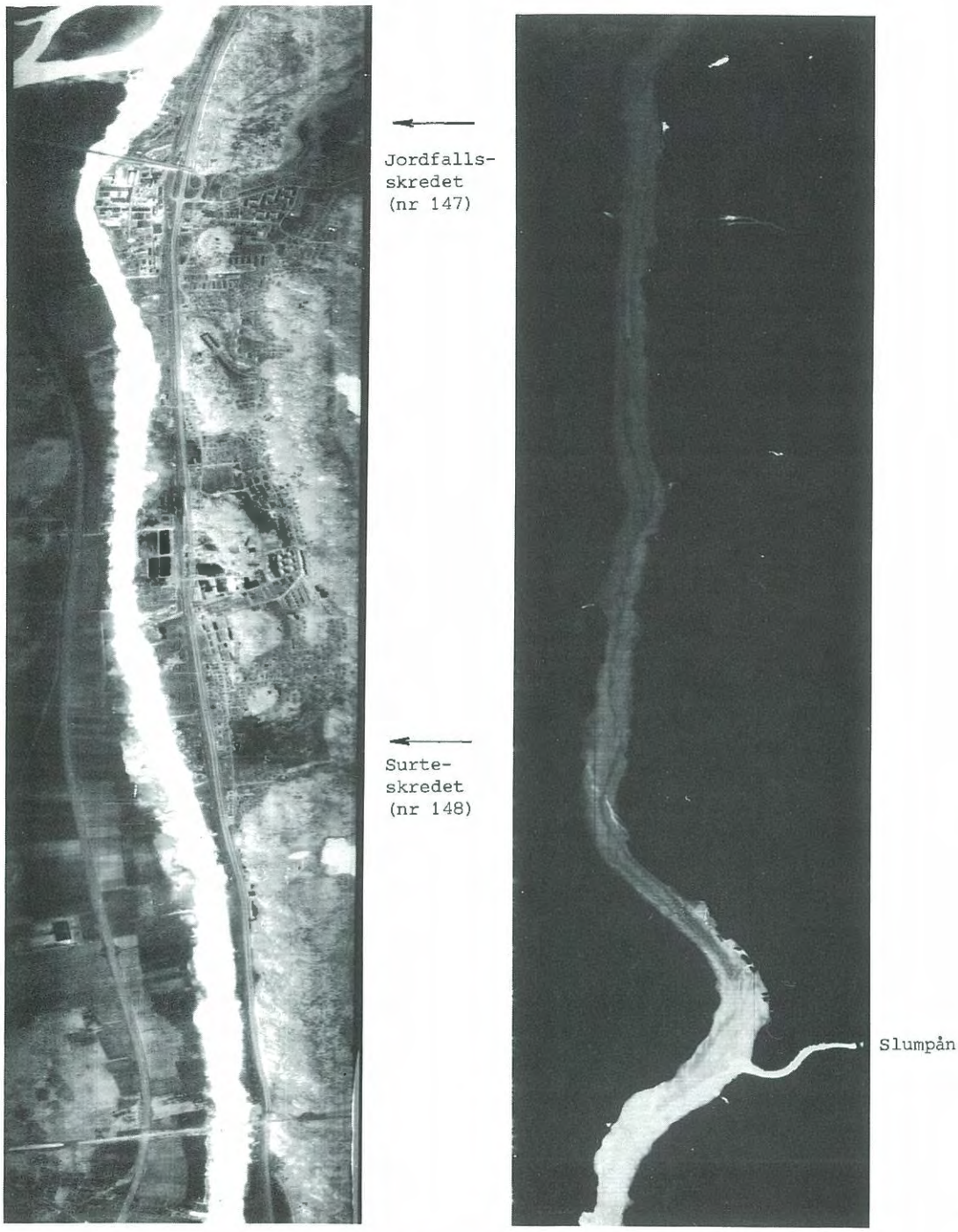
underliggande markfuktigheter. Problemet är likartat oavsett filmtyp och kan delvis undvikas genom att välja ett så tidigt registreringstillfälle som möjligt inom den varma årstiden. Kravet på temperaturdifferenser i markytan är dock viktigare.

Termografin har goda möjligheter att registrera utströmmande grundvatten över såväl land som vatten under gynnsamma förhållanden.

Undersökningen visar, att sambandet mellan utströmning och skredförekomst är komplicerat att analysera med IR-teknik i ett vattendrag av Göta älvs karaktär.

De små utströmningsmängderna i relation till det totala älvflödet omöjliggör upptäckt av lokala utsläpp. Utströmning på längre sträckor kan under vissa förhållanden studeras med IR-teknik.

För upptäckt och analys av utströmningsområden på land öppnar tekniken nya möjligheter genom detaljrik återgivning av sådana områden. Kännedom om utströmningsområden är av intresse för såväl analys av gamla skreds uppkomst som potentiella skredriskområden.



FIGUR 32. Exempel på termografier. Kontinuerliga gråtoner med maximal upplösning på markyta vid Bohus-Surte (vänster bild) och på vattenyta vid norra delen av Göta älv (höger bild).
(Godkänd ur sekretessynpunkt för spridning. Statens lantmäteriverk 1982-02-22.)

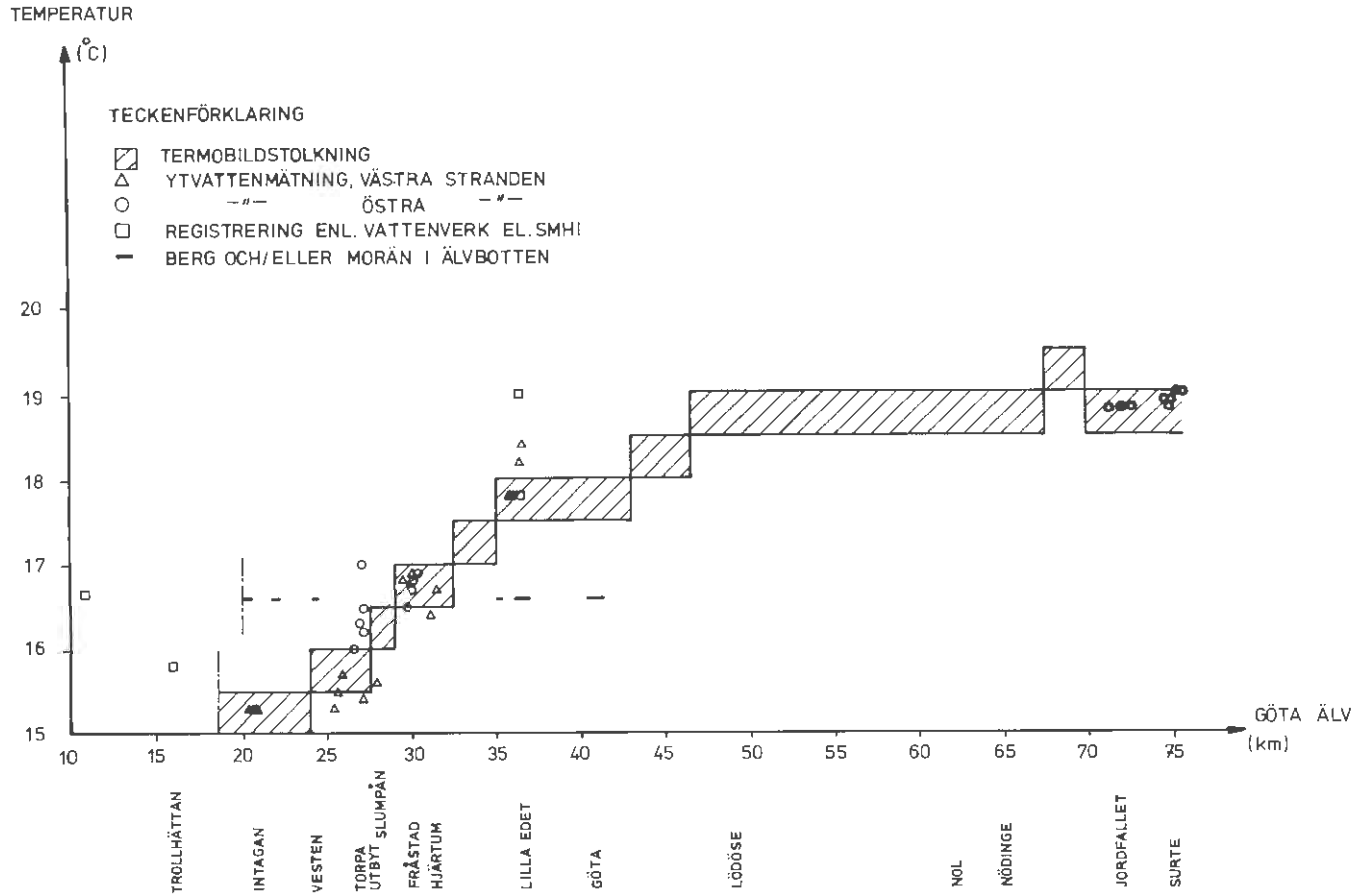


FIG. 33 YTVATTENTEMPERATUREN I GÖTA ÄLV 1978-08-23, KVÄLLEN

10. GEOTEKNISKA EGENSKAPER

10.1 Allmänt

De geotekniska egenskaper som i första hand studerats är odränerad skjuvhållfasthet och sensitivitet. Data har huvudsakligen hämtats från tidigare undersökningar i Göta älvs dalgång. Kompletterande undersökningar har utförts vid Intagan, Vesten och Slumpån, BIL 6.

På grund av den stora mängden data har materialet databehandlats i en bordsdator, typ Tektronix. Borrhålsdata har digitaliserats med hjälp av ett digitaliseringsbord och lagrats på magnetband. Med hjälp av program för plottning har grafiska sammanställningar av skjuvhållfasthet och sensitivitet både med markytan och nivån över havet som referensnivåer kunnat göras. För skjuvhållfastheten har medelvärden och standardavvikelser beräknats för 5 m-intervall och regressionsanalys utförts för hela djupet. Medellinjer har även inlagts manuellt i kurvskarorna genom okulär bedömning.

Vid dessa beräkningar och inpassningar har rensning av extremvärden gjorts. Vid beräkning av medelvärden och standardavvikelser har angivits ett högsta och lägsta värde för varje 5 m-skikt. För regressionsanalysen har intervallet 0-100 kPa använts, vilket innebär att regressionslinjerna har påverkats av höga τ_f-värden i de övre jordlagren. Regressionslinjerna och medelvärdeslinjerna är sålunda inte helt jämförbara. Regressionslinjernas något brantare lutning i flera fall kan förklaras av ovannämnda förhållande.

10.2 Odränerad skjuvhållfasthet

Resultaten redovisas i följande figurer och tabeller. För de flesta skredplatser jämförs konprov och vingsondering med dels markytan och dels nivån över havet som referensnivå.

FIG 34 Datorritade sammanställningar av τ_{fu} för norra delen av Göta älv.

BIL 7 D:o för olika skredområden.

FIG 35 Medelvärden och standardavvikelser för 5 m-skikt samt regressionslinjer för norra delen av Göta älv.

BIL 8 D:o för skreden vid Intagan, Vesten och Hansgården.

FIG 36 Regressionslinjer för Intagan, Vesten, Hansgården och norra delen av Göta älv.

BIL 9 Manuellt inpassade medellinjer för Intagan, Vesten, Hansgården och Göta älv.

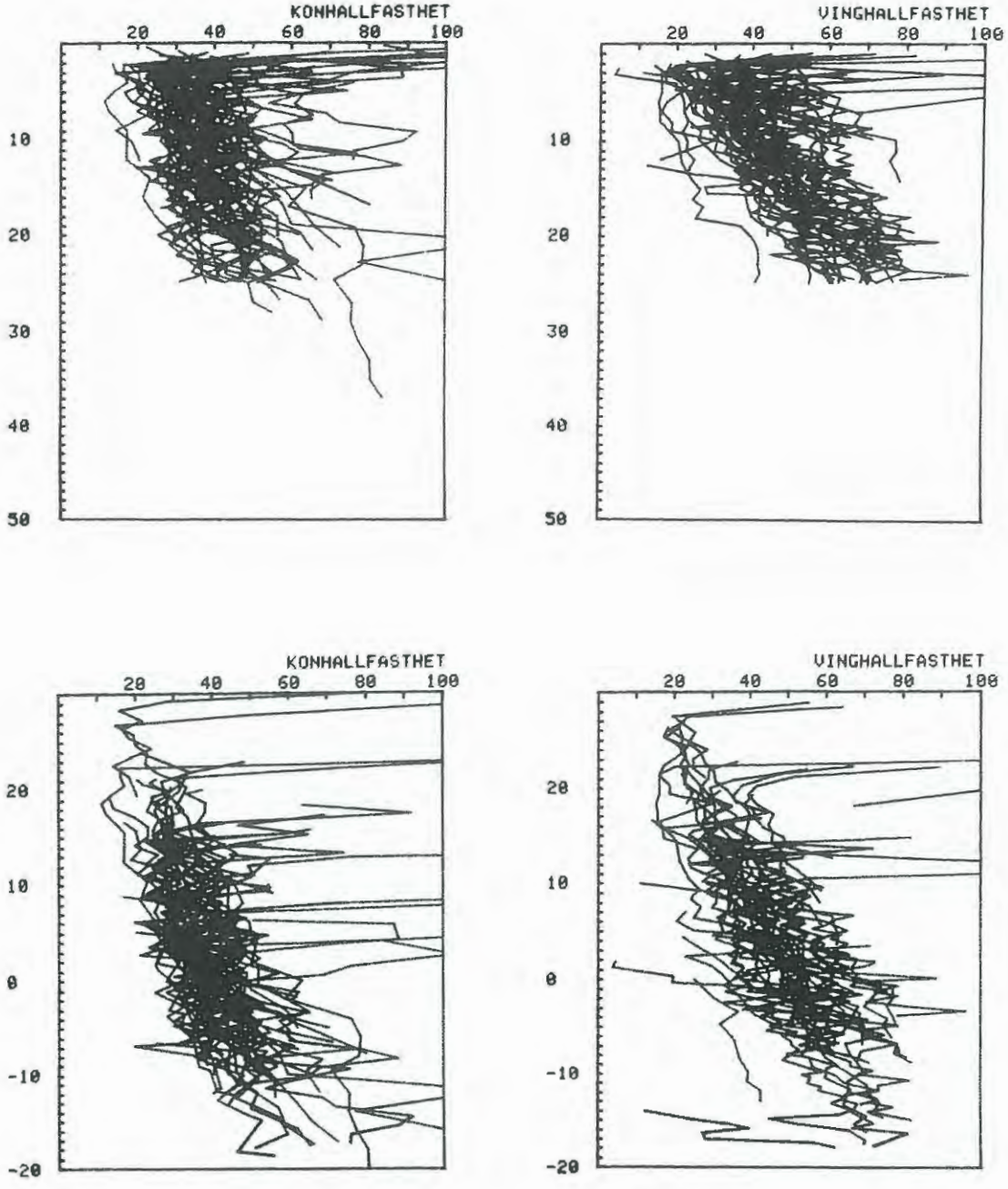
BIL 10/1 Sammanställning av τ/σ' för olika skredplatser utvärderade från manuellt inpassade medellinjer och regressionslinjer. Vid beräkning av σ' har värdet 0,65 t/m^3 genomgående använts för densiteten under GW.

BIL 10/2 Grafisk jämförelse av τ/σ' utvärderade från manuellt inpassade medellinjer och regressionskurvor.

Analys av resultaten visar följande:

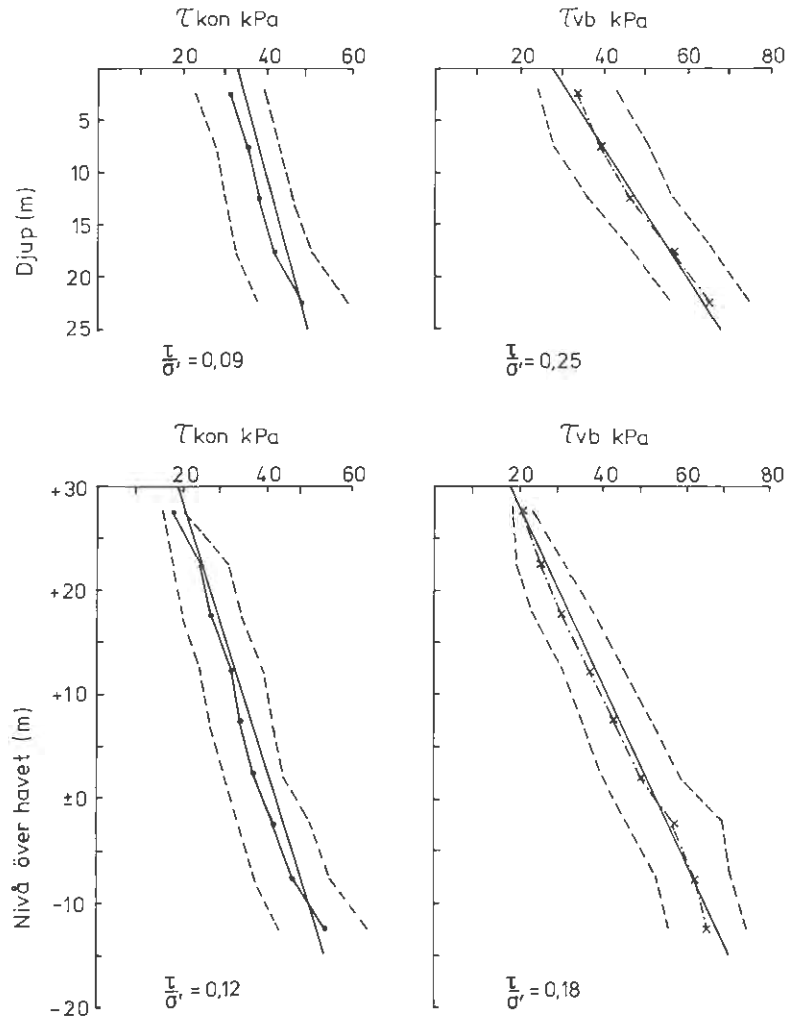
1. Spridningen är större för markyterelaterade kurvor jämfört med nivårelaterade. Detta beror på att tidigare jordlager i nuvarande älvläget och dess närmaste omgivning eroderats bort i samband med landhöjningen. Leran närmast älven är således konsoliderad för ett högre effektivtryck än det rådande och skjuvhållfastheten har därigenom relativt nuvarande markyta blivit högre än för motsvarande normalkonsoliderade lera. Exempel på detta är Intagan, Vesten och Hansgården. I flera fall blir spridningen betydligt mindre för nivårelaterad τ.

GÖTA ÄLV (utom Surte)

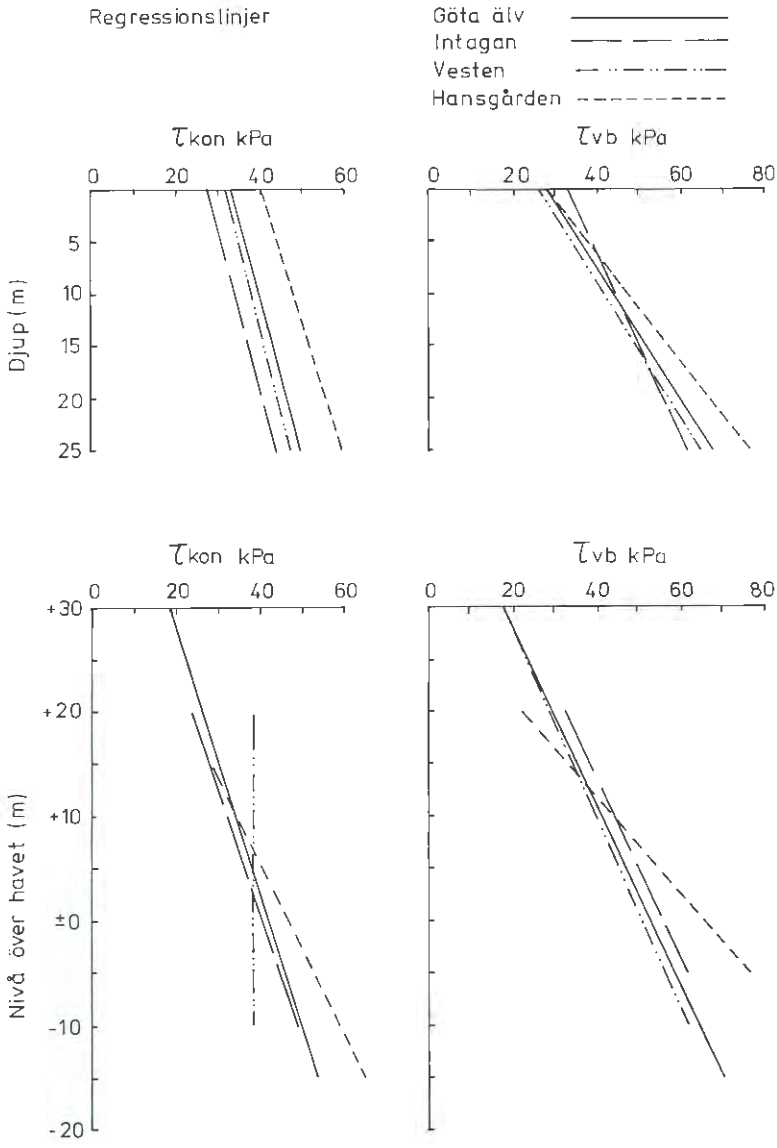


FIGUR 34. Sammanställning τ_{fu} Göta älv sträckan Intagan - Strömkullen (L.Edet).

GÖTA ÄLV (utom Surte)



FIGUR 35. Medelvärden, standardavvikelse, regressionslinjer, Göta älv (utom Surte).



FIGUR 36. Regressionslinjer för Göta älv (exkl Surte), Intagan, Vesten och Hansgården.

2. Vingsond ger med få undantag högre värden än konprov. Vingsondkurvorna har även starkare lutning (τ ökar snabbare med djupet) varför τ/σ' är större för vingsond, se BIL 10/1, FIG 34, 35 och BIL 10/2.

   Markyterelaterade τ/σ'-värden är i allmänhet högre än nivårelaterade - speciellt påtagligt för vingsondvärden. Detta beror på att kurvorna i nivådiagrammen parallellförflyttas nedåt. Vid regressionsanalysen tas ingen hänsyn till lutningen hos de enskilda kurvorna, vilket dock kan göras vid manuell inpassning. Därför blir regressionskurvorna brantare än de manuellt inlagda.

3. Manuellt inpassade medellinjer ger medelvärde och spridning som stämmer överraskande väl med beräknade värden. De största differenserna gäller intercept och riktningskoefficient för några platser. De manuella kurvorna har större lutningar än motsvarande regressionslinjer. Detta beror på att flera höga värden, främst i torrskorpan, påverkar regressionslinjernas lutning. De manuellt inlagda kurvorna ger således en något mer korrekt bild av lerans hållfasthetstillväxt.

