



STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE

Skredet i Ballabo, Västerlanda

HJÖRDIS ANDERSSON
ELVIN OTTOSSON
GÖRAN SÄLLFORS

Rapport 57

LINKÖPING 1999



STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE

Rapport
Report **No 57**

Skredet i Ballabo, Västerlanda

HJÖRDIS ANDERSSON, SGI
ELVIN OTTOSSON, SGI
GÖRAN SÄLLFORS, CHALMERS

Denna utredning har utförts av
Statens geotekniska institut och
Chalmers tekniska högskola.



Rapport	Statens geotekniska institut 581 93 Linköping
Beställning	Litteratortjänsten, SGI Tel: 013-20 18 04 Fax: 013-20 19 09 E-post: info@swedgeo.se Internet: www.swedgeo.se
ISSN	0348-0755
ISRN	SGI-R--99/57--SE
SGI projekt nr	19605250
Upplaga	500
Tryckeri	Roland Offset AB, Linköping, maj 1999

Förord

Den 16 april 1996 inträffade ett skred längs Göta älv, i Ballabo, Västerlanda, söder om Göta samhälle.

Inträffade jordskred ger en bra möjlighet att kalibrera och utvärdera undersöknings- och beräkningsmetoder. Det är därför principiellt viktigt att all ny kunskap från skred tas till vara och dokumenteras på bästa sätt.

Syftet med utredningen har varit att klarlägga förhållandena vid skredtillfället och att analysera skredorsak och skredförlopp. Erfarenheter från inträffade jordskred är av stort värde vid framtida tekniska värderingar och riskbedömningar i liknande områden. Denna kunskap är bland annat till nytta vid upprättande av planer, vid planering/projektering av nya anläggningar och för förståelsen av skredmekanismer och slänters beteende.

Utredningen har utförts och finansierats av Statens geotekniska institut och Chalmers tekniska högskola. Sjöfartsverket har givit värdefullt finansiellt bidrag till projektet, samt utfört lodningar och tillhandahållit flotte för undersökningar i älven.

Ett flertal personer har bidragit med betydelsefulla insatser i utredningen. Rolf Larsson, SGI, har lämnat värdefulla synpunkter under utredningens gång och granskat manuskriptet. Leif Viberg och Ann-Christine Hågeryd, SGI, har utrett geologi och geohydrologi. Marius Tremblay, SGI, har givit goda råd vid grundvattenmodelleringen samt granskat avsnittet om portrycksfördelning. Cecilia Torkeli, SGI, har medverkat vid parametersammanställningar och stabilitetsberäkningar. Fälтарbetet har på ett ansvarsfullt sätt utförts av Ingemar Forsgren och Kjell Nätterdