



STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE

Rapport
Report **No 44**



Agnesbergsskredet

Rolf Larsson
Elvin Ottosson
Göran Sällfors

LINKÖPING 1994





**STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE**

**Rapport
Report** **No 44**

Agnesbergsskredet

**Rolf Larsson
Elvin Ottosson
Göran Sällfors**

LINKÖPING 1994

SGI Rapport	Statens geotekniska institut 581 93 Linköping
Beställning	Biblioteket Tel. 013-20 18 00 Fax. 013-20 19 14
ISSN	0348-0755
ISRN	SGI-R--94/44--SE
Kartor	Lantmäteriet medgivande 94.0208
Upplaga	550
Tryckeri	Tryck-Center, Linköping, april 1994

Förord

Skredet utmed Göta älv i Agnesberg inträffade den 14 april 1993.

Från samhällelig och kunskapsmässig synpunkt är det principiellt viktigt att all ny erfarenhet från inträffade jordskred tillvaratas och dokumenteras på bästa sätt.

Det har varit författarnas strävan att klarlägga skredorsak och skredförlopp, nödvändiga förutsättningar för framtida tekniska värderingar och riskbedömningar gällande skredriskerna i Götaälvdalen.

Parallellt med föreliggande utredning har övervakning av skredområdet, geotekniska undersökningar och dimensionering av erforderliga åtgärder samt återställnings- och förstärkningsarbeten pågått.

Inledningsvis, direkt efter skredet, leddes de akuta insatserna av Göteborgs Brandförsvar. Efter att räddningstjänstskedet upphörde 93-04-16 fortsatte den vid räddningstjänstskedet etablerade ledningsgruppen - med representanter för berörda intressenter - samordningen av erforderliga åtgärder med anledning av skredet.

I juni 1993 utsåg regeringen en särskild utredare med uppdrag att klarlägga åtgärdsbehovet i och i närheten av skredområdet och vidta stabiliseringsåtgärder samt svara för samordningen. I regeringsuppdraget ingick vidare att förhandla med berörda parter om hur ansvaret för genomförandet och finansieringen av åtgärderna skall fördelas. Utredningsuppdraget - Agnesbergsutredningen - pågår för närvarande, mars 1994. Återställnings- och förstärkningsåtgärder har genomförts för själva skredområdet medan förstärkningsarbeten pågår, mars 1994, för angränsande områden uppströms och nedströms skredet.

Föreliggande utredning har kunnat genomföras tack vare värdefulla insatser och underlag från flera håll. Avsnittet om planfrågor har utarbetats av Per Ahlberg, SGI. Geologi- och geohydrologiavsnitten har utarbetats av Leif Viberg, SGI. Värdefulla synpunkter har erhållits från Lars-Gunnar Hellgren, Göteborgs Stadsbyggnadskontor. Granskning av manuskriptet har utförts av Emil Sandberg, Göteborgs Gatu AB och Jan Schälin, SGI. Fälтарbetet har på ett noggrant och ansvarsfullt sätt genomförts av Ingmar Forsgren, CTH samt Kjell Hidsjö och Ulf Johansson, SGI. Rutgerd Åbrink, SGI, har renritat figurer. Jan Lindgren, SGI, har redigerat rapporten och givit den sin slutliga lay-out. Värdefullt underlagsmaterial har erhållits från Göteborgs Gatu AB, Göteborgs Stadsbyggnadskontor, Trollhätte Kanalverk och Agnesbergsutredningen.

Projektet har samfinansierats av Statens Geotekniska Institut och Chalmers Tekniska Högskola. Merparten av det utförda fält- och laboratorieundersökningarna har utförts inom ramen för utredningar om åtgärderna vid skredet och har bekostats av Agnesbergsutredningen.

Författarna vill framföra sitt varma tack till dessa personer och organisationer som bidragit till denna rapport.

Linköping och Göteborg mars 1994

Rolf Larsson

Elvin Ottosson

Göran Sällfors

Innehållsförteckning

FÖRORD	3
SAMMANFATTNING	7
SUMMARY	12
1. BESKRIVNING AV AGNESBERGSSKREDET	16
1.1 Allmänt	
1.2 Skredförlopp	
1.3 Insatser från olika instanser	
1.4 Förstärkningsåtgärder	
2. RISKBILD	25
2.1 Allmänt	
2.2 Hotade intressen	
2.3 Tänkbara skredförlopp och konsekvenser	
3. PLANFÖRHÅLLANDEN	28
3.1 Några utgångspunkter	
3.2 Gällande plan	
3.3 Besvärssärendet	
3.4 Bygglovhantering	
3.5 SGIs myndighetsroll	
4. GEOLIGI	36
4.1 Allmänt	
4.2 Topografi	
4.3 Berggrund	
4.4 Kvärtärgeologisk utveckling	
5. GEOHYDROLOGI	43
5.1 Beskrivning	
6. GEOTEKNIK	44
6.1 Tidigare undersökningar	
6.2 Utredningar i samband med skredet	
6.3 Geotekniska grundförhållanden	

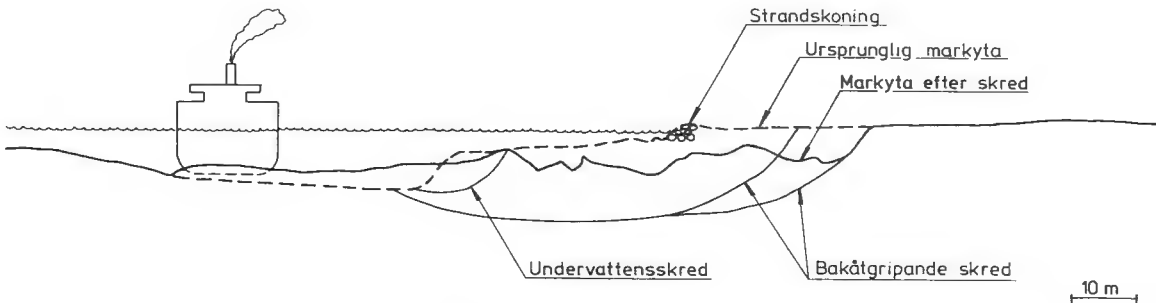
7. SKJUVHÅLLFASTHET	56
7.1 Odränerad skjuvhållfasthet	
7.2 Dränerad skjuvhållfasthet	
8. STABILITETSBERÄKNINGAR OCH ANALYS AV SKREDORSAK	62
8.1 Allmänt	
8.2 Beräkningsunderlag	
8.2.1 Geometri	
8.2.2 Skjuvhållfasthet	
8.2.3 Portryck	
8.2.4 Laster	
8.3 Beräkningsmetoder	
8.4 Beräkningsresultat	
8.4.1 Tidigare och nya beräkningar av stabilitet för långa glidytor	
8.4.2 Beräkning av stabilitet för undervattensslänten	
8.4.3 Beräknade konsekvenser av ett skred i undervattensslänten	
8.4.4 Jämförelser med observerat skredförlopp	
8.4.5 Jämförelser med kringliggande områden	
9. SLUTSATSER	71
10. REFERENSER	73
BILAGA	
Resultat av geotekniska undersökningar i den skredade sektionen.	75

Sammanfattning

Ett skred inträffade onsdagen den 14 april 1993 vid Agnesberg strax norr om Göteborg. Skredet, som omfattade ett ca $80 \times 30 \text{ m}^2$ stort område längs Göta älv, sträckte sig fram till en befintlig industribyggnad som dock ej skadades, se Fig. 1. Topografin i området kännetecknas av svagt sluttande terräng ner mot älven, se Fig. 2, med en mindre vall utgörande erosionsskydd vid strandkanten. Vattendjupet är där ca 1 m och ökar till ca 2 m framme vid djuprännan, där en tämligen brant slänt leder ner till ca 8 m vattendjup.



Figur 1. Agnesbergsskredet 1993-04-14. (Foto: Sven Liedberg, CTH)



Figur 2. Skredförlopp.

Skredet upptäcktes av en lots på ett fartyg kl 9 och då hade ett ca 20×50 m² stort område rasat ner i älven. Några timmar senare inträffade ett 8 m brett bakåtgripande skred och senare under samma dag ett antal mindre skred i anslutning till huvudskredet. Vid Göteborgs stads vattenintag någon kilometer nedströms registrerades samma dag kl 06.00 och 09.45 kraftigt ökade slamhalter i vattnet. Av allt att döma började skredförloppet med ett undervattensskred, sannolikt i den branta slänten mot farleden.

Räddningstjänst

Direkt efter skredet larmades räddningstjänsten i Angered, geotekniker från Göteborgs kommun och SGI m fl. Området spärrades av, trafiken på älven stoppades och undersökning av bl a vattendjup i älven startades. Ett antal följdskred inträffade under eftermiddagen och ett försök att motfylla mot den då branta skredkanten resulterade i att fyllnadsmassorna gled ut i älven. Arbetet att säkra skredkanten med motfyllning avbröts och i stället schaktades den branta skredkanten av in mot land. Efter vad som skett under eftermiddagen bedömdes läget vara allvarligt - med risk för omfattande bakåtgripande skred - och ärendet förklarades 1993-04-14 kl 22.30 vara räddningstjänst.

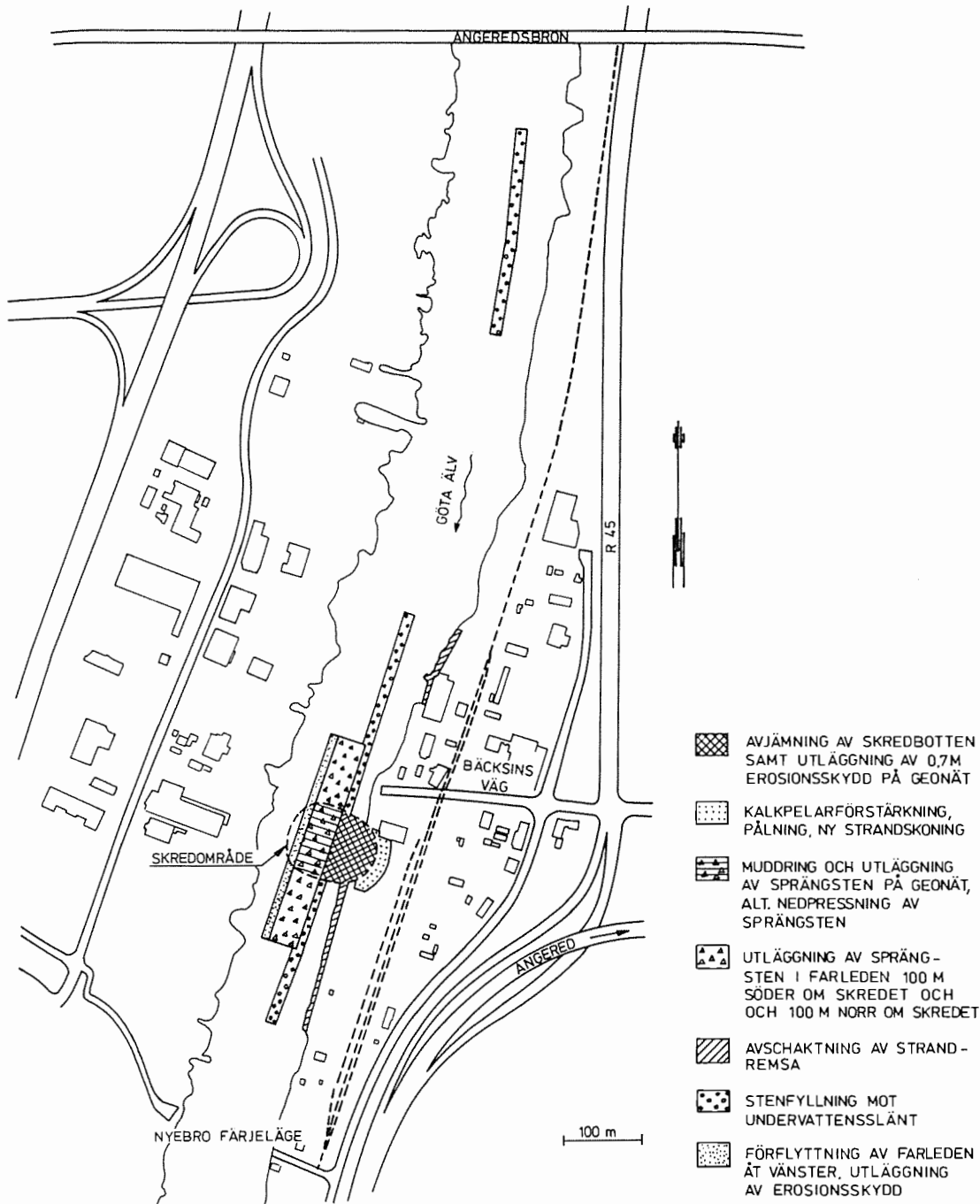
Under räddningstjänsten vidtogs en rad åtgärder, bl a stoppades båttrafiken på älven, godstågens hastighet i området begränsades till 30 km/h och undersökningar inleddes, såväl på land som i älven. Räddningstjänsten pågick i två dygn.

De förstärkningsåtgärder som senare utfördes omfattade kalkpelarförstärkning av området närmast skredet, kohesionspålning med pålplattor för ett nytt erosionsskydd i strandlinjen samt utläggning av geonät och erosionsskydd i skredområdet, se Fig. 3. Farleden återställdes sedan successivt genom muddring och utläggning av erosionsskydd. Arbetena var komplicerade, främst beroende på förekomst av omrörd och högsensitiv lera.

Geoteknik

Inför en analys av skredorsakerna kartlades de geologiska och geotekniska förhållandena på platsen noggrant. Strax öster om Agnesberg finns höga och branta berg. Vinkelrätt mot Götaälvdalen går en bidalgång. Höjdskillnaderna är stora och lermäktigheterna varierar. Inom skredområdet är lerlagrets tjocklek ca 35 m. Under leran återfinns bitvis mäktiga lager av friktionsjord med ett artesiskt vattentryck motsvarande en stighöjd på 6-8 m över Göta älvs nivå.

Den övre delen av lerlagret består av grå högplastisk lera med inslag av skal och växtrester. Denna del är ca 13 m tjock. Därunder övergår leran till grå sulfidfläckig mellanplastisk lera med inslag av skal ned till friktionsjorden. Enstaka inslag av avvikande material har påträffats. Leran i området har avsatts i en marin miljö. I



Figur 3. Förstärkningsåtgärder - plan.

huvudsak på grund av de artesiska vattentrycken i området, men också på grund av diffusion och perkolation av ytvatten, har leran sedan kommit att urlakas så att salthalten idag är avsevärt lägre.

För älven inom skredområdet kan för förhållandena före skredet antas en bottenprofil med vattendjupet ca 1 m närmast strandkanten, ett i medeltal ca 24 m brett grundare parti med vattendjupet sakta ökande till ca 2 m, en brant slänt med en höjd av ca 6 m och en lutning av ca 1:1,5, men alla dessa antaganden är behäftade med vissa osäkerheter.

De uppmätta porvattentrycken på olika nivåer visar portrycksprofiler med en i det närmaste rätlinjig ökning av portrycken mellan älvbotten respektive fria grundvattenytan och gränsen mellan leran och den underliggande friktionsjorden. Hela lerlagret kan således antas påverkat av en uppåtgående porvattenströmning med nästan konstant gradient. Gradienten förändras dock med lerlagrets tjocklek och är således högre inom partier med mindre lermäktighet, speciellt under älvfåran där lermäktigheten reducerats genom erosionen.

Konsolideringsförhållandena har tolkats från utförda CRS- och triaxialförsök samt CPT-sonderingar. Leran är svagt överkonsoliderad i förhållande till rådande effektivspänningar.

Den odränerade skjuvhållfastheten har bestämts med vingförsök och CPT-sonderingar i ett stort antal punkter. En sammanställning visar på normala förhållanden med en skjuvhållfasthet på ca 12 kPa ner till 10 m djup, följt av en ökning på ca 1 kPa/m. Leran under älven är dock betydligt lösare med odränerade skjuvhållfastheter på 7 à 8 kPa några meter ner i leran.

Stabilitet

Stabilitetsutredningen har utförts enligt de anvisningar som utarbetats inom IVA:s Skredkommission (1994). Säkerhetsfaktorn för undervattensslänten i beräkningssektionen har analyserats med Janbus direktmetod, självsökande beräkningsprogram för cirkulär cylindriska glidytor med Bishops beräkningsmetod och glidytor av godtycklig form med Janbus generella lamellmetod. Såväl odränerad, som dränerad och kombinerad analys har använts. Med antagande av en undervattensslänt med höjden 6 m och släntlutningen 1:1,5 blev enligt direktmetoden $F_{c\phi} = 1,1$ och $F_c = 1,2$ (1,16). Beräkningar med cirkulär cylindriska glidytor och Bishops metod gav ett lägsta värde på F_c och F_{komb} av 1,2 (1,24 respektive 1,22) medan beräkningar med glidytor av godtycklig form och Janbus generella lamellmetod gav $F_{c\phi} = 1,1$ (1,14), $F_c = 1,3$ (1,25) och $F_{komb} = 1,0$ (1,02). Motsvarande beräkningar för en slänt med lutningen 60° och höjden strax över 5 m gav ungefär samma säkerhetsfaktorer. En kombinerad analys ger således säkerhetsfaktorer mycket nära 1,0 för slänter mellan

5 och 6 m höjd vars lutning varierar med höjden från 60° till 33°.

Beräkningarna visar att den farligaste glidyten involverar en relativt stor jordvolym och att glidytor inom en relativt stor zon som potentiellt involverar ännu större jordmassor har en beräknad säkerhetsfaktor $< 1,1$. De visar också att bedömningen av stabiliteten för undervattensslänten är måttligt känslig för antaganden om dess geometri.

Skred inom de lägre partierna av en långsträckt slänt medför alltid risk för bakåtgripande skred, speciellt om de skredade massorna glider iväg och lämnar rasbranten helt utan stöd. Risken för detta är speciellt stor dels då de skredade massorna flyter ut i ett vattendrag, dels då sensitiviteten i skredmassorna är hög. I det aktuella fallet är båda dessa villkor uppfyllda och man kan således anta att skredmassorna i ett initialscred i undervattensslänten så gott som helt glider iväg, bryts upp, rörs om och spolats bort. Detta får stora och omedelbara konsekvenser för bakomliggande jordmassor. En analys visar att den farligaste glidyten i detta fall i stort motsvarar en lång glidyta med start i strandskoningens bakkant och slut i undervattenssläntens tå för vilken den beräknade säkerhetsfaktorn tidigare var 1,4 (1,36). Försvinner tåpartiet för denna glidyta på grund av ett initialscred sjunker säkerhetsfaktorn för kvarvarande partier till 1,0 (0,99 till 1,02 beroende på vad som antas om initialscredets storlek). I detta fall beaktas endast odränerad skjuvhållfasthet utom i fyllning och torrskorpa på grund av det korta tidsperspektivet. Den odränerade skjuvhållfastheten har ett tidsberoende som medför att jorden momentant kan uppta högre skjuvspänningar än de som på grund av krypeffekter i ett längre perspektiv leder till brott. På grund av hållfasthetens tidsberoende uppstår en viss fördröjning mellan initialscred och följdskred, men inom en kortare tidsrymd (några minuter till någon dag) kan man förvänta att ett initialscred i undervattensslänten skulle leda till större följdskred. Beräkningar av följdskreden är behäftade med osäkerheter som ökar ju längre fram i ett beräknat skredförlopp man kommer. De visar dock att det inträffade skredet och dess förlopp är beräkningsbart och därmed möjligt att förutse med de använda analysmetoderna.

Summary

A landslide occurred at Agnesberg, situated on the east bank of the Göta River, just north of Göteborg on 14th April, 1993. The slide, covering an area of $30 \times 80 \text{ m}^2$, came very close to an existing industrial building, which however remained undamaged, see Fig. 1. The topography in the area is characterized by a gentle slope towards the river, Fig. 2, with a low wall for erosion protection at the shoreline. The water depth is about 1 m and increases slowly to about 2 m further out, where a steep slope takes the river to a depth of 8 m in the main fairway.



Figure 1. The landslide at Agnesberg, 14 April 1993, came very close to an existing industrial building. (Photo by Sven Liedberg, CTH)

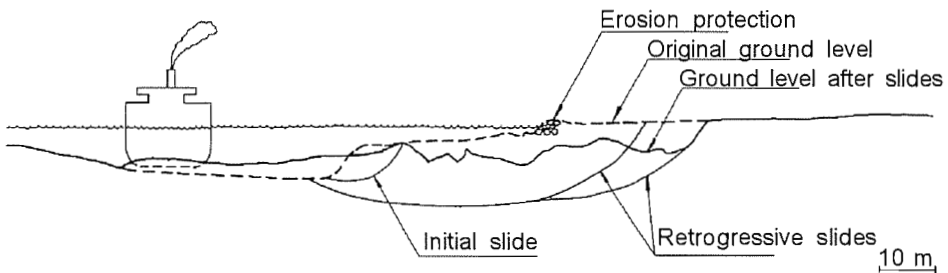


Figure 2. The topography in the area is characterized by a gentle slope towards the river.

The slide was first observed by a pilot on a ship at 9 a.m., when a 20 x 50 m² area had moved into the river. A few hours later, a larger retrogressive slide occurred and thereafter a number of smaller superficial slips. The freshwater intake for the city of Göteborg is located half a mile down the river and greatly increased amounts of suspended particles in the water were recorded there at 6 a.m. and 9 a.m. From the recorded events, it seems plausible that the slide was initiated by a first slide under water in the steep slope close to the main fairway.

Rescue Services

Immediately after the slide was observed, the rescue units from Angered community nearby were called upon, as well as geotechnical engineers from the city of Göteborg and from the Swedish Geotechnical Institute. The area was roped off, the traffic on the river was stopped and the water depth within the slide area was measured. A couple of minor slides occurred during the afternoon and an attempt to stabilize the steep slope in the active zone by backfilling resulted in further slides. Instead, the back scarp was landscaped by removing masses in the active zone. Later in the day the area was declared as a case for the rescue services, which means that responsibility was taken over by the Swedish National Rescue Services Board, and geotechnical investigations were carried out in and around the area affected by the slide.

The remedial work included lime-column installation in the area behind the slide and friction piles with cast in place concrete slabs as support for new erosion protection. The fairway was restored by dredging and placement of geogrids and erosion protection. The remedial work was complicated, mainly due to the presence of remoulded and highly sensitive clay.

Geotechnical conditions

The geology and geotechnical conditions in the area were carefully investigated. Due east of Agnesberg, steep outcrops of bedrock are found, and perpendicular to the Göta River Valley a side valley is located. The differences in ground level are large and the depth of the clay layer varies. In the slide area, the clay layer is about 35 m thick. Below the clay, thick deposits of friction material can be found. The ground water pressure in the aquifer is artesian and corresponds to a free ground water level 6 to 8 m above the surface of the Göta River.

The uppermost part of the clay layer, about 13 m thick, consists of grey highly plastic clay with shells and organic matter. It is underlain by a grey plastic clay with frequent sulphide spots. A few inclusions of other materials can be found. The clay was deposited in a marine environment. The clay has been leached mainly because of the artesian ground water pressure in the area, and is very sensitive.

Within the slide area, the water depth in the river can be assumed to have been 1 m close to the shoreline, followed by a strip of shallow water about 24 m wide and then a 6 m high steep slope with an inclination of about 1:1.5. However, these assumptions are somewhat impaired by uncertainties.

The pore pressures increase almost linearly with depth, giving a gradient that increases with decreasing depth of clay.

As interpreted from oedometer and triaxial tests, the clay in most of the area is slightly overconsolidated with respect to the present effective stress conditions.

The undrained shear strength was determined by field vane tests and CPT tests. In general, the shear strength is about 12 kPa down to 10 m depth and then increases linearly by 1 kPa/m. The clay below the river is somewhat softer and values of 7-8 kPa a few metres beneath the river bottom are common.

Stability

The stability investigation was performed in accordance with the guidelines given by the Commission on Slope Stability of the Royal Swedish Academy of Engineering Sciences (1993). The calculation of the stability of the slope was made using Janbu's stability charts, self-seeking computer programmes for circular slip surfaces using Bishop's method and arbitrary slip surfaces using Janbu's general procedure of slices (GPS). Drained, undrained and combined analyses were used. Assuming a height of 6 m the safety factor for the steep slope under water was, $F_{c\phi} = 1.1$ and $F_c = 1.2$ (1.16) using Janbu's chart method. Bishop's method gave F_c and $F_{komb} = 1.2$ (1.24 and 1.22). Using a composite slip surface and Janbu's GPS method, the following results were obtained: $F_{c\phi} = 1.1$ (1.14), $F_c = 1.3$ (1.25) and $F_{komb} = 1.0$ (1.02). The corresponding calculations for a slope 5 m high and with an inclination of 60° resulted in approximately the same safety factors. Combined analyses gave safety factors close to 1.0 for slopes with heights of 5 to 6 m and inclinations from 60° to 30°. The calculations show that the critical shear surface involves a fair amount of soil and that shear surfaces within a relatively large zone, which involve even larger masses of soil, have safety factors less than 1.1. The calculations also show that the safety factor is only moderately sensitive for possible variations in slope geometry.