   De manuellt inpassade linjerna kan i de flesta fall användas som en god approximation för medelvärdeslinjer.

4. Vingsondvärden bedöms utgöra bättre underlag än konvärden för klassificering av odränerad skjuvhållfasthet, speciellt då djupen överstiger 10-15 m.

10.3 Sensitivitet

Kvicklerans utbredning i Göta älvdalen baserad på utförda borrningar har redovisats av Götaälvkommittén (1962) och har här inlagts på skredkartorna, BIL 2. Kvickleran har helt säkert större utbredning i verkligheten än de platser som konstaterats med borrningar. Detta verifieras av att

flera stora skred av kvickleretyp inträffat inom omarkerade, icke undersökta områden.

Kvickleran kan i princip ha vilket förekomstsätt som helst: mäktiga lager, tunna skikt, nära markytan, i bottenlager, ett eller flera lager, FIG 37 och BIL 11.

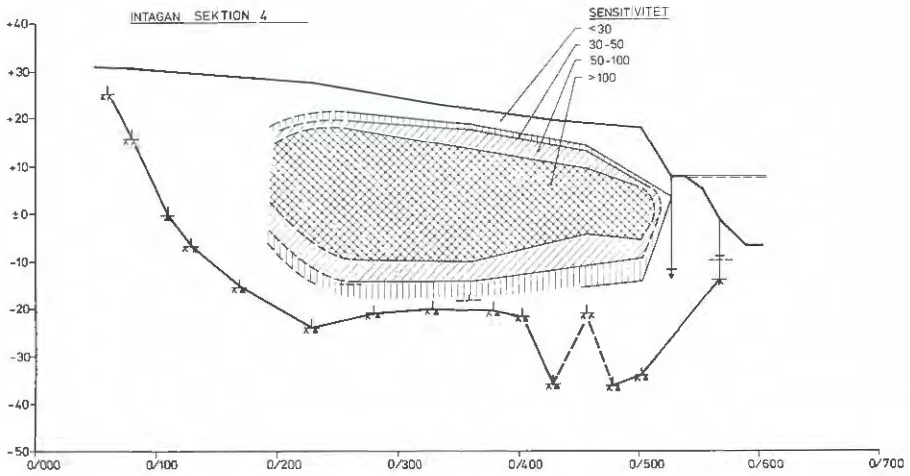
Kvicklera förekommer företrädesvis intill permeabla skikt eller lager i eller under leran. Detta är känt sedan länge.

Men även till synes homogena lerlager, där permeabla skikt saknas, kan vara kvicka. Ett exempel på detta är mäktiga kvicklerelager i Intagan, FIG 37. Av denna figur framgår att sensitiviteten tycks öka kontinuerligt mot djupet och når de högsta värdena i mitten av lerlagret för att sedan successivt avta mot bottenlagren. Leran förblir dock kvick närmast bottenlagren. Kvickleran i Intagan-området har stor utbredning i plan och når sannolikt ända in till fastmarken, åtminstone ställvis. De topografiska, geologiska och geohydrologiska förutsättningarna är gynnsamma för urlakning och infiltration av leran. Under Göta älv är leran däremot inte kvick.

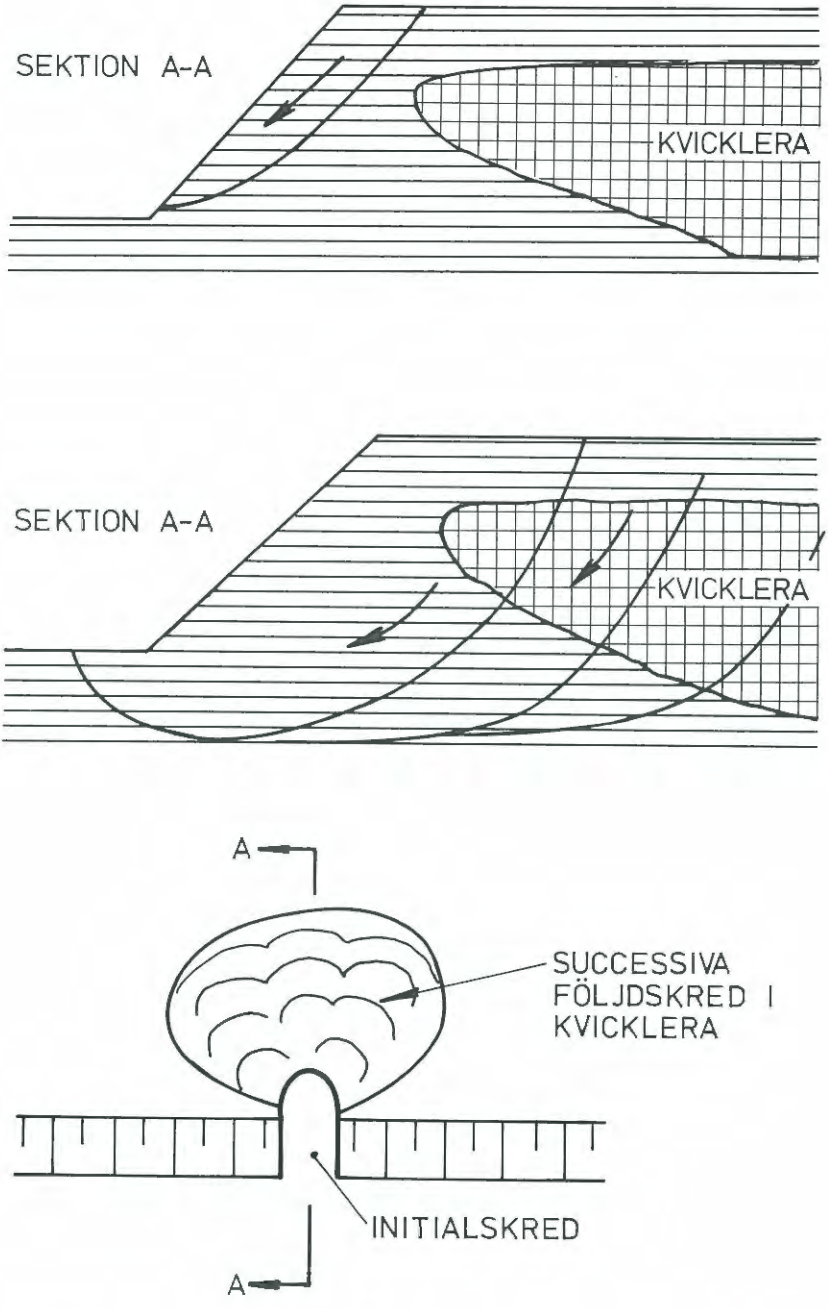
I Surte förekommer kvicklera både på högre och lägre nivåer. Mäktiga sandlager i kombination med artesiskt grundvatten och brant topografi utgör där förutsättningar för kvicklerebildning.

Söderblom (1974) har redovisat sensitiviteten i en profil vid Fuxerna, Lilla Edet, som visar att kvicklera där företrädesvis förekommer i svackor i lerans underlag.

Ett speciellt förhållande bör uppmärksammas, nämligen att kvicklera ligger inbäddad av torrskorpelera. Ytliga skred kommer inte i kontakt med kvickleran och skreden blir därför små, FIG 38. Om initialskred däremot når in till kvickleran finns förutsättningar för snabbt utbildade



FIGUR 37. Sensitivitet, strax S Intagan-skredet.



FIGUR 38. Möjlig inverkan av kvicklera på skred-utveckling.

storskred, FIG 38. Den genombrutna torrskorpan kan därvid fungera som utlopp för den successivt kollapsande kvickleran. Eftersom jordtrycket bakom slänterna på ömse sidor om initialskredet (utloppet) minskar när lermassorna glider ut och då dessutom slänterna innehåller motståndskraftig torrskorpelera glider dessa slänter normalt inte ut, utan bildar närmast skredmynningen kvarstående lerkammar, se t ex skred nr 34, 37, 60 och 78 i BIL 2, blad 2.

Sensitiviteten S_t är beroende av både den ostörda och omrörda skjuvhållfastheten (τ_{fu} resp τ_R). Eftersom kvoten mellan högsta och lägsta τ_R-värden i borrhålen är väsentligt högre än motsvarande kvot för τ_{fu} är S_t starkast beroende av τ_R. I de extremt kvicka lerorna vid Intagan är $\tau_R < 0{,}15$ kPa. Jfr BIL 6.

I Quebec, Canada, används även τ_R som mått på lerans benägenhet för kvicklereskred (Lebuis; samtal).

10.4 Rapiditet och resistivitet

Rapiditeten, R_n, hos lera är ett mått på hur en 4 cm hög lercylinder deformeras när den utsätts för 250 slag i Casagrandes skakapparat. Testet har utformats av Söderblom (1974) och R_n mäts enligt en 10-gradig skala. Låga R_n-värden innebär liten deformation av provet medan högre värden anger en successivt större påverkan. R_n=10 innebär att hela provet omformats till en flytande massa. R_n för de undersökta proverna ligger i huvudsak mellan 3 och 5. Endast i 3 fall är $R_n > 5$. Det högsta värdet $R_n = 8$ uppmättes för en varvig lera med siltskikt vid Vesten. Det höga värdet beror troligen i första hand på siltskiktens flytbenägenhet. Jfr BIL 6. Generellt kan sägas att de undersökta lerorna är relativt okänsliga för yttre dynamiska krafter (lågrapida) trots mycket hög sensitivitet.

Resistivitet mättes med instickselektroder på upptagna prover. De övre jordlagren (torrskorpan) har i allmänhet högre resistivitet än djupare liggande lager. Resistiviteten avtar mer eller mindre kontinuerligt mot djupet i alla borrhål, antydande högre salthalt med djupet, BIL 6. Något samband mellan resistivitet (salthalt) och sensitivitet kan inte utläsas.

En grov utvärdering av salthalten från resistivitetsvärdena visar att salthalten är ca 0,1-0,5% vid Intagan, 0,1-1,0% vid Vesten och Slumpån. En tydlig tendens till ökande salthalt från Intagan till Slumpån kan konstateras. Skillnaden i salthalt kan bero på att urlakningen av det ursprungliga saltet varit större i Intagan och Vesten. Sedimentationsmiljöerna kan även ha varit olika utmed Göta älvs dalgång. Vattnet vid Intagan har troligen varit mer utblandat med sötvatten från den avsmältande landisen.

LITTERATUR

AAS, G., 1970. Skredvirksomhet i Norge, Norges Geotekniske Institutt, Publikasjon, No. 84, pp. 19-28.

ADESTAM, L. & VIBERG, L., 1978. Reserapport från IAEG:s 3:e internationella kongress, Madrid 4-8 september 1978. BFR projektnr 770254-6. SGI, Linköping.

ANDRÉASSON, L. & VIBERG, L., 1978. Skredriskundersökningar i Kanada. Studiebesök i Kanada vecka 15, 1978. BFR projektnr 770254-6, SGI Notis 3/78, Linköping.

BAILEY, R.G., 1972. Landslide Hazards related to land use planning in Teton National Forest, North West Wyoming. US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Region.

BERGSTEN, K.E., 1950. Lerskredet i Surte, Svensk Geografisk Årsbok, No.26, pp. 189-195.

BJERRUM, L., ROSENQUIST, I.T., 1956. Norske leirskred og deres geoteknikk, Norges Geotekniske Institut, Publikasjon, No.15.

BJERRUM, L., LÖKEN, T., HEIBERG, S., FOSTER, R., 1971. A field study of factors responsible for quick clay slides, Norges Geotekniske Institutt, Publ.No.85, pp. 17-25, Oslo.

BJERRUM, L. 1971. Kvikkleireskred - Et studium av orsaksforhold of forbyggningsmuligheter, Norges Geotekniske Institutt, Publikasjon No.89. 14 pp.

BROMS, B.B. Landslides, Foundation engineering handbook, pp. 373-401.

CALDENIUS, C. & LUNDSTRÖM, R., 1956. The landslide at Surte on the river Göta älv, Sveriges Geologiska Undersökning, Ser. Ca, No.27, Stockholm.

CRAWFORD, C.B., 1968. Quick clays of eastern Canada, National Research Council of Canada, Särtryck ur Engineering geology 1968, Vol.2, No.4, pp. 239-265.

EDEN, W.J., 1971. Landslides in clays, Canadian Building Digest, Publ. No.143, Ottawa.

EDEN, W.J., & MITCHELL, R.J., 1973. Landslides in sensitive marine clay in eastern Canada, Highway Research Record, No.463, pp. 18-27.

FELLENIUS, B., 1953. Skredet vid Guntorp, Satens Järnvägar, Geotekniska meddelanden, No.4, Stockholm.

FRÖDIN, G., 1919. Jordskreden och markförskjutningarna i Göta älvs dalgång. Kungliga vattenfallsstyrelsen, Med. No.19, Uppsala.

GAGNON, H., 1974. La photo arienne. Son interpretation dans les etudes de l'environement et de l'aménagement du territoire. Les Éditions HRW, Montreal.

GÖTAÄLVSKOMMITTEN, 1962. Rasriskerna i Götaälvdalen. Statens offentliga utredningar 1962:48, Stockholm.

HEIBERG, S., 1971. Relasjoner for omkostninger og dimensjoner av forbyggninger i Sande - Skoger i Vestfold, Norges Geotekniske Institutt, Intern rapport, 4 p.

HOLMSEN, G., 1934. Lerfall i årene 1930-1932, Norges Geologiske Undersökelse, No.140, Oslo, 36 p.

HOLMSEN, G., 1946. Lerfall og ras i årene 1933-1939, Norges Geologiske Undersökelse, No.166, Oslo, 43 p.

HOLMSEN, G., HOLMSEN, P., 1946. Leirfall i årene 1940-1945, Norges Geologiske Undersökelse, No.167, Oslo, 71 p.

HUTCHINSON, J.N., 1960. Guiding principles for future ground investigations in Namdalen, Norges Geotekniske Institutt, Intern rapport, 35 p.

HUTCHINSON, J.N., 1967. The free degradation of London clay cliffs. Proc. Geot. Conf., Vol.1, pp. 113-118, Oslo.

IAEG, 1977. Symposium, Landslides and other mass movements, Prague 15-16 Sept. 1977. IAEG Bulletin No.16, Krefeld.

IAEG, 1978. Proceedings, III International Congress, Madrid 4-8 Sept, 1978, Madrid.

INGANÄS, J., 1979. Litteraturinventering av skred. Intern rapport. SGI, Linköping

JAKOBSON, B., 1952. The landslide at Surte on the Göta River, Statens Geotekniska Institut, Proceedings, No.5.

JØRSTAD, F.A., 1968. Snesmeltning som orsak till jordskred på Østlandet ved månedsskiftet april-maj 1966. Norges Geotekniske Institutt, Publ. No.75, pp. 33-38, Oslo.

JØRSTAD, F.A., 1970. Leirskred i Norge, Norges Geotekniske Institutt, Publikasjon, No.83, pp.1-6

JØRSTAD, F.A. 1978. Lerskredens forekomst fordelt på månader, Norges Geotekniske Institutt, Intern skrift.

JÄRNEFORS, B., 1957. Skredet vid Intagan, Sveriges Geologiska Undersökning, Ser. C, No.539, Stockholm.

KJELLMAN, W., 1955. Mechanics of large Swedish landslides, Geotechnique, Vol.4, No.1, pp. 74-78.

KJELLMAN, W., 1955. Investigation of clay slopes in Göta River valley, Geotechnique, Vol.5, No.2, pp. 164-166.

KJELLMAN, W., 1955. Effects of ground-water on stability of natural slopes in Swedish clay soils, Geotechnique, Vol.5, No.2, pp. 167-169.

LA ROCHELLE, R., & CHAGNON, J.Y. & LEFEVBRE, G., 1970. Regional geology and landslides in the marine clay deposits of Eastern Canada. Canadian Geotechnical Journal, Vol.7, No.2, pp. 145-156.

LIANG, T. & BELCHER, D.J., 1958. Airphoto interpretation, Highway Research Board, Special Report 29, Washington.

LINDSKOG, G., & BJERIN, L., 1972. Preliminär rapport om jordskredet vid Kalvsvik, Jordbro södra. Utlåtande, Statens Geotekniska Institut.

LØKEN, T. & JØRSTAD, F. & HEIBERG, S., 1970. Gamle leirskred på Romerike, Romerike historielags årsbok, Vol.8, pp. 1-19.

LÖFQUIST, B., 1973. Lerskred genom vattenupptryck, Väg- och Vattenbyggaren, Vol.19, No.2, pp. 187-190.

LØSET, F., HEIBERG, S., 1971. Vurdering av faren for kvikkleireskred. En studie av området mellom Sande og Skoger, Norges Geotekniske Institutt, Intern rapport, 10 p.

MEYERHOF, G.G., 1957. The mechanism of flow slides in cohesive soils, Geotechnique, Vol.7, No.1, pp. 41-49.

NORMAN, J.W., LEIBOWITS, T.H., FOOKES, P.G., 1975. Factors affecting the detection of slope instability with air photographs in area near Sevenoaks, Kent, UK, Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol.8, No.3, pp. 159-176.

NOSSIN, J.J., 1973. Use of air photos in studies of slope stability in the Crati Basin, Italy, Geologia Applicata e Idrogeologia, Vol.8, Part 1, pp. 261-287.

ODENSTAD, S., 1948. Föredrag om skredet vid Lidan, Geologiska Föreningens Förhandlingar, No.452, Band 70, Häfte 1.

ODENSTAD, S., 1951. The landslide at Sköttorp on the Lidan River, Statens Geotekniska Institut, Proceedings, No.4.

ODENSTAD, S., 1958. Jordskredet i Göta, Geologiska Föreningens Förhandlingar No.492, Band 80, Häfte 1.

ROSÉN, B. & VIBERG, L., 1980. Användning av termografi för geohydrologiska studier. FoU-rapport 1-188/1978 från Statens geotekniska institut till Statens delegation för rymdverksamhet.

SANGREY, D.A. & PAUL, M.J., 1971. A regional study of landsliding near Ottawa, Canada, Canadian Geotechnical Journal. Vol.8, No.2, pp.315-335.

SPUREK, M., 1972. Historical cataloque of slide phenomena, Studia Geographica, No.19, Brno, 178 p.

STATENS JÄRNVÄGARS geotekniska kommission, 1922. Slutbetänkande, Statens Järnvägar, Geotekniska meddelanden, No.2, Stockholm.

SUNDBORG, Å. & NORRMAN, J., 1963. Göta älv, Hydrologi och morfologi. (SGU), Ser. Ca. No.43, Stockholm.

SUNDBORG, Å., 1961. Göta älv, Erosionsundersökning, Uppsala Universitet geografiska institutionen.

SÖDERBLOM, R., 1974. New lines in quick clay research. SGI Särtryck och Prel rapporter No.55, Stockholm.

TERZAGHI, K., 1955. Influence of geological factors on the engineering properties of sediments, Harvard University, Soil Mechanics Series, No.50.

WAGER, O., 1970. Rapport över skredet i Norsälven vid Trossnäs, Statens Geotekniska Institut, Utlåtande K 9590.

VARNES, D.J., 1972. Classification of landslides. Proc. Symp. Landslide Control. pp. 15-30, 65-79. Kyoto o Tokyo.

WENNER, C-G., 1951. Data on Swedish landslides, Geologiska Föreningens Förhandlingar, No.465, Band 73, Häfte 2. pp. 300-308, Stoćkholm.

WESTERGÅRD, A.H., 1910. Om skredskredet vid Saltkällan i Bohuslän, Sveriges Geologiska Undersökning, Ser. C, No.225, Stockholm.

VIBERG, L., 1977. Reserapport från IAEG:s symposium i Prag 1977-09-15--16. "Landslides and other mass movements",BFR:s reseanslag 770612-0. SGI, Linköping.

VIBERG, L., FOGELSTRÖM, R. & INGANÄS, J., 1978. Erfarenheter av skredkartering vid NGI. Studiebesök 7-8 mars 1978. BFR projektnr 770254-6. SGI, Linköping,

WIDE, Å., 1972. Litteraturinventering av skred inträffade i Götaland till och med 1971. Chalmers Tekniska Högskola, Geologiska institutionen, Publ. 1972:B4, Göteborg.

Utländska skredriskkarteringsmetoder.

METOD	FAKTORER	KRITERIER	MEDEL	PROGNOS
NORGE				
1a NGI metod 1 *	Bäckerosion Bäckraviners djup Befintliga skred Kvicklera	Instabilt när erosionen når kvicklerelager	Geologiska kunskaper Flygbildstolkning Fältkontroll Ev fältundersökning	Zonindelning av skredfaran
1b metod 2 *	Skredtyp Fördelning och frekvens av gamla skred Skredgenerationer Jordart (finsilt,lera) Kvicklerebildning Överkonsolideringsgrad Typ av lera Erosion Klimat Grundvatten-portryck Byggnation	Med hjälp av faktorerna indelning av skredfaran i 3 klasser, se prognos		1. Ingen-liten fara för djupgående skred 2. Mellan 1 och 2 3. Viss fara för djupgående skred
2 metod 3**	Förekomst av kvicklera Släntlutning Slänthöjd	Ravinterräng: H>10 m Övr. slänter: H/L>1:15 Hög skjuvspänn.nivå Minsta yta: 10 000 m^2	Topografi Sondering Sporadisk Ving- och kolvborrning	Kvicklereområden med potentiella skredrisker

---

* Metoderna har endast använts i begränsad omfattning och är ej längre i bruk.

** Gregersen O & Löken T, 1982. Mapping of quick clay landslide hazard in Norway. Criteria and experiences. International Symposium on Landslides, 8-10 March, 1982, Linköping. SGI Report to be published in 1982.

BILAGA 1:1

	METOD	FAKTORER	KRITERIER	MEDEL	PROGNOS
	CANADA				
3	Lebuis, Geotechnical Services, Quebec *	Gamla skred Erosion Kvicklera c, ρ (regionala värden) Slänthöjd Sluttlutning	Gamla skred Erosionspunkter Skjuvhållfasthet ostörd, omrörd	Geologiska kartor Flygbildstolkning Fältundersökning Stabilitetsdiagram	a. Stor skredrisk b. Potentiell skredrisk c. Allmän skredrisk Sannolik utbredning
4	-"- Uppskattning av skredfrekvens	Daterade skred >1 ha	1. C14-datering 2. Historiska data (1840-1976)	Statistiska metoder	Sannolik frekvens för skred >1 ha och sannolikhet för att skred inträffar på viss plats
5	Chagnon, Laval Enkel metod	Inträffade skred	Skred → hög risk föreligger Inga skred → området har varit och är stabilt men ingen garanti	Inventering av skred	Se kriterier
6	Chagnon, Laval Lokalisering av svaghetszoner	Skjuvhållfasthet på olika djup	Låg skjuvhållfasthet kombinerat med hög sensitivitet	Kartering av skjuvhållfasthet	Svaga zoner har högre skredrisk

---

* Lebuis J, Robert J-M & Rissman P, 1982. Regional mapping of landslide hazard in Quebec. International Symposium on Landslides, 8-10 March, 1982, Linköping. SGI-Report to be published in 1982.