If a slide occurs in the lower region of a slope, there is always a risk of retrogressive slides, especially if the debris is completely removed and the new slope is left without any support. In the present case, this is very probable because the masses consist of partly remoulded highly sensitive clay and slide out into the flowing water in the river. A stability analysis for the remaining slope, including the shallow part under water and the low wall for erosion protection on land and assuming that all the debris

from the first slide is removed by the river, results in safety factors around 1.0. Prior to an initial slide at the toe, the calculated safety factor for this soil mass was about 1.4. An initial retrogressive slide will in turn lead to further retrogressive slide events.

For the retrogressive slides, undrained analyses were used in order to model the short term behaviour. Due to rate effects for the undrained shear strength, there will be time delays between the initial slide and the secondary slides of anywhere from a few minutes to a day or two. The analyses of the secondary slides include uncertainties which increase as the process goes on. However, the analyses show that the sliding activity which took place corresponds very well with what could be anticipated from the numerical analyses.

1. Beskrivning av Agnesbergsskredet

1.1 ALLMÄNT

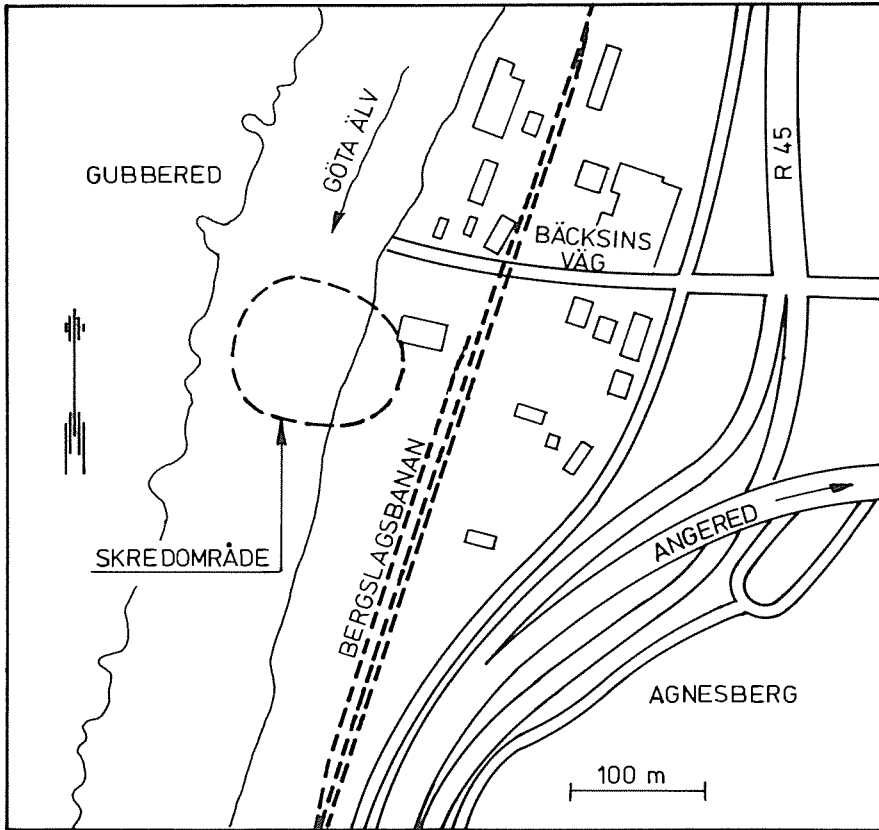
Jordskredet vid Agnesberg inträffade onsdagen den 14 april 1993. Skredet kom att omfatta ett ca 80 x 30 m² stort område inom en industritomt längs Göta älv. Skredkanten gick endast någon meter från en på tomten befintlig industribyggnad, Fig. 1.1. Byggnaden skadades ej. Skredmassorna, som bestod av mycket störningskänslig lera, fördelade sig över en yta av ca 100 x 80 m² på älvens botten och fyllde delvis upp befintlig farled. Vattendjupet i farleden minskade med ca 2 m.



Figur 1.1. Agnesbergsskredet 93-04-14. (Foto: Sven Liedberg, CTH)

Agnesberg är beläget utmed Göta älvs östra strand, ca 10 km norr om Göteborgs centrum. Områdena närmast älven består i huvudsak av industrimark, medan bostadsbebyggelse är koncentrerad till en tvärgående dalgång omgiven av bergområden. Längs älven går såväl Riksväg 45 som Bergslagsbanan, Fig. 1.2. Ca 2,5 km nedströms skredplatsen är vattenintaget till Göteborgs stad beläget.

Lerdjupet är ca 35 m och höga grundvattentryck råder. Området utmed älven är flackt vid skredplatsen. Lerdjupet minskar med ökat avstånd från älven mot öster, medan marklutningen ökar.

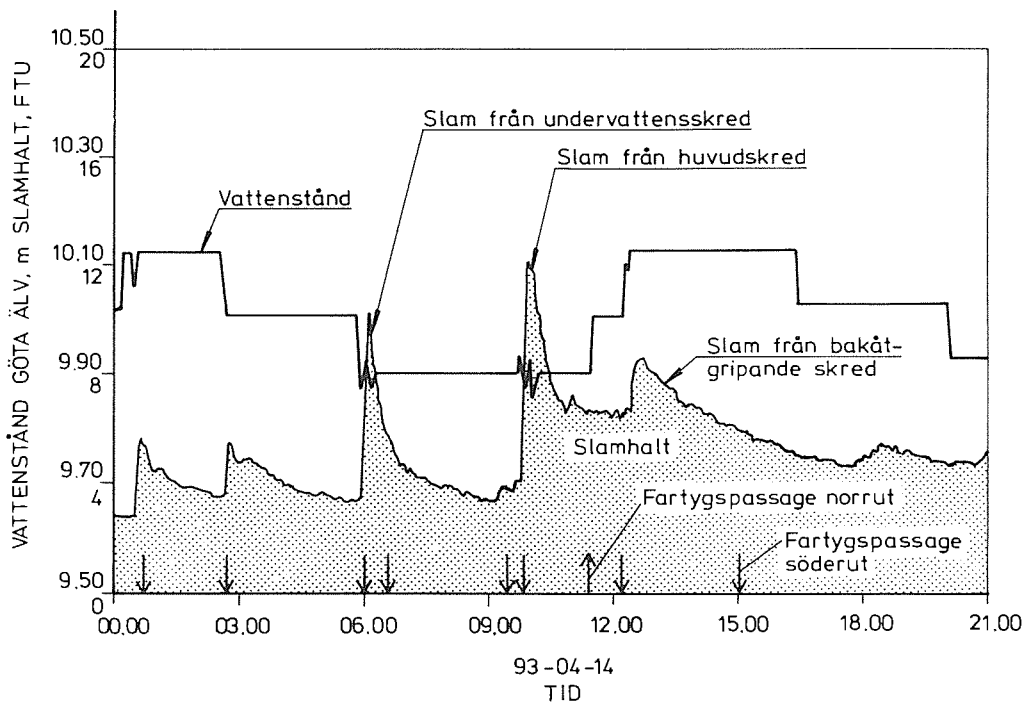


Figur 1.2. Skredplats Agnesberg.

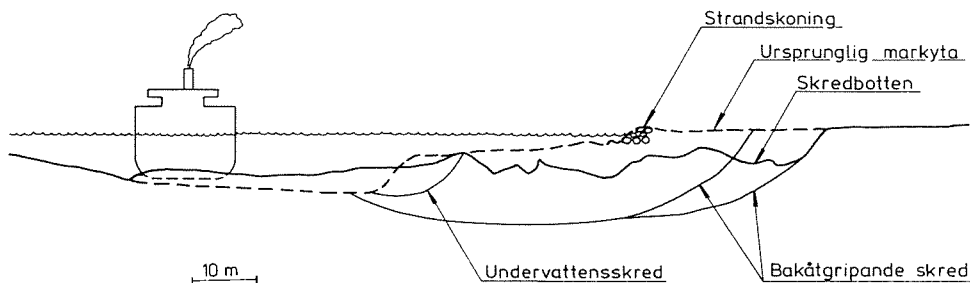
1.2 SKREDFÖRLOPP

Skredet upptäcktes av lotsen på ett fartyg kl 09.00. Då hade ett ca 20 m brett och 50 m långt område utmed älvstranden rasat ner i älven. Skredet följdes kl 12.30 av ett ca 8 m brett bakåtgripande skred, troligen utlöst av ett förbipasserande fartyg, och senare under samma dag av ett antal mindre skred i anslutning till huvudskredet. Ytterligare ett lokalt mindre skred inträffade den 26 maj i södra änden av skredområdet. Vid Göteborgs stads vattenintag i Alelyckan registrerades den 14 april ca kl 06.00 och 09.45 kraftigt ökade slamhalter i vattnet i de kontinuerliga grumlighetsmätningar som görs för kontroll av vattenkvaliteten, Fig. 1.3. Av allt att döma började skredförloppet med ett undervattensskred i den branta kanten mot farleden.

Förmodat skredförlopp framgår av Fig. 1.4.



Figur 1.3. Uppmätt slamhalt vid Alelyckan, 2,5 km söder om skredplatsen.



Figur 1.4. Skredförlopp.

1.3 INSATSER FRÅN OLIKA INSTANSER

Direkt efter skredet larmades räddningstjänsten i Angered, geotekniker från Göteborgs kommun och SGI m fl. Området spärrades av, trafiken på älven stoppades och undersökningar av bl a vattendjup i älven påbörjades. Ett antal följskred inträffade under eftermiddagen och ett försök att motfylla mot den då branta skredkanten resulterade i att fyllnadsmassorna gled ut i älven. Arbetet med att säkra skredkanten med motfyllning avbröts och i stället schaktades den branta skredkanten av in mot land. Efter vad som inträffat under eftermiddagen bedömdes läget vara allvarligt, med risk för omfattande bakåtgripande skred och ärendet förklarades vara räddningstjänst kl 22.30 samma kväll.

Under räddningstjänstskedet vidtogs bl a följande åtgärder:

- en ledningsgrupp upprättades
- ständig bevakning av området
- pressmeddelande sändes ut
- boende i närområdet informerades
- båttrafik i älven förbjöds
- godstågens hastighet förbi området begränsades till 30 km/h
- två inklinometerrör installerades bakom skredkanten för mätning av horisontella jordrörelser. I ett av rören installerades ett automatiskt mätsystem som kontinuerligt gav information om eventuella pågående rörelser
- lodningar av älven och avvägning av profiler på land startades
- geotekniska undersökningar såväl på land som i älven inleddes.
- fortlöpande geotekniska bedömningar av läget gjordes och olika handlingsalternativ upprättades.

Under torsdagen och fredagen, den 15 och 16 april, förekom inga ytterligare skred. Genomförda mätningar visade inga påtagliga rörelser i marken och någon överhängande fara för att ytterligare skred skulle inträffa bedömdes ej föreligga. Fartygstrafiken bedömdes också kunna återupptas i begränsad omfattning. Åtgärder för att stabilisera området bedömdes dock behöva vidtagas snarast. Då det inte längre bedömdes föreligga någon överhängande fara för olyckshändelse förklarade räddningsledaren vid ledningsgruppsmötet den 16 april kl 17.00 att räddningstjänst inte längre förelåg.

Räddningsledaren har, efter att räddningstjänst upphört, med stöd av 7 § räddningstjänstlagen till byggnadsnämnden i Göteborgs kommun erinrat om att erforderliga åtgärder som ger betryggande skydd mot ras och skred skyndsamt bör vidtas samt

att ytterligare undersökningar bör göras för att fastställa eventuella risker uppströms och nedströms skredet inom Agnesbergs bebyggda områden.

SGI har i skrivelser till Trollhätte Kanalverk och Göteborgs kommun påtalat att skredområdet omgående måste stabiliseras samt, efter nya uppgifter vid de inledande undersökningarna, konstaterat att förstärkningsbehov bedömts föreligga för ett betydligt större område än själva skredområdet. Institutet påtalade därvid det centrala i att riskområdets storlek klarläggs samt att erforderliga åtgärder vidtas för att också säkerställa området utanför själva skredplatsen.

Den vid räddningstjänsten etablerade ledningsgruppen - med representanter från berörda intressenter - har efter att räddningstjänsten upphört fortsatt samordningen av erforderliga åtgärder med anledning av skredet. Eftersom åtgärderna, även om de vidtas för att förhindra ytterligare skred på land, primärt är inriktade mot älven och dess stränder har Trollhätte Kanalverk, som ansvarar för dessa delar, tagit det operativa ansvaret för åtgärderna.

Den 21 april 1993 utsåg kommunstyrelsen i Göteborg f.d. gatudirektör Kjell Henningsson att vara samordnare och projektledare för de kommunala åtgärder som föranleds av skredet.

De under räddningstjänsten påbörjade undersökningarna och utredningarna har således drivits vidare utan avbrott med anledning av att räddningstjänsten upphörde.

De åtgärder som vidtagits kan grovt sammanfattas enligt nedan:

- bevakning och kontroll av skredområdet
- undersökning och utredning av erforderliga stabiliseringsåtgärder
- förstärkningsarbeten inom skredområdet

Den 17 juni tillsatte regeringen en särskild utredare - Hans Sandebring, generaldirektör för SMHI - med uppdrag att klarlägga vilka omedelbara stabiliseringsåtgärder som erfordras, beräkna vilka kostnader som är förenade med dessa samt vidta åtgärder så att erforderliga stabiliseringsåtgärder i anslutning till skredområdet i Agnesberg snarast genomförs och därvid svara för samordningen. Som sekreterare i Agnesbergsutredningen förordnades avdelningsdirektör Elvin Ottosson, SGI. I utredningsuppdraget ingår vidare att förhandla med berörda parter om hur ansvaret för genomförandet och finansiering av stabiliseringsarbetena skall fördelas.

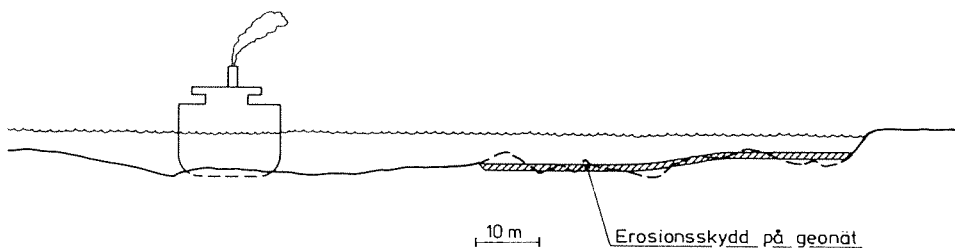
Agnesbergsutredningen har begränsats till de exploaterade, centrala delarna av Agnesberg, en ca 2 km lång sträcka, utmed älvens östra sida.

1.4 FÖRSTÄRKNINGSÅTGÄRDER

Skredområdet har förstärkts. Förstärkningsarbetena innebar åtgärder såväl på land som i älvfåran. Arbetena i älven medförde grumling av vattnet vilket medförde att Göteborgs vattenintag periodvis måste hållas stängt. Dessa arbeten bedrevs därför med särskilda restriktioner (uppehåll vissa tider) för att upprätthålla Göteborgs vattenförsörjning. Dessutom var det nödvändigt att bedriva arbetena i etapper och under särskild kontroll och övervakning för att uppnå acceptabel säkerhet under arbetsutförandet.

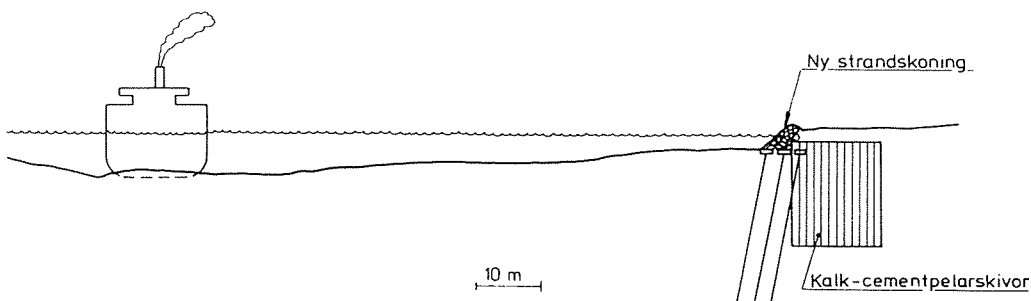
Förstärkningsarbetena har utförts i etapper enligt följande:

- Etapp I: Avjämning av skredbotten och utläggning av erosionskydd på geonät, Fig. 1.5.



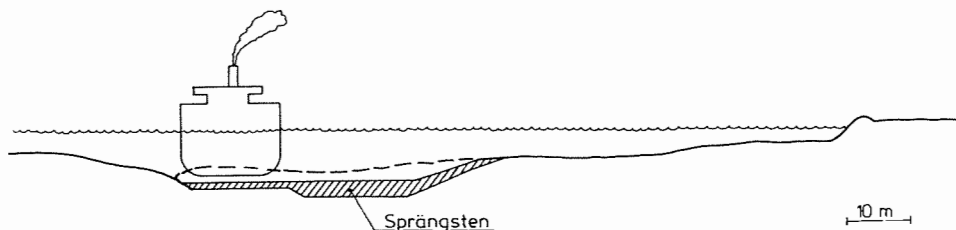
Figur 1.5. Förstärkningsåtgärder inom skredområdet, Etapp I.

- Etapp II: Förstärkning med kalk-cementpelarskivor bakom skredkanten. Uppbyggnad av ny strandskoning, på pålar med separata plattor, i skredlinjen, Fig. 1.6.



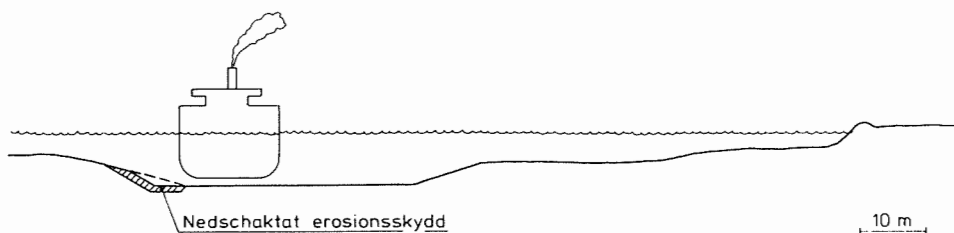
Figur 1.6. Förstärkningsåtgärder inom skredområdet, Etapp II.

- **Etapp III:** Återställning av farleden genom urschaktning av skredmassor och utläggning av sprängsten alternativt successiv nedpressning av sprängsten och urschaktning av de undanpressade lösa skredmassorna efteråt, Fig. 1.7.



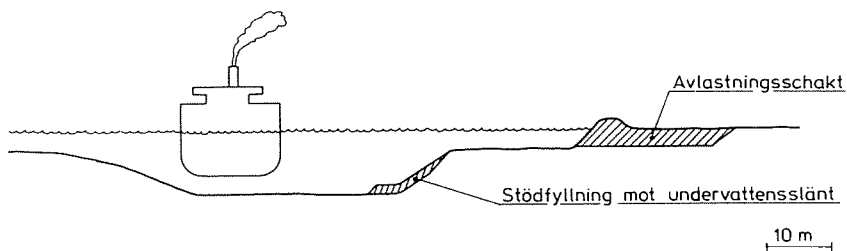
Figur 1.7. Förstärkningsåtgärder inom skredområdet, Etapp III.

Förflyttning av farleden ca 5 m västerut, för att erhålla full farledsbredd (40 m), förbi skredområdet genom begränsade små urschaktningar samt utläggning av erosionsskydd på västra slänten, Fig. 1.8.



Figur 1.8. Åtgärder för förflyttning av farleden åt väster.

- **Etapp IV:** Stabilisering av närområdena genom utläggning av stenfyllning i farleden 100 m norr och söder om skredet. Förebyggande åtgärder för att förhindra skred uppströms och nedströms skredet - inom utredningsområdet ca 2 km - pågår, mars 1994. Erforderliga åtgärder utgörs av stenfyllning mot undervattensslänten inom vissa delsträckor och avschaktning av strandlinjen längs begränsade delsträckor utmed älven, Fig. 1. 9.

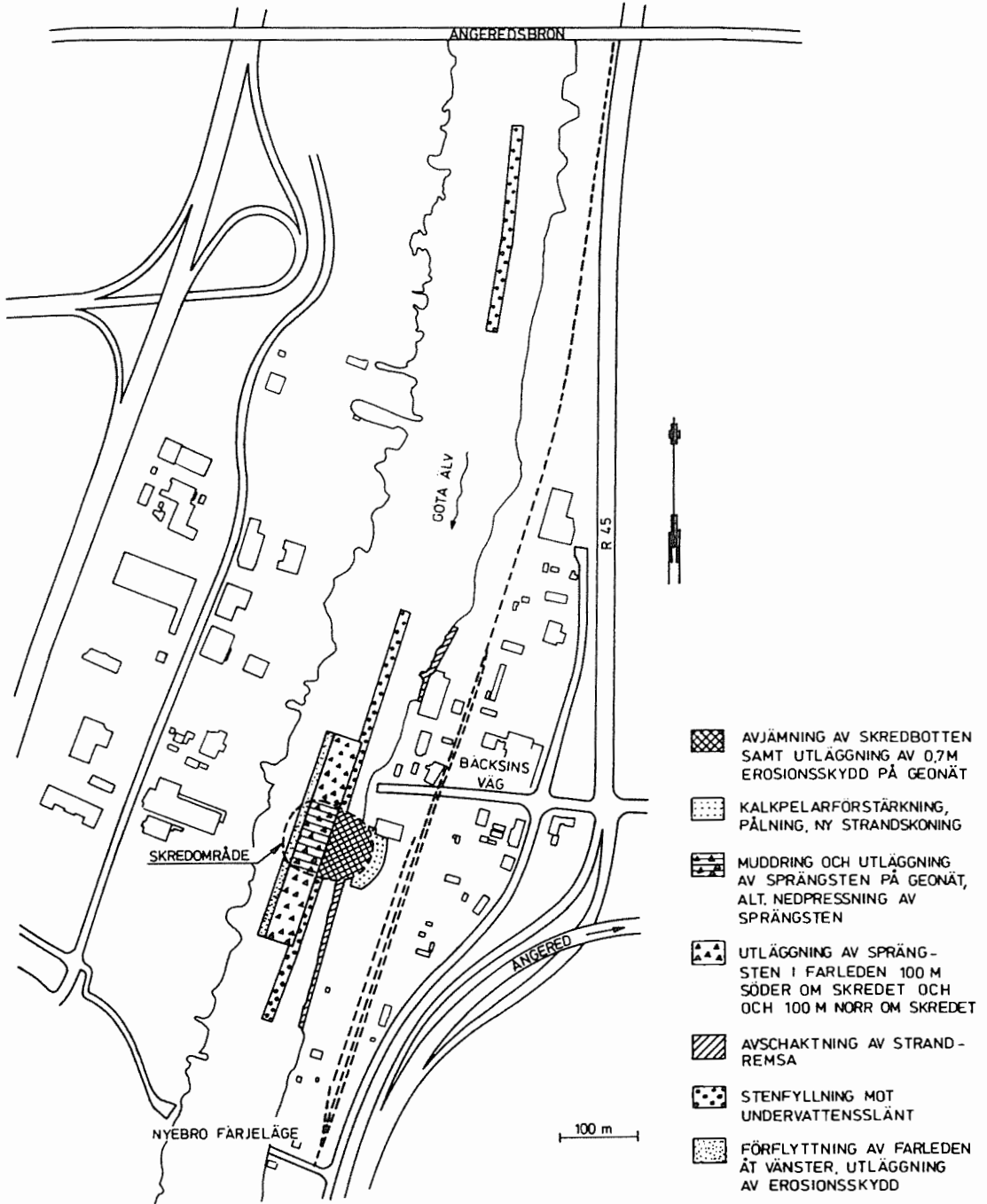


Figur 1.9. Förebyggande åtgärder, inom begränsade områden, norr och söder om skredet.

Omfattningen av förstärkningsåtgärderna inom skredområdet samt förebyggande åtgärder norr och söder om skredet framgår av Fig. 1.10.

Till förstärkningsåtgärderna kommer att kopplas belastningsrestriktioner samt krav på framtida kontrollåtgärder.

Dimensioneringen av förstärkningsåtgärder inom skredområdet har utförts av Göteborgs Gatu AB. Stabilitetsutredning och förslag till åtgärder norr och söder om skredet samt utredning rörande farledsförflyttning åt väster har utförts av Göteborgs Gatu AB i samråd och samverkan med Chalmers Tekniska Högskola och SGI.