	METOD	FAKTORER	KRITERIER	MEDEL	PROGNOS, RESULTAT
7	SOVJET "Frekvensmetod"	Inträffade skred	Skredfrekvens	Antal skred eller skredpåverkad sträcka (yta) i förhållande till total sträcka (yta)	Kvantitativ jämförelse mellan olika regioner
8	Långtidsprognos	Basfaktorer (nederbörd, temperatur etc) Beroendefaktorer (fuktighet, hållfasthet, vågerosion) Långsamt varierande faktorer (tektonik, havsytans stigning) Konstanta faktorer (geologi, morfologi)	Samband mellan faktorerna och solfläcksaktivitet och atmosfäriska fenomen	Statistisk analys	Skredaktivitet vid olika perioder fram till år 2000
9	Regionala geologiska data	Lerans ålder och släntlöjd Befintliga skred Skjuvhållfasthet	Ju äldre leran är ju högre är hållfastheten	Bedömningen av släntstabiliteten baseras inte enbart på den enskilda slänten utan även på regionala geologiska data. Både stabila och instabila slänter studeras.	Indelning i stabila och instabila slänter baserad på regionala data

	METOD	FAKTORER	KRITERIER	MEDEL	PROGNOS, RESULTAT
	USA				
10	San Fransisco Bay -projektet	Inträffade skred Geologi (berg,jordart) Topografi Nederbörd Markanvändning	Egenskaper hos berg-jordarter Skredfrekvens	Bef. kartor Flygbildstolkning översiktligt fält-arbete	Förutsägelse av slänt-stabiliteten inom hela regionen (7 klasser)
11	Liang-Belcher	Skarp brytning vid ras-krönet Ojämn topografi i skred-ärr Avlånga odränerade svackor Avsaknad av väldefinierat eller integrerat drä-neringssystem Tvära skillnader i vege-tation och fototoner mellan rasmassor och om-givningen Oregelbunden avsnörning av vattendrag-uppdämning eller avledning av fåran		Flygbildstolkning	Kartering av ras och skred
12	Skredkarta över USA 1:7500000	Inträffade skred	Hög frekvens skred inom >15% av ytan Medelfrekvens " " 1,5-15% av ytan Låg frekvens " " <1,5% av ytan	Bef. kartor	Skredkartan underlag för planering och anger behov av detaljunder-sökningar
13	- " -	Geologisk enhet	Trolig skredbenägenhet hos geologiska enheter vid rik-lig nederbörd, underminering genom erosion, schaktning etc eller belastning	Bef. kartor Flygbildstolkning	Se kriterier

	METOD	FAKTORER	KRITERIER	MEDEL	PROGNOS, RESULTAT
13	Stevenson, Australien Empirisk faktormetod	Ip (P) GW-ytans läge (W) Sluttning (S) Släntens utseende (C) Markanvändning (U) Befintliga skred	R har beräknats för inträffade skred. Skred vid R>60	Poängsättning av faktorerna. Relativ skredrisk R erhölls. R=(P+2W)(S+2C)	Metoden grov. R>50 kan ev. tjäna som varning för möjlig instabilitet.
14	Gagnon, Kanada	Kvicklera-icke kvicklera Sluttning Lermäktighet Ytlig dränering GW-nivå Erosion Sprickbildning Källsprång Vattenmättad zon Infiltrationsskikt Lerans topografi Vattenståndsvariation Konstgjorda dammar GW-flöden (kanalform) Bebyggelse belastning dränering vibrationer Berggrundstopografi Lokala avlagringar som belastar/samlar vatten Dränering i skredbotten	Varje faktor graderas i 3 klasser m.h.t. inverkan på skredrisk. Skredriskbedömningen baseras på antalet förekommande faktorer.	Flygbildstolkning	5-10 faktorer innebär stor risk. <5 faktorer innebär liten risk.

	METOD	FAKTORER	KRITERIER	MEDEL	PROGNOS, RESULTAT
15 a	Orfit, Spanien Stabilitets-kartor 1:1 000 000	Jordarter Bergarter Lutning Geotekniska egenskaper Klimat (årsnederbörd och max 24 tim regn) Befintliga skred (inkl. pågående)	Skreds storlek och hastighet	Befintliga kartor och borrningar	1. Stabilt 2. Potentiellt instab. 3. Tillfälliga eller lokala rörelser 4. Ofta förekommande med bergränsade rörelser 5. Allmänt förekommande ytliga rörelser 6. Allmänt förekommande djupgående rörelser Risk för bebyggelse: I Ingen - liten II Liten - medel
b	1: 100 000	Baseras på ovannämnda kartor. Spec. geotekniska egenskaper.	Uppdelning i geokinetiska klasser m.h.a. klimatiska och strukturella förhållanden. Geokinetisk klass "en del av en formation med speciell berg/jordart, morfologi och geotekniska egenskaper i en given klimatisk miljö vari uppstår en viss typ eller vissa typer av skred".	Prel. fältrek. (200 km^2/dag) Flygbildstolkning (1:33 000) Detaljerad fältrek. (30 km^2/dag)	9 geokinetiska klasser

Skredkarta över Göta älvs dalgång.
Skreden karterade med flygbildstolkning.
Jordarter och berg från "Jordartskarta över Göta älvs dalgång", SGU Ser Ba Nr 20.

Teckenförklaring

87 skrednummer

skredärr

 lerkam

berg

morän

isälvsavlagring

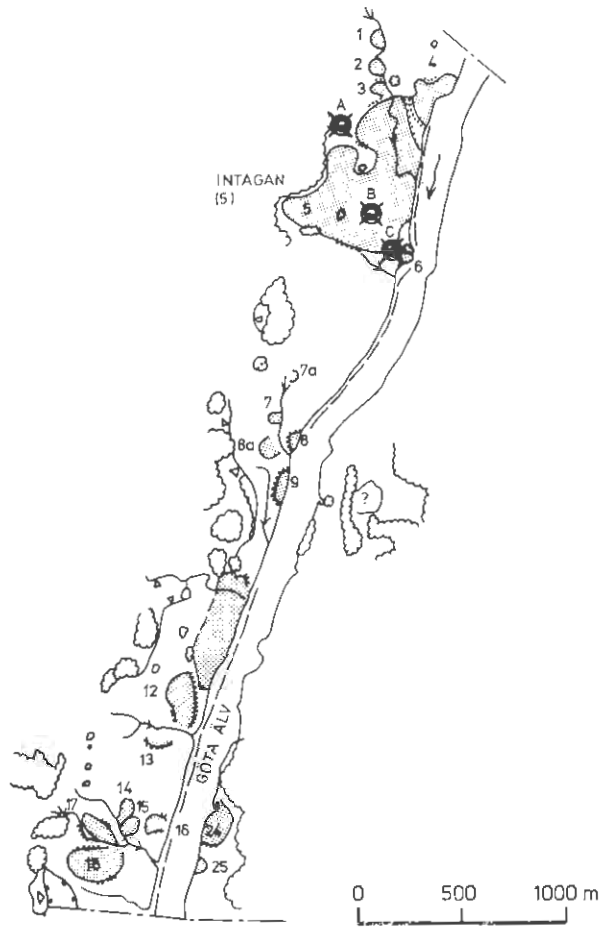
svallsand, -grus

strandlinje för Göta älv

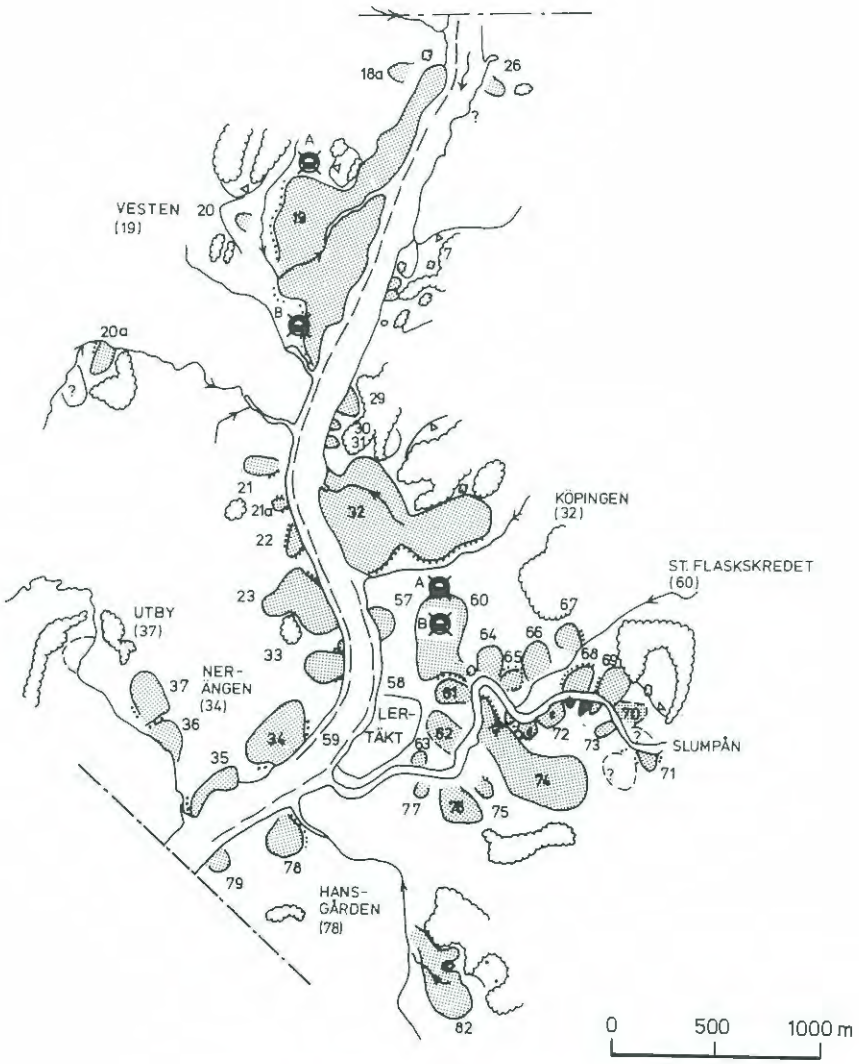
förekomst av kvicklera (streckad linje) } till höger om älven

artesiskt grundvatten (fylld punkt) } till höger om älven

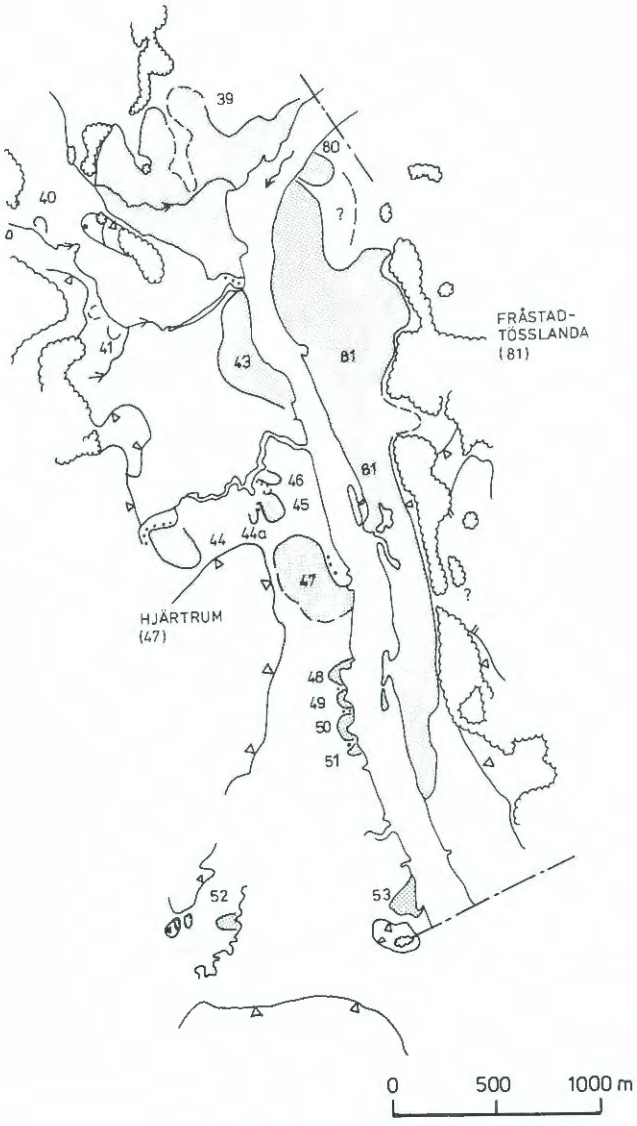
? tveksamt skredärr



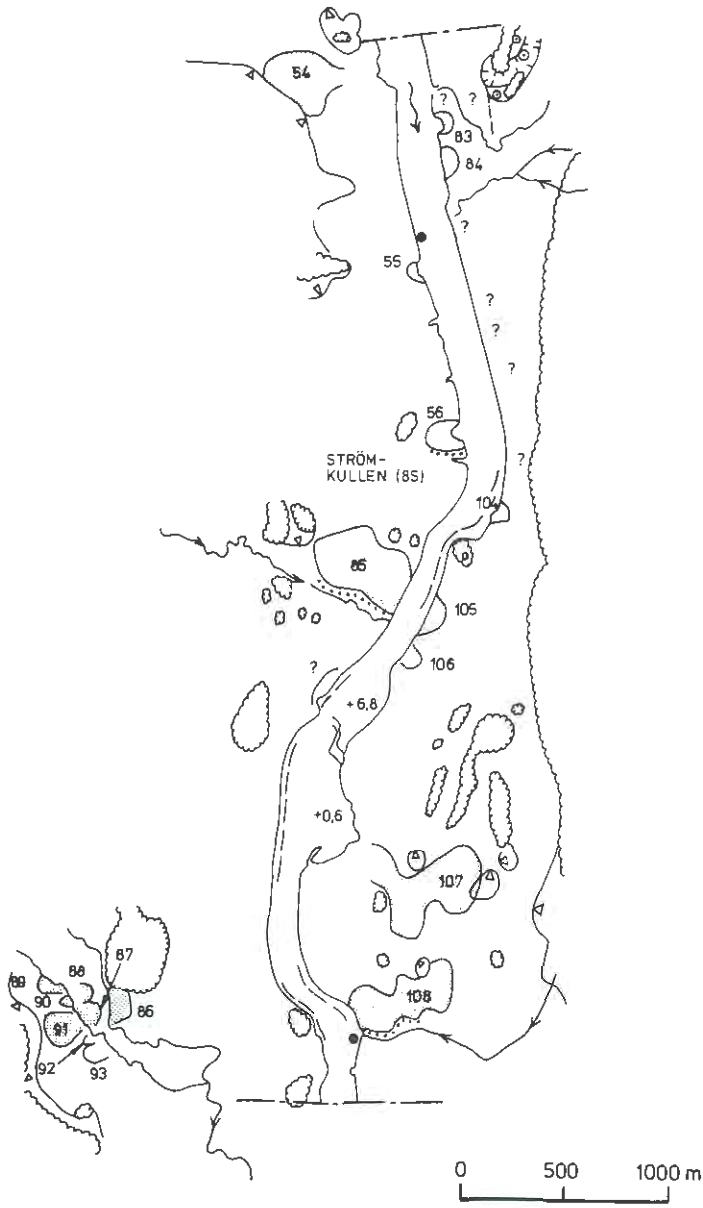
Godkänd ur sekretessynpunkt.
Statens lantmäteriverk 1982-02-22.



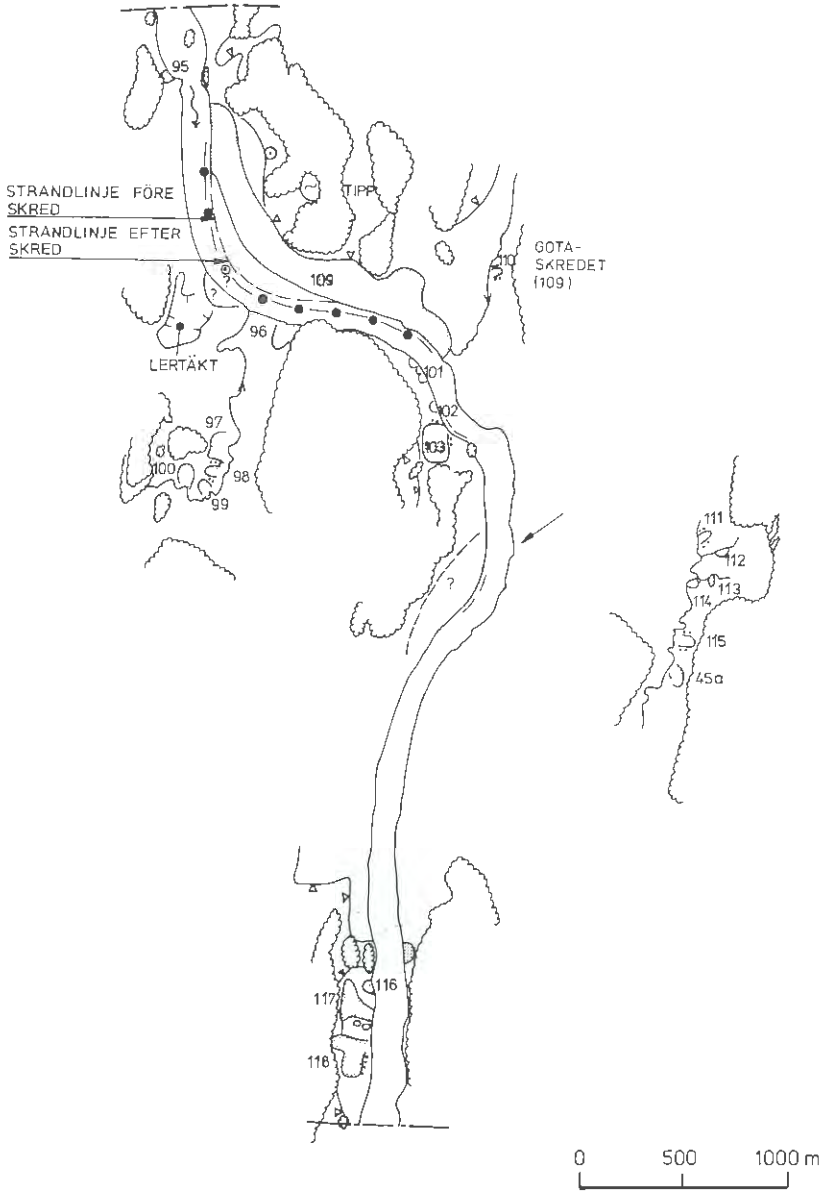
Godkänd ur sekretessynpunkt.
Statens lantmäteriverk 1982-02-22.



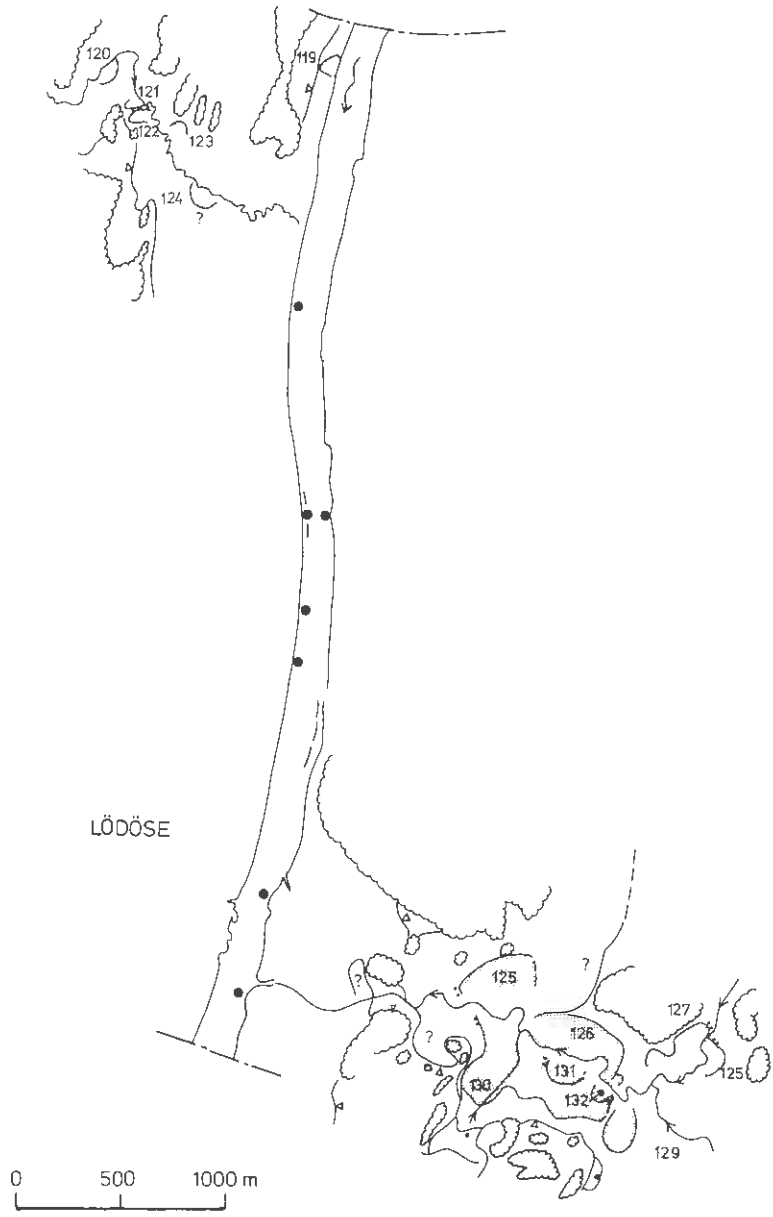
Godkänd ur sekretessynpunkt.
Statens lantmäteriverk 1982-02-22.