Figur 1.10. Förstärkningsåtgärder - plan.

2. Riskbild

2.1 ALLMÄNT

Den mest sannolika skredutvecklingen i älvdalen är att skred börjar i vattenområdet eller strandkanten. Beroende på övriga förhållanden - t ex marklutningar, kvicklere-förekomst, artesiska porvattentryck - kan initialscred fortplanta sig bakåt och/eller åt sidorna. I alla större undersökta svenska skred har kvicklera påträffats, varför sensitiviteten är en god indikation på förutsättningar för att stora skred skall kunna utvecklas. Olika stora markområden kan således involveras primärt och sekundärt.

Konsekvenserna av ett skred i älvdalen är de skador på liv, egendom och miljö som kan uppstå till följd av skredet samt följdverkningar i form av driftsavbrott, begränsad eller stoppad framkomlighet såväl på land som i älven, störningar i Göteborgs vattenförsörjning och i kraftproduktionen i Trollhättan etc.

2.2 HOTADE INTRESSEN

Riskbilden i Agnesbergsområdet är komplex. Ett skred i området kan pga kvicklere-förekomst och artesiska portryck utvecklas till ett bakåtgripande skred och i princip komma att beröra all bakomliggande lermark och därmed omfatta mycket stora områden.

Flera hotade intressen och riskobjekt finns i området varav speciellt kan nämnas:

- Fartygstrafiken på älven
- Industriområden och anläggningar utmed älven
- Bergslagsbanan
- Riksväg 45
- Agnesbergs samhälle
- Vattenkraftsuttag i Trollhättan
- Råvattentillgång för Göteborgs stad

Till vad som ovan nämnts kan även tillfogas följdskador i form av översvämnings-skador, miljöpåverkan till följd av utsläpp av miljöskadliga ämnen vid ett skred etc.

2.3 TÄNKBARA SKREDFÖRLOPP OCH KONSEKVENSER

Ett skred i Göta älv dalen kan beroende på var skredet inträffar och skredets omfattning få mycket olika konsekvenser.

Två tidigare stora skred utmed älven, i Surte respektive Göta, visar på ett högst påtagligt sätt vilken omfattning ett skred i älv dalen kan få.

Surteskredet inträffade i september 1950. Samhället är beläget på älvens östra sida ca 15 km norr om Göteborg och ca 5 km norr om Agnesberg. Skredet hade en total längd utmed älven av ca 400 m och sträckte sig ca 600 m in från älvstranden. Stora delar av leran bestod av kvicklera. Artesiskt grundvatten förekom inom skredområdet. Skredet spred sig och kom slutligen att omfatta all mark mellan älven och fastmarkspartierna. En person omkom och 31 bostadshus förstördes.

Götaskredet inträffade i juni 1957. Även Göta är beläget på älvens östra sida ca 50 km norr om Göteborg. Skredet, som är det största som inträffat i modern tid i Sverige, omfattade en sträcka av ca 1,5 km utmed älven och sträckte sig som mest ca 250 m österut från strandkanten. Skredet började vid älven längst i söder och utvecklades hastigt norrut. Leran var inte kvick vid älvstranden, men däremot förekom kvicklera längre in i skredområdet. Tre personer omkom, en stor del av dåvarande Göta sulfidfabriks industriområde gled ut i älven, älven förträngdes kraftigt och en kraftig våg med bedömd maxhöjd på 6 å 8 m gick norrut.

Konsekvenserna av ett skred i älv dalen kan således bli mycket allvarliga. Olika tänkbara skredförlopp i Älv dalen och i Agnesberg med olika konsekvenser kan inbördes rangordnas och klassificeras enligt nedan, jfr Fig. 2.1.

■ Klass 1. Lindriga konsekvenser

Undervattensslänt och obebyggt strandområde berörs. Tillfälligt stopp i sjöfarten. Störningar i Göteborgs vattenförsörjning. Eventuellt påverkas kraftproduktionen genom mindre tappning.

Erforderliga åtgärder efter ett skred kan dock bli tämligen omfattande.

■ Klass 2. Stora konsekvenser

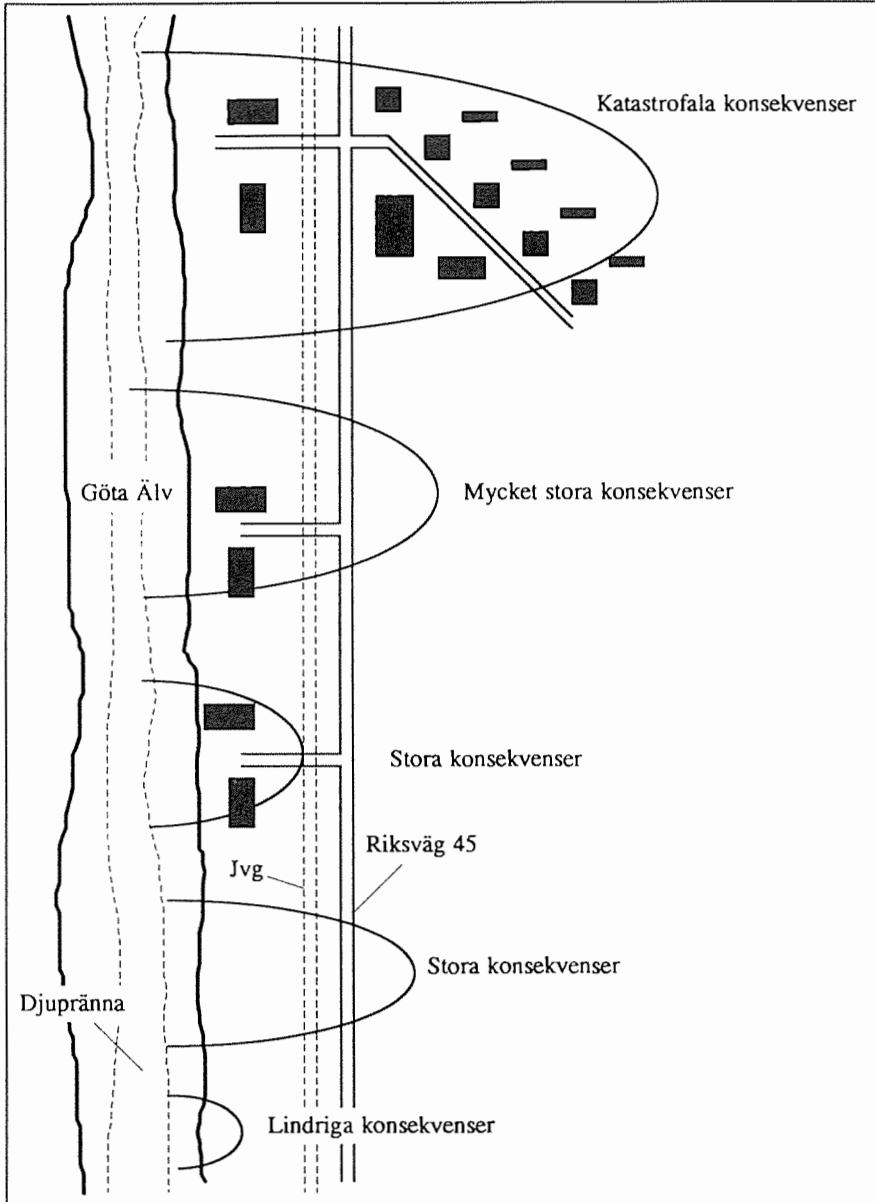
Större vatten- och landområde påverkas. Stopp i sjöfarten, kraftigt störd vattenförsörjning och kraftproduktion. Raserad industribebyggelse längs älven med några skadade eller omkomna personer eller alternativt väg och järnväg raserade.

■ Klass 3. Mycket stora konsekvenser

Relativt stort vatten- och landområde berörs. Både raserad industribebyggelse och raserad väg och järnväg, för övrigt lika klass 2.

■ Klass 4. Katastrofala konsekvenser

Stort vatten- och landområde berörs. Långvarigt stopp i sjöfart och vattenförsörjning, störd kraftproduktion. Raserad bostadsbebyggelse (nattboende), industribebyggelse samt långvariga avbrott i väg- och järnvägstrafiken.



Figur 2.1. Exempel på konsekvenser av skred i Göta älvdalen. (Från SGI-utredning Dnr 2-604/92)

3. Planförhållanden

3.1 NÅGRA UTGÅNGSPUNKTER

Följande redogörelse bygger på underlag i form av kopior av plan- och beslutshandlingar från Länsstyrelsen i Göteborgs och Bohus län samt remissyttranden från Statens geotekniska institut. Avsikten har varit att se i vilken mån geotekniska frågor inverkat vid planens tillkomst.

3.2 GÄLLANDE PLAN

Planen upprättades på Stadsbyggnadskontoret i Göteborg i april 1969 och reviderades i maj och september 1970 (Förslag till ändring och utvidgning av stadsplanen för delar av stadsdelarna Backa, Gamlestaden, Gårdsten, Hjällbo, Kortedala och Kärra i Göteborg - trafikplaneringar, industri m m vid Göta älv). Planen upprättades enl tidigare gällande planlagstiftning (Byggnadslagen) och fastställdes av länsstyrelsen genom beslut 1972-04-07 och gäller idag som detaljplan enl reglerna i Plan- och bygglagen (PBL).

Planen består av stadsplanekarta och stadsplanebestämmelser i särskild handling. Planen åtföljs av beskrivning, terräng- och illustrationskarta samt "geotekniskt utlåtande för planerat industriområde längs Göta älv inom Alelyckan respektive Agnesberg av år 1967".

Planområdet omfattar en ca 7 km lång sträcka av Göta älv och den östra älvstranden ungefär från Gamlestadstorget i söder till ca 1 km norr Agnesbergs station, dvs till strax söder om Angeredsbron. Planen redovisas på åtta kartblad och är till omfattningen fortfarande Göteborgs största plan. Plangränsen i väster ligger i älvens farledsmitt medan den östra gränsen i stort följer den nord-sydliga fastmarkskanten. Skredområdet i Agnesberg ligger i norra delen av planområdet.

Planens syfte

Planens främsta syfte (i de delar som berör skredområdet) var att skapa utrymme för behövliga trafikplaneringar, dvs främst den mark som idag upptas av Marieholmsleden och Riksväg 45 med tillhörande trafikplatser Lärje- och Agnesbergsmoten. Planen reserverar även mark för en framtida utbyggnad av den befintliga Berglagsbanan till dubbelspår. Planen sanktionerar också befintliga industriområden på tidigare icke planlagd mark i Agnesberg. Flera nya industriområden redovisas

dessutom i planförslaget. På grund av de geotekniska förhållandena fick byggrätten begränsas för vissa delar av marken.

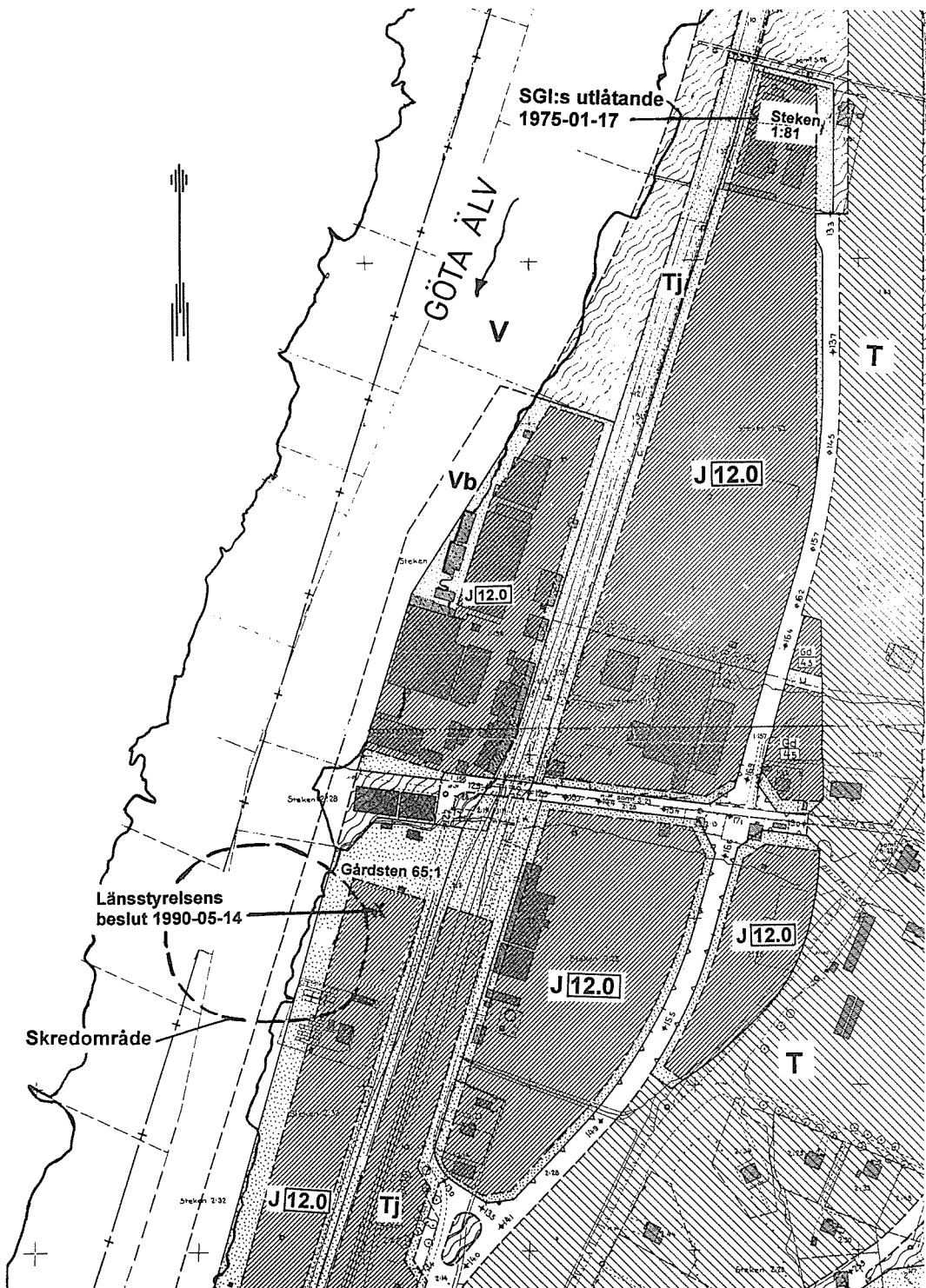
Markanvändning

Av plankartan (som är en juridiskt bindande handling) över den aktuella delen av området framgår följande tillåtna markanvändning (jfr Fig. 3:1): Vattenområdet (V) från farledsmitt (plangränsen) till kvartersgräns för industrimark har ca 60 m bredd. Av denna bredd får ca 15 m utfyllas eller överbyggas med bryggor eller dylikt (Vb). Mellan älven och järnvägsområdet (Tj) tillåts industribebyggelse med 12 m byggnadshöjd (J). Byggrätten (skrafferat område) har inom skredområdet en bredd av ca 45 m och inom Dorch Bäcksins område (norr om skredområdet) en största bredd av ca 85 m. Prickad mark får ej bebyggas. Mellan järnvägsområdet och vägområdet (T) i öster har utlagts relativt stora industrikvarter (J).

Planen behandlar även sjöfartens intressen. Av planbeskrivningen framgår följande:

Av förslagets illustrationskarta framgår nuvarande och framtida farled i Göta älv. Den framtida farleden, som överensstämmer med Trollhätte Kanalverks önskemål, avses få en bottenbredd av 40 m, en minsta segelfri höjd av 30 m och kunna fördjupas till 7,5 m räknat från lägsta lågvattenyta vilket ger bottenytan plushöjden 2,0 m. Bryggor o d kommer i enlighet med föreslagna stadsplanebestämmelser icke att kunna läggas närmare farleden än 24 m. Stadsplaneområdets västra gräns sammanfaller med den framtida farledens mittlinje. Nämnade fördjupning av farleden till 2,0 m över stadens nollplan överensstämmer ej med tidigare fastställd stadsplan för Göta älvs västra del. För denna del har förutsatts en fördjupning till 1,3 m över stadens nollplan. En sådan fördjupning av farleden skulle på grund av de ogynnsamma grundförhållandena innebära ytterligare inskränkningar av byggnadsmöjligheterna på båda sidor om älven. Vid samråd med Trollhätte Kanalverk har överenskommit om att en fördjupning av farleden till 2,0 m över stadens nollplan kommer att vara tillfyllest för framtida behov. Det är därför avsikten att området för Göta älvs västra del vid senare planläggning skall bringas till överensstämmelse med nu föreliggande planförslag. För att möjliggöra en framtida fördjupning av farleden har i förslaget intagits en särskild bestämmelse för områdena utmed älvstranden. Bestämmelsen föreskriver att nybyggnad, schaktning och fyllning får företagas eller upplag inrättas endast under förutsättning att byggnadsnämnden prövat detta kunna ske med hänsyn till markens stabilitet om farled inom angränsande vattenområde fördjupas till 2,0 m över stadens nollplan.

Den nämnda bestämmelsen framgår av § 8, Villkor för nybyggnad m m, i stadsplanebestämmelserna (bindande föreskrift) och gäller områdena betecknade A, J, U och Vb. Områdena betecknade A och U finns ej inom i Fig. 3.1 redovisade områden.



Figur 3.1. Plankarta, som visar tillåten markanvändning.

Geoteknik

Planbeskrivningen redogör också för de geotekniska förutsättningarna. Man konstaterar att grundförhållandena är mycket besvärliga längs Göta älv och att de ägnats uppmärksamhet under lång tid genom en serie olika utredningar. För Agnesbergsområdet redovisas följande.

Inom Agnesberg mellan Bergslagsbanan och älven - del av Dorch-Bäckens anläggningar och Axa kvarn - är stabiliteten betryggande i hela området vid nuvarande belastningsförhållanden med undantag av en udde omedelbart söder om Dorch-Bäckensin. Här har tidigare föreslagits en ca 2 m djup avschaktning för att förhindra successivt bakåtgripande skred. Avschaktningen har ännu ej utförts. Säkerhetsmarginalen medger icke att ansträngningen i jorden ökas mellan älven och järnvägen inom nämnda område. Eventuella byggnader bör utföras så att de ej försämrar stabiliteten utmed älven. Om nybyggnader eller ombyggnader skall utföras väster om järnvägen bör de planeras så, att den genomsnittliga belastningen inom området blir oförändrad eller minskas. Muddring i älven bör undvikas. Som önskvärd åtgärd, för att öka säkerheten mot skred, föreslås utökning med ytterligare filterbrunnar inom och nära industriområdet för sänkning av porvattentrycksnivån, helst till markytan.

Kommentar. Den nämnda avschaktningen utfördes 1972 i samband med utbyggnaden av väg 45. De förhöjda (artesiska) porvattentrycken hade konstaterats i flera undersökningar före planens tillkomst (dvs under 40-, 50- och 60-talen). I samband med olika bygglovärenden (före planen) föreskrevs installationer av filterbrunnar för att sänka portrycken i bottenlagren. Några ytterligare filterbrunnar - enligt planbeskrivningens förslag - har dock inte tillkommit i området. Idag finns kunskap om tre fungerande filterbrunnar.

För övriga delar av planområdet öster om Bergslagsbanan anges följande i planbeskrivningen:

Inom området mellan Bergslagsbanan och Agnesbergsmotet är stabilitetsförhållandena betryggande vid nuvarande belastningsförhållanden. Det föreligger inte något hinder mot att marken i framtiden belastas ytterligare.

Omedelbart öster om Agnesbergsmotet och norr om Angeredsleden är jordlagren hårt ansträngda i närheten av ravinerna. Vid kulvertering av bäckarna och uppfyllning av ravinerna inom och mitt för området måste fyllningens stabilitet längs ravinen beaktas. Områdets totala stabilitet mot väster synes i övrigt vara betryggande även vid ovannämnda eventuella framtida belastning av marken.

Säkerhetsfaktor

Avslutningsvis behandlas i planbeskrivningen även frågan om säkerhetsfaktorns storlek och byggnadsnämndens granskning:

Inom nu behandlade markområden bör en säkerhetsfaktor av 1,5 i princip kunna accepteras vid stabilitetsberäkningar för slänter, utfyllnader, schakter mm vid framtida byggnadsarbeten. Vid grundläggning av hus eller byggnader direkt på jordlagren bör dock eftersträvas en högre säkerhetsfaktor mot grundbrott, lämpligen 2,5-3.

De synpunkter och rekommendationer som härvid framhållits kommer särskilt att beaktas vid de detaljundersökningar som byggnadsnämnden kommer att kräva i samband med byggnadslovsgivningen.

3.3 BESVÄRSÄRENDET

Flera sakägare besvårade sig över länsstyrelsens beslut 1972-04-07 att fastställa planen. Inget av besvären gällde dock de geotekniska förhållandena i området. Efter hörande av byggnadsnämnden i Göteborg avstyrker länsstyrelsen bifall till besvären (yttrande till Civildepartementet 1972-10-11).

Av intresse är Statens Planverks yttrande över besvären (1973-04-24). Planverket tar upp de geotekniska frågorna och anför följande:

Av yttrande från Statens geotekniska institut den 6 november 1969 framgår att marken längs Göta älv mestadels utgörs av lera som i allmänhet har stor mäktighet. Leran är flerstädes så högsensitiv att den har kvicklerkaraktär och artesiskt grundvattentryck förekommer såväl i leran som i de genomsläppliga bottenlagren. Mindre utglidningar vid älven kan därför utvecklas bakåt till omfattande skred. Muddring av älven bör, enligt institutet, endast få utföras under förutsättningar att åtgärden prövas kunna ske utan att stabiliteten i otillåtlig grad försämras.

För att möjliggöra en framtida fördjupning av farleden i Göta älv har i § 8 i bestämmelseförslaget intagits särskild bestämmelse för områdena utmed älven. Bestämmelsen föreskriver att inom de med A, J, U och Vb betecknade områdena får nybyggnad, schaktning och fyllning företagas eller upplag inrättas endast under förutsättning att byggnadsnämnden prövat detta kunna ske med hänsyn till markens stabilitet om farled inom med V betecknat område fördjupas till 2,0 (två) meter över stadens nollplan.

Genom den föreslagna bestämmelsen uppskjuts de utredningar, som bör företagas innan markens utnyttjande kan bestämmas i en plan, till den tidpunkt då området skall tas i anspråk för bebyggelse. Då strandområdets lämplighet för avsett ändamål inte synes i tillräcklig grad utredd med hänsyn till de konsekvenser från stabilitetssynpunkt som kommer att uppstå vid en fördjupning av farleden och som även kan komma att

uppstå vid Angeredsledens utbyggnad bör de med A, J, U och Vb betecknade områdena samt ovannämnda bestämmelse undantas från fastställelse.

Byggnadsnämnden i Göteborg har beretts tillfälle att lämna synpunkter på Planverkets yttrande. På uppdrag av byggnadsnämnden bemöter Stadsbyggnadskontoret Planverkets synpunkter i yttrande till Civildepartementet (1973-05-18).

I yttrandet tillbakavisar kontoret Planverkets kritik och man ifrågasätter det föreslagna undantaget från fastställelse. Man hänvisar till alla geotekniska utredningar som utförts och till diskussioner med Trollhätte Kanalverk och SGI om farledsdjupet. Man konstaterar att frågan om framtida farledsdjup har varit avgörande för den föreslagna markanvändningen och att farledens bottennivå 2,0 m över stadens nollplan har legat till grund för utförda stabilitetsberäkningar. Kontoret anser därför att strandområdets lämplighet för avsett ändamål är tillräckligt utredd. Den ifrågasatta bestämmelsen anser man vara lämplig med hänsyn till de osäkerheter om bebyggelsens utformning och omfattning som föreligger vid planläggningstillfället. Föreskriften avser att precisera utgångspunkten för de mer detaljerade geotekniska utredningar som i varje särskilt fall måste föregå byggnadslovsprövningen. Planverkets förslag till undantag bör således icke bifallas.

I Civildepartementets beslut 1973-08-23 finner departementet att det saknas anledning att undanta § 8 i bestämmelserna från fastställelse. Därmed vinner planen laga kraft och gäller idag som detaljplan för området enligt PBL.

Kommentar: I både plan- och besvärshandlingarna har hänvisats till ett yttrande från Statens geotekniska institut av den 6 november 1969. Institutet har granskat stadsplaneförslaget från geoteknisk synpunkt med avseende på stabilitetsförhållandena utmed Göta älv. Man konstaterar att jordlagren mestadels utgörs av lera med stor mäktighet, att leran flerstädes är högsensitiv och av kvicklerekaraktär samt att artesiskt grundvattentryck förekommer såväl i leran som i de genomsläppliga bottenlagren. I yttrandet varnas även för att mindre utglidningar vid älven kan utvecklas bakåt till ett mer omfattande skred på grund av lerans kvicklerekaraktär. Stadsplanebestämmelserna i § 8 tillstyrkes (de ovan omdiskuterade). Institutet har ej avstyrkt planförslaget.