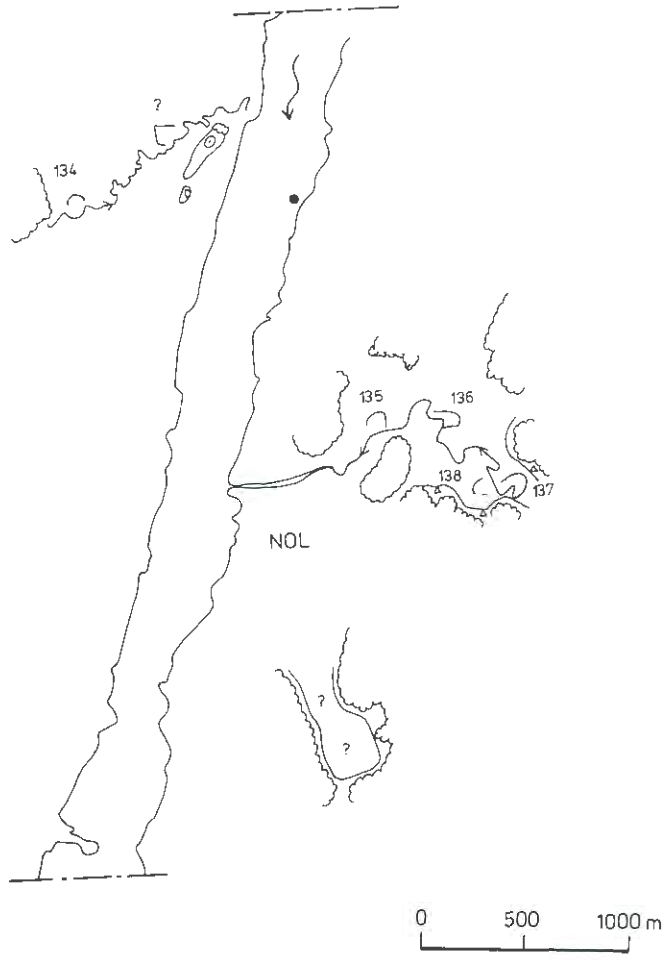
Godkänd ur sekretessynpunkt.
Statens lantmäteriverk 1982-02-22.



Godkänd ur sekretessynpunkt.
Statens lantmäteriverk 1982-02-22.

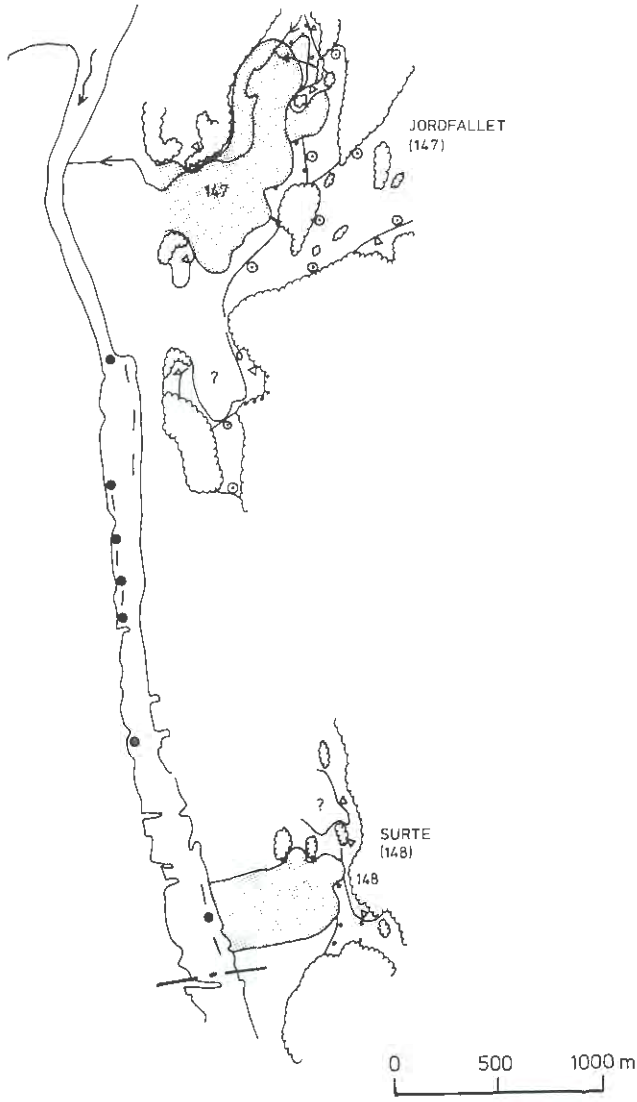


Godkänd ur sekretessynpunkt.
Statens lantmäteriverk 1982-02-22.

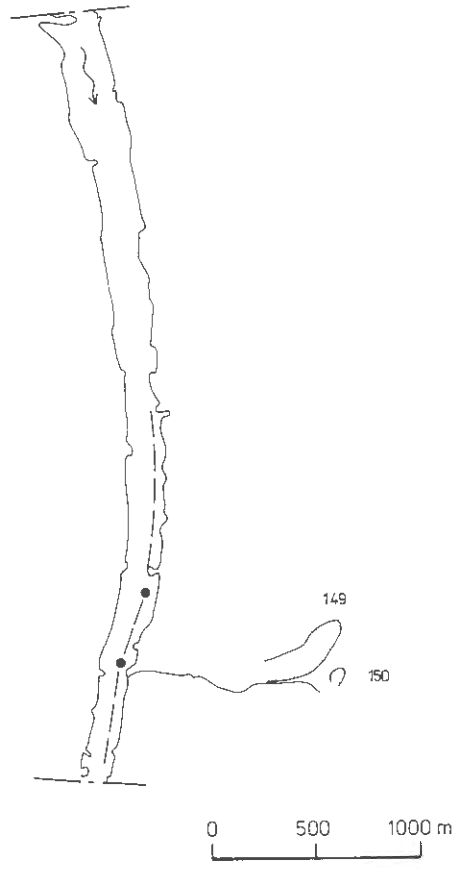


Godkänd ur sekretessynpunkt.
Statens lantmäteriverk 1982-02-22.

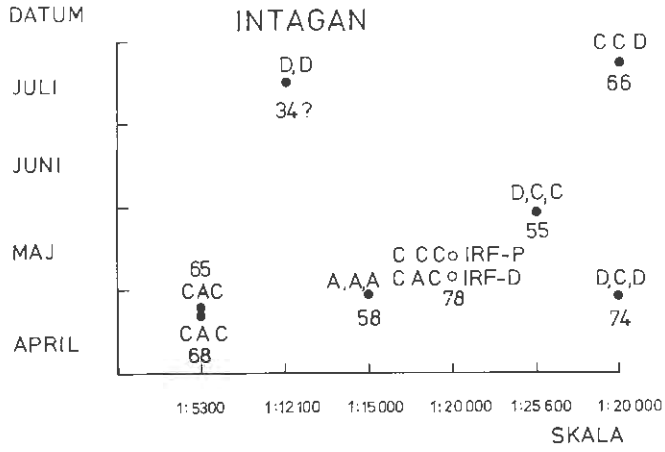
Godkänd ur sekretessynpunkt.
Statens lantmäteriverk 1982-02-22.

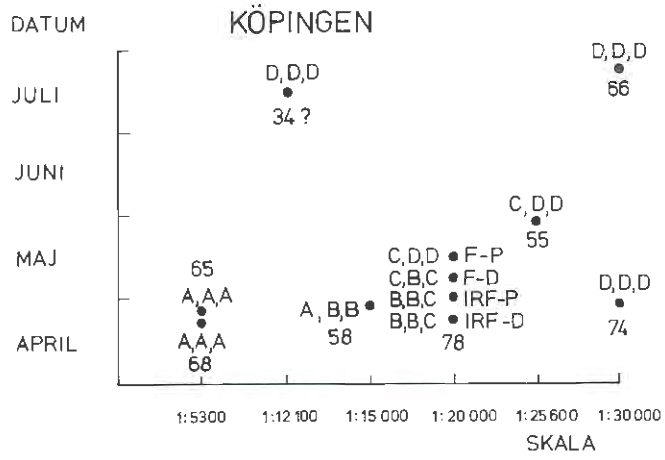


Godkänd ur sekretessynpunkt.
Statens lantmäteriverk 1982-02-22.

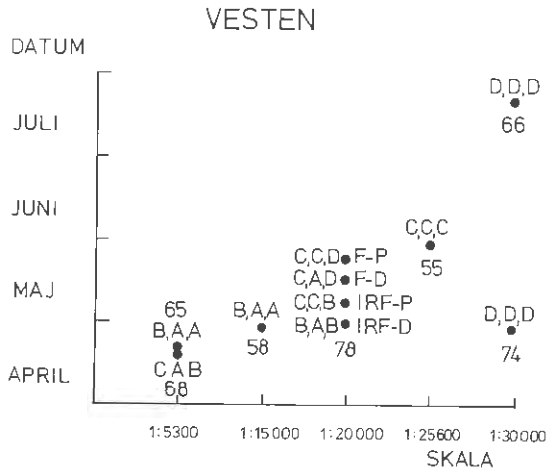


Godkänd ur sekretessynpunkt.
Statens lantmäteriverk 1982-02-22.

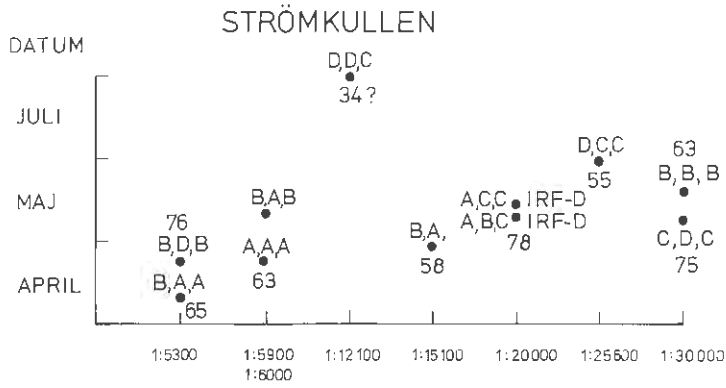


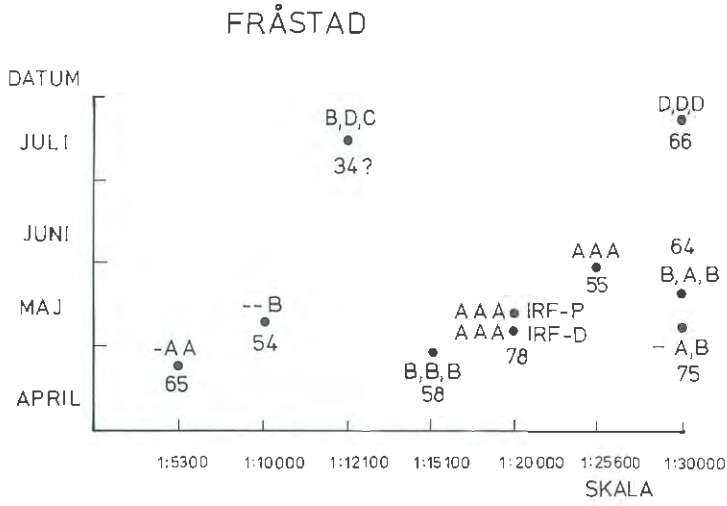


Flygbildskvaliténs beroende av geografiskt läge. Intagan och Köpingen. Bokstäverna betecknar kvalitetsklass för respektive kontrast, stereoeffekt och fuktighet, se s. 76-77.

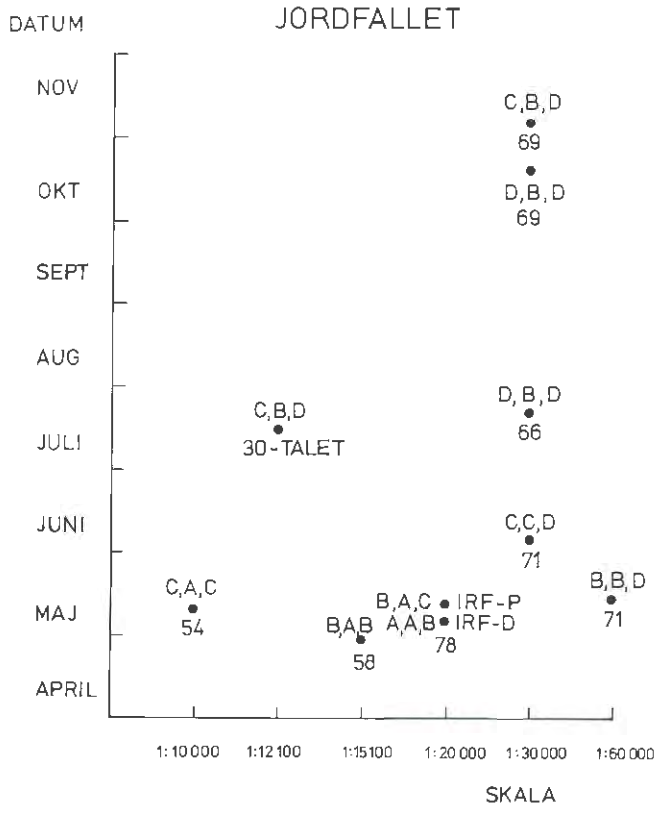


Flygbildskvaliténs beroende av geografiskt läge. Vesten.

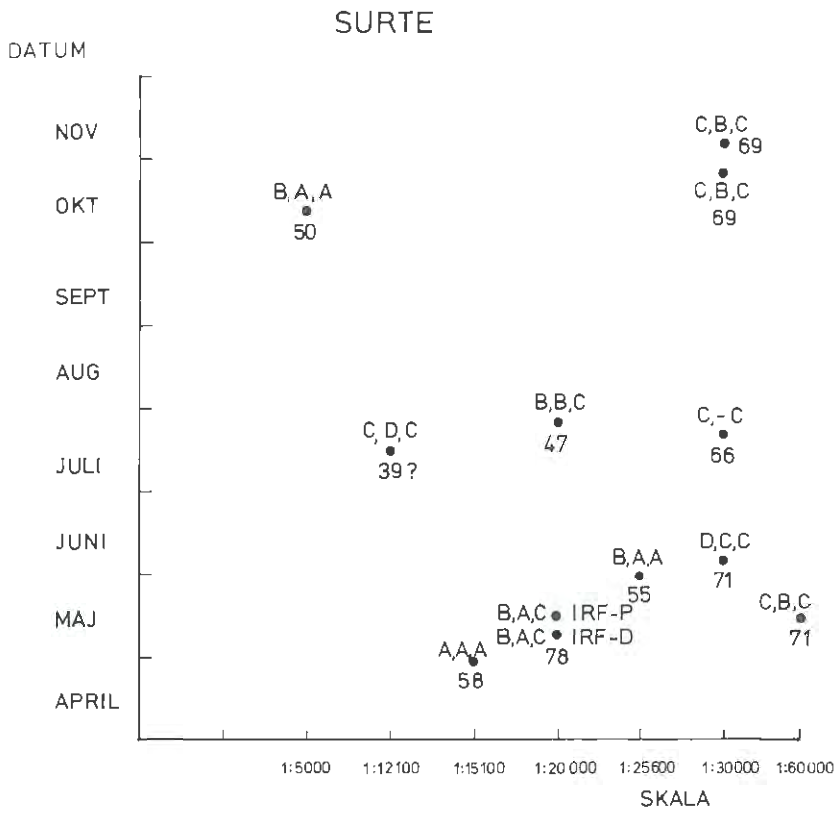




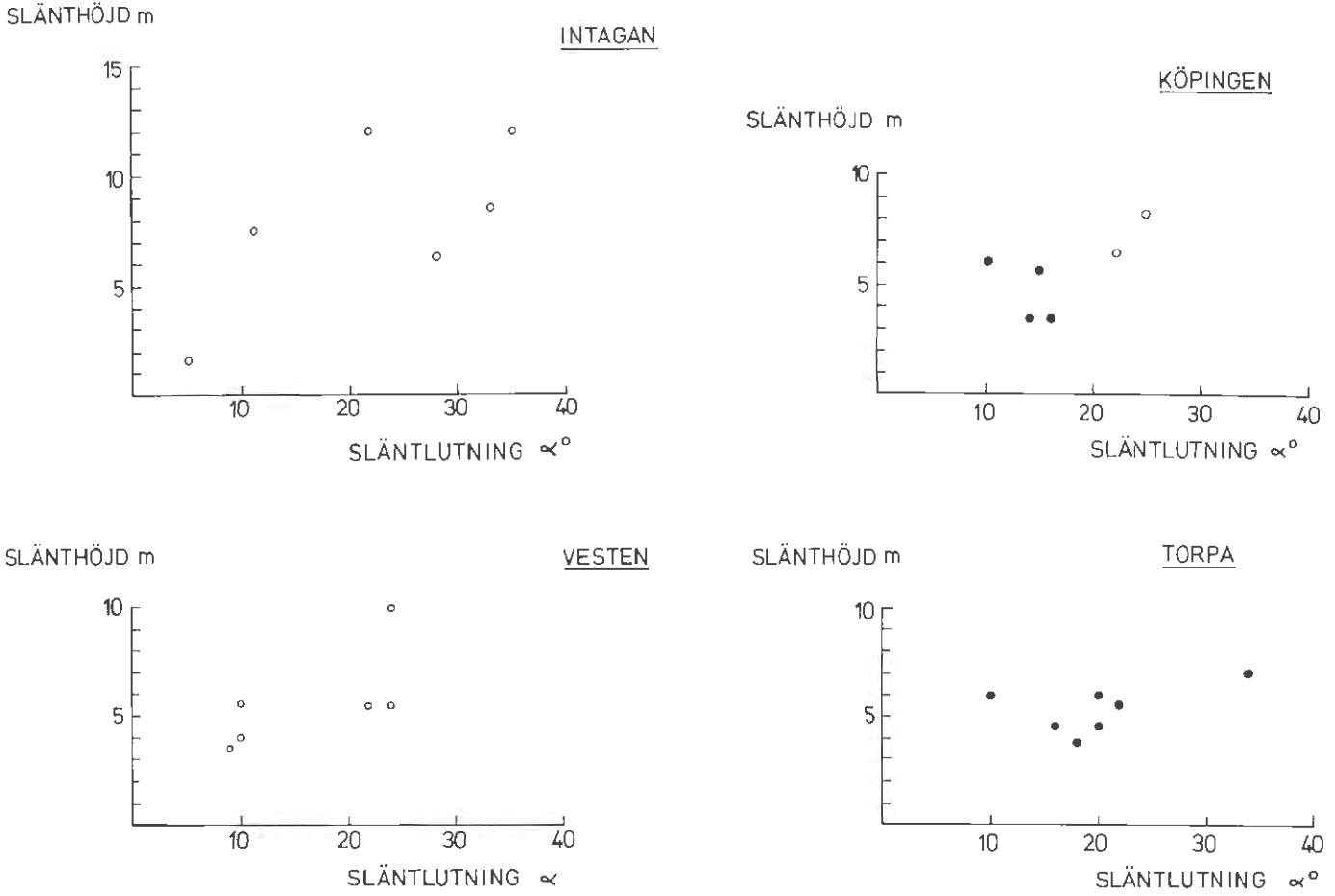
Flygbildskvaliténs beroende av geografiskt läge. Strömkullen och Fröstad.



Flygbildskvaliténs beroende av geografiskt läge. Jordfallet.

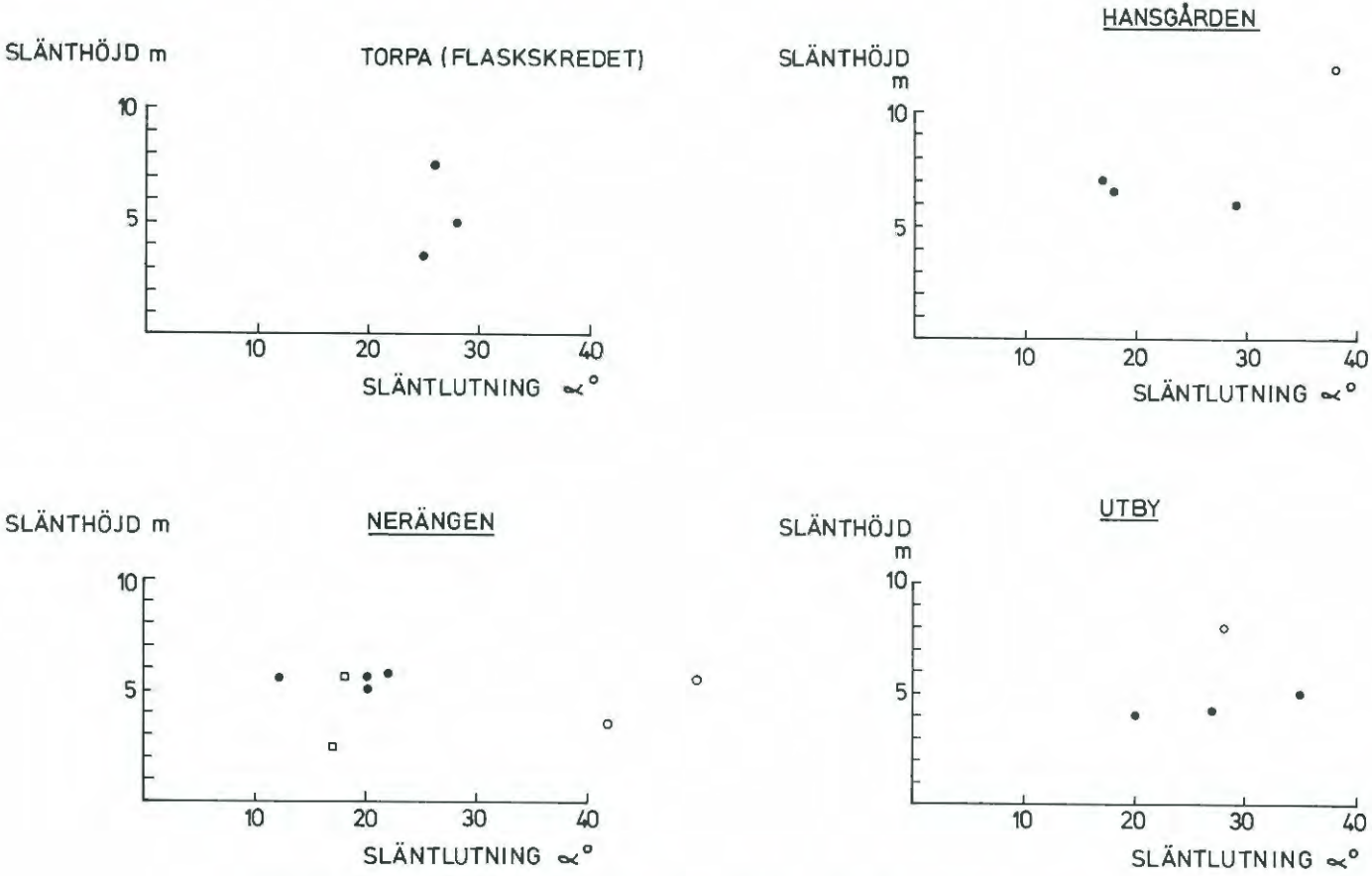


Flygbildskvaliténs beroende av geografiskt läge. Surte.