3.4 BYGGLOVHANTERING

Enligt nu tillgängliga handlingar finns uppgifter gällande två bygglovärenden. Det första gäller fastigheten Gårdsten 19:2 (tidigare Steken 1:81) belägen i den norra delen av industriområdet öster om järnvägen. Tomten ligger på ca 60 m avstånd från älvstranden.

Av yttrande i ärendet från SGI (1975-01-17, ref 20353) framgår att man tagit del av och granskat handlingar gällande en lagerbyggnad samt ett geotekniskt utlåtande. Institutet har gått igenom och kontrollerat utförda stabilitetsberäkningar och bedömer att det från stabilitetssynpunkt ej föreligger något hinder mot att den projekterade utbyggnaden utförs. Man konstaterar också att den beräkningsmässiga säkerhet mot skred i riktning mot älven är 2,4 och således godtagbar.

Det andra ärendet är mer intressant. Det avser en bygglovansökan från L G Skrotpressning AB om uppförande av en skrotningshall inom fastigheten Gårdsten 65:1, dvs den hallbyggnad vars västra gavel berördes av skredområdet. Företaget ansökte om lov för uppförande av hallbyggnaden men byggnadsnämnden beslöt 1990-02-06 att avslå ansökningen med åberopande av att hallen "skulle få en olämplig lokalisering med hänsyn till anläggningens inverkan på Göta älv". Härmed avsågs inverkan på vattenkvaliteten i Göta älv. En till bygglovansökan hörande geoteknisk utredning redovisade en beräkningsmässigt godtagbar säkerhet om minst 1,5.

Bolaget överklagade byggnadsnämndens beslut hos länsstyrelsen och yrkade att det upphävdes. I länsstyrelsens beslut 1990-05-14 bifalles besvären och ärendet visas åter till byggnadsnämnden för fortsatt handläggning. Länsstyrelsen motiverar ställningstagandet på följande sätt.

Vilken betydelse som skall tillmätas de förhållanden som nämnden åberopat har slutligen avgjorts genom detaljplanens tillkomst. Så länge denna gäller finns det inte något utrymme att på nytt pröva dessa förhållandena i lovärendet på så sätt att lov vägras. Om olägenheterna bedömes bli större eller av annat slag än vad man har haft anledning att räkna med när detaljplanen fastställdes kan olägenheterna bara beaktas på så sätt att detaljplanen ändras.

3.5 SGI:s MYNDIGHETSROLL

Sedan mitten av 1960-talet har institutet regeringens uppdrag att övervaka stabilitetsförhållandena i Göta älv dalen. Uppdraget genomförs genom regelbundna rörelsemätningar i vissa stationer samt årliga besiktningar av älvstränderna i samverkan med Trollhätte Kanalverk. Härutöver har älvdalskommunerna genom länsstyrelsebeslut ålagts att samråda med institutet i plan- och byggfrågor inom vissa angivna zoner i älvstråket. Samrådet bedrivs genom remisser till institutet av plan- och byggärenden samt i vissa fall genom besiktningar av personal från institutet. Dessutom tillkallas institutet regelmässigt vid alla skredtillbud i älv dalen. Verksamheten har fortgått och pågår kontinuerligt sedan uppdragets start på 1960-talet.

Institutet har inga beslutsbefogenheter i dessa sammanhang utan myndighetsrollen

är rådgivande. Institutets synpunkter beaktas dock i de flesta fall. I samband med remisser av planärenden kan dock länsstyrelsen besluta att upphäva en kommunal detaljplan om planen är olämplig med hänsyn till föreliggande skredrisker (säkerhetsaspekt).

Av redogörelsen ovan framgår att institutets synpunkter har inhämtats för den aktuella planen och i samband med bygglovsärenden inom planområdet.

4. Geologi

4.1 ALLMÄNT

Skred förekommer talrikt i Götaälvdalen. Många skred torde ha inträffat i samband med att marken i dalgången höjdes över havsytans nivå. I Agnesbergsområdet är dock inga äldre större skred kända. En viss ojämnhet i strandlinjen skulle kunna tyda på mindre skred under vattenytan. I bidalgången upp mot Rösered förekommer relativt stora områden med fördjupningar i markytan, som skulle kunna förväxlas med skredärr. Fördjupningarna utgörs emellertid enligt äldre kartor åtminstone till större delen av äldre lertäkter för dåtida tegeltillverkning.

Anledningen till att skred inträffar är ofta att flera faktorer samverkar på ett ogynnsamt sätt. En del faktorer (t ex skjuvhållfasthet) är direkt knutna till det aktuella skredområdet medan andra (t ex grundvatten- och portryck) kan vara påverkade av förhållanden på relativt stort avstånd från skredet. Flera faktorer är emellertid mer eller mindre beroende av varandra på ett komplicerat sätt, och det går inte att göra en enkel uppdelning i lokala och omgivande faktorer. Vid beskrivning av förutsättningarna för och vid sökande av orsaker till ett skred kan beskrivningen därför inte begränsas enbart till skredområdet utan måste även omfatta en tillräckligt stor del av omgivande terräng för att inga väsentliga fakta skall utelämnas. Den geologiska beskrivningen omfattar därför ett relativt stort område utanför själva skredområdet.

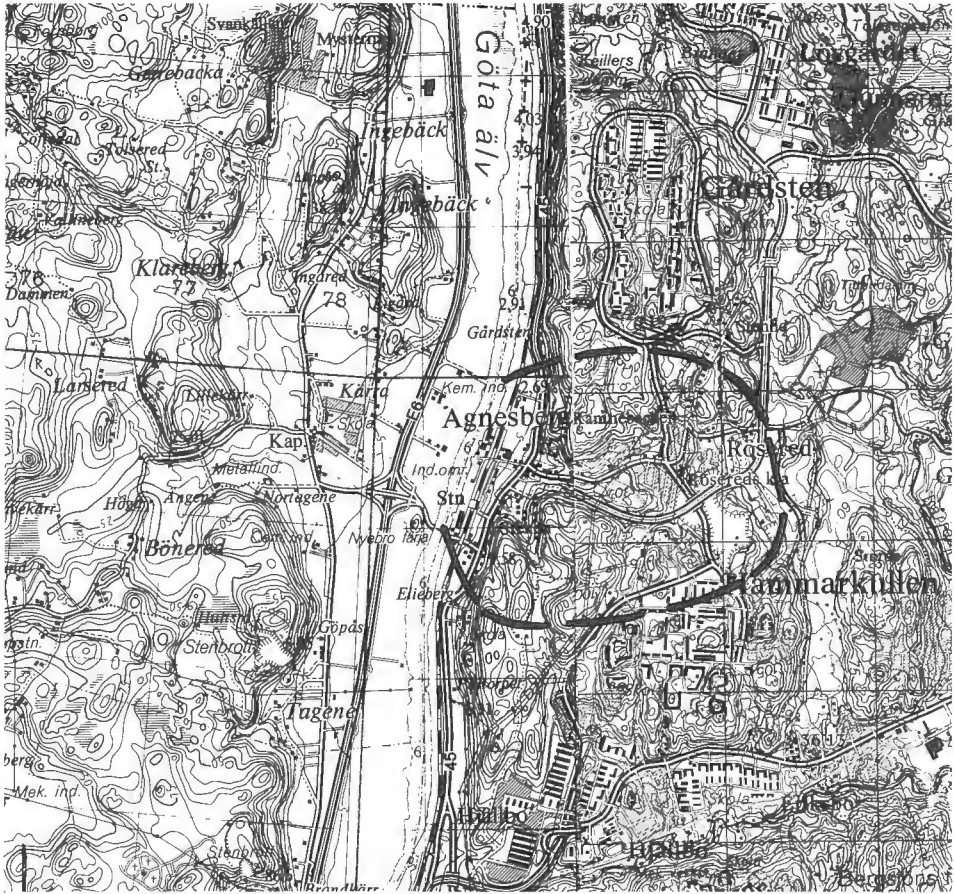
Beskrivningen avser området som är inringat på Fig. 4.1. Området motsvarar i grova drag avrinningsområdet för Agnesberg.

4.2 TOPOGRAFI

Agnesbergsområdet, som ligger på östra sidan av Göta älvs dalgång, karaktäriseras topografiskt av den flacka, i stort sett plana dalgångsbotten och de omgivande höga och branta bergsmassiven. Vinkelrätt mot Götaälvdalen går en bidalgång upp mot Rösered. I denna bidalgång går vägar mot Angered, Gårdsten och Hammarkullen.

Höjderna på ömse sidor om bidalen kallas Korpås i norr och Steken och Blixtås i söder.

Dalgångsbotten - med botten avses här den lägre belägna markytan i dalgången -



Figur 4.1. Översiktsbild av beskrivet område i Agnesberg. (Del av topografiska kartorna 7B Göteborg SV och SO).

utmed Göta älv ligger på nivån 1 - 20 m ö h, där den lägsta nivån omfattas av strandzonen och den högre återfinns i zonen närmast bergmassiven. Bidalgångens botten höjer sig från ca 20 till ca 50 m ö h mot öster. Höjdskillnaden mellan den låglänta marken och bergstopparna är som mest 75 à 100 m.

4.3 BERGGRUND

Bergarter

Berggrunden består av gnejsiga, granitiska bergarter, typ granit, granodiorit och tonalit (Magnusson, L. 1978, Magnusson, E. 1978 och Adrielsson & Fredén 1987).

Berggrundens topografi och strukturella egenskaper som större och mindre sprickzoner kan ha stor betydelse för stabiliteten genom deras inverkan på grundvattenförhållandena.

Tektonik och dess inverkan på geohydrologin

Tektoniska rörelser i bergunden har resulterat i ett antal större och mindre sprickor. De största sprickorna formar Götaälvdalen och den ovannämnda bidalgången. Utöver dessa finns ett antal mindre sprickdalar i bergterrängen. Sprickzonerna har markerats i Fig. 4.2.

Vatten kan transporteras både som ytvatten och grundvatten i sprickzonerna. De mindre sprickzonerna kan föra vatten ned mot de större dalgångarna. Strömningsriktningen har markerats med pilar.

4.4 KVARTÄRGEOLOGISK UTVECKLING

Området präglas av de sedimentfyllda dalgångarna och de branta höga bergen. SGUs jordartskartor Serie Ae Nr 72 och 26 redovisar de ytligt liggande jordarterna. Där framgår att postglacial lera förekommer i Götaälvdalen med svämsediment i strandzonen. Underliggande glacial lera går allmänt i dagen på nivåer högre än 25 m ö h. Svallsediment förekommer och har störst utbredning i bidalen. Vid bidalens östra ände ca 2 km från Göta älv ligger en isälvsavlagring i vilken stora grustag förekommer. På bergshöjderna förekommer glacial lera i sprickorna, i övrigt saknas i princip jordlager på dessa höjder.

Under den postglaciala leran ligger ett mäktigt lager av glacial lera. Av sonderingar framgår att den glaciala leran åtminstone på vissa ställen underlagras av ett minst 10-15 m mäktigt lager friktionsjord. De geologiska bildningsförutsättningarna i den djupa Götaävdalen utesluter inte att en större eller mindre del av denna friktionsjord består av isälvsmaterial, vars grovkornighet i princip bör öka mot djupet.

En mer detaljerad beskrivning av jorden och dess geotekniska egenskaper återfinns i kapitel 6 och 7.

Jordlagrens bildning

Den senaste istiden och landisens avsmältning har i hög grad satt sin prägel på geologin och topografin i Agnesberg. De mäktiga sedimenten i Götaälvdalgången och dess omgivningar är en produkt av landisens avsmältning. Landisens yttre front, som låg söder om Sverige, började smälta för ca 20 000 år sedan. För drygt 12 000 år sedan stod isfronten vid Agnesberg och 3000 år senare var landisen i stort sett bortsmält från Sverige.



Figur 4.2. Avrinningsförhållanden i Agnesbergområdet. Sprickzoner är markerade med streckade linjer med vattnets strömningsriktning markerade med pilar. Utmed de branta sluttningarna som vetter mot älvdalen har ytavrinningen markerats med pilar. (Del av ekonomiska kartorna 7B2e och 7B2f). Sprickbilden har dels hämtats från Magnusson, L. (1978) för högra delen av Figuren, dels tolkats från flygbilder över hela området.

Under perioden från isfriläggningen fram till våra dagar har strandnivån i västra Sverige genomgått stora förändringar. Strandens nivåförändringar redovisas med s k strandförskjutningskurvor. I Fig. 4. 3 redovisas en strandförskjutningskurva för Göteborgstrakten och som i princip även är representativ för Agnesberg (Adriellsson & Fredén (1987).

Vid friläggningen från landisen var jordskorpan nedtryckt av landisen och strandnivån i Agnesbergstrakten låg ca 100 m över nuvarande havsnivå. Denna nivå utgör strandlinjens högsta nivå, vars geologiska benämning är högsta kustlinjen, HK. Vattendjupet i Agnesberg var sålunda knappt 100 m relativt nuvarande markyta. I de nu sedimentfyllda dalgångarna var vattendjupet ännu större eftersom dessa ej var sedimentfyllda vid denna tidpunkt. De högsta bergstopparna inom området stack förmodligen upp som enstaka skär.

För ungefär 11 000 år sedan låg havsnivån ca 50 m över nuvarande havsyta och drygt 1 500 år senare ca 15 m ö h, d v s den högre belägna terrängen (över 15 m ö h) i Agnesbergsområdet var torrlagd.

Torrläggningen blev emellertid kortvarig eftersom havsnivån började stiga för 9 500 år sedan och Agnesberg blev åter översvämmat (transgredierat). Översvämningen, kallad den postglaciala transgressionen nådde sin kulmen för ca 7 500 år sedan då havsytan låg på nivån 20-25 m ö h. Därefter tog landhöjningen överhand och landet höjde sig sakta ur havet och för ca 5 000 år var Agnesbergsområdet åter torrlagt till nivån 15 m ö h. Landhöjningen är i dag ca 2 mm/år.

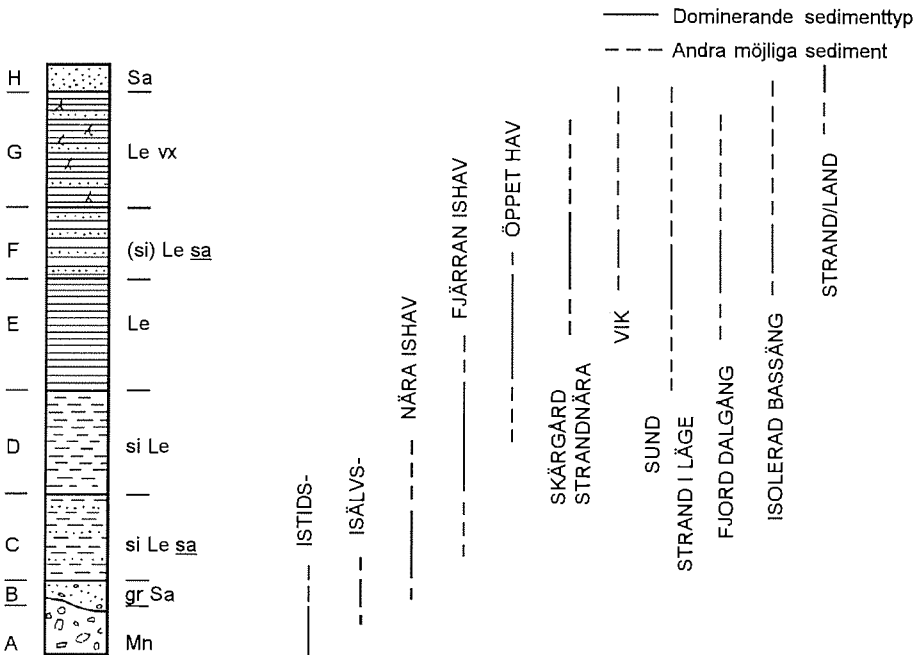
Bildningsförutsättningarna för sedimentjordarna i sydvästra Sverige återges i Fig. 4.4 (Stevens et al, 1984). I den följande beskrivningen av jordlagren hänvisas till denna figur via bokstavsbezeichnungar.

När landisen stod vid och nära Agnesberg avsattes grovt material i form av sten, grus och sand i bottenlagren (lager B) ovanpå tidigare avlagrad morän (lager A) eller direkt på berget. I avsmältningens tidigaste skede växlade klimatet så att landisens tillbakaryckning kunde bromsas och t o m vändas i en framryckning. Dessa upp- och nedbromsningar och framstötningar av isen kan eventuellt avläsas i form av ökad förekomst av skikt med grövre sammansättning i de djupast liggande sedimenten samt förekomst av moränbäddar i dessa sediment. Den framryckande landisens tryck mot tidigare avsatta sediment bör dock ha varit litet på grund av vattnets lyftkraft i det stora vattendjupet.

Under tidsperioden 12 000 - 9 500 år före nutid avsattes huvuddelen av de finkorniga sedimenten i huvudsak i form av glaciallera - d v s materialet kommer i huvudsak från den bortsmältande landisen. I glaciallerans undre del (lager C) är leran siltig



Figur 4.3. Strandlinens förskjutning för Göteborgsområdet. När kurvan lutar nedåt stiger landet upp ur havet (torrläggning), medan uppåt lutande kurva innebär att tidigare torrlagd mark översvämmas. (Adrielson & Fredén, 1987).



Figur 4.4. Generaliserad jordlagerföljd och dess samband med geologisk bildningsmiljö för en typlokal på Västkusten. (Stevens et al, 1984).

och sandskikt förekommer på grund av relativ närhet till isfronten med dess slamtransporterande smältvatten. I glacialerans övre delar (lager D och E) ökar lerhalten på grund av lugnare strömförhållanden.

Den postglaciala tiden började för ungefär 10 000 år sedan, varför lagren F, G och H tillhör de postglaciala avlagringarna.

Den postglaciala transgressionen innebar dels erosion av sluttningar och avlagring av grövre material, s k svallsediment av silt, sand och grus, på de tidigare bildade lerlagren och dels sedimentation av sk postglacial lera med högre inslag av organiskt material än den glaciala. De successivt grundare förhållandena återspeglas i ökat inslag av silt i leran och silt- och sandskikt.

De postglaciala avlagringarnas totala mäktighet kan uppgå till 10-15 m i Götaälvdalens centrala del.

De grövre svallsedimenten (sand och grus) avsattes nära den dåvarande stranden och återfinns i dag i eller nära markytan. Längre ut från stranden avlagrades de finkornigare svallsedimenten (silt och sand), som efterhand överlagrades av finkornigare sediment.

5. *Geohydrologi*

Topografi, spricksystem i berggrunden och jordlagerförhållanden är avgörande faktorer för grundvattnets strömnings- och tryckförhållanden.

5.1 BESKRIVNING

De större transportvägarna för yt- och grundvatten har markerats i Fig. 4.2. Större sprickstrukturer i berggrunden har markerats med streckade linjer. Vatten från bergshöjderna rinner ned mot de större sprickzonerna som sedan transporterar vattnet vidare ned till friktionsjorden under lerlagren. Man kan inte utesluta att grundvatten i bergsprickor här och var står i direktkontakt med leran, där leran vilar direkt på berget.

Grundvattenmagasinet under leran består dels av de förmodade grövre avlagringarna under leran, dels av grövre skikt i lerans undre delar. Eftersom grundvattenmagasinet under leran i Götaålvdalängan uppenbarligen är fullt (helt vattenmättat) är även de lertäckta grövre jordlagren och bergsprickorna på högre nivåer fulla med grundvatten. Detta innebär att de högre liggande grundvattenmagasinen medför ökat tryck i grundvattenmagasinet under leran. Eftersom de mäktiga lerlagren har mycket stort motstånd mot vattengenomträngning fungerar leran i princip som ett lock för grundvattnet och grundvattentrycket mot lerans underkant blir mycket stort. Trycket i det undre grundvattenmagasinet i Agnesberg är så stort att dess trycknivå ligger ca 7 m över markytan.

Även i silt- och sandskikt i leran, som utmed älvdalens sidor har kontakt med den vattenförande friktionsjorden under lerlagren, kan lokala artesiska grundvattentryck förekomma. I den postglaciala leran närmast fastmarken finns förutsättningar för att sådana skikt har bildats i samband med den postglaciala transgressionen.

Övertrycket i grundvattnet under leran innebär att grundvattnet på grund av lerans höga motstånd mot vattengenomträngning mycket sakt strömmar uppåt genom lerlagren. Vid denna vattentransport har lerans ursprungliga porvattensammansättning förändrats. Om porvattnet ursprungligen var salt och salthalten minskats avsevärt genom grundvattenströmningen kan lerans sensitivitet ha höjts avsevärt och kvicklera ha bildats.

6. Geoteknik

6.1 TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR

Tidigare geotekniska undersökningar inom de områden som närmast angränsar till skredområdet har främst utförts i samband med utbyggnad av väg- och järnvägsnätet på den östra sidan av Götaälvdalen samt i samband med lokalisering av olika industribyggnader utefter den östra älvstranden. Undersökningarna har visat att jorden i området består av upp till cirka 40 m tjocka kompressibla lerlager som vilar på ett lager av friktionsjord. Porvattentrycken i friktionsjorden är artesiska med en tryckhöjd som ligger 6 - 8 m över älvens medelvattenyta.

Det översta marklagret består inom stora delar av området av fyllning som lagts ut för att hårdgöra markytan och att kunna utnyttja marken för körbanor och uppställningsytor. De översta lerlagren är högplastiska, innehåller växtdelar och benämns i en del undersökningar som gytjtjuga. Därunder övergår leran till en homogen mellanplastisk lera ned till friktionsjorden. Vattenkvoten i leran är genomgående betydligt högre än flytgränsen och sensitiviteten är hög, speciellt i den mellanplastiska leran. Direkt norr om själva skredområdet har en bäck mynnat ut i älven. Inom ett mindre område runt bäcken och ut i älvfåran har svämsediment bestående av sand, silt och organisk silt med en mäktighet av upp till cirka 4 m kommit att överlagra leran. Detta har i sin tur medfört att hållfastheten i den underliggande leran i detta område är något högre än i kringliggande markpartier. Vid själva älvkanten finns en mindre vall och ett erosions skydd av sprängsten.

Området omkring skredplatsen är relativt flackt med en lutning av cirka 1:50. Väg- och järnvägsanläggningarna ligger här relativt långt från älven. Spårområdet för järnvägen ligger 65 - 90 m från älvstranden och avståndet till riksväg 45 är cirka 200 m. Stabiliteten för långa glidytor som skulle involvera väg och/eller järnvägen har därmed inte varit av primärt intresse.

Närmast norr om själva skredområdet utfördes 1990 en undersökning i samband med uppförande av en lättare hallkonstruktion cirka 15 m från älvstranden. Denna visade en tillfredsställande stabilitet vid odränerad analys för långa glidytor, $F_c \approx 1,5$ (1.46). Denna byggnad är dock uppförd inom det markområde som berörs av svämsedimenten, vilket påverkar stabiliteten gynnsamt. Området med dessa sediment kom senare att utgöra den norra gränsen för skredets utbredning.

I samband med denna undersökning företogs också lodning av älvfåran. Man fann då att utanför strandkanten var älven långgrund med ett vattendjup som sakta ökade

från cirka 1 till 3 m på ett avstånd av 25 - 30 m från stranden. Här ökade vattendjupet med en brant undervattensslänt ned till cirka 8 m under medelvattenståndet. Älvfårans tvärsektion inom det aktuella området hade i övrigt inte närmare undersökts, förutom att man regelbundet genom ramning förvissat sig om att djupet inom den 40 m breda farleden varit minst det föreskrivna, d.v.s. att botten legat djupare än nivån +3,2 m vilket är 7,1 m under medelvattenståndet.

Befintliga undersökningar visar att jordförhållandena på den västra sidan om älven är likartade, men här är området närmast älven inte lika utfyllt och utnyttjat. Senare undersökningar har också visat att bottenkonturen i älven skiljer stort mellan de båda sidorna.

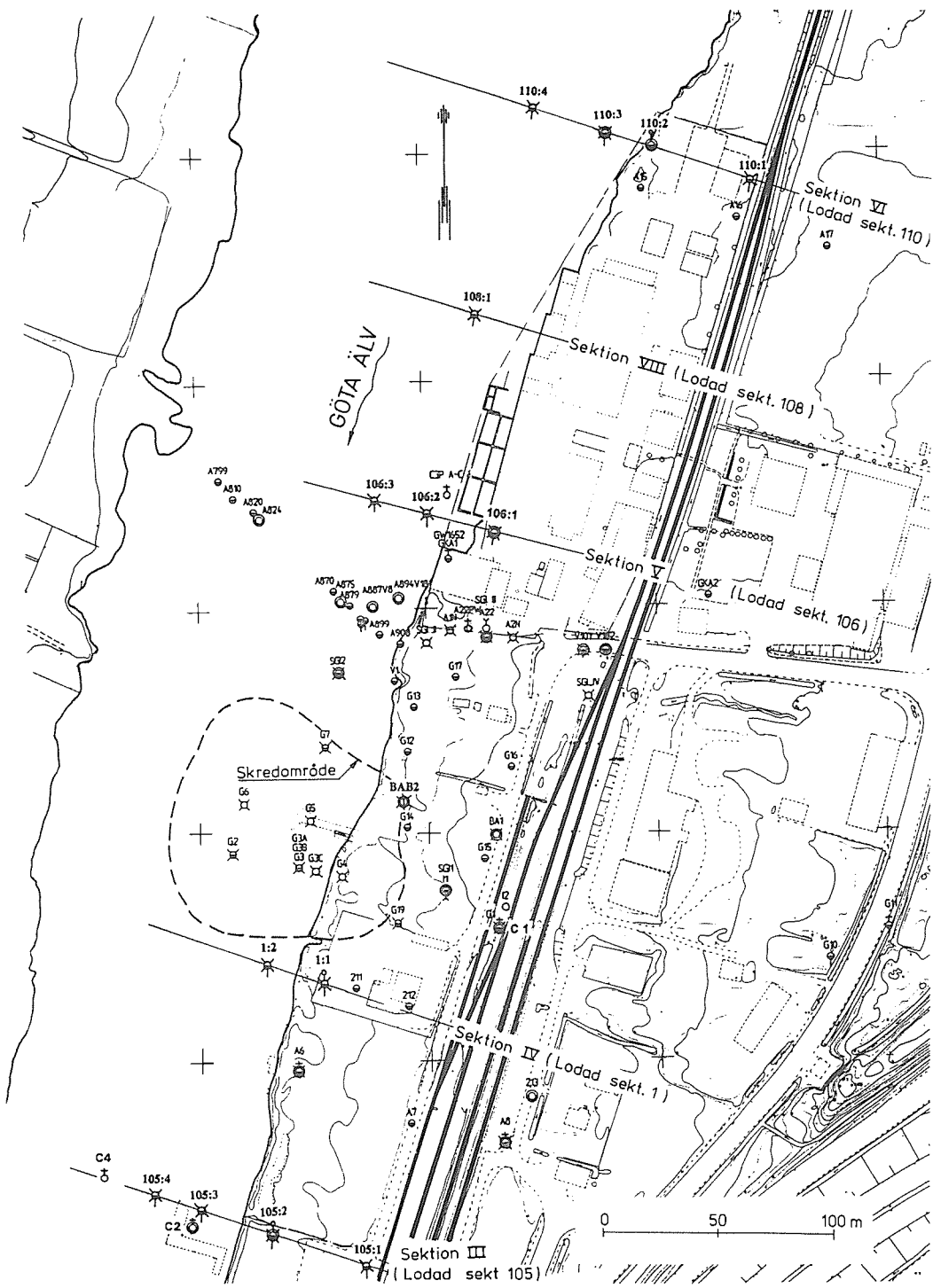
6.2 UTREDNINGAR I SAMBAND MED SKREDET

Direkt efter skredet startade omfattande geotekniska undersökningar i och omkring skredområdet, dels för att söka utröna skredorsaken, dels för att få erforderligt underlag för dimensionering av stabiliseringsåtgärder och återställning av farleden. Dessa undersökningar har bedrivits i samarbete mellan Göteborgs Gatu AB, Chalmers tekniska högskola (CTH) och SGI. Senare uppdrog den av regeringen tillsatta Agnesbergsutredningen åt Göteborgs Gatu AB att dessutom, i samråd och samverkan med CTH och SGI, utreda vilka eventuella behov av förstärkningsåtgärder som föreligger inom en sträcka av totalt 2 kilometer längs älven, belägen från cirka en kilometer uppströms till en kilometer nedströms skredområdet.

De geotekniska undersökningarna för återställande av skredområdet utfördes främst inom och närmast bakom själva skredområdet. För utredning av skredorsaken har undersökningar också genomförts i naturlig oskredad jord på ömse sidor om skredområdet i syfte att få en bild av hur jordens egenskaper inom skredområdet kan antas ha varit före skredet. I detta arbete har också tidigare undersökningsmaterial kunnat användas. I och med det utökade utredningsuppdraget har sedan ytterligare information erhållits om jordens, egenskapernas och topografins variation längs en större sträcka av älven.

I de undersökningar som utförts i anslutning till skredområdet ingår, se borrrplan i Fig. 6.1:

■ *Ostörd provtagning och fullständig rutinundersökning*, som utförts i två punkter cirka 20 respektive 50 m bakom skredkanten, i en punkt 25 m ut i älven cirka 30 m norr om skredet, i två punkter cirka 120 m söder om skredet, en på land 10 m innanför strandkanten och en i älven 20 m ut från stranden, samt i ytterligare en punkt cirka 20 m söder om skredet 10 m in på land. Från tidigare undersökningar finns



Figur 6.1. Utförda geotekniska undersökningar i och omkring skredområdet.

tillgång till data från en ostörd provtagning strax innanför skredets norra bakkant och en som utförts cirka 60 m söder om skredet 10 m in på land. Utöver rutinundersökningarna har ett stort antal *ödometerförsök* utförts i syfte att klarlägga jordens konsolideringstillstånd och ett antal *odränerade, aktiva triaxialförsök* har utförts som komplement till dessa och för bestämning av jordens hållfasthetsparametrar vid odränerad aktiv skjuvning. I ett par provtagningspunkter har också resistiviteten i jordproverna mätts för att få ett indirekt mått på salthaltens variation i porvattnet.

■ *Vingförsök*, som utförts i samtliga ovan nämnda punkter och dessutom i sex punkter inom själva skredområdet och en vid skredets södra bakkant. I sektionen cirka 20 m söder om skredet (lodad sektion 1) har ytterligare vingförsök utförts i en punkt cirka 15 m ut i älven och i sektionen cirka 120 m söder om skredet (lodad sektion 105) har vingförsök också utförts cirka 55 m in på land och 40 m ut i älven.

■ *CPT-sondering*, som utförts i nästan alla dessa undersökningspunkter. Undantag är de äldre undersökningspunkterna, undersökningspunkten vid skredets södra bakkant och fyra av undersökningspunkterna med vingförsök i rasmassorna inom själva skredområdet. Av sonderingarna har 6 stycken utförts enligt sonderingsklass 3, som innebär de högsta kraven på noggrannhet. Dessa omfattar huvuddelen av de CPT-sonderingar som utförts på land samt sonderingen i punkten 25 m ut i älven cirka 30 m norr om skredet. Övriga sonderingar har utförts med grövre sonderingsklasser.

■ *Trycksondering*, som utförts i ett antal punkter i skredets bakkant samt bakom och norr om skredområdet.

■ *Portrycksmätning*, som utförts med portrycksmätare på flera nivåer i fyra stationer; 50 m bakom skredkanten, i strandkanten 120 m norr om skredet, 20 m ut i älven 120 m söder om skredet samt i kanten av djupfåran strax söder om skredområdet. Det artesiska vattentrycket i friktionsjorden under leran har dessutom mätts i öppna grundvattenrör i fem sektioner, två norr om och tre söder om skredet.

■ *Lodningar av älvens botten*, som har utförts i ett stort antal tvärsektioner, dels inom och närmast själva skredområdet, dels inom den två kilometer långa utredningssträckan.

■ *Inklinometermätning*, som utförts bakom och på ömse sidor om skredområdet för kontroll av pågående rörelser och effekter av olika åtgärder i samband med återställningsarbetena.

■ Dessutom har en *fotogrammetrisk studie* utförts på äldre flygfotografier över

området i syfte att, om möjligt, uppmäta eventuella markrörelser som inträffat i området under de senaste decennierna.

Resultat från de utförda geotekniska undersökningarna redovisas i Bilaga.

6.3 GEOTEKNISKA GRUNDFÖRHÅLLANDEN

Jordlagerförhållanden

Den naturliga jordlagerföljden inom området består i huvudsak av ett 30 till 40 m tjockt kompressibelt lerlager som vilar på friktionsjord. Lerlagrets tjocklek varierar något utefter älven. I strandkanten 120 m norr om skredet är den cirka 35 m, strax söder om skredet 37 till 38 m och 120 m söder om skredet cirka 42 m. I skredområdet bedöms motsvarande tjocklek ha varit cirka 33 m. Vid skredområdet minskar tjockleken sakta med avståndet till älven, men 70 m bakom den ursprungliga strandkanten är lerdjupet fortfarande cirka 32 m. Markytans lutning var här cirka 1:50 och lerlagrets underyta lutar enligt sonderingarna inom detta avstånd och vidare 50 m ut i älven cirka 1:40. Av resultaten från CPT-sonderingarna framgår att friktionsjorden troligen i huvudsak består av sand med inbäddade skikt av silt och lera. Dess mäktighet är inte fastställd, men i punkt 1:1 30 m söder om skredområdet drevs CPT-sonderingen utöver 37 m i lera ytterligare 13 m i friktionsjord innan den avbröts utan att fast botten påträffats. CPT-sonderingar cirka 300 m norr om skredområdet har drivits vidare över 15 m genom omväxlande friktionsjord och lera utan att fast botten påträffats. Också de utförda trycksonderingarna har i ett flertal punkter drivits 8 till 15 m i friktionsjorden med hjälp av rotation.

Det övre lerlagret består av grå högplastisk lera med inslag av skal och växtrester. Detta lager är cirka 13 m tjockt. Därunder övergår leran till grå sulfidfläckig mellanplastisk lera med inslag av skal ned till friktionsjorden. Enstaka inslag av avvikande material har påträffats. I borrhöjningen 50 m bakom skredet påträffades ett cirka 2 m tjockt lager av högplastisk lera inbäddat i den lågplastiska leran 19 m under markytan. Detta lager gav också ett markant utslag på resultaten från CPT-sonderingen 20 m bakom skredet. I övriga provtagningspunkter inom området kan också en förhöjning av flytgräns och vattenkvot observeras på ungefär motsvarande nivå. I borrhöjningen 25 m ut i älven och 30 m norr om skredet påträffades grå sand och rikligt med skal på ett djup av 25,2 m. Detta lager har inte kunnat återfinnas i kringliggande undersökningspunkter, utan får betraktas som en lokal anomali.

Inom ett cirka 100 m brett område direkt norr om skredområdet har jordlagerföljden påverkats av en bäck som runnit ut i älven. Runt bäckfäran och ute i älven har svämsediment av sand, silt och organisk silt avsatts ovanpå lerlagren. Av undersök-

ningsresultaten framgår att mäktigheten av dessa sediment är maximalt cirka 4 m. I samband med utbyggnad av trafiklederna har bäckfåran delvis letts om och delvis kulverterats och någon öppen bäck finns inte idag.

Leran i området har avsatts i en marin miljö. I huvudsak på grund av de artesiska vattentrycken i området, men också på grund av diffusion och perkolation av ytvatten, har leran sedan kommit att urlakas så att salthalten idag är avsevärt lägre. De utförda resistivitetsmätningarna tyder på en kvarvarande salthalt som i mitten av lerlagret är i storleken 0,4 % och som i bottenlagren och närmast markytan respektive älvbotten är ännu lägre. Bland annat på grund härav, har leran idag en vattenkvot som är 20 till 30 % högre än dess flytgräns (flytindex $\gg 1$) vilket skapat förutsättningar för hög sensitivitet och eventuellt kvicklereegenskaper. Hela lerprofilen är också högsensitiv, speciellt den mellanplastiska leran, och större delen av leran har också sådana egenskaper som betecknar en kvicklera.

Lerans densitet varierar något med vattenkvoten men är i huvudsak runt $1,6 \text{ t/m}^3$. Densiteten i svämsedimenten är i storleken $1,8 \text{ t/m}^3$.

Markyta och topografi

Markytan inom området är i stort sett plan med en svag lutning av cirka 1:50 upp mot järnvägens spårområde, som före skredet var beläget 65 till 90 m från älvstranden. Markytan är något uppfylld med grövre material på torrskorpan för hårdgörning av körytor och uppställningsytor. Inom skredområdet utgjorde den tillfart till och uppställningsyta framför en hall av lättviktskonstruktion som används för bilskrotning. Ytbelastningen kan antas ha varit relativt liten. Vid tidigare stabilitetsberäkningar inför hallens uppbyggnad användes en antagen utbredd ytlast av 5 kPa. Närmast stranden fanns en mindre vall, cirka en halv meter hög och några meter bred, med grövre material som strandskydd mot erosion.

Inom skredområdet kan bottenkonturen i älven före skredet endast antagas med ledning av den lodning av botten som gjordes i samband med uppförandet av bilskrotningshallen strax norr om skredområdet och de lodningar som senare har gjorts uppströms och nedströms om skredområdet. Genomgående för alla dessa lodningar är att de på den östra sidan, där skredområdet är beläget, visar en tvärsektion av älven med en relativt grund och flack botten invid stranden. Detta grundare parti har en varierande bredd, vilket också avspeglas i det varierande avståndet mellan farleden och strandlinjen. Vid slutet av det grundare partiet stupar botten brant ner mot farleden med undervattensslänter vars höjd i vissa sektioner överstiger 6 m och vars lutning i vissa partier är brantare än 1:1. Älvbotten är sedan relativt plan med en variation av ett par meter inom den 40 m breda farleden. Ramad nivå inom farleden är +3,2 m vilket är 7,1 m under medelvattenytan, men ytterligare minst 2 m djupare partier har uppmätts. Vid undersökningen för bilskrotningshallen

angavs bottennivån ligga på nivån +2 m. På älvens västra sida minskar djupet mera gradvis in mot stranden, vilken här ligger på större avstånd från djupfåran än på den motsatta sidan.

I undersökningen för bilskrotningshallen angavs det grundare partiet på den östra sidan ha en bredd av 25 till 30 m. Den branta slänten kan av uppgifterna bedömas ha en undervattenshöjd av minst 5 m och är ritad med en lutning av cirka 1:1. Nya lodningar direkt norr om skredområdet har visat på profiler med motsvarande bredd på det grunda partiet, slänter med höjder upp mot 6,5 m, men något flackare lutningar av cirka 1:1,5. 20 m söder om skredet uppmättes det grundare partiet ha en bredd av cirka 20 m och slänten ha en höjd av cirka 5,5 m samt en lutning av cirka 1:2.

Inom skredområdet kan således antas en bottenprofil med vattendjupet cirka 1 m närmast strandkanten, ett i medeltal cirka 24 m brett grundare parti med vattendjupet sakta ökande till cirka 2m, en brant slänt med en höjd av cirka 6 m och en lutning av cirka 1:1,5, men alla dessa antaganden är behäftade med vissa osäkerheter.

Inom övriga lodade sektioner av älven på större avstånd från skredområdet har på samma sida uppmätts branta slänter med höjder av liknande eller mindre storlek. Lutningarna har oftast varit flackare, men i en del slänter med lägre höjd har de varit nästan vertikala. Det grunda partiets bredd har genomgående varit större.

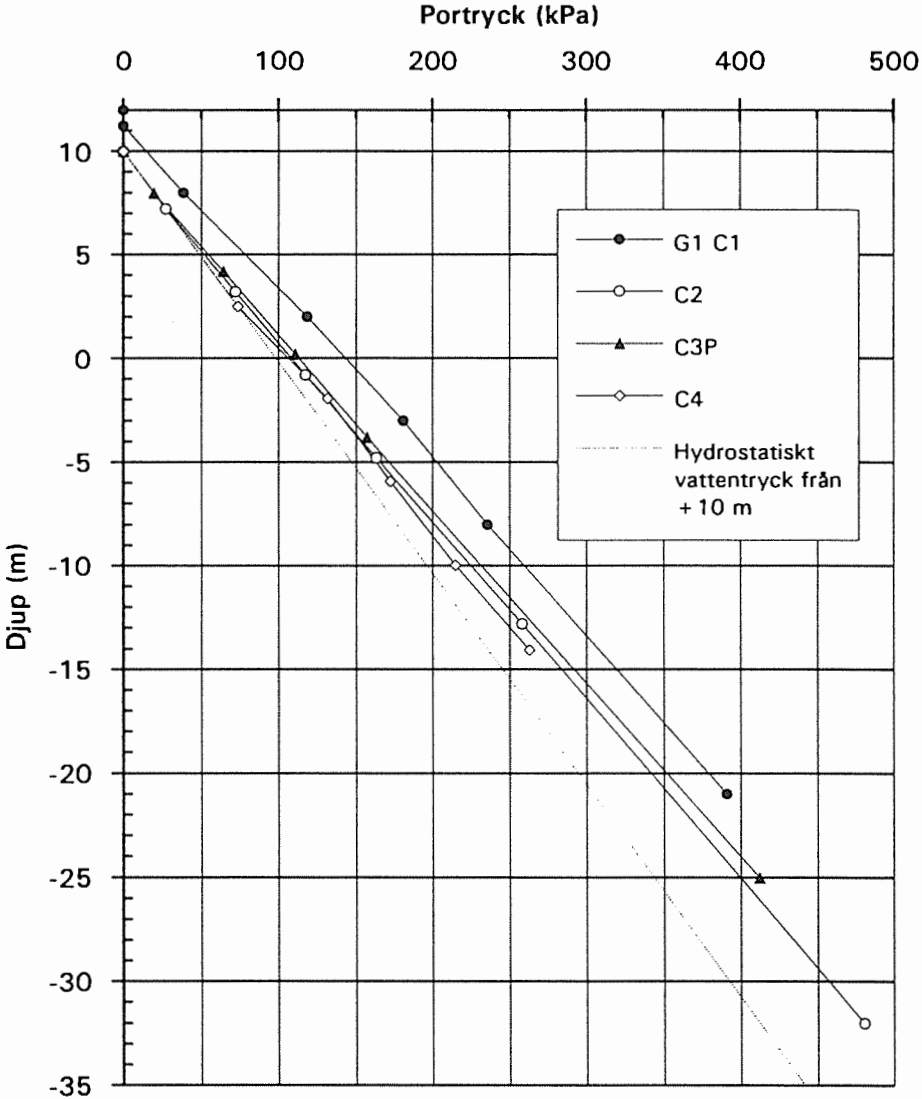
Vattenståndsnivåer och porvattentryck

Medelvattenståndet i älven ligger på nivån +10,3 m. Lägsta lågvattennivå anges till +9,3 m. Avståndet till utloppen i Göteborgs hamn respektive Nordre älvs mynning är relativt litet och vattenståndet är främst beroende av aktuella lufttryck och vindförhållanden vilka styr vattenståndet i havet utanför. Momentana vattenståndsförändringar kan också uppstå på grund av fartygstrafiken i älven. Vid skredtillfället rådde i stort sett normalvattenstånd.

Den fria grundvattenytan i marken ovanför älvens stränder ligger högt. Närmast ursprunglig strandkant låg markytan endast 0,5 till 1 m över medelvattenståndet och 70 m längre in ligger den endast 2 m över denna nivå. Den fria grundvattenytan inom detta avstånd ligger i enlighet med observationer i de olika borrhålen mellan en halv och en meter under markytan.

Vattentrycket i friktionsjorden under lerlagret har i samtliga mätningar legat på en hydrostatisk trycknivå cirka 7 m över älvens medelvattenstånd. Den eventuella säsongsvisa variationen är inte utredd i detalj, men tidigare undersökningar 100 m norr om skredet har visat på värden i samma storlek med en möjlig variation av cirka 1 m.

De uppmätta porvattentrycken på olika nivåer visar portrycksprofiler med en i det närmaste rätlinjig ökning av portrycken mellan älvbotten respektive fria grundvattenytan och gränsen mellan leran och den underliggande friktionsjorden. Hela lerlagret kan således antas påverkat av en uppåtgående porvattenströmning med nästan konstant gradient, Fig. 6.2. Gradienten förändras dock med lerlagrets tjocklek och är således högre inom partier med mindre lermäktighet och speciellt under älvfåran där lermäktigheten reducerats genom erosionen.



Figur 6.2. Uppmätta porvattentryck och grundvattennivåer.

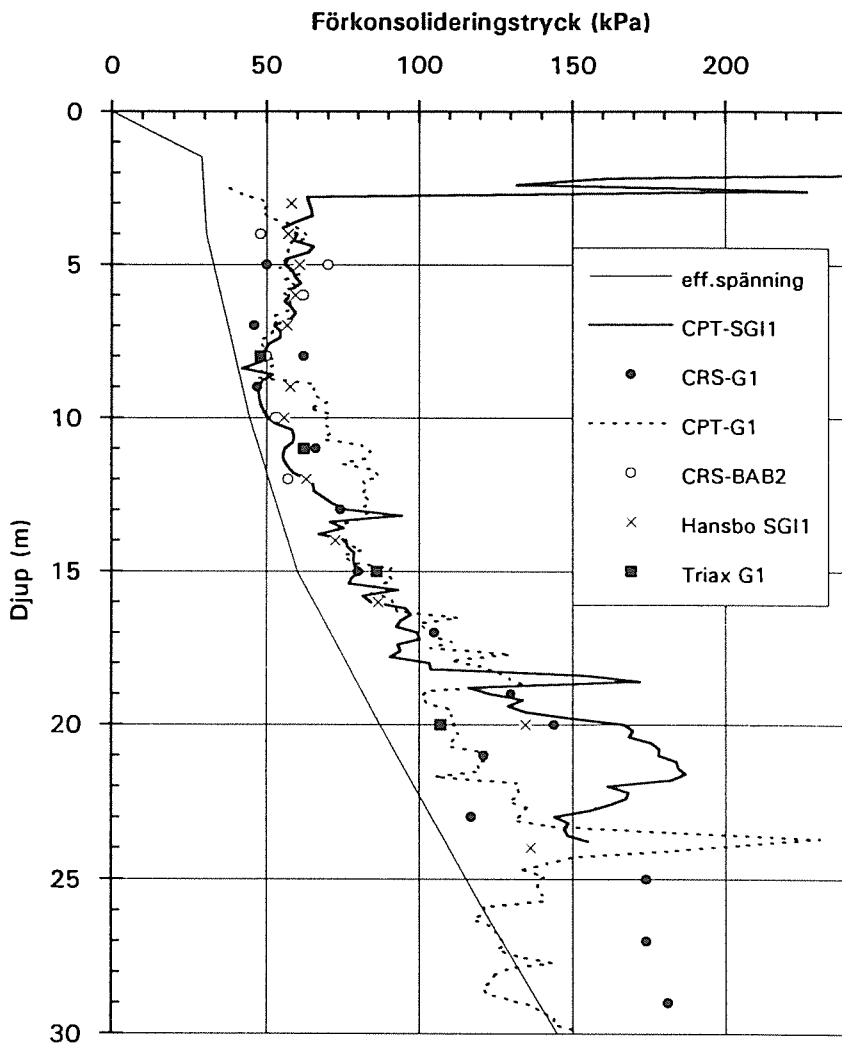
Spänningshistoria och överkonsolidering

Lerlagren i det aktuella området har avsatts successivt under lång tid. Samtidigt som de övre lerlagren avsatts har landhöjningen efter istiden pågått varvid det artesiska trycket i bottenlagren under leran skapats och successivt ökat. Till slut har hela området höjts ovanför havsytan. Vid detta tillfälle kan markområdet i älvdalens centrala delar antas ha varit tämligen plant. Därefter har älven bildats och successivt förstörats och fördjupats genom att material förts bort i samband med erosion, skred och eventuella mänskliga ingrepp. Inom landområdena har en viss spänningsökning tillkommit i de övre lerlagren på grund av en mindre sänkning av den fria grundvattenytan och begränsade utfyllnader.

Detta medför att inom landområdena har jorden aldrig varit utsatt för högre spänningar än de som råder idag. Jorden kan antas ha konsoliderat för rådande spänningar och, med hänsyn till den tid som förflutit sedan dess bildning, också uppvisa förkonsolideringstryck som på grund av tidseffekterna är något högre än rådande spänningstillstånd. Inom älvens utbredning kan jorden antas ha konsoliderat för det spänningstillstånd som rådde då lerans överkant låg i nivå med kringliggande mark och den fria grundvattenytan låg i markytan. Det artesiska vattentrycket i bottenlagren kan vid denna tidpunkt antas ha varit cirka 10 kPa lägre än i nuläget. Spänningshistorien har sedan i huvudsak medfört en avlastning och några ytterligare konsolideringseffekter av betydelse kan inte förväntas. I de strandnära områdena kan dock marken först ha höjts något över vattenytan i älven, varvid mindre torrskorpe- och tidseffekter utbildats, och därefter avlastats då älven utvidgats.