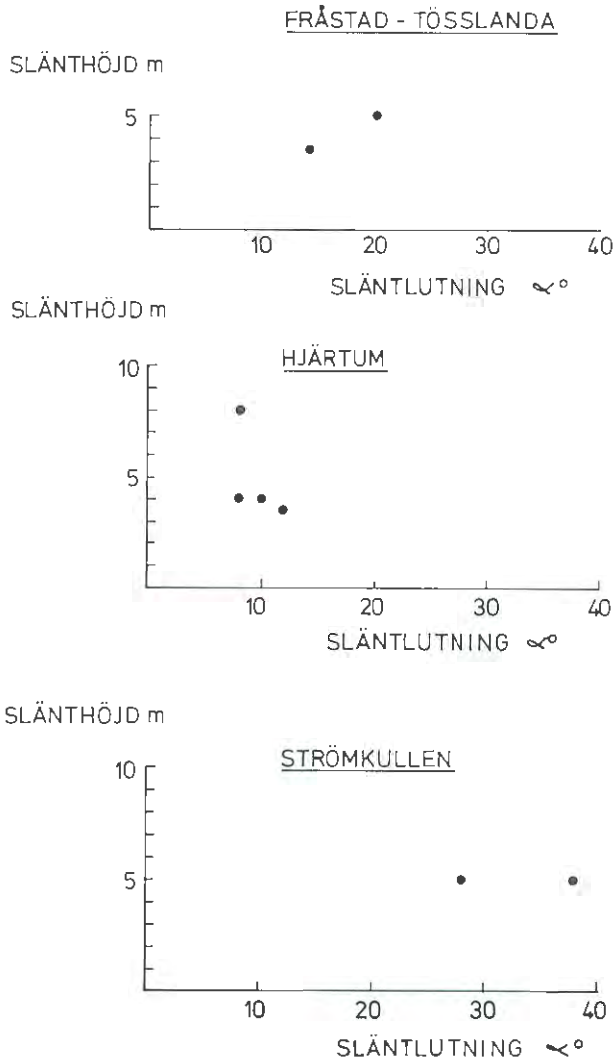


Slänthöjd och -lutning. Skreden vid Intagan, Vesten, Köpingen och Torpa. Ravinsläntt (o), skredsläntt (•).

BILAGA 4:1



Slänthöjd och -lutning. Skreden Stora flaskskredet (Torpa), Hansgården, Nerängen och Utby.



Slänthöjd och -lutning. Skreden vid Fråstad-Tösslanda, Hjärtum och Strömkullen.

BILAGA 5 Översiktlig kartering av vegetationstyper i skredärr.

	SKRED	VEGETATION	FREKVENS	BELÄGENHET	FUKTIGHET
x	Surte (nr 148)	Brännässla	Heltäckande	Skredslänt, mitt på	Frisk, odlad mark, lundar. Fet kväverik jord.
x		Hundkex	Heltäckande	Skredslänt, mitt på	Frisk?, ängsmark
-		Sälg	Utspridda partier	Skredbotten, slänt	Våt
		Björk	Utspridda partier	Skredslänt	Torr, stenig mark
		Rönn	Sammanhängande partier	Skredslänt, mitt på	Torr, stenig mark
		Fräkenväxter	Utspridda partier	Skredbotten	Våt
		Älgört	Utspridda partier	Skredbotten	Våt
		Vass	Sammanhängande partier	Skredbotten (slänt-fot)	Våt
		Hallon	Utspridda partier	Skredslänt, mitt på	Torr, steniga ställen, hyggen
		Hassel	Enstaka exemplar	Skredbotten	Frisk, lundar och löv-ängar
		Lärk	Enstaka exemplar	Skredbotten	Torr?, allmänt odlad, ofta självsådd

x = "Friska" växter på skredslänt eller krön

- = "Våta" växter på skredslänt eller krön

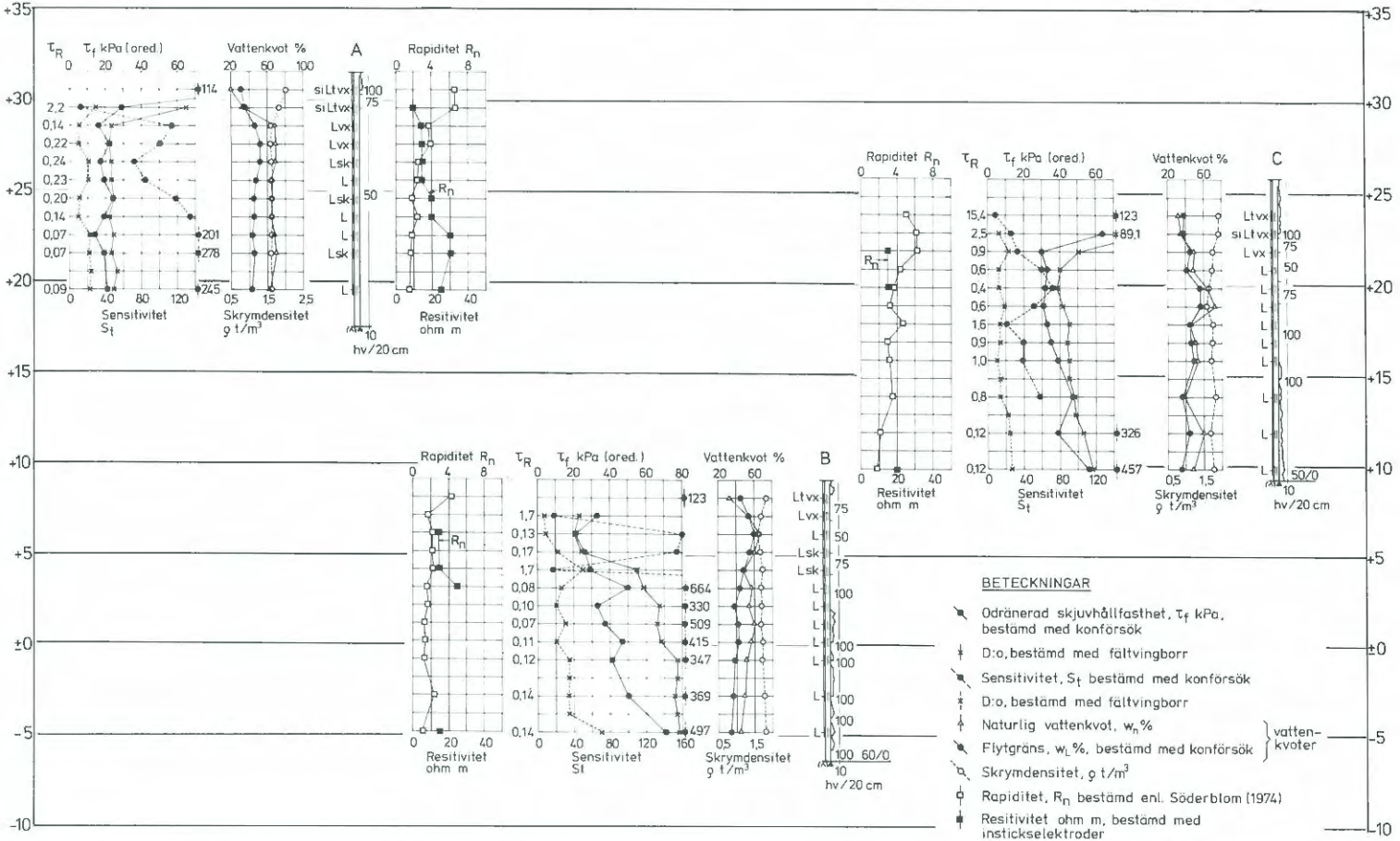
SKRED	VEGETATION	FREKVENS	BELÄGENHET	FUKTIGHET
Strömkullen (nr 85)	Nypon	Utspridda partier	Skredslänt, mitt på	Torr, skogsbryn, snår
	Sälg	Utspridda partier	Skredslänt, mitt på	Våt
	Vildapel	Enstaka exemplar	Skredslänt, mitt på	Frisk, lövängar, hagar
	Hallon	Utspridda partier	Skredslänt, mitt på	Torr
	Älgört	Utspridda partier	Skredbotten	Våt
	Starrväxter	Utspridda partier	Skredbotten	Våt
	Björnbär	Sammanhängande stråk	Skredbotten	Torr, vid vägkanter
Bohus, Jordfallet (nr 147)	Nypon	Utspridda partier	Skredslänt, botten	Torr
	Slån	Sammanhängande partier	Skredslänt, botten	Frisk?, backar, lövängar
	Rönn	Enstaka exemplar	Skredslänt	Torr
	(Björk	Heltäckande	Skredslänt)	Torr
	Sälg	Sammanhängande stråk	Skredbotten	Våt

SKRED	VEGETATION	FREKVENS	BELÄGENHET	FUKTIGHET
Utby (nr 37)	Nypon	Utspridda partier	Skredslänt, mitt på	Torr
x	Slån	Sammanhängande partier	Skredslänt, på krön	Frisk
	Hallon	Sammanhängande partier	Skredslänt, mitt på	Torr
	Säv	Sammanhängande partier	Skredbotten	Våt
	Kärrtistel	Enstaka exemplar	Skredbotten	Våt
	Sälg	Enstaka exemplar	Skredbotten	Våt
Hansgården (nr 78)	Nypon	Utspridda partier	Skredslänt, på krön	Torr
	Uppodlat skred			
Fråstad-Tösslanda (nr 8)	Hallon	Sammanhängade partier	Skredbotten (dikesren)	Torr
	Sälg	Utspridda partier	Skredbotten (vid älven)	Våt
	Kabbeleka	Utspridda partier	Skredbotten	Våt
	Älgört	Utspridda partier	Skredbotten	Våt
	Al	Enstaka exemplar	Skredbotten	Våt

	SKRED	VEGETATION	FREKVENS	BELÄGENHET	FUKTIGHET
	St Flaskskredet (nr 60)	Vass	Sammanhängande partier	Skredbotten, nära fot	Våt
		Nypon	Utspridda partier	Skredslänt, på krön	Torr
		Hallon	Utspridda partier	Skredslänt, mitt på	Torr
x		Hundkex	Heltäckande	Skredslänt, hela	Frisk?
		Älgört	Utspridda partier	Skredslänt, nära fot	Våt
	Slumpän, lilla sländ-skredet (nr 63)	Älgört	Sammanhängande stråk	Skredbotten, nära fot	Våt
		Nypon	Sammanhängande stråk	Skredslänt	Torr
	Slumpän, sländskred Ö om riksvägen (mellan 60 och 64)	Nypon	Utspridda partier	Skredslänt, på krön	Torr
x		Hundkex	Heltäckande	Skredslänt, nära krön + mitt på	Frisk
x		Svalört	Heltäckande	Skredslänt, nära krön	Frisk, lundar, parker
		Älgört	Sammanhängande	Skredbotten + slänt mitt på	Våt
		Kabbeleka	Utspridda partier	Skredbotten, slänt nära fot	Våt
x		Smörblomma	Heltäckande	Skredslänt, nära krön	Frisk, ängar, backar

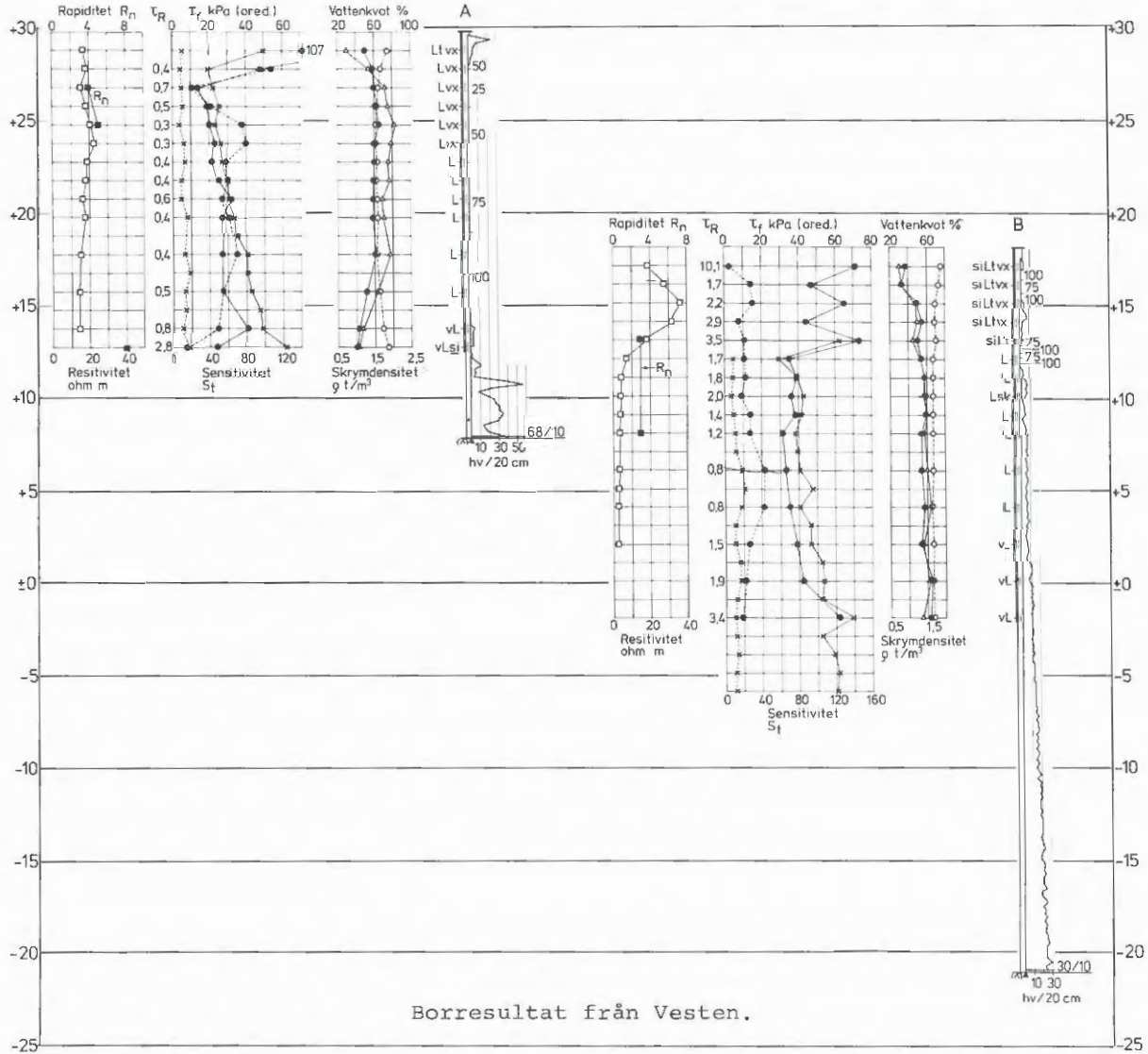
	SKRED	VEGETATION	FREKVENS	BELÄGENHET	FUKTIGHET
	Köpingen (nr 32)	Vass	Sammanhängande partier	Skredbotten	Våt
x		Slån	Sammanhängande partier	Skredslänt, på krön	Frisk
x		Hagtorn	Sammanhängande partier	Skredslänt, på krön	Frisk, lundar, backar
		Vildapel	Enstaka exemplar	Skredslänt, på krön	Frisk
		Kabbeleka	Utspridda partier	Skredbotten	Våt
		Starrväxter	Sammanhängande partier	Skredbotten	Våt
	Nerängen (nr 34)	Starrväxter	Sammanhängande partier	Skredbotten	Våt
		Kabbeleka	Utspridda partier	Skredbotten	Våt
		Kärrtistel	Utspridda partier	Skredbotten	Våt
		Havssäv	Sammanhängade partier	Skredbotten	Våt

	SKRED	VEGETATION	FREKVENS	BELÄGENHET	FUKTIGHET
	Intagan (nr 5)	Nypon	Utspridda partier	Skredslänt, mitt på	Torr
x		Slån	Sammanhängande partier	Skredslänt, mitt på	Frisk?
		Hallon	Sammanhängande partier	Skredslänt	Torr
		Älgört	Utspridda partier	Skredbotten	Våt
x		Hägg	Enstaka exemplar	Skredslänt, mitt på	Frisk, lövängar, hagar
		Al	Utspridda partier	Skredbotten	Våt
		Lövträd: lönn, ek, rönn	Sammanhängande partier	Bakom skredet	Torr
		Hundkex	Utspridda partier	Skredslänt, nära fot	Frisk?
		Vildapel	Enstaka exemplar	Skredslänt, nära fot	Frisk?
	Västen (nr 19)	Malva	Utspridda partier	Skredslänt, nära krön	Torr?, vägar, gårdar
		Starrväxter	Sammanhängande partier	Skredbotten	Våt
		Sälg	Utspridda partier	Skredbotten	Våt
		Al	Enstaka exemplar	Skredbotten	Våt
		Älgört	Utspridda partier	Skredbotten + skred-släntfot	Våt
		Nypon	Utspridda partier	Skredslänt, nära fot	Torr
x		Slån	Sammanhängande partier	Skredslänt, mitt på	Frisk?

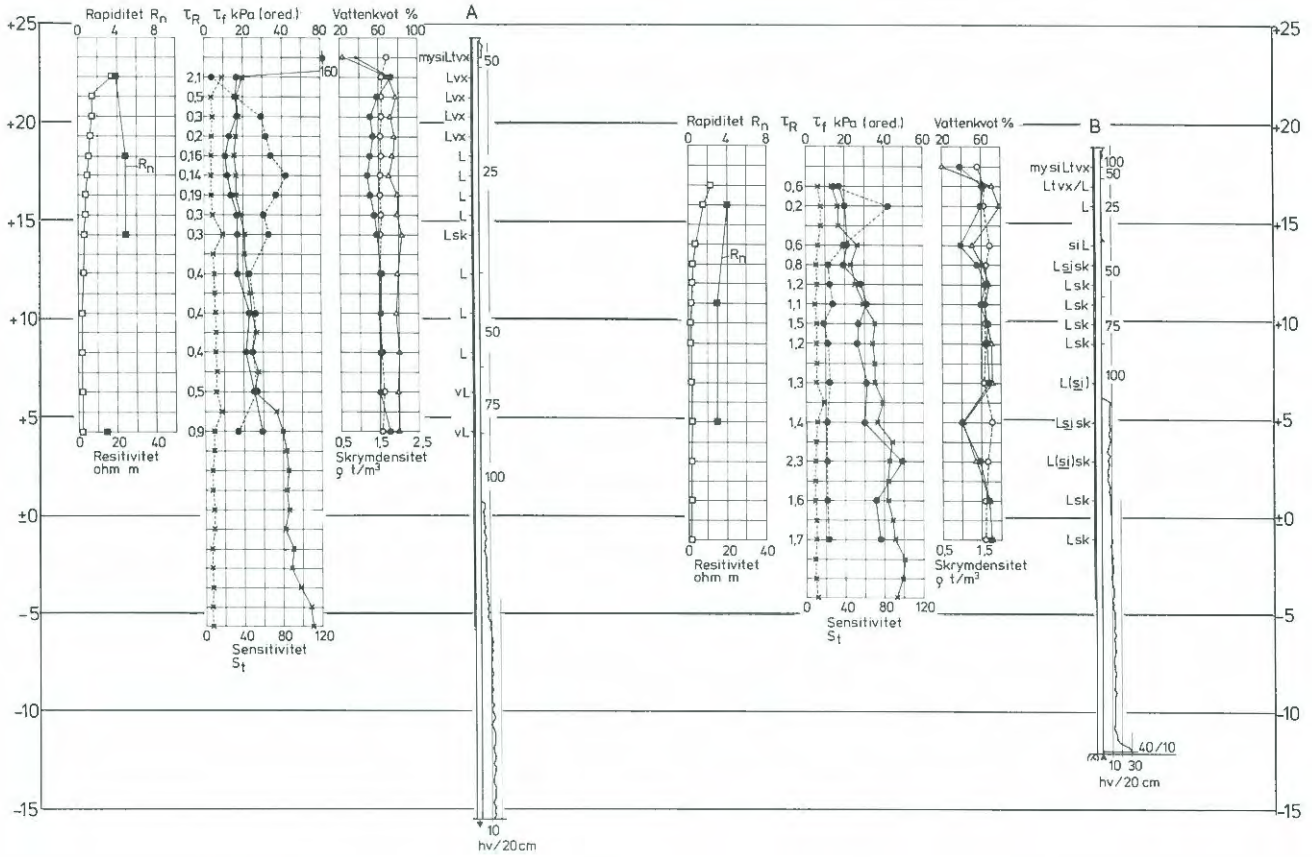


Borresultat från Intagan.

BILAGA 6:1

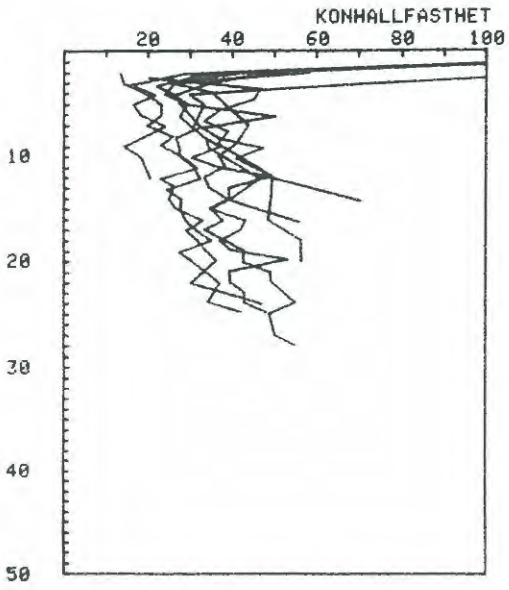


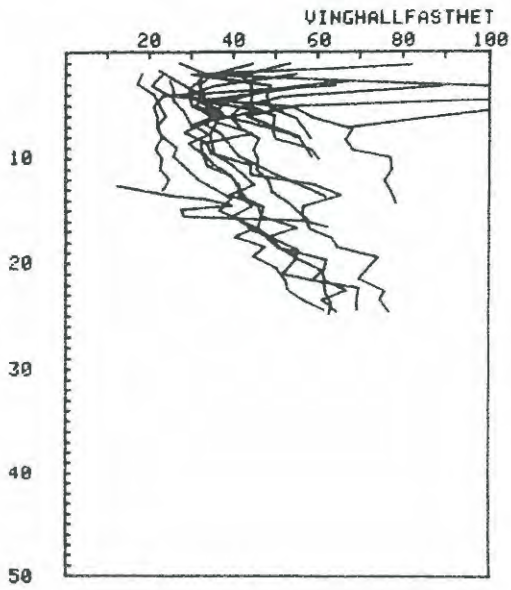
Borresultat från Vesten.