Inom området med svämsediment, som avsatts av den tidigare bäcken i området, har sedimenten på land kommit att utgöra en tillskottsbelastning för vilket jorden också kan ha antagits konsolidera. Under vattenytan har svämsedimenten medfört en viss återbelastning av den underliggande leran. Denna uppgår dock inte till tidigare spänningsnivåer utan innebär endast att avlastningen inom detta område inte är fullt lika stor som i kringliggande undervattensområden.

På land har ostörda prover tagits bakom skredområdet och förkonsolideringstrycken har bestämts genom ödometerförsök (CRS-försök). På några nivåer har dessutom triaxialförsök utförts. Ur dessa kan en kompletterande utvärdering av förkonsolideringstrycket göras. Vidare stöd för de utvärderade förkonsolideringstrycken erhålls ur resultaten från CPT-sonderingarna i detta område, som utförts enligt klass 3, samt ur de utförda vingförsöken där ett mått på förkonsolideringstrycket kan erhållas med användning av Hansbos relation. Vidare stöd kan erhållas ur de tidigare undersökningarna för bilskrotningshallen, där också ödometerförsök utfördes, Fig. 6.3.



Figur 6.3. Utvärderade förkonsolideringstryck i borrhöjningar på land bakom skredområdet.

Alla dessa bestämmelser och uppskattningar av förkonsolideringstrycken ger en samstämmig bild. Förkonsolideringstrycken befinner sig genomgående vara något högre än rådande effektiva vertikala tryck. Överkonsolideringsgraden är som lägst cirka 1,25 i de undre delarna av den högplastiska leran. Den ökar långsamt uppåt och nedåt i profilen för att vara som störst vid dräneringsgränserna vid den fria grundvattenytan respektive lerlagrets underkant.

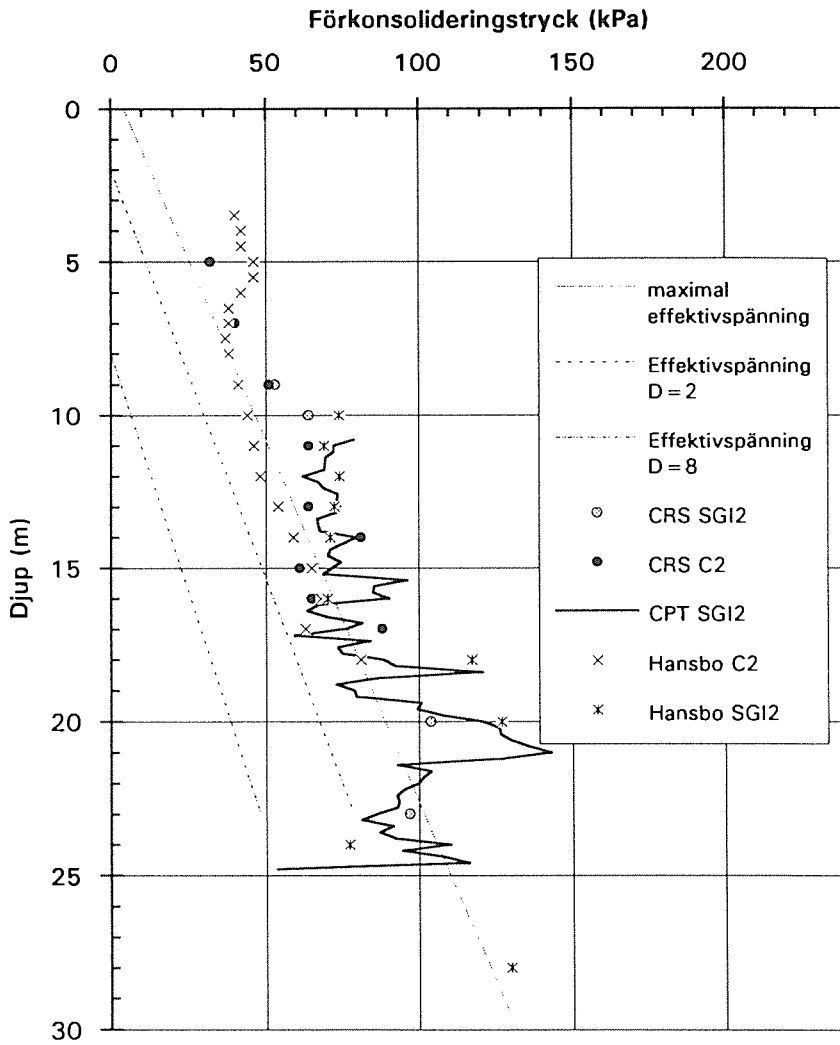
I själva skredområdet har motsvarande undersökningar inte kunnat utföras utan förbelastningseffekterna får härledas ur resultaten från undersökningar i kringlig-

gande partier där den geologiska historien är likartad. Ute i älven har prover tagits i två undersökningspunkter, en 30 m norr om skredområdet och en cirka 120 m söder om detta. Punkten norr om skredet ligger inom området med svämsediment och leran täcks här av 3 till 4 m utsvämat grövre material. Alla prover från denna punkt kunde inte betraktas som ostörda, varför relevanta resultat från ödometerförsök endast föreligger på fyra nivåer. I punkten har dock kompletterande vingförsök och CPT-sondering enligt klass 3 utförts. I provtagningspunkten 120 m söderut har fler ödometerförsök utförts och i närheten av detta hål har också vingförsök utförts.

Mer närliggande undersökningspunkter med vingförsök finns också, men här saknas provtagning i direkt anslutning. Då Hansbos relation mellan vingförsöksvärden och förkonsolideringstryck är mycket känslig för jordens flytgräns, måste flytgränsvärden som direkt kan korreleras till vingförsöksvärdena för varje enskild nivå finnas tillgängliga för att denna uppskattning av förkonsolideringen skall kunna göras. I samtliga undersökningspunkter inom den undersökta älvsträckan med CPT-sonderingar och vingförsök ute i vattnet kan dock observeras att skjuvhållfasthet och förkonsolideringstryck är i det närmaste konstanta eller avtagande ned till minst 8 m djup, varför vissa tidseffekter kan antas ha utbildats vid konsolideringen innan vertikalspänningarna minskat på grund av erosionen. Med tidseffekter avses här den sammantagna effekten av eventuell uttorkning, pulserande last på grund av varierande grundvattenyta och den tidsbundna konsolidering som, främst i närheten av dränerande skikt och markytan, utbildas under konstant last.

De sammanställda undersökningsresultaten från de förstnämnda två undersökningspunkterna visar att leran ute i älvfåran har konsoliderat för de antagna maximala spänningarna. En mindre överkonsolidering i förhållande till dessa kan skönjas, vilket är som förväntat med hänsyn till utvecklingen av tidseffekter samt möjliga temporära torrskorpebildningar i lerlagrets överkant, Fig. 6.4.

Av sammanställningen framgår också att leran ute i älvfåran genomgående konsoliderat för något lägre spänningar än vad som gäller för leran i omgivande landområden.



Figur 6.4. Utvärderade förkonsolideringstryck i borrhöjningar i älvfåran.

7. Skjuvhållfasthet

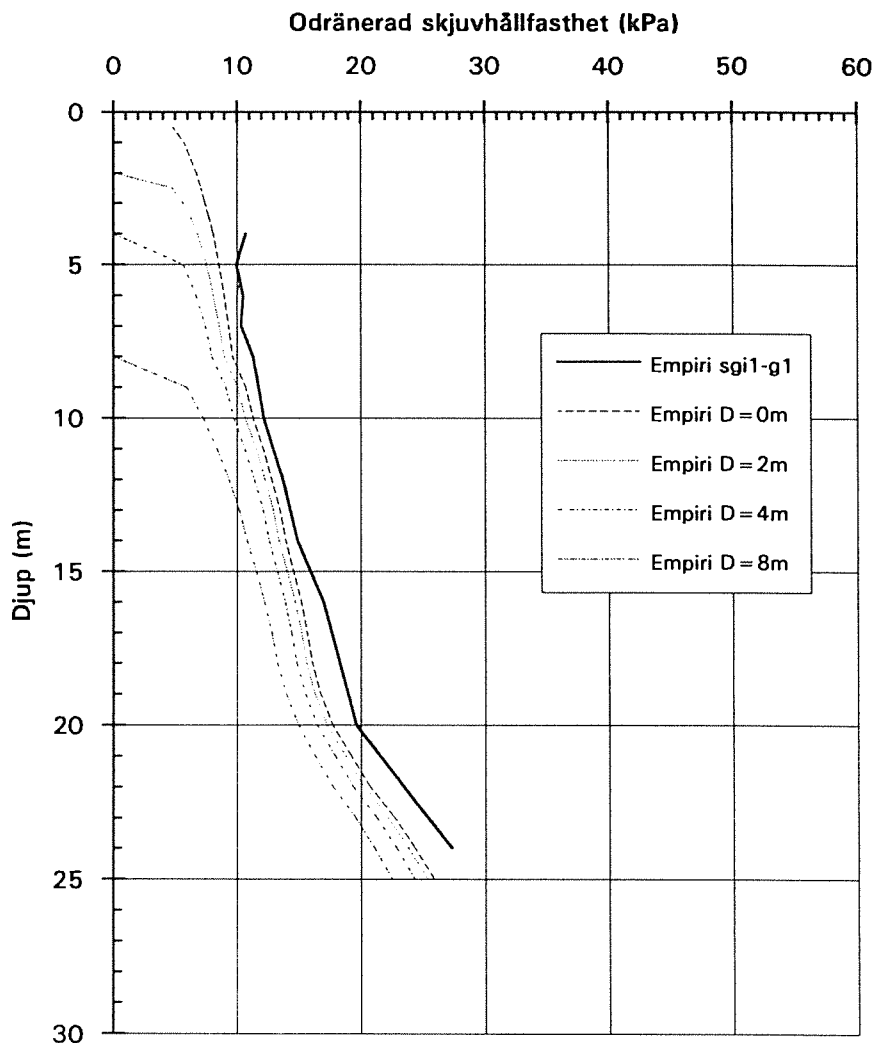
7.1 ODRÄNERAD SKJUVHÅLLFASTHET

Den odränerade skjuvhållfastheten i leran har främst bestämts genom vingförsök och CPT-sonderingar i fält och fallkonförsök i laboratorium. Några kompletterande odränerade aktiva triaxialförsök har också utförts. Vid bedömning av hållfasthetsvärdena har förhållandena vid de enskilda provningstillfällena fått beaktas och resultaten värderats med hänsyn därtill. Främst har följande faktorer beaktats:

- Vingförsöken som utförts på land är inte behäftade med några speciella felkällor utöver normal spridning och de eventuella felaktigheter som kan uppstå vid vingförsök i jord som innehåller skal. Tillhörande flytgränsvärden för korrektion av mätvärdena har bestämts i samma undersökningspunkt utom för punkt G19 vid skredets södra bakkant, där flytgränsvärdena fått hämtas från närliggande provtagningspunkter.
- Vingförsöken i älvfåran har utförts från flotte och problem har uppstått i och med att denna vid en del försök rört sig under provningen, vilket kan ha medfört en störning och för låga hållfasthetsvärden. Spridningen i försöksvärden är också större i dessa provningar än vid motsvarande försök på land. Flytgränsvärdena för korrektion av försöksvärdena är inte bestämda i respektive försökspunkt utan är extrapolerade från undersökningspunkter på land i samma eller, i något fall, närliggande sektioner.
- CPT-sonderingarna på land har utförts enligt klass 3 och kompletterande provtagning har utförts i samtliga sonderingspunkter.
- CPT-sonderingar ute i älvfåran har, bortsett från sonderingen i punkt SGI2 30m norr om skredet, utförts med lägre sonderingsklasser varför resultaten inte ägnar sig för utvärdering av skjuvhållfasthet i lös lera.
- Resultaten av fallkonförsök är mycket beroende av de upptagna provernas kvalitet och vilken spänningsomlagring som skett innan provningen. Erfarenhetsmässigt är hållfasthetsvärden bestämda på prover som tagits på större djup än 10 à 15 m normalt för låga, men detta kan gälla även prover från lägre nivåer i lättstörda sensitiva jordar.

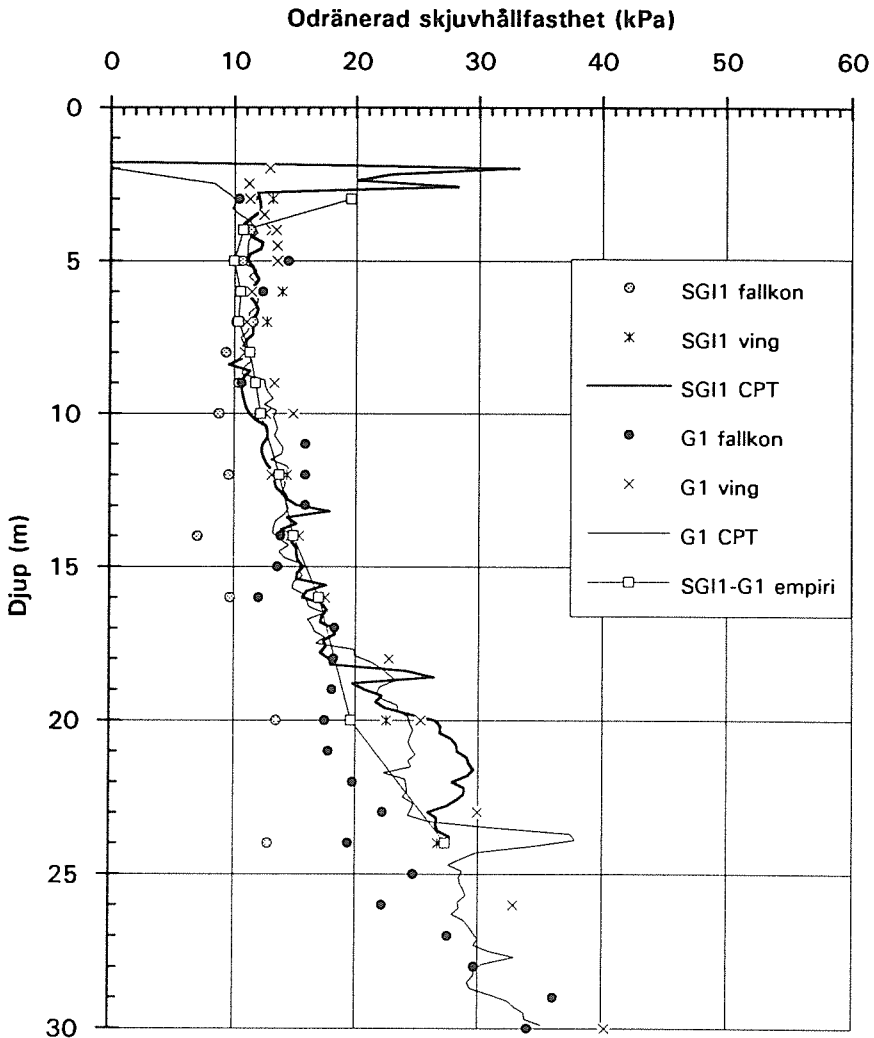
För att få ett ytterligare mått på rimligheten i de uppmätta skjuvhållfasthetsvärdena har de jämförts med den hållfasthet som erfarenhetsmässigt kan förväntas i lera med

motsvarande belastningshistoria och konsistensgränser. Denna empiriska skjuvhållfasthet har bedömts med ledning av förkonsolideringstryck, överkonsolideringsgrad och flytgräns i enlighet med de regler som anges i SGI Information 3 och IVA Skredkommissionens arbetsrapport "Anvisningar för släntstabilitetsutredningar". Med hänsyn till den något varierande belastningshistorien tvärs älven varierar den empiriska skjuvhållfastheten i enlighet med Fig. 7.1 på så vis att skjuvhållfastheten är lägst ute i djupfåran och gradvis ökar inåt land och med ökat avstånd från älven.



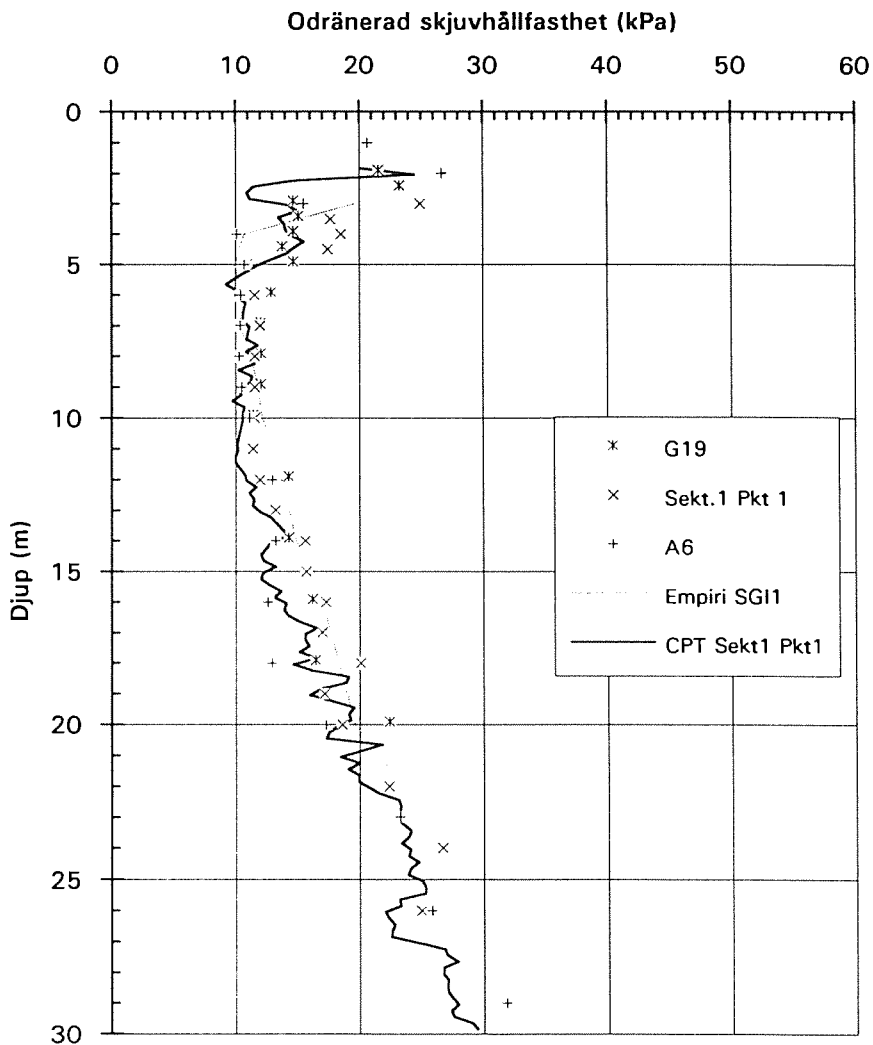
Figur 7.1. Empiriskt bedömd odränerad skjuvhållfasthet på land och vid olika vattendjup i älvfåran.

En jämförelse mellan uppmätta skjuvhållfastheter i vingförsök, CPT-sonderingar och fallkonförsök samt empiriska hållfastheter i de två punkter bakom skredet där dessutom ödometerförsök utförts visar en god överensstämmelse. Den mest markanta avvikelserna är resultaten från fallkonförsöken vilka i enlighet med vad som är normalt blir för låga på djup större än 10 à 15 m. De empiriska skjuvhållfastheterna är någon kPa lägre än de mätta i djupintervallet 4-7 m vilket antyder ett något för lågt antagande om förkonsolideringstrycket i detta intervall. I stora drag kan skjuvhållfastheten i detta parti uttryckas enligt följande: Bortsett från torrskorpeeffekter till 3 à 4 m djup är den odränerade skjuvhållfastheten nästan konstant, cirka 12 kPa, ned till 10 m under markytan. Därunder ökar den rätlinjigt med 0,8 kPa per meter ned till 18 m djup och därefter med 1,5 kPa per meter, Fig. 7.2.



Figur 7.2. Utvärderad odränerad skjuvhållfasthet i punkterna G1(=C1) och SGI1.

Denna skjuvhållfasthetsbild avser förhållandena mellan 45 och 75 m från ursprunglig älvstrand. Närmare älvstranden kan förkonsolideringseffekterna och skjuvhållfastheterna antas ha varit något lägre. I närheten av skredområdet finns för det strandnära området resultat från tre undersökningspunkter med vingförsök. I en av dessa punkter är också CPT-sondering utförd. En sammanställning av dessa försök visar en med den förra profilen mycket likartad skjuvhållfasthetsbild. I det strandnära området tyder dock resultaten på att hållfastheten genomgående för hela profilen är cirka 1 kPa lägre, Fig. 7.3.



Figur 7.3. Utvärderad odränerad skjuvhållfasthet i punkter nära strandkanten. Sekt.1 Pkt1 markeras 1:1 på borrplanen i Fig. 6.1.

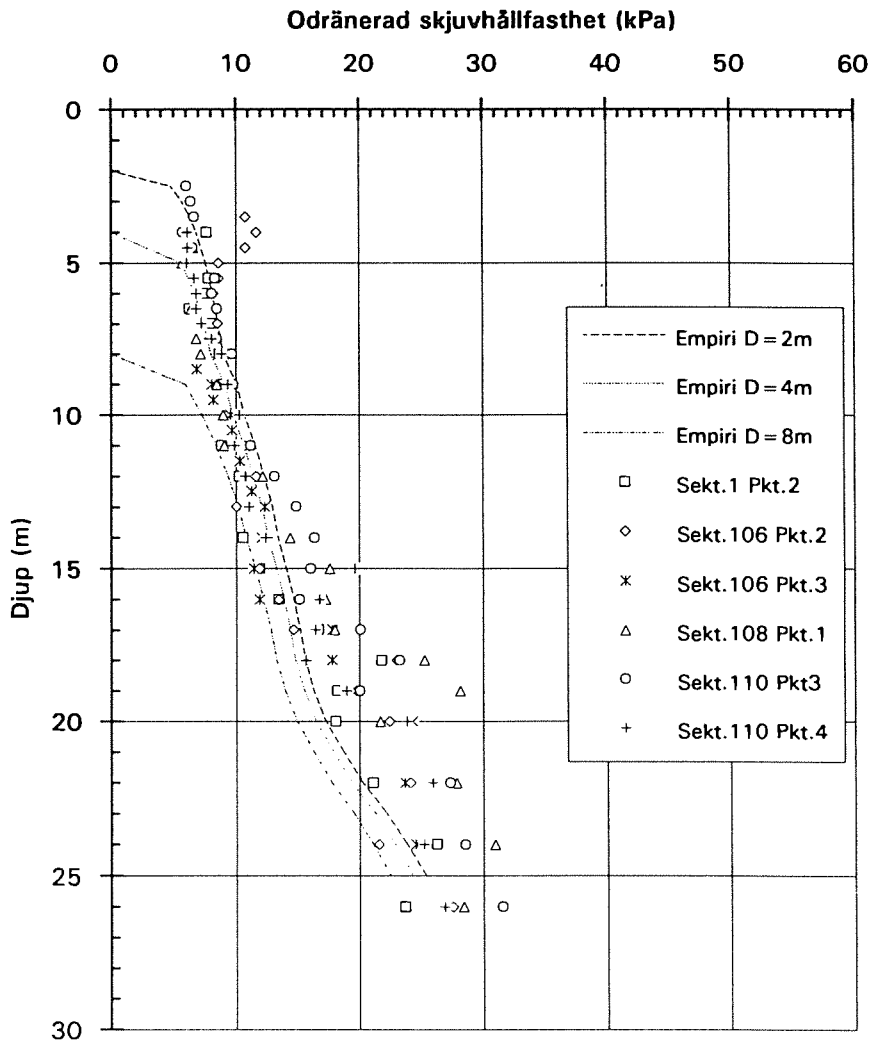
I närheten av skredet finns ytterligare en försökspunkt med vingförsök; BAB2. Denna är belägen inom det område som påverkas av svämsedimenten. Skjuvhållfastheten är här 3 à 4 kPa högre inom djupintervallet ned till 10 m djup, varefter den gradvis med djupet närmar sig samma värde som i de andra strandnära undersökningpunkterna.

Hållfasthetsvärdena i älvfåran visar en relativt stor spridning, dels inom samma undersökningpunkt dels mellan punkterna. I huvudsak ligger dock hållfasthetsvärdena inom det spann för den beräknade empiriska hållfastheten som uppstår då det antagna vattendjupet varierar mellan 2 och 8 m, Fig. 7.4. På större djup är de uppmätta hållfastheterna högre. Detta kan delvis bero på att överkonsolideringen här är större än vad som kunnat utläsas ur ödometerförsök och den enda relevanta CPT-sonderingen, delvis på att avlastningen på större djup inte är lika stor på grund av inverkan från närliggande partier med lägre eller ingen avlastning. På motsvarande sätt kan den empiriska hållfastheten, som endast relateras till vattendjupet, vara något missvisande i närheten av den branta slänten då såväl avlastningen i djuprännan som den högre belastningen strax innanför denna torde påverka hållfastheterna inom en övergångszon på omse sidor om det branta partiet. I huvudsak kan de empiriska parametrarna anses bekräftade inom ett djupintervall mellan 0 och 14 m under vattenytan (här antagen på nivån +10 m). Under denna nivå är hållfastheten upp till 20 % högre än den empiriskt beräknade och motsvarar där ungefär den skjuvhållfasthet som råder på motsvarande djup inom fastmarkspartierna. Inom en zon närmast den branta slänten kan hållfastheten antas vara något lägre än den empiriska hållfasthet som motsvarar det aktuella vattendjupet och inom en zon vid foten av den branta slänten kan hållfastheten antas vara något högre än längre ut i djupfåran.