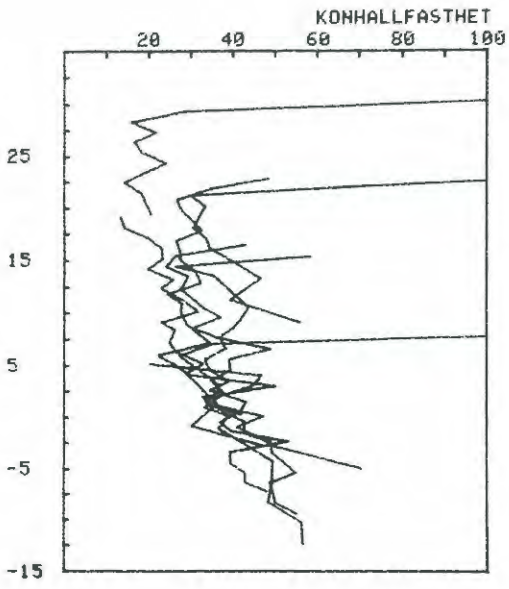


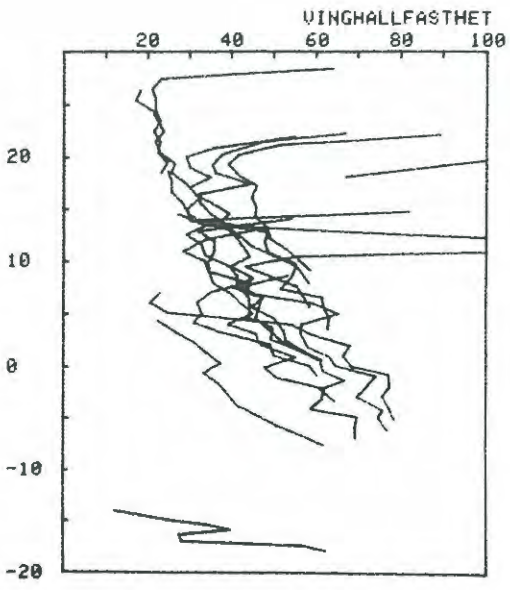
Borresultat från "Stora flaskskredet", Slumpån.

INTAGAN



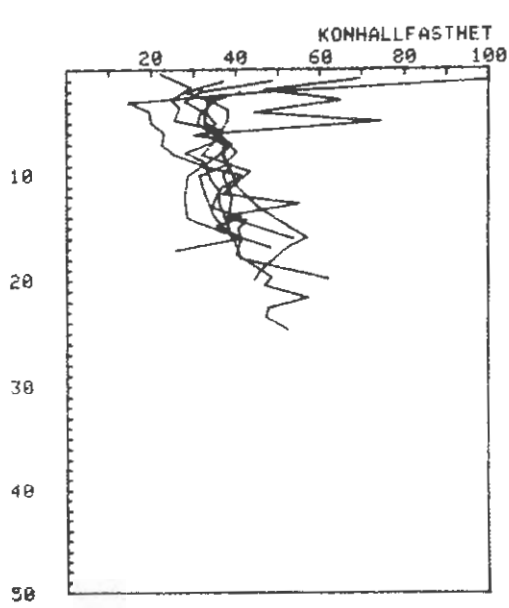


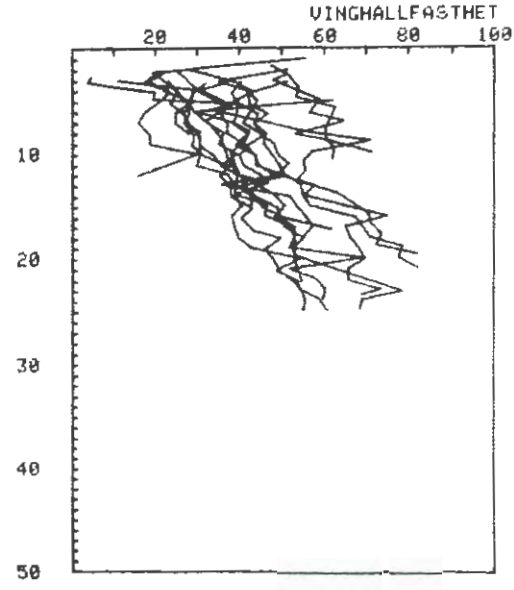


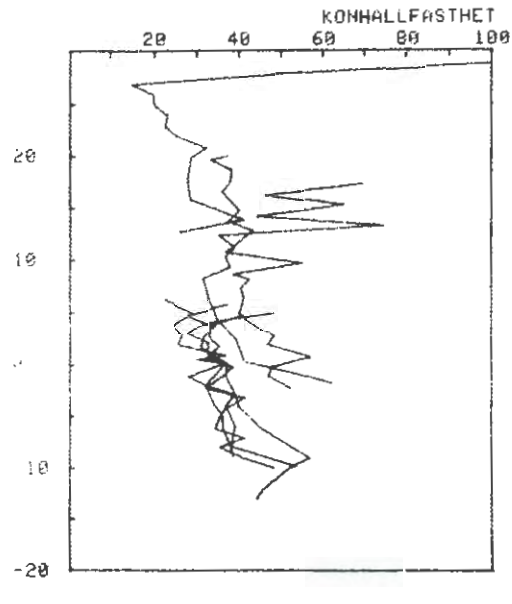


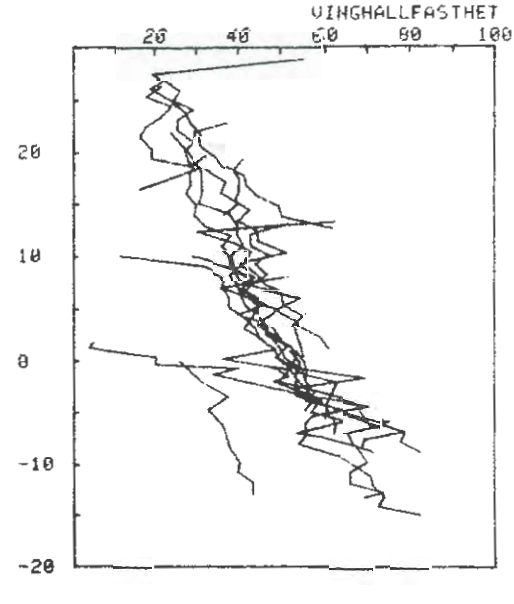
Sammanställning τ_{fu}. Intagan
Övre diagrammen (djup under markytan (m))
Undre diagrammen (nivå över havet (m))

VESTEN



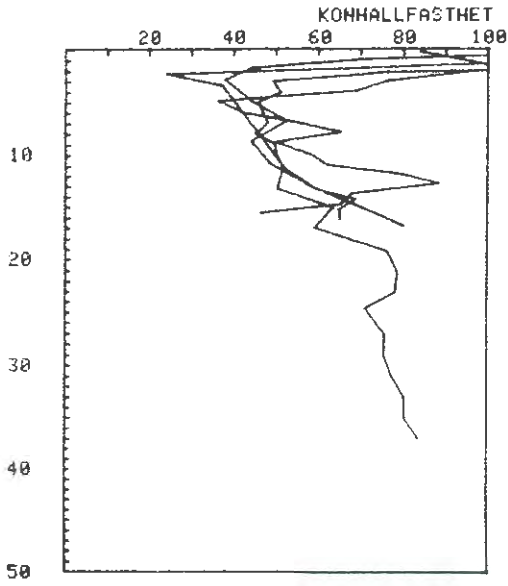


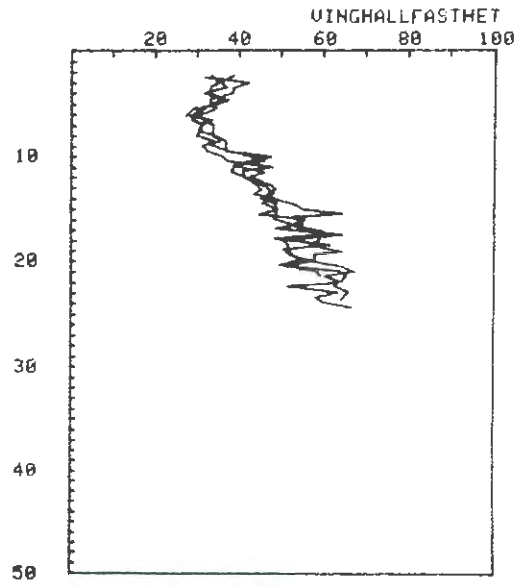


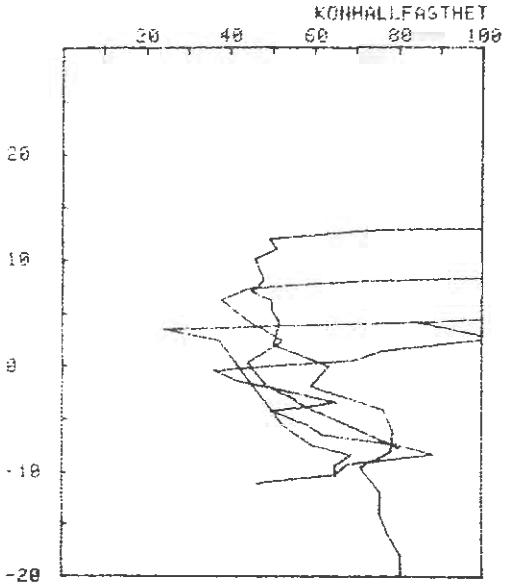


Sammanställning τ_{fu}, Vesten.

KÖPINGEN

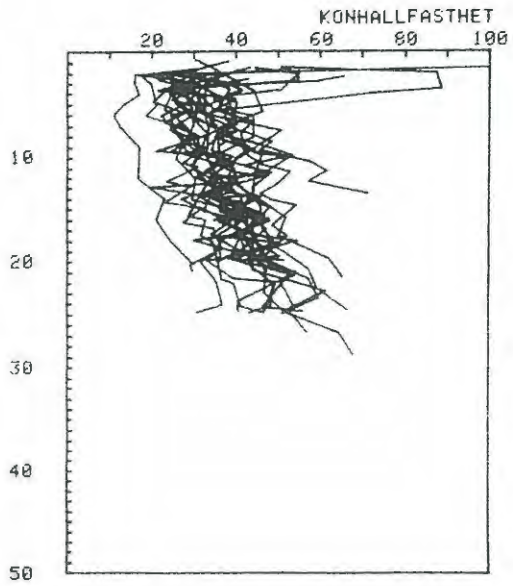


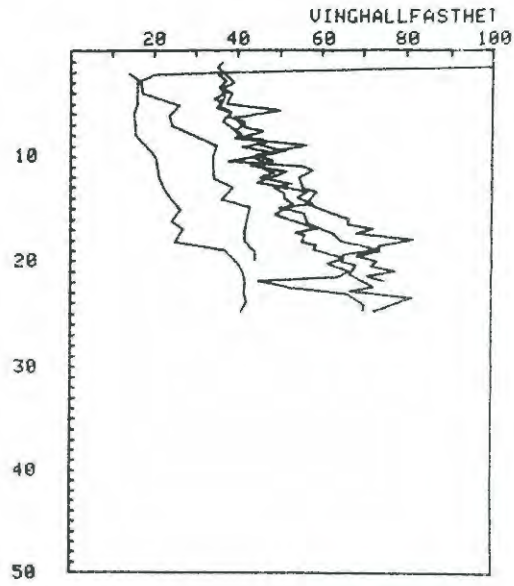


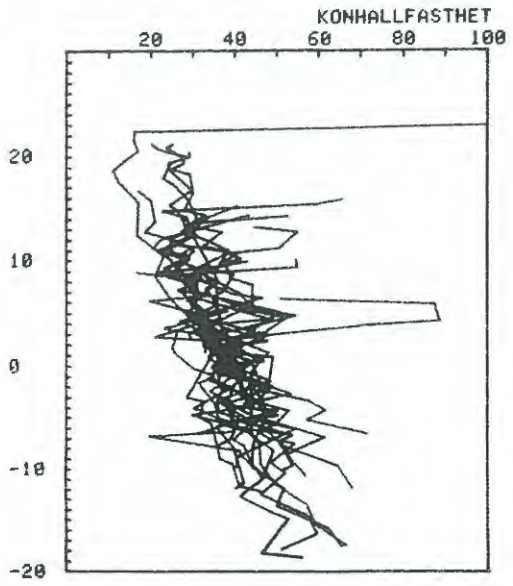


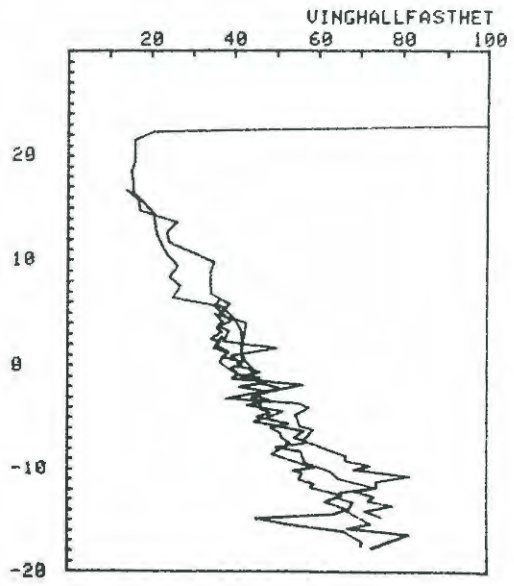
Sammanställning τ_{fu}, Köpingen.

SLUMPÅN



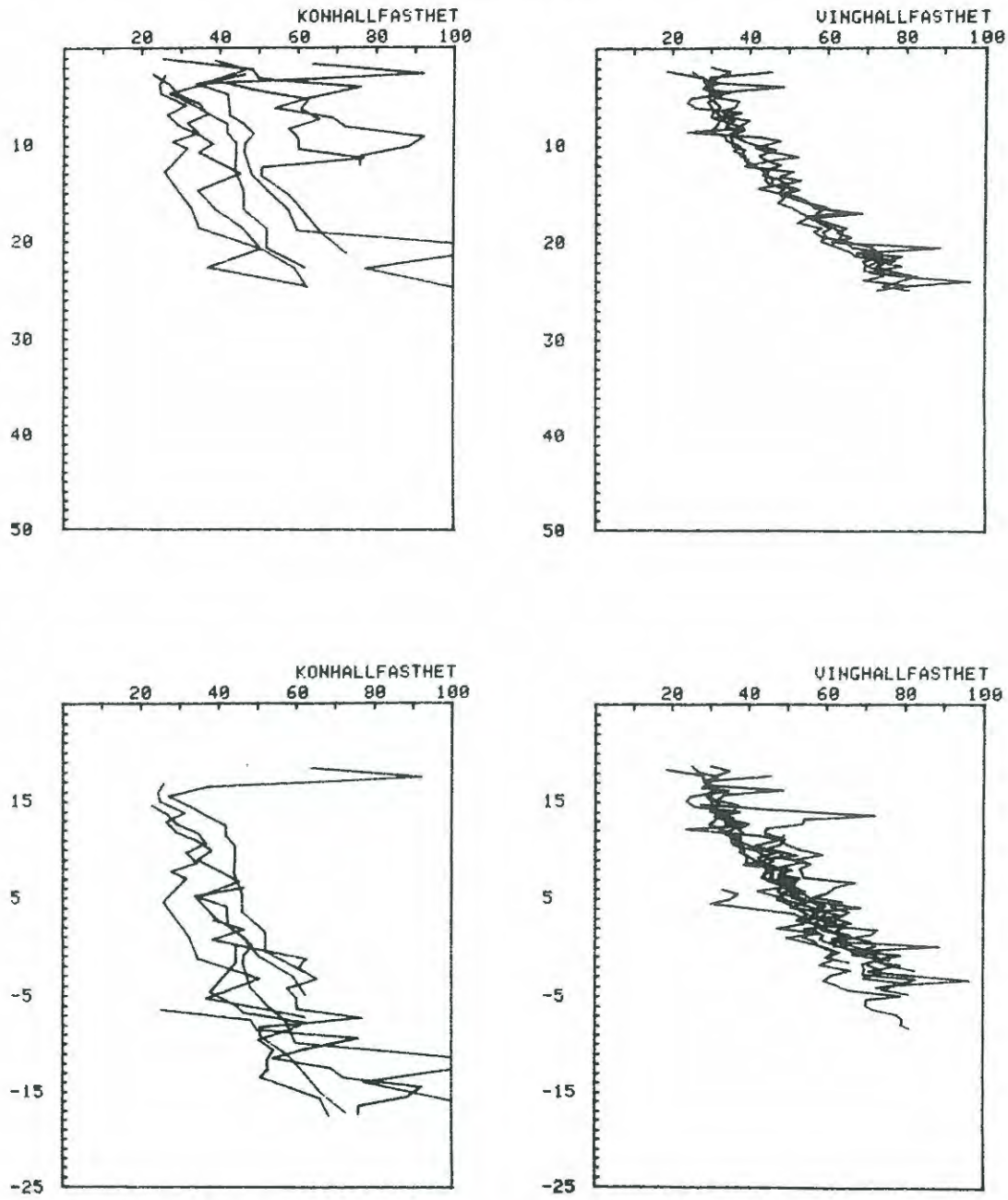






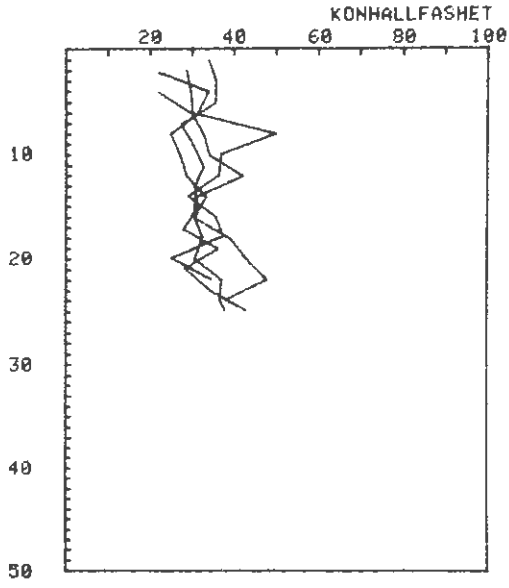
Sammanställning τ_{fu}, Slumpån.

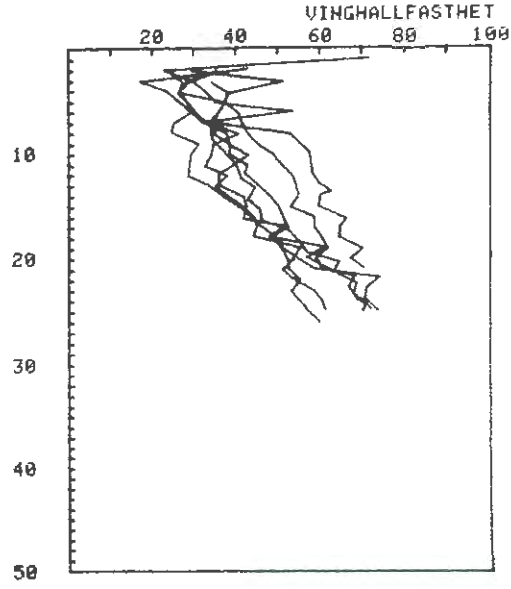
HANSGÅRDEN

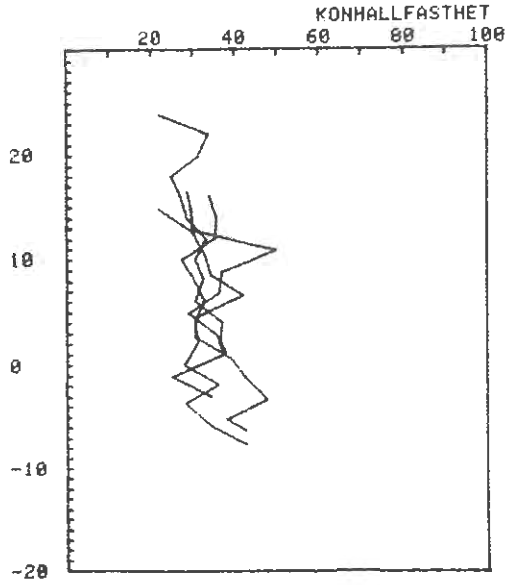


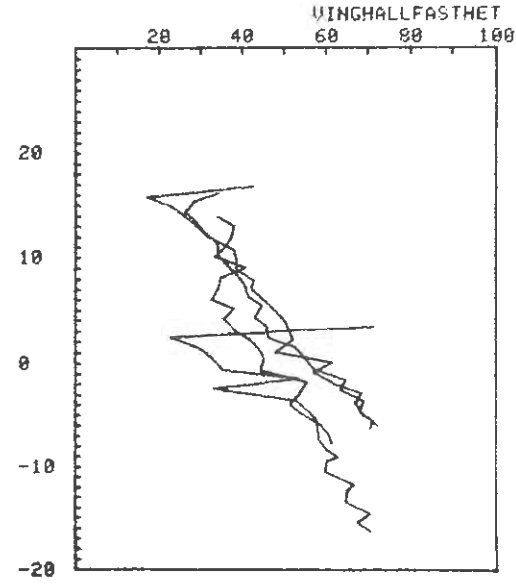
Sammanställning τ_{fu}, Hansgården.