De odränerade hållfastheter som uppmäts i aktiva triaxialförsök är i den storlek som empiriskt kan förväntas med hänsyn till förkonsolideringen. Detsamma gäller de effektiva hållfasthetsparametrar vid konstant volym som kan utvärderas ur de uppmätta spänningsvägarna i försöken.

7.2 DRÄNERAD SKJUVHÅLLFASTHET

Den dränerade skjuvhållfastheten har inte direkt bestämts med laboratorieförsök. Empiriskt kan man räkna med hållfasthetsparametrarna $\phi' = 30^\circ$ och $c' = 0,03 \sigma'_c$. Detta skulle innebära ett värde på c' som är konstant cirka 1,5 kPa ned till 10 m djup under markytan respektive vattenytan och som sedan sakta ökar med djupet. Med hänsyn till att de odränerade skjuvhållfastheterna och effektivspänningsparametrarna överensstämmer med den empiriska erfarenheten, kan ingen större skillnad förväntas mellan empirisk ock verklig dränerad skjuvhållfasthet.



Figur 7.4. Utvärderad odränerad skjuvhållfasthet i punkter i älvfåran.

8. Stabilitetsberäkningar och analys av skredorsak

8.1 ALLMÄNT

Stabilitetsberäkningar vid inträffade skred med utgångspunkt från förhållandena före skredet görs i huvudsak av två orsaker, dels för att få en kontroll och kalibrering av de instrument som används för bedömning av stabilitet i form av undersökningar och beräkningar, dels för att belysa de lokala stabilitetsförutsättningarna och att få ett erfarenhetsunderlag där resultaten kan användas vid bedömning av stabiliteten inom geologiskt och topografiskt likartade områden

En av svårigheterna med stabilitetsanalys är att som regel erhålls ingen skillnad i beteende om slänten står med en säkerhetsfaktor som endast är strax över 1 eller om den har en beräkningsmässigt betryggande säkerhet. Endast de fall då slänter rasar ger reella möjligheter att kontrollera eller kalibrera analysmetoden. Dessvärre är det då ofta så att förhållandena vid brottillfället i form av portryck, geometri etc är bristfälligt dokumenterade.

Vid analysen av en slänt som rasat är det därför, i likhet med all annan stabilitetsutredning, viktigt att systematiskt analysera förutsättningarna och antagandena innan beräkningsarbetet inleds. Så noga som möjligt skall geometri, hållfasthet, portryck, laster och deras naturliga variationsbredd utredas. Hur detta bör göras anges t.ex. i IVA:s Skredkommissions anvisningar för stabilitetsutredningar. Dessa har följts i den tidigare beskrivna utredningen av jord- och grundvattenförhållandena och i de senare beräkningarna.

Efter att beräkningsförutsättningarna klarlagts utförs beräkningsarbetet och resultaten, med tillämpliga reservationer för osäkerheter i beräkningsantaganden, ställs i relation till det faktiskt inträffade skredet och eventuella vidare följder därav. Detta för att få en verklig kontroll av analysens relevans och att undvika en ren ”passnings”-räkning som ger den önskade säkerhetsfaktorn 1,0.

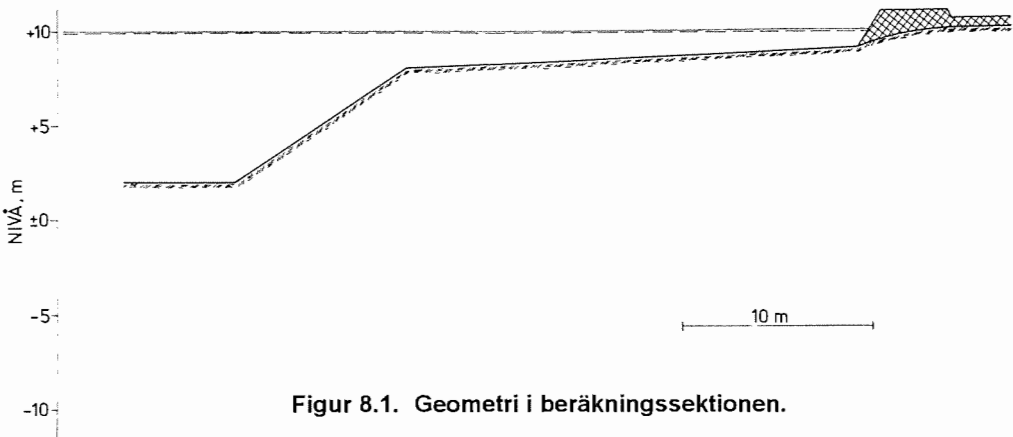
8.2 BERÄKNINGSUNDERLAG

Förhållandena i skredområdet har i detalj diskuterats i kapitel 6 och 7. Där framgår att viss osäkerhet råder kring såväl geometriska förutsättningar som ingående

parametrar. Nedan redovisas det val av geometri och parametrar som använts i analysen, samtidigt som några kommentarer lämnas kring osäkerheten i de valda värdena.

8.2.1 Geometri

Den analyserade släntens geometri redovisas i Fig. 8.1. Markytans och botten topografi utefter det grundare partiet är relativt väl känd. Beträffande undervattenssläntens utseende närmast farleden och farledens djup är osäkerheten större. De lokala variationerna för oskredade områden i närheten är relativt stora. Undervattensslänterna inom de partier omedelbart norr och söder om skredet som inte rasat står med höjder av 5 till 6 m och i lutningar av 1:1.5 (34°) till 1:2 (27°). Andra närliggande slänter har lutningar upp mot 60°. Vid beräkningarna har undervattenssläntens höjd varierats mellan 5 och 6 m och släntlutningen mellan 34° och 60°.



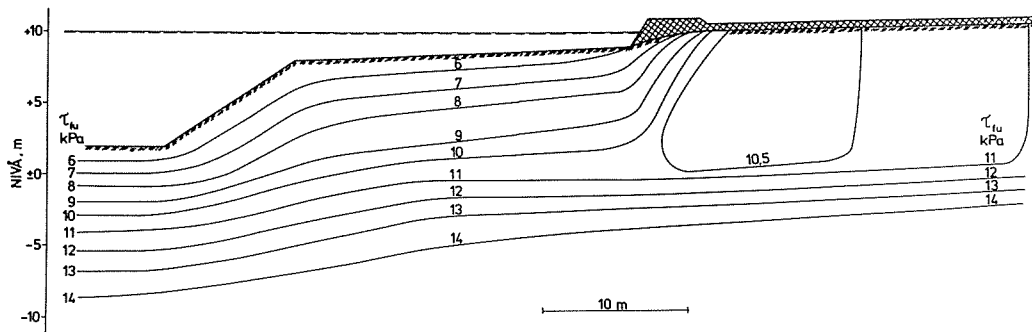
Figur 8.1. Geometri i beräkningssektionen.

8.2.2 Skjuvhållfasthet

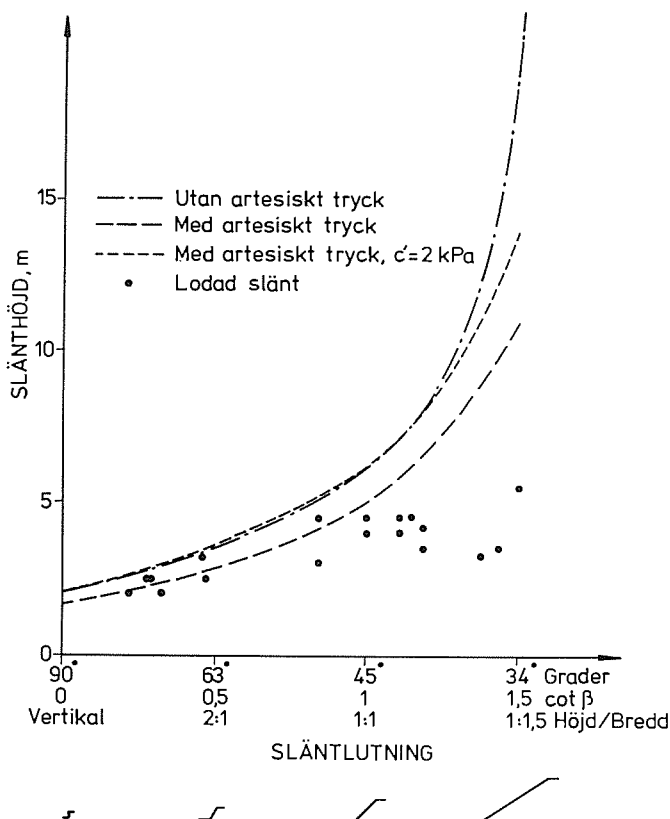
Den *odränerade skjuvhållfastheten* har på basis av vad som sagts i kapitel 5, valts i enlighet med resultaten från utförda provningar på land och med den empiriskt bedömda hållfastheten inom undervattenspartierna. Detta har gjorts framförallt beroende på att helt tillförlitliga hållfasthetsbestämningar under älvbotten saknas. Den odränerade skjuvhållfasthet som använts vid beräkningarna för den skredade sektionen visas i Fig. 8.2.

De *dränerade skjuvhållfasthetsparametrarna* har i enlighet med empiriska erfarenheter, bl.a. från närliggande områden i Götaälvdalen, antagits vara $\phi' = 30^\circ$ och $c' = 0,03\sigma'_c$ (alt. $c' = 0,1\tau_{R1}$). Utifrån förkonsolideringstryck bestämda med ödometter- och triaxialförsök har c' antagits ha ett lägsta värde av 1,5 kPa inom ytligare partier av jordprofilen. Detta värde har kontrollerats mot de uppmätta undervattensslänterna inom de sektioner som lodats inom en sträcka av cirka 1 km uppströms

respektive nedströms om skredområdet, Fig. 8.3. De brantaste av dessa slänter kan antas stå i ungefär naturlig rasvinkel. Denna kontroll antyder också att c' -värden i storleken 1,5 - 2 kPa är relevanta för jordmassorna i de branta undervattensslänterna.



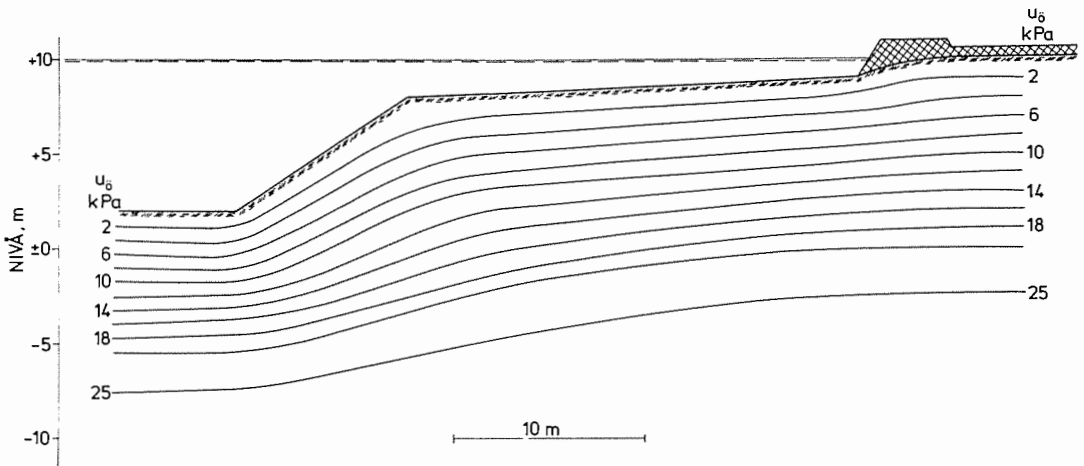
Figur 8.2. Odränerad skjuvhållfasthet i beräkningssektionen.



Figur 8.3. Lodade undervattensslänter och beräknad kritisk slänthöjd som funktion av slänthlutning vid $\rho'=0,6 \text{ t/m}^3$, $\phi'=30^\circ$, $c'=1,5$ resp. 2 kPa.

8.2.3 Portryck

Portrycken har antagits enligt Fig. 8.4, i enlighet med vad mätningarna i området visat. Övertrycket i den undre slutna akviferen relativt nivån +10 är 70 kPa. Leran har antagits vara homogen med en i princip konstant gradient till den övre randen, som utgörs av älvens botten eller en grundvattenyta 1 m under markytan. Den därav följande portrycksfördelningen, speciellt med avseende på den branta undervattensslänten, har beräknats dels med det finita elementprogrammet SEEP, dels med kalkylprogrammet EXCEL enligt den metod som utarbetats av Gustavsson och Svensson (1993). Vid dessa relativt enkla beräkningsförutsättningar erhöles ingen påtaglig skillnad i beräkningsresultat.



Figur 8.4. Antagen portrycksfördelning i beräkningssektionen.

8.2.4 Laster

Planen innanför strandlinjen har antagits belastad med en ytlast av 5 kPa.

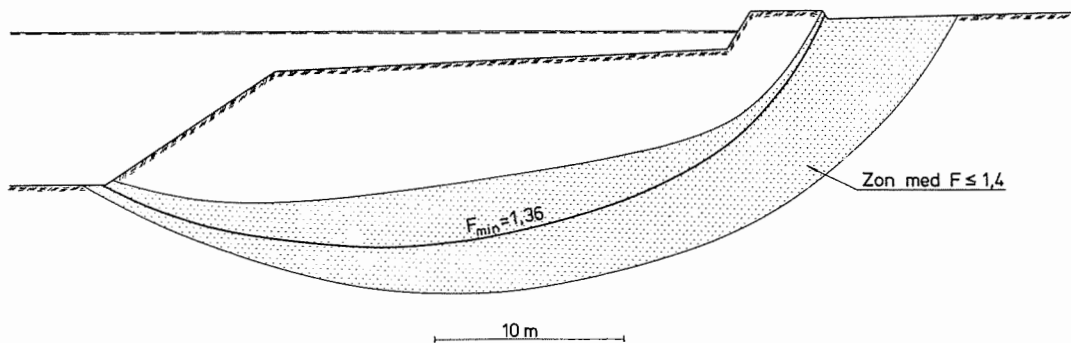
8.3 BERÄKNINGSMETODER

Beräkningarna har utförts i enlighet med Skredkommissionens anvisningar med användning av Janbus direktmetod, cirkulär cylindriska glidytor med Bishops beräkningsmetod och med glidytor av godtycklig form med Janbus generella lamellmetod. Såväl odränerad, som dränerad och kombinerad analys har använts.

8.4 BERÄKNINGSRESULTAT

8.4.1 Tidigare och nya beräkningar av stabilitet för långa glidytor

Stabiliteten för delar av det skredade området hade tidigare beräknats i samband med uppförandet av den hallkonstruktion som är belägen vid skredområdets norra bakkant. Beräkningsförutsättningarna skilde något från beräkningssektionen då hallkonstruktionen är uppförd inom området med svämsediment, men är i stort likartade. Beräkningarna utfördes då med odränerad analys och omfattade i huvudsak analyser av stora cirkulär cylindriska glidytor som sträckte sig in på land och också in under den planerade byggnaden. I dessa beräkningar erhöles en lägsta beräknad säkerhetsfaktor av 1,5 (1,46). Nya beräkningar för beräkningssektionen i själva skredområdet med ovan angivna beräkningsförutsättningar ger för glidytor som på motsvarande sätt sträcker sig från djupfåran i älven och in på land en säkerhetsfaktor F_{KOMB} av 1,4 inom en zon som på land sträcker sig från strandskoningens bakkant och knappt 10 m in, Fig. 8.5. Beräkningarna har utförts med såväl cirkulär cylindriska glidytor som glidytor av godtycklig form. Den lägsta beräknade säkerhetsfaktorn, $F_{KOMB} = 1,36$, erhöles för en icke cirkulär glidyta från strandskoningens bakkant till undervattenssläntens tå. Med antagande av extremt lågt vattenstånd sjunker denna beräknade säkerhetsfaktor till 1,3.



Figur 8.5. Beräknade säkerhetsfaktorer för långa glidytor i beräkningssektionen.

8.4.2 Beräkning av stabilitet för undervattensslänten

Då undersökningsresultaten från de utförda lodningarna i älvfåran förelåg framgick det klart att undervattensslänterna var mycket höga och branta och i många fall stod mycket nära naturlig rasvinkel, dvs. säkerhetsfaktorn för dränerat brott var nära 1,0. Detta accentuerades ytterligare av de artesiska grundvattenstrycken och den därav uppåtgående porvattenströmningen. Överslagsberäkningar med Janbus direktmetod

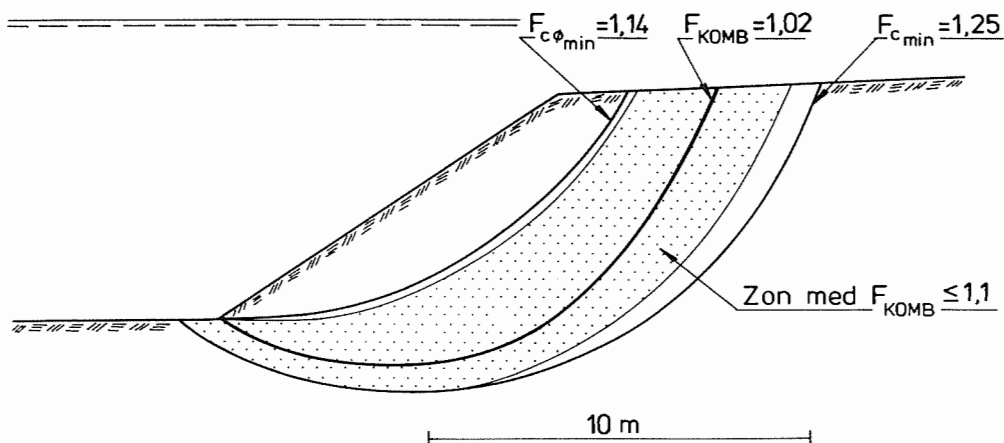
och dränerad analys gav säkerhetsfaktorer nära 1,0 för ett flertal uppmätta kombinationer av slänthöjd och släntlutning. De involverade jordvolymerna var dock måttliga eftersom de så beräknade glidytor är relativt grunda. Motsvarande beräkningar med odränerad analys gav för de högre undervattensslänterna en säkerhetsfaktor av storleken 1,2. De på så vis beräknade glidytor går betydligt djupare och omfattar en betydligt större jordvolym. Ytliga skred kan ses som en naturlig anpassning till pågående erosionsprocesser och har förmodligen inträffat relativt ofta utan att få några påtagliga konsekvenser. Djupare skred skulle däremot kunna äventyra stabiliteten för större bakomliggande områden.

Överslagsberäkningar med direktmetoden är begränsade till helt dränerade eller odränerade analyser och kräver normalt en något högre beräknad säkerhetsfaktor eftersom det alltid finns risk för att en kombinerad analys skall ge en lägre säkerhetsfaktor. Den farligaste glidyten är då vid en någorlunda homogen jordprofil som regel belägen mellan de farligaste glidytor som erhålls vid dränerad respektive odränerad analys.

Säkerhetsfaktorn för undervattensslänten i beräkningssektionen har analyserats med Janbus direktmetod, självsökande beräkningsprogram med cirkulär-cylindriska glidytor med Bishops beräkningsmetod och glidytor av godtycklig form med Janbus generella lamellmetod. Med antagande av en undervattensslänt med höjden 6 m och släntlutningen 1:1,5 blev enligt direktmetoden $F_{c\phi}=1,1$ och $F_c=1,2$ (1,16). Beräkningar med cirkulär-cylindriska glidytor och Bishops metod gav ett lägsta värde på F_c och F_{KOMB} av 1,2 (1,24 resp 1,22) medan beräkningar med glidytor av godtycklig form och Janbus generella lamellmetod gav $F_{c\phi}=1,1$ (1,14), $F_c = 1,3$ (1,25) och $F_{KOMB} = 1,0$ (1,02). Motsvarande beräkningar för en slänt med lutningen 60° och höjden strax över 5 m gav ungefär samma säkerhetsfaktorer. En kombinerad analys ger således säkerhetsfaktorer mycket nära 1,0 för slänter mellan 5 och 6 m höjd vars lutning varierar med höjden från 60° till 34°.

Beräkningar har också utförts med ett c' -värde av 2 kPa men detta gav ingen påtaglig skillnad utom för de helt dränerade analyserna. Skillnaden mellan beräkningarna med cirkulär-cylindriska glidytor och glidytor med godtycklig form (med tillhörande beräkningsmetoder), speciellt med avseende på den kombinerade analysen, beror inte enbart på analysmetoderna utan till stor del på begränsningar i möjligheten att i detalj modellera skjuvhållfasthetsvariationerna i slänten i de självsökande programmen.

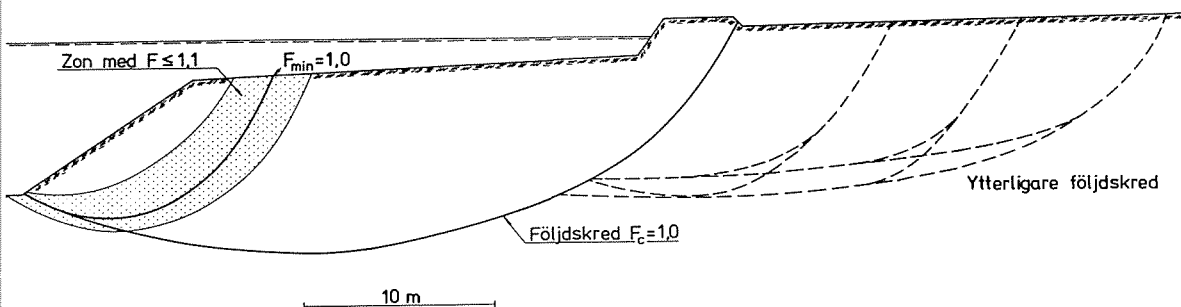
Beräkningarna visar att den farligaste glidyten involverar en relativt stor jordvolym och att glidytor inom en relativt stor zon som potentiellt involverar ännu större jordmassor har en beräknad lägsta säkerhetsfaktor $\leq 1,1$, Fig. 8.6. De visar också att bedömningen av stabiliteten för undervattensslänten är måttligt känslig för antaganden om dess geometri.



Figur 8.6. Beräknad stabilitet för undervattensslänten i beräkningssektionen vid $h=6$ m och lutning 1:1,5.

8.4.3 Beräknade konsekvenser av ett skred i undervattensslänten

Skred inom de lägre partierna av en långsträckt slänt medför alltid risk för bakåtgripande skred, speciellt om de skredade massorna glider iväg och lämnar rasbranten hel utan stöd. Risken för detta är speciellt stor dels då de skredade massorna flyter ut i ett vattendrag, dels då sensitiviteten i skredmassorna är hög. I det aktuella fallet är båda dessa villkor uppfyllda och man kan således anta att skredmassorna i ett initialskred i undervattensslänten så gott som helt glider iväg, bryts upp, rörs om och spolas bort. Detta får stora och omedelbara konsekvenser för bakomliggande jordmassor. En analys visar att den farligaste glidytan i detta fall i stort motsvarar den långa glidyta med start i strandskoningens bakkant och slut i undervattenssläntens tå som tidigare visat sig ge säkerhetsfaktorn 1,36. Försvinner tåpartiet för denna glidyta på grund av ett initialskred sjunker säkerhetsfaktorn för kvarvarande partier till 1,0 (0,99 till 1,02 beroende på vad som antas om initialskredets storlek). I detta fall beaktas endast odränerad skjuvhållfasthet utom i fyllning och torrskorpa på grund av det korta tidsperspektivet. Den odränerade skjuvhållfastheten har ett tidsberoende som medför att jorden momentant kan uppta högre skjuvspänningar än de som på grund av krypeffekter i ett längre perspektiv leder till brott. På grund av hållfasthetens tidsberoende uppstår en viss fördröjning mellan initialskred och följdskred, men inom en kortare tidsrymd (några minuter till någon dag) kan man förvänta att ett initialskred i undervattensslänten skulle leda till ett större följdskred, Fig. 8.7.