NERÄNGEN



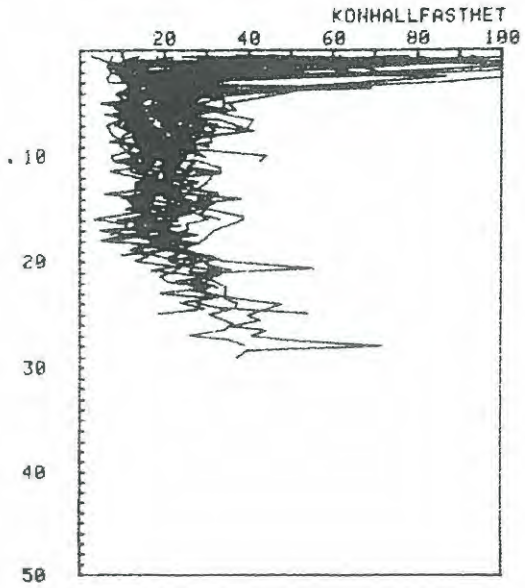


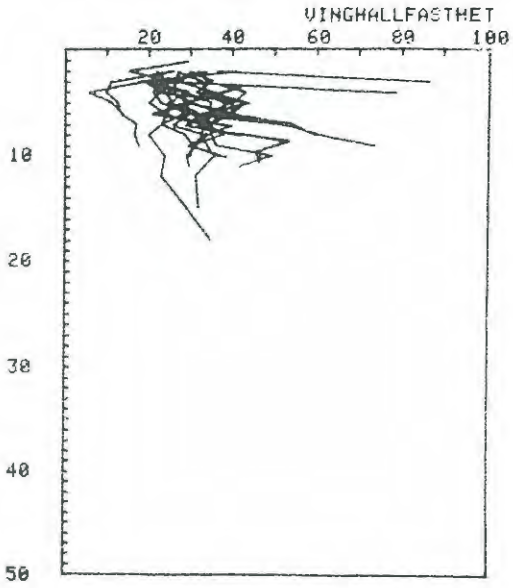


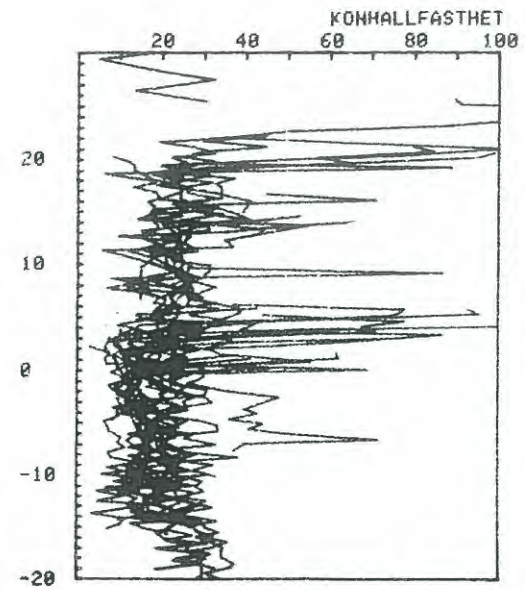


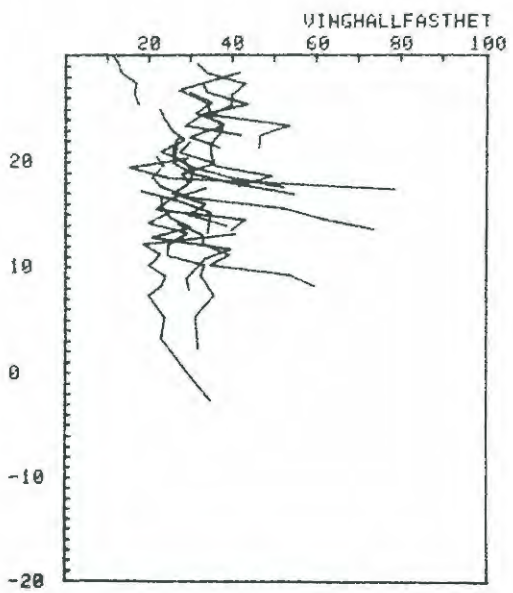
Sammanställning τ_{fu}, Nerängen.

SURTE



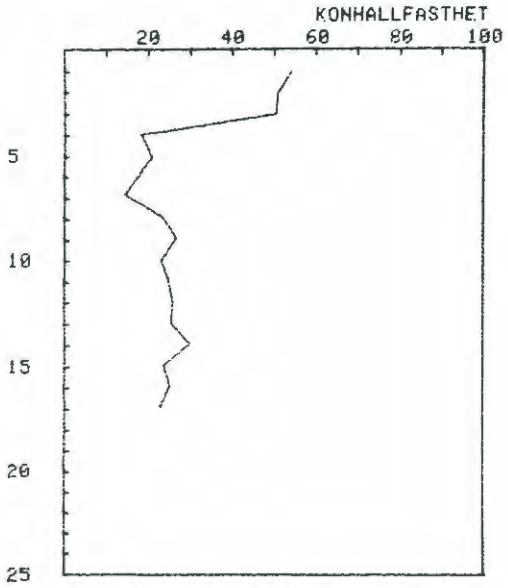


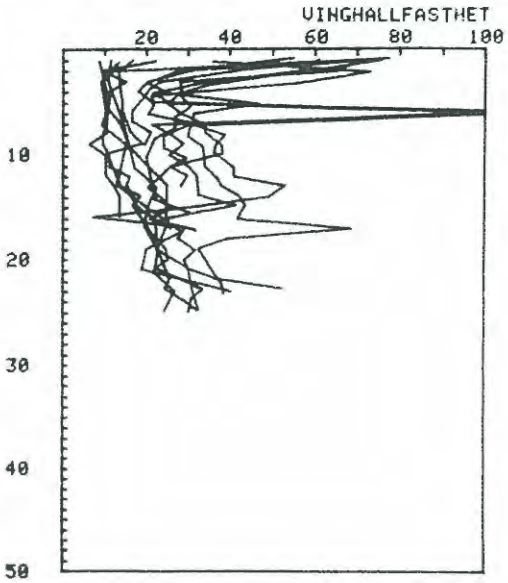


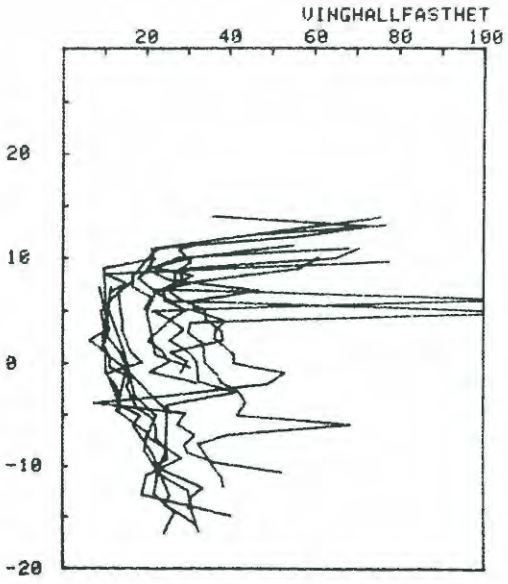


Sammanställning τ_{fu}, Surte.

ROLLSBO

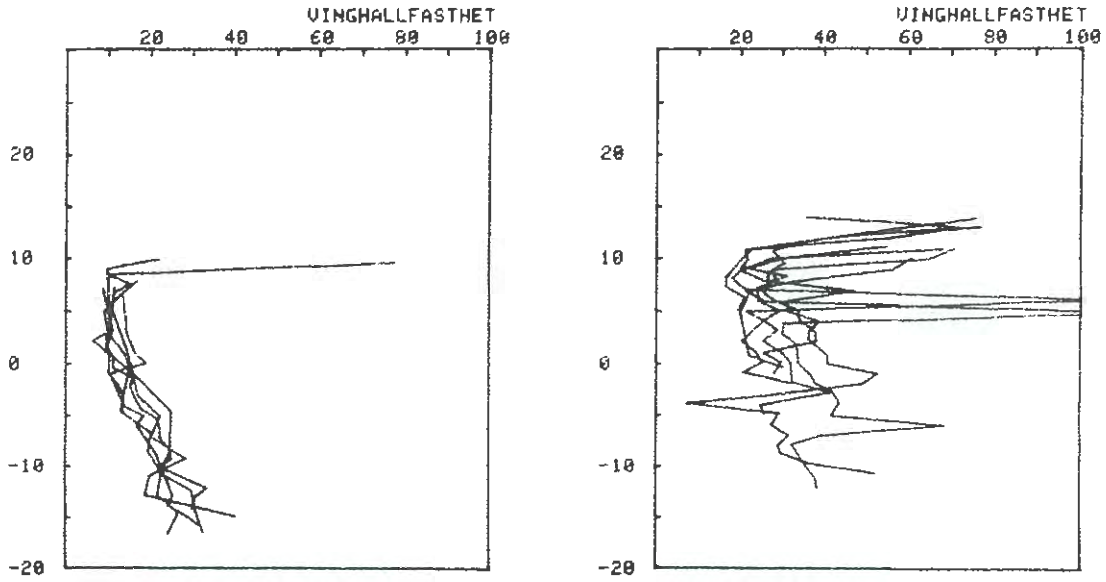






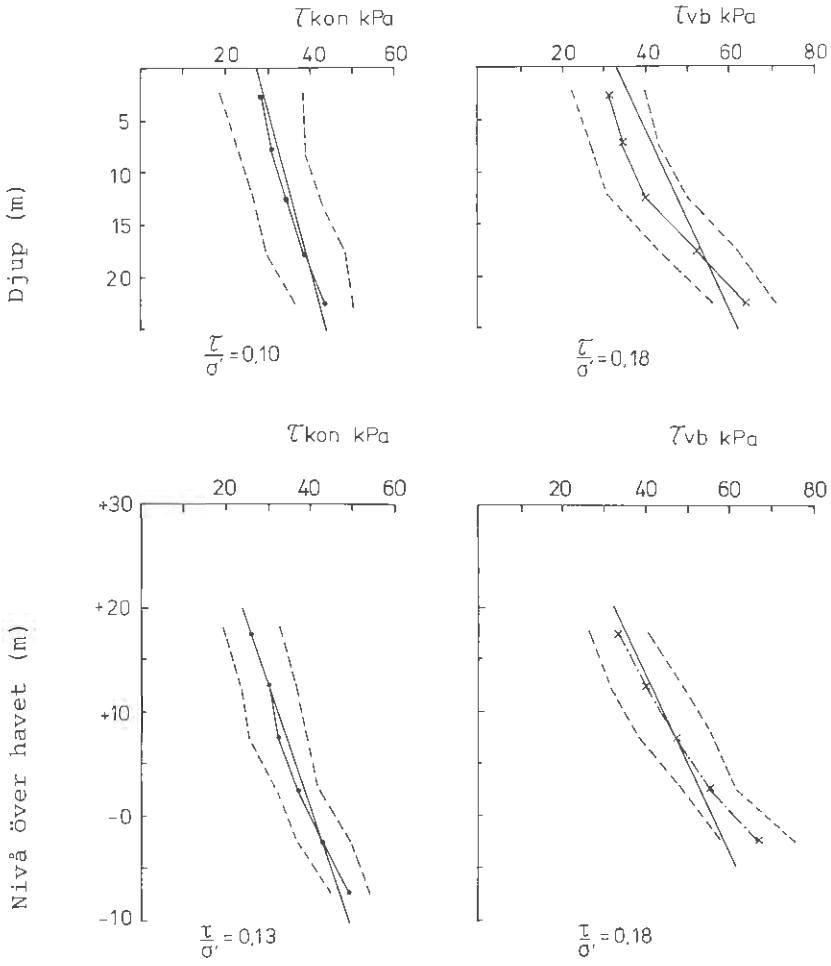
Sammanställning samtliga τ_{fu}, Rollsbo.

ROLLSBO



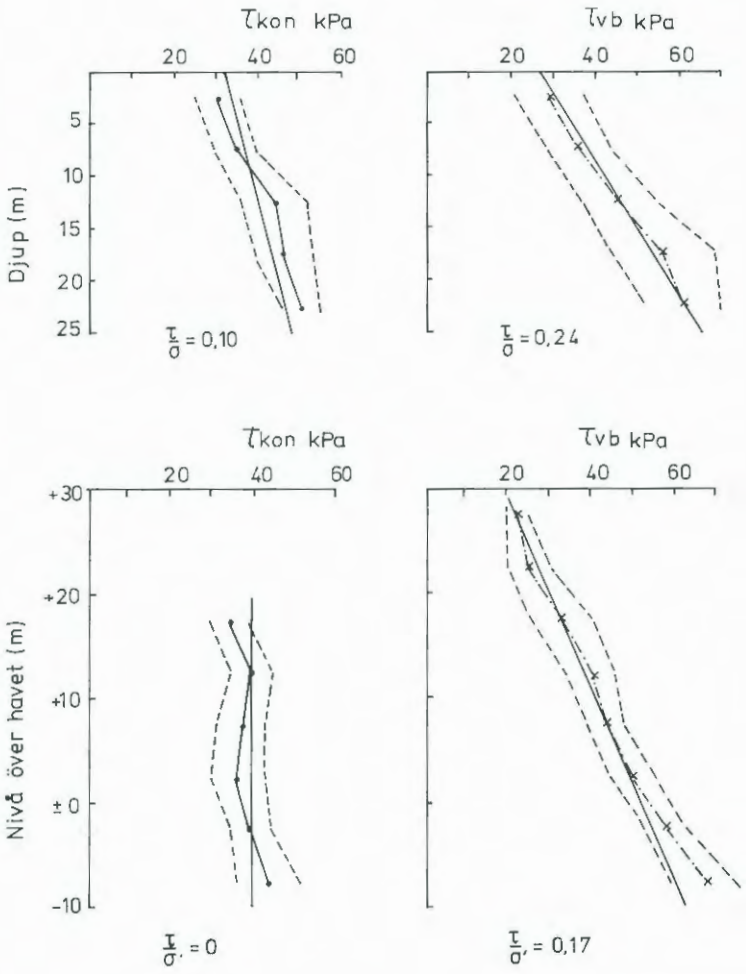
Sammanställning utvalda τ_{fu} (vingborr), Rollsbo.

INTAGAN



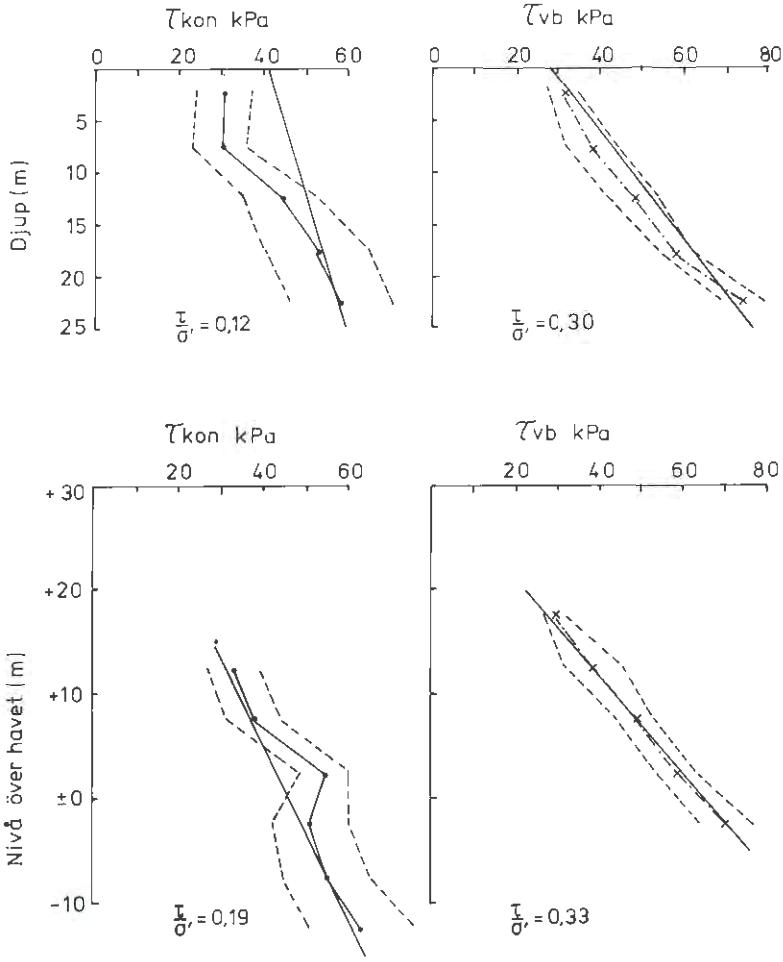
Medelvärden, standardavvikelse, regressionslinjer Intagan.

VESTEN

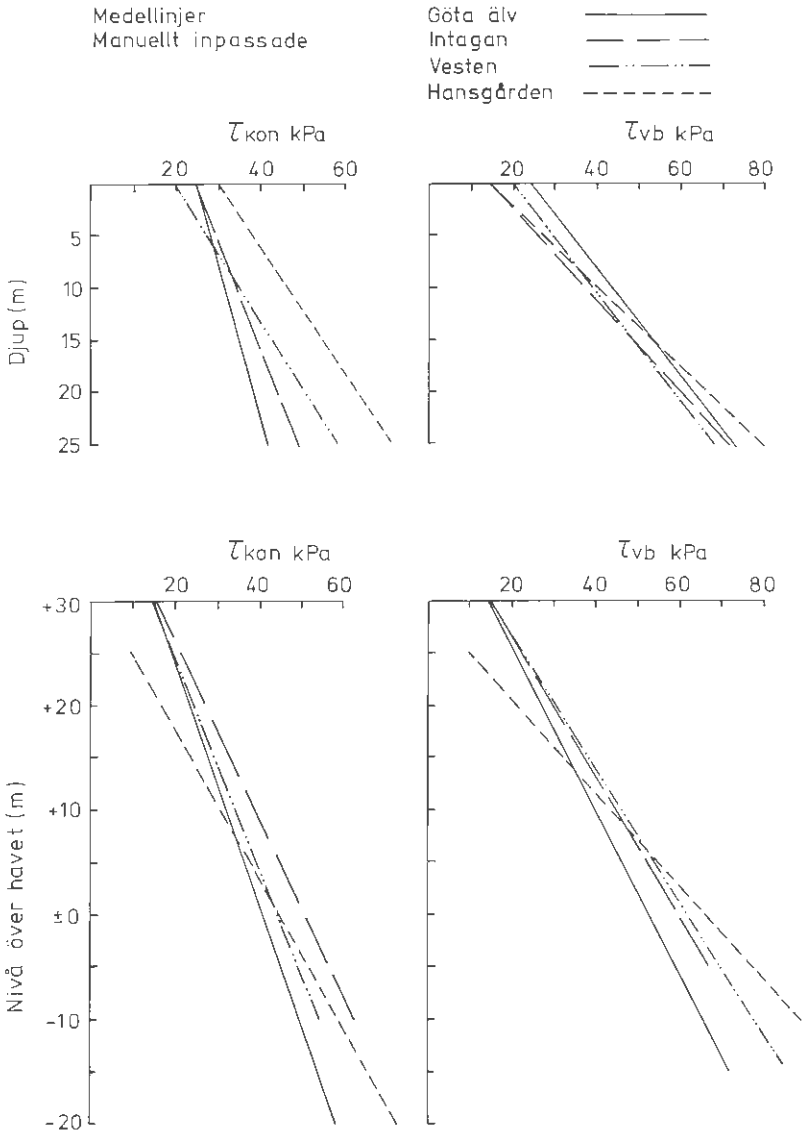


Medelvärden, standardavvikelse, regressionskurvor Vesten.

HANSGÅRDEN



Medelvärden, standardavvikelse, regressionskurvor Hansgården.



Manuellt inpassade medellinjer för Göta älv (exkl Surte), Intagan, Vesten och Hansgården.

τ/σ'

R E F E R E N S N I V Å

SKRED-PLATS	Markyta Kon	Markyta Vb	Nivå över havet Kon	Nivå över havet Vb
Intagan				
Manuell linje	0.15	0.35	0.18	0.23
Regressionslinje	0.10	0.18	0.13	0.18
Differens	0.05	0.17	0.05	0.05
Vesten				
Manuell linje	0.24	0.30	0.15	0.24
Regressionslinje	0.10	0.24	0	0.17
Differens	0.14	0.06	0.15	0.07
Hansgården				
Manuell linje	0.25	0.40	0.22	0.35
Regressionslinje	0.12	0.30	0.19	0.33
Differens	0.13	0.10	0.03	0.02
Köpingen	0.35/0.14	0.30/0.15	0.42	0.24
Slumpån	0.15	0.30	0.14	0.21
Neräng en	0.06	0.28	0.06	0.33
Strömkullen[1]	0.21	0.70	0.21	0.70
Surte[2]	0.35	0,30		
Göta älv[3]				
Manuell linje	0.10	0.30	0.13	0.19
Regressionslinje	0.09	0.25	0.12	0.18
Differens	0.01	0.05	0.01	0.01
Rollsbo	0.13[4]	0.18/0.27		

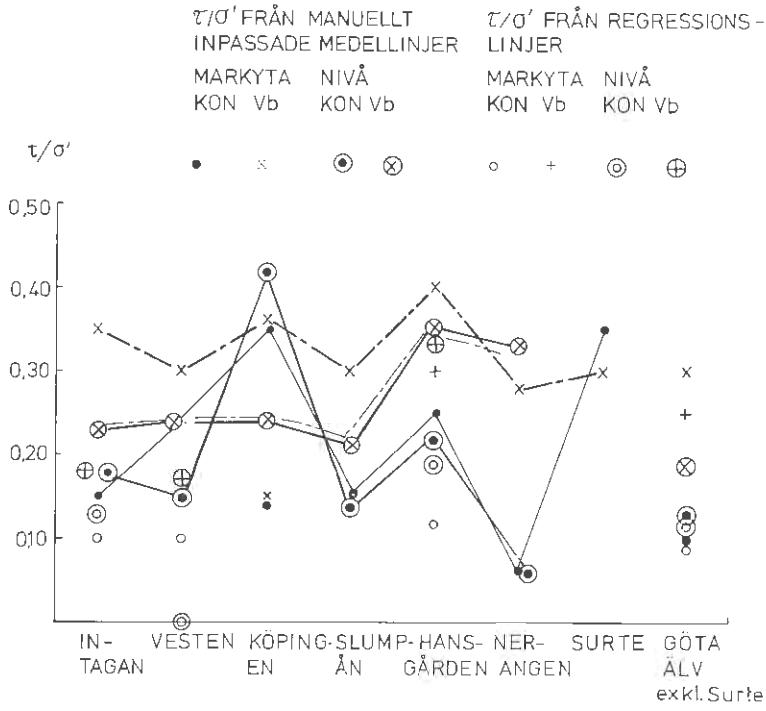
1) Endast 2 kurvor.

2) Endast djupa nivåer

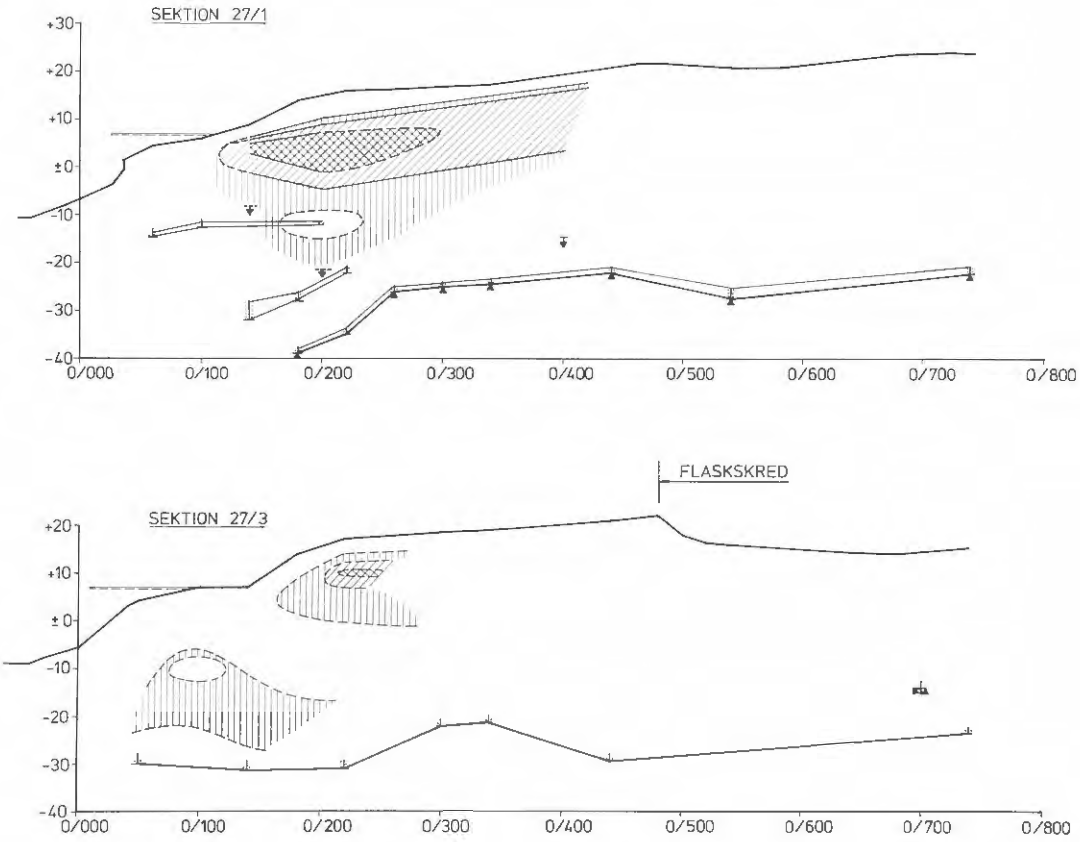
3) Exklusive Surte

4) Endast 1 kurva.