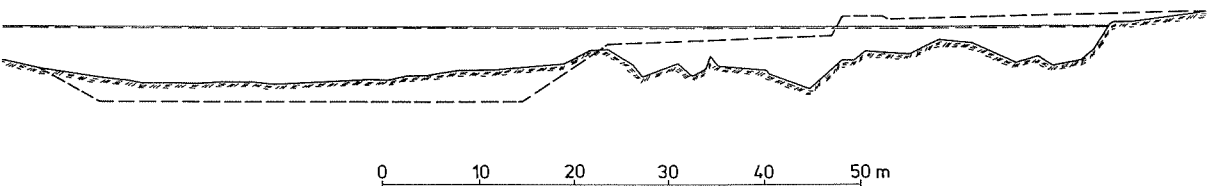
Figur 8.7. Beräknat initialscred och första följdscred i beräkningssektionen.

Jordmassorna i detta större följdscred lämnar också en brant och hög bakkant, och i likhet med massorna i initialscredet är de sensitiva och flyter ut i vattendraget. Hur långt de skulle flyta ut och i viken grad bakkanten skulle lämnas utan stöd är svårare att bedöma. Vid en del jordlagerföljder och hållfasthetsprofiler måste man anta att initialscred kan äta sig bakåt ända till fastmarkspartier. I det aktuella fallet är glidytor relativt grunda, markytans lutning bakom strandkanten är mycket liten och skjuvhållfastheten ökar något med avståndet från stranden. Utsträckningen av de vidare bakåtgripande skreden kan därför antas få en viss begränsning. Med ett antagande av att också massorna i ett första följdscred till större delen flyter ut och lämnar en ostöttad bakkant kan en skredutbredning 25-30 m bakom ursprunglig strandkant, såsom skedde i verkligheten, beräknas såväl i form av ett större tredjescred som flera mindre följdscred. Också dessa eventuella skred skulle ske under i stort sett odränerade förhållanden och efter en viss tidsfördröjning. En viss osäkerhet finns i de bedömda hållfasthetsvärdena, men denna är inte så stor att bedömningen av skredrisk och möjligt skredförlopp skulle kunna påverkas i någon större grad.

8.4.4 Jämförelser med observerat skredförlopp

De första indikationerna på ett inträffat skred kom i form av observerad grumling av vattnet vid vattenverkets intag nedströms skredområdet. Denna observation gjordes vid 6-tiden på morgonen och ett initialscred skulle därmed ha kunnat inträffa något tidigare. En grumling av vattnet i skredområdet förs av strömmen till vattenintaget på cirka 20 minuter. Nästa stora grumling av vattnet vid vattenintaget uppmättes kl 09.45. Vid 9-tiden, dvs. en stund efter att skredet inträffat, observerades från ett förbipasserande fartyg att ett större skred som omfattade ett cirka 20 m brett och 50 m långt parti av älvstranden hade utbildats. Ytterligare 3,5 - 4 timmar senare följde ett cirka 8 m brett bakåtgripande skred och senare ytterligare ett antal mindre skred i olika partier av skredets bakkant. Den lodade sektionen i skredområdet efter skredet visas i Fig. 8.8.

Dessa observationer stämmer i stort med det beräknade förloppet. Vid den första visuella observationen av skredet hade detta en större utbredning än vad som beräknats som troligaste första följdskred, men dels är denna beräkning behäftad med osäkerheter och skall i viss mån ses som kvalitativ snarare än kvantitativ, dels kan den observerade skredkanten vara resultatet av flera tätt följande följdskred. Beräkningarna av följdskreden är behäftade med osäkerheter som ökar allteftersom de gjorda antagandena ökar ju längre fram i ett beräknat skredförlopp man kommer. De visar dock att det inträffade skredet och dess förlopp är beräkningsbart och därmed förutsebart med de använda analysmetoderna.



Figur 8.8. Lodad sektion i skredområdet efter skredet.

8.4.5 Jämförelser med kringliggande områden

Skredet inträffade inom ett större område med relativt likartade geotekniska förutsättningar. Därav uppstår frågan varför skredet inträffade just där det gjorde och varför inte övriga partier också rasat. Man kan då konstatera att undervattensslänten utgjorde den skredutlösande faktorn och att denna varierar i höjd och lutning utefter älvsträckan. Den lokala erosionen och mindre variationer i lerans egenskaper blir här avgörande faktorer. Samtidigt kan konstateras att lerdjupet inom den skredade sektionen var något mindre än i kringliggande partier och inverkan av de artesiska vattentrycken kan antas ha varit marginellt större. I ett flertal andra sektioner har stabiliteten för undervattensslänterna också varit klart otillfredsställande, men så länge inte några djupare skred gått i dessa har inte heller risken för skred i bakomliggande jordmassor varit omedelbart överhängande. De branta undervattensslänterna inom området har stabiliserats eller kommer att så göras inom åtgärdsprogrammet för Agnesbergsområdet.

9. Slutsatser

Förutsättningar för skred

Den geologiska historien i Agnesberg och omgivande delar av Götaälvdalen har medfört tjocka avlagringar av lös eller mycket lös lera. Markytan sluttar med varierande lutning ned mot älven och erosion pågår i älvfåran på grund av älvens naturliga vattenföring och fartygstrafik. Under lerlagren finns lager med friktionsjord där vattentrycken på grund av de geohydrologiska förhållandena är artesiska. Den uppåtgående vattenströmningen igenom lerlagren har medfört urlakning av salter och att leran är högsensitiv. Dessa geologiska och geohydrologiska betingelser har skapat förutsättningar för skred och Götaälvdalen är ett av de områden i Sverige som har den högsta skredfrekvensen. Tidigare skred i regionen har ofta startat som lokala skred i eller vid älven och sedan gripit bakåt och kommit att omfatta ett större område på land genom en serie av efterföljande skred.

Skredutveckling vid Agnesbergsskredet

Skredutvecklingen kan anses vara fastställd. Såväl direkta observationer som övriga indikationer tyder på att skredet startade som ett undervattensskred i älven vid 6-tiden på morgonen den 14 April. Detta initialscred utlöste sedan ett antal bakåtgripande följdskred. Större följdskred registrerades 3 respektive 6 timmar efter initialskredet och det slutliga skredområdet kom att sträcka sig 30 meter in på land utefter en sträcka av 80 meter.

Stabilitetsanalys

Liksom i de flesta skredutredningar är stabilitetsanalysen i detta fall behäftad med vissa osäkerheter i beräkningsantagandena. Det står dock klart att såväl initialskredet som efterföljande skredutveckling kunnat beräknas och förutsägas med gängse beräkningsmetoder under förutsättning att tillräcklig uppmärksamhet ägnats åt bottenpografien under älvens yta. Denna har dock inte kontrollerats fortlöpande på annat sätt än att man genom ramning förvissat sig om att man haft tillräckligt vattendjup inom farledsbredden.

Analysen visar också att beräkningar med enbart odränerad analys, som tidigare ofta använts inom Götaälvdalen, inte räcker som underlag för bedömning om en slänt är stabil eller ej. Odränerade analyser för utgångsförhållandena före skredet visade på stabila förhållanden även om säkerhetsmarginalen inte var helt tillfredsställande. Större delen av skredet skedde också under odränerade förhållanden. Ingen kedja är dock starkare än sin svagaste länk, vilken i detta fall var den branta undervattensslänten där en dränerad analys visade att stabiliteten var klart otillfredsställande. En kombinerad analys visade dels att undervattensslänten var mycket nära brottillstånd,

dels att den jordvolym som skulle involveras i ett initialscred var relativt stor. Analyser av släntens stabilitet efter ett initialscred visar att i detta skede ger också helt odränerade analyser att förutsättningar finns för bakåtgripande skred som skulle kunna få en stor utbredning.

Avgörande faktorer för utlösning av initialscredet

Initialscredet utlöstes på grund av en hög och brant undervattensslänt som skapats av den pågående bottenerosionen, vilken i sin tur förmodligen beror på naturlig vattenströmning i älven och fartygstrafiken i farleden. På grund av de artesiska vattenstrycken och den därav uppåtgående vattenströmningen nedsattes stabiliteten och förutsättningar skapades för ett initialscred som gick djupare och omfattade en större jordvolym än vad som annars skulle ha varit fallet.

Avgörande faktorer för följdskreden

Följdskreden utlöstes på grund av att initialscredet var relativt stort och att en betydande del av de mothållande krafterna för större glidytor därmed försvann. Ytterligare bidragande orsaker till att en så stor del av de mothållande krafterna försvann var att skredet skedde under vatten och att leran hade en hög sensitivitet. Båda dessa faktorer bidrog sannolikt till att de skredade massorna gled iväg och lämnade en ostöttad bakkant. Detta gällde i princip också för följdskreden och den bakåtgripande processens vidare förlopp.

Att följdskreden utlöstes och fick en så stor omfattning berodde vidare på älvbottens topografi. I skredsektionen gick farleden relativt nära land vilket medförde ett kort parti mellan djupfåra och strandkant och därmed en relativt stor medellutning. De utfyllnader och ytbelastningar som påförts på land har också inverkat negativt och bidragit till skredets utbredning.

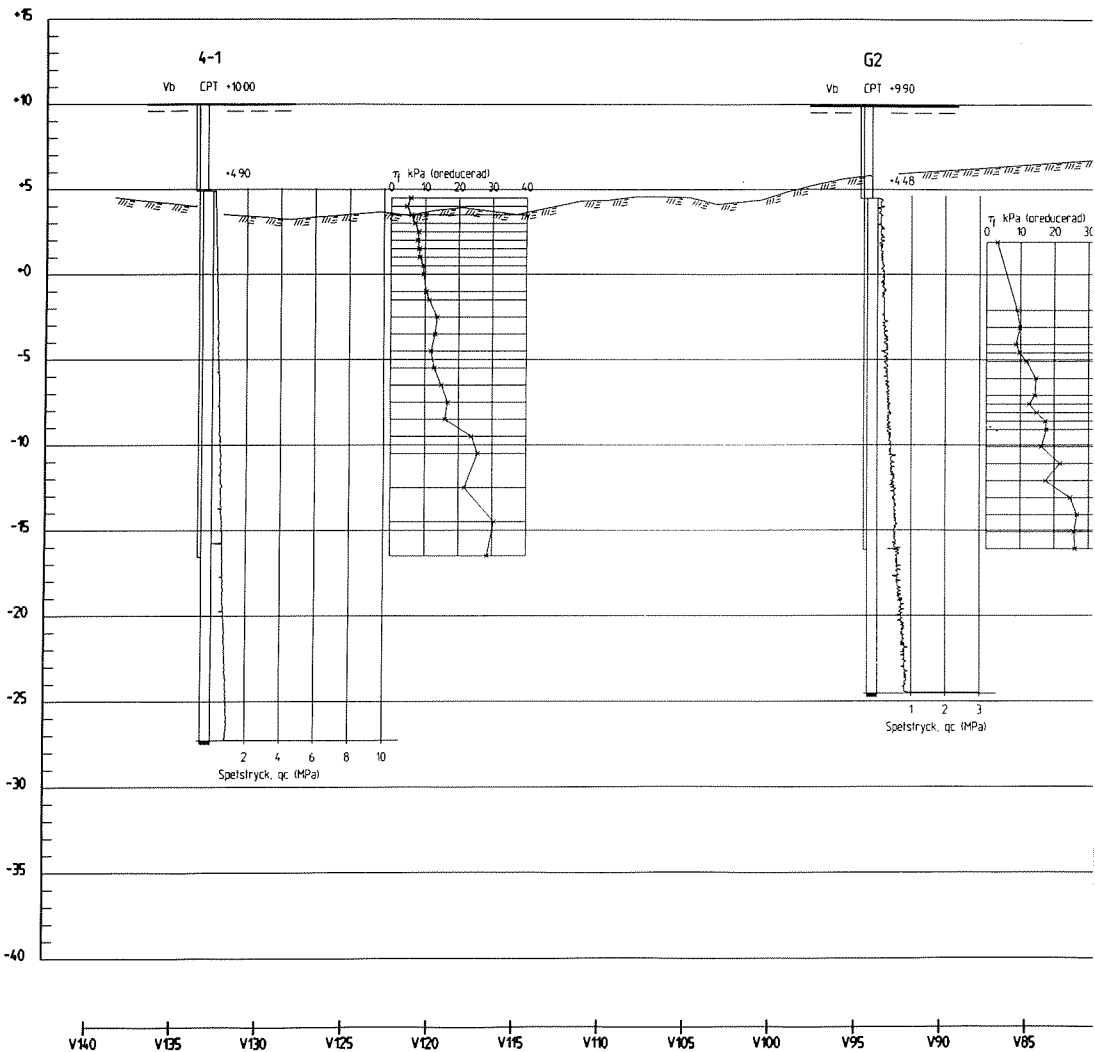
10. Referenser

- Adriellsson, P. & Fredén, C. (1987).** Jordartskartan Marstrand SO/Göteborg SV. SGU Serie Ae Nr 72. Sveriges geologiska undersökning. Uppsala.
- Geotekniska undersökningar - Göteborgs Gatu AB Teknik och Orrje&Co/ Scandiaconsult.**
- Gustavsson, G. och Svensson, C. (1993).** Grundvattenmodellering med spreadsheet program. Kompendium, Publikation C46, Chalmers Tekniska Högskola, Inst. f. Geologi, Göteborg.
- IVA:s Skredkommission (1994).** Anvisningar för släntstabilitetsutredningar, Arbetsrapport, mars 1994.
- Jacobsson, B. & Mohrén E. (1952).** The landslide at Surte on the Göta River, September 29, 1950. Royal Swedish Geotechnical Institute. Proceedings no. 5. Stockholm.
- Lantmäteriverket.** Topografiska kartor (skala 1:50 000): Göteborg SO, Marstrand SO/Göteborg SV. Ekonomiska kartor (skala 1:10 000): 7B 2e och 2f. Flygbilder (skala 1:20 000): Nr 78 685 01 03-04, 1978-05-11.
- Larsson, R., Bergdahl, U. och Eriksson, L. (1984).** Utvärdering av skjuvhållfasthet i kohesionsjord. Statens geotekniska Institut, Information 3. Linköping.
- Magnusson, E. (1978).** Jordartskartan Göteborg SO. SGU Serie Ae Nr26. Sveriges geologiska undersökning. Stockholm.
- Magnusson, L. (1978).** Bergrundskartan Göteborg SO, SGU Serie Af Nr 117. Sveriges geologiska undersökning. Stockholm.
- Odenstad, S. (1958).** Jordskredet i Göta den 7 juni 1957. Geologiska föreningens i Stockholm förhandlingar. Band 80. Stockholm.
- Statens geotekniska institut (1981).** Tuveskredet - Geologi. SGI Rapport No 11b. Linköping.
- Stevens R., Hellgren L-G & Häger, K-O. (1984).** Depositional environments and general stratigraphy in south western Sweden. In Cato I. (ed): Rapid mass movements in soils - slides, falls, flows, creeps. Striae 19, p 13-18. Uppsala.

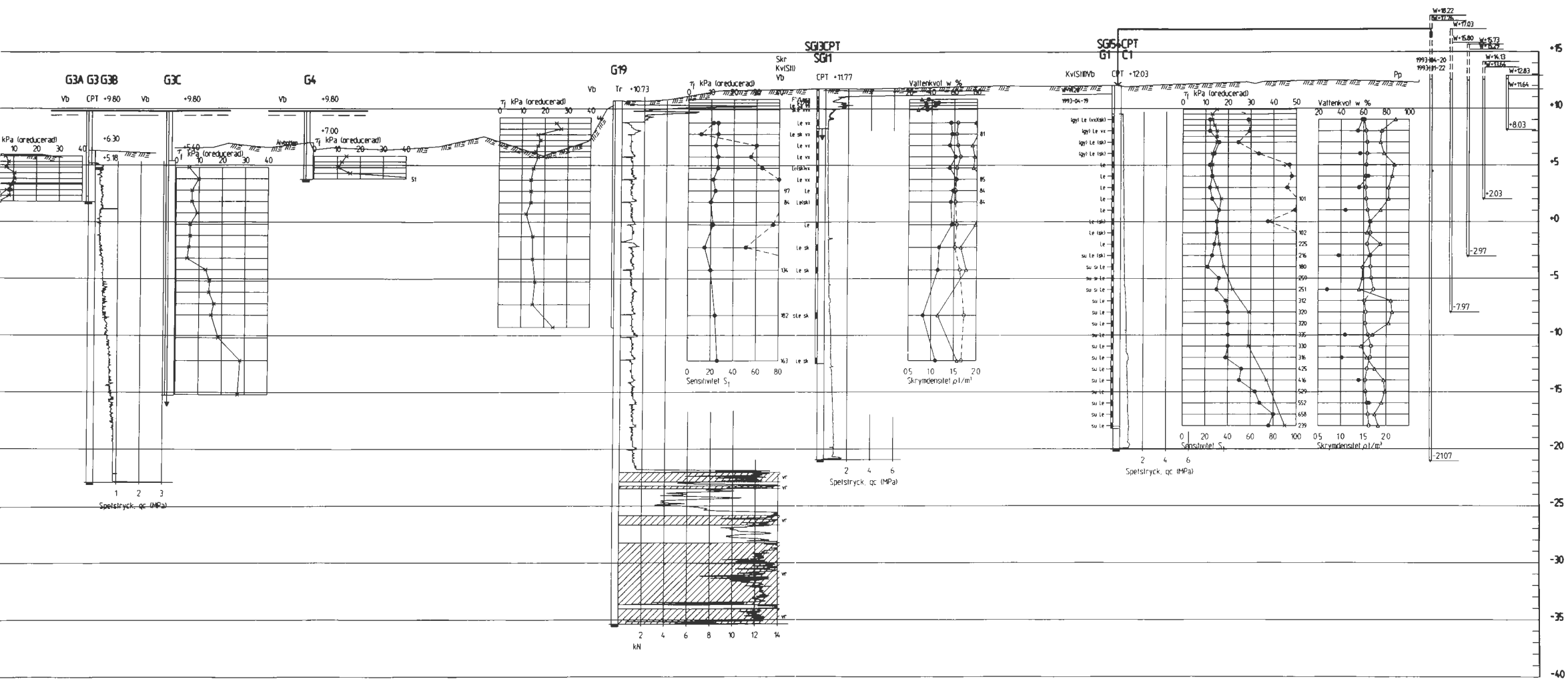
Bilaga

**Resultat av geotekniska undersökningar
i den skredade sektionen.**

Sammanställda av Göteborgs Gatu AB.



SEKTION 4 östra sidan



V70 V65 V60 V55 V50 V45 V40 V35 V30 V25 V20 V15 V10 V5 0 H5 H10 H15 H20 H25 H30 H35 H40 H45 H50 H55 H60

STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE

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

RAPPORT/REPORT

No

År/Year

-
- | | | |
|------|--|------|
| 10. | Tuveskredet 1977-11-30. Inlägg om skredets orsaker | 1981 |
| 11a. | Tuveskredet - geoteknik | 1984 |
| 11b. | Tuveskredet - geologi | 1981 |
| 11c. | Tuveskredet - hydrogeologi | 1981 |
| 12. | Drained behaviour of Swedish clays
R. Larsson | 1981 |
| 13. | Long term consolidation beneath the test fillsat
Väsby, Sweden
Y.C.E Chang | 1981 |
| 14. | Bentonittätning mot lakvatten
T. Lundgren, L. Karlqvist & U. Qvarfort | 1982 |
| 15. | Kartering och klassificering av lerområdets
stabilitetsförutsättningar
L. Viberg | 1982 |
| 16. | Geotekniska fältundersökningar
Metoder - Erfarenheter - FoU-behov.
E. Ottosson (red.) | 1982 |
| 17. | Symposium on Slopes on Soft Clays | 1983 |
| 18. | The Landslide at Tuve November 30 1977
R. Larsson & M. Jansson | 1982 |
| 19. | Släntstabilitetsberäkningar i lera
Skall man använda totalspänningsanalys,
effektivspänningsanalys eller kombinerad analys?
R. Larsson | 1983 |

RAPPORT/REPORT

No

År/Year

-
-
- | | | |
|------|--|------|
| 20. | Portrycksvariationer i leror i Göteborgsregionen
J. Berntson | 1983 |
| 21. | Tekniska egenskaper hos restprodukter från kolförbränning - en laboratoriestudie
B. Möller, G. Nilson | 1983 |
| 22. | Bestämning av jordegenskaper med sondering - en litteraturstudie
U. Bergdahl & U. Eriksson | 1983 |
| 23. | Geobildtolkning av grova moräner
L. Viberg | 1984 |
| 24. | Radon i jord
- Exhalation - vattenkvot
- Årstidsvariationer
- Permeabilitet
A. Lindmark & B. Rosén | 1984 |
| 25. | Geoteknisk terrängklassificering för fysisk planering
L. Viberg | 1984 |
| 26. | Large diameter bored piles in non-cohesive soils
Determination of the bearing capacity and settlement from results of static penetration tests (CPT) and standard penetration test (SPT).
K. Gwizdala | 1984 |
| 27. | Bestämning av organisk halt, karbonathalt och sulfidhalt i jord
R. Larsson, G. Nilson & J. Rogbeck | 1985 |
| 27E. | Determination of organic content, carbonate content and sulphur content in soil
R. Larsson, G. Nilson & J. Rogbeck | 1987 |

RAPPORT/REPORT

No

År/Year

-
-
- | | | |
|------|---|------|
| 28. | Deponering av avfall från kol- och torveldning | 1986 |
| | T. Lundgren & P. Elander | |
| 28E. | Environmental control in disposal and utilization of combustion residues | 1987 |
| | T. Lundgren & P. Elander | |
| 29. | Consolidation of soft soils | 1986 |
| | R. Larsson | |
| 30. | Kalkpelare med gips som tillsatsmedel | 1987 |
| | G. Holm, R. Tränk & A. Ekström | |
| | Användning av kalk-flygaska vid djupstabilisering av jord | |
| | G. Holm & H. Åhnberg | |
| | Om inverkan av härdningstemperaturen på skjuvhållfastheten hos kalk- och cementstabiliserad jord | |
| | H. Åhnberg & G. Holm | |
| 31. | Kalkpelarmetoden | 1986 |
| | Resultat av 10 års forskning och praktisk användning samt framtida utveckling. | |
| | H. Åhnberg & G. Holm | |
| 32. | Two Stage-Constructed Embankments on Organic Soils 1988 | |
| | <input type="checkbox"/> Field and laboratory investigations | |
| | <input type="checkbox"/> Instrumentation | |
| | <input type="checkbox"/> Prediction and observation of behaviour | |
| | W. Wolski, R. Larsson et al. | |
| 33. | Dynamic and Static Behaviour of Driven Piles | 1987 |
| | (Doctoral thesis) | |
| | Nguyen Truong Tien | |
| 34. | Kalksten som fyllningsmaterial | 1988 |
| | J. Hartlén & B. Åkesson | |

RAPPORT/REPORT

No

År/Year

-
- | | | |
|-----|---|------|
| 35. | Thermal Properties of Soils and Rocks
(Doctoral thesis)
J. Sundberg | 1988 |
| 36. | Full-Scale Failure Test on a Stage-Constructed Test Fill on Organic Soil
W. Wolski, R. Larsson et al. | 1989 |
| 37. | Pore Pressure Measurement - Reliability of Different Systems
M. Tremblay | 1989 |
| 38. | Behaviour of Organic Clay and Gyttja
R. Larsson | 1990 |
| 39. | Gruvavfall i Dalälvens avrinningsområde - Metallutsläpp och åtgärdsåtgärder
RAPPORT TILL DALÄLVSDELEGATIONEN
T. Lundgren & J. Hartlén | 1990 |
| 40. | Shear Moduli in Scandinavian Clays
- Measurement of initial shear modulus with seismic cones
- Empirical correlations for the initial shear modulus in clay
R. Larsson & M. Mulabdic´ | 1991 |
| 41. | Övervakningssystem - Släntbeteende - Skredinitiering
Resultat från ett fullskaleförsök i Norrköping
B. Möller & H. Åhnberg | 1992 |
| 42. | Piezocone Tests in Clay
R. Larsson & M. Mulabdic´ | 1991 |
| 43. | Footings with Settlement-Reducing Piles in Non-Cohesive Soil
Phung Duc Long | 1993 |

The Swedish Geotechnical Institute is a government agency dealing with geotechnical research, information and consultancy.

The purpose of the Institute is to achieve better techniques, safety and economy by the correct application of geotechnical knowledge in the building process.

Research

Development of techniques for soil improvement and foundation engineering. Environmental and energy geotechnics. Design and development of field and laboratory equipment.

Information

Research reports, brochures, courses. Running the Swedish central geotechnical library with more than 85.000 documents. Computerized retrieval system.

Consultancy

Design, advice and recommendations, including site investigations, field and laboratory measurements. Technical expert in the event of disputes.

Statens geotekniska institut Swedish Geotechnical Institute

S-581 93 Linköping, Sweden

Tel 013-20 18 00, Int + 46 13 201800

Fax 013-20 19 14, Int + 46 13 201914