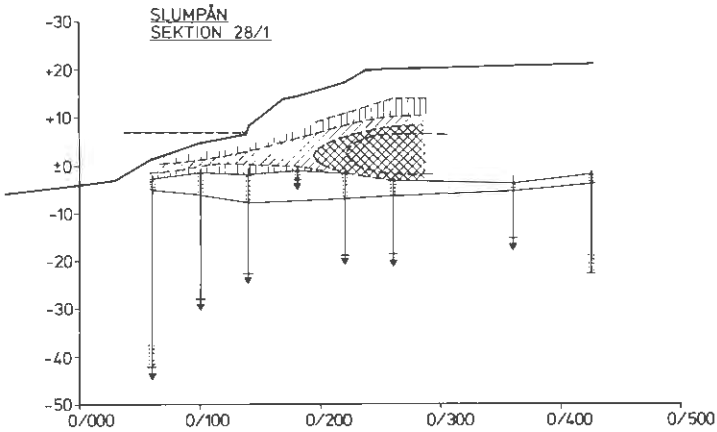
Sammanställning av τ/σ' för olika skredplatser utvärderade från manuellt inpassade medellinjer och regressionslinjer.

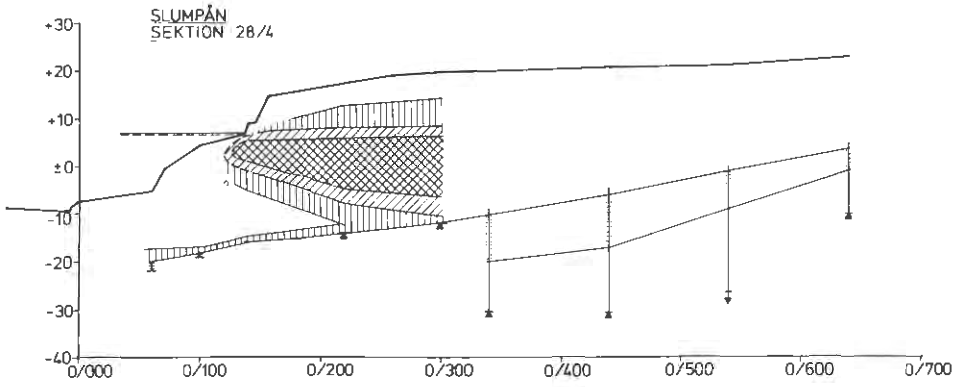


Sammanställning av τ/σ' utvärderade från regressionslinjer och manuellt inpassade medellinjer.

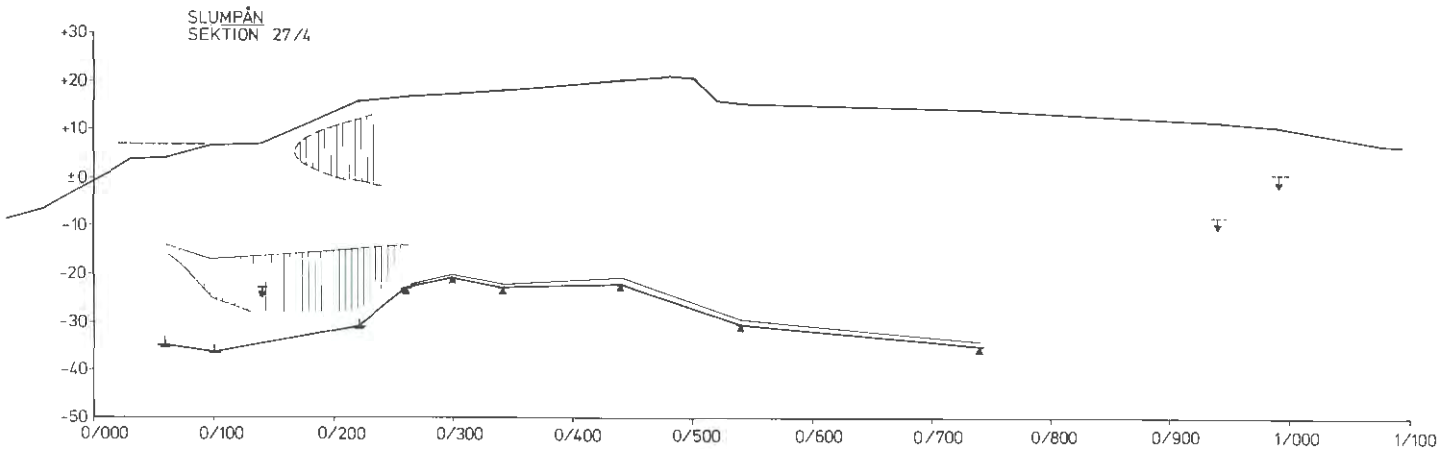


Sensitivitet, strax N Slumpåns mynning.
Teckenförklaring, se FIG 37.



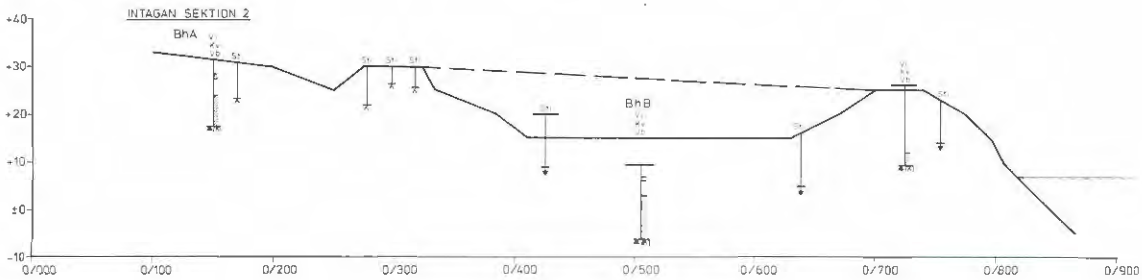


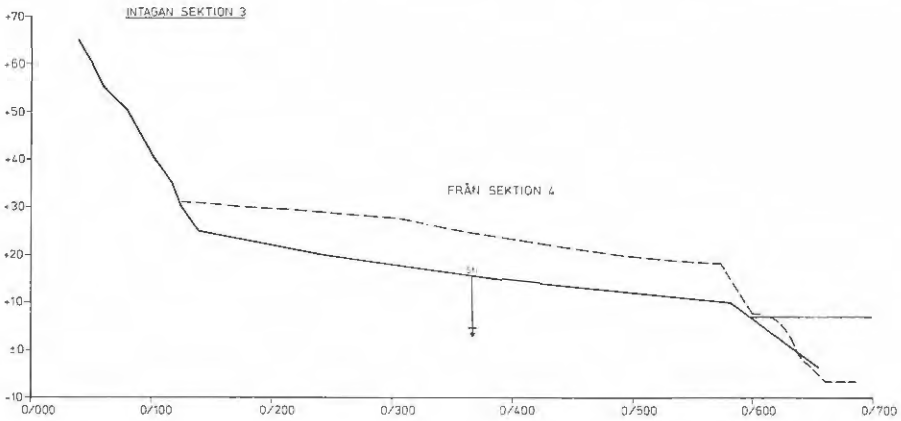
Sensitivitet, strax S Slumpåns mynning.

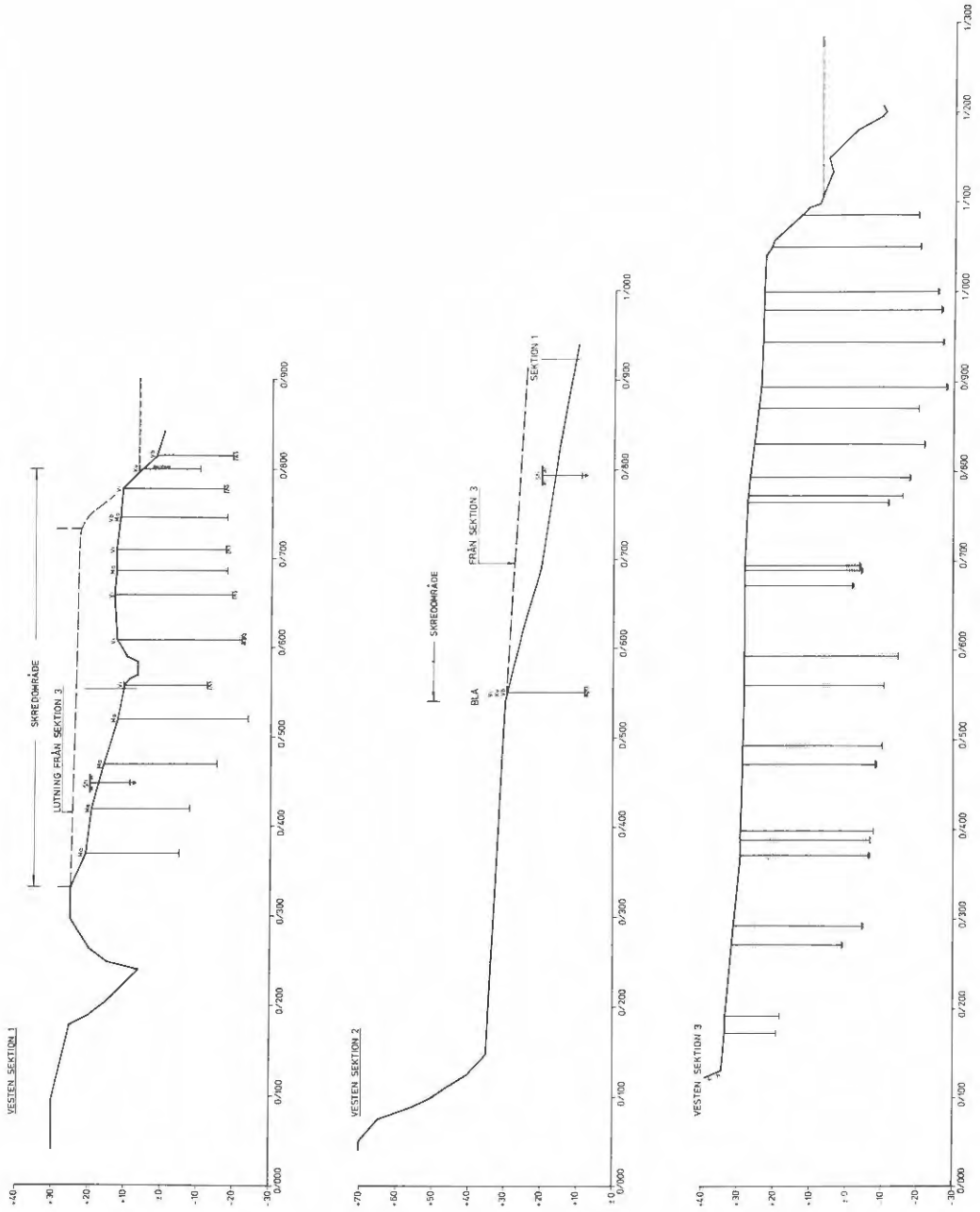


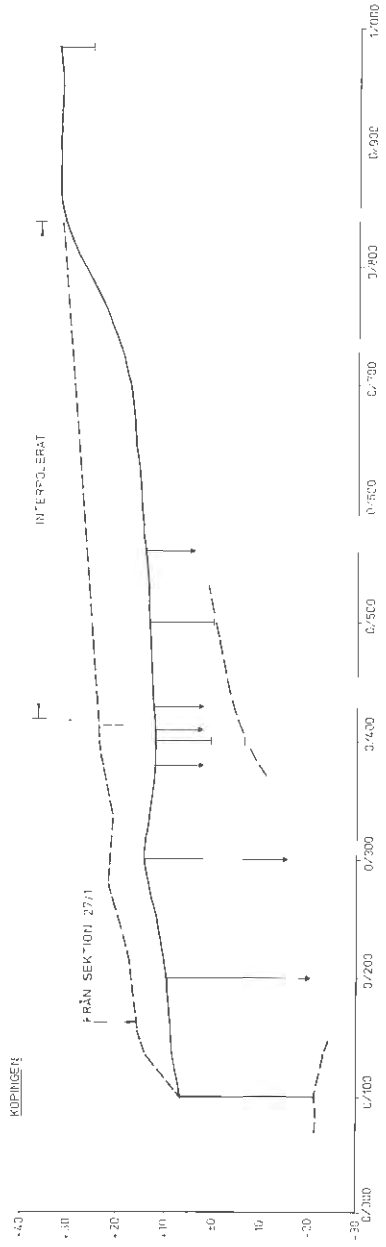
Sensitivitet, strax söder Slumpån.

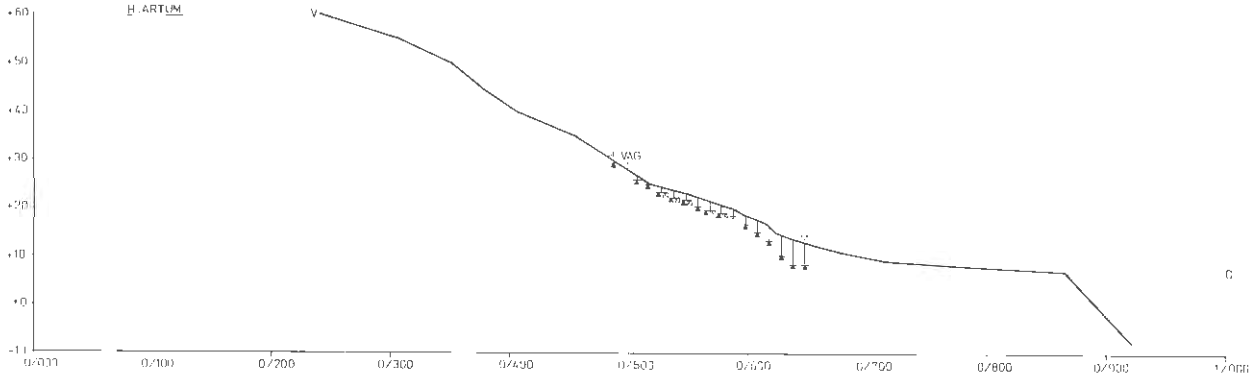
Sektioner genom skred

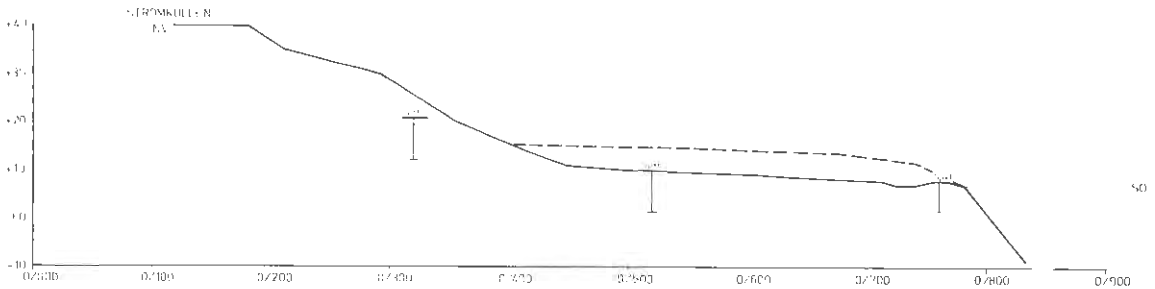


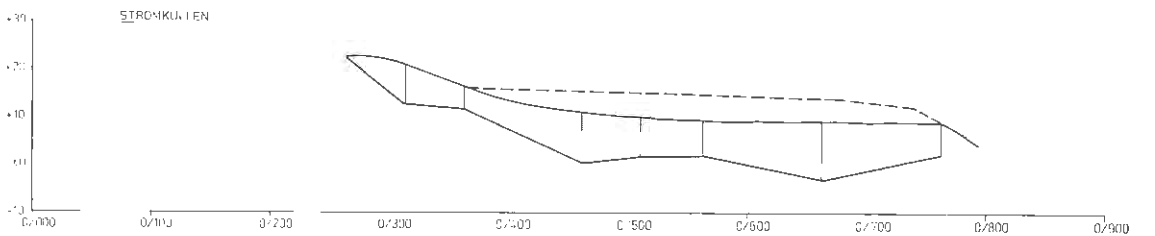


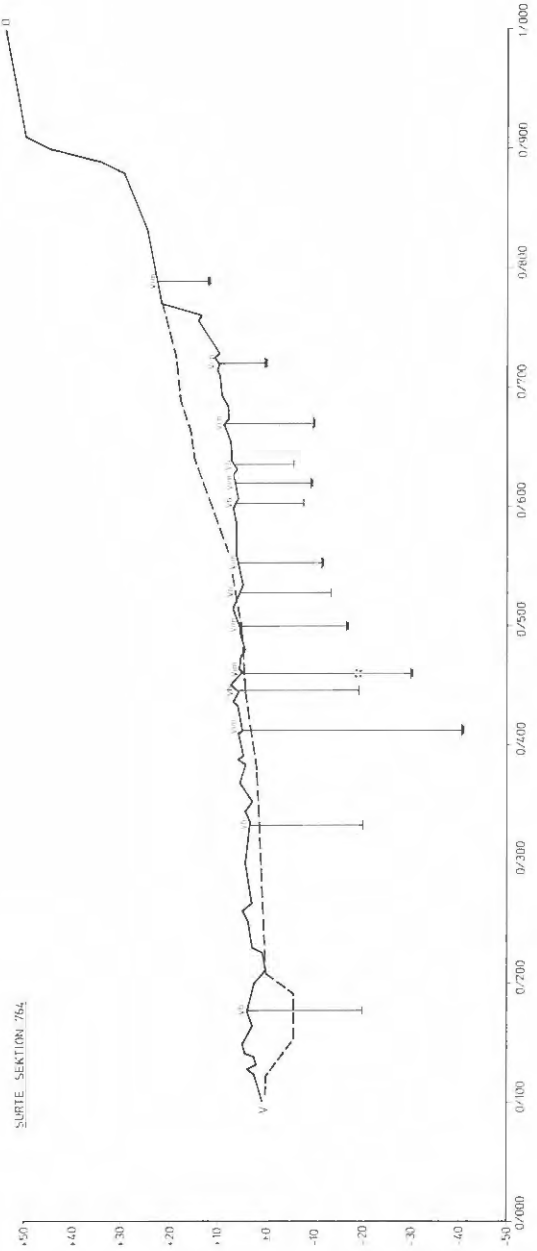

VESTEN SEKTION 1
SKREDOMRÅDE
LUTNING FRÅN SEKTION 3
VESTEN SEKTION 2
SKREDOMRÅDE
FRÅN SEKTION 3
SEKTION 1
BLA
VESTEN SEKTION 3


KOPINGEN
FRÅN SEKTION 2711
INTERPOLERAT
+40
+30
+20
+10
±0
-10
-20
0/000
0/100
0/200
0/300
0/400
0/500
0/600
0/700
0/800
0/900
1/000


HJARTUM
V
4 VAG
+60
+50
+40
+30
+20
+10
+0
-10
0/000
0/100
0/200
0/300
0/400
0/500
0/600
0/700
0/800
0/900
1/000


STRÖMKULLEN
+40
+30
+20
+10
+0
-10
0/000
0/100
0/200
0/300
0/400
0/500
0/600
0/700
0/800
0/900


STRÖMKULLEN
+30
+20
+10
+0
-10
0/000
0/100
0/200
0/300
0/400
0/500
0/600
0/700
0/800
0/900


SURTE SEKTION 784
+50
+40
+30
+20
+10
±0
-10
-20
-30
-40
-50
0/000
0/100
0/200
0/300
0/400
0/500
0/600
0/700
0/800
0/900
1/000

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.		År	Pris kr (Sw.crs)
1.	Grundvattensänkning till följd av tunnelsprängning. *P. Ahlberg, T. Lundgren*	1977	50:-
2.	Påhängskrafter på långa betongpålar. *L. Bjerin*	1977	50:-
3.	Methods for reducing undrained shear strength of soft clay. *K.V. Helenelund*	1977	30:-
4.	Basic behaviour of Scandinavian soft clays. *R. Larsson*	1977	40:-
5.	Snabba ödometerförsök. *R. Karlsson, L. Viberg*	1978	25:-
6.	Skredriskbedömningar med hjälp av elektromagnetisk fältstyrkemätning - provning av ny metod. *J. Inganäs*	1978	40:-
7.	Förebyggande av sättningar i ledningsgravar - en förstudie. *U. Bergdahl, R. Fogelström* *K.-G. Larsson, P. Liljekvist*	1979	40:-
8.	Grundläggningskostnadernas fördelning. *B. Carlsson*	1979	25:-
9.	Horisontalarmerade fyllningar på lös jord. *Johan Belfrage*	1981	50:-

RAPPORT/REPORT

No.		År	Pris kr (Sw.crs)
10.	Tuveskredet 1977-11-30 Inlägg om skredets orsaker.	1981	50:-
11a.	Tuveskredet geoteknik	1981	
11b.	Tuveskredet geologi	1981	50:-
11c.	Tuveskredet hydrogeologi	1981	40:-
12.	Drained behaviour of Swedish clays. *R. Larsson*	1981	50:-
13.	Long term consolidation beneath the test fills at Väsby, Sweden *Y.C.E. Chang*	1981	100:-
14.	Bentonittätning mot lakvatten *T. Lundgren, L. Karlqvist, U. Qvarfort*	1982	60:-
15.	Kartering och klassificering av lerområdens stabilitetsförutsättningar *Leif Viberg*	1982	80:-

STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
Besöksadr.: Olaus Magnus väg 35, LINKÖPING
Postadr.: 581 01 LINKÖPING, tel 013-11 51 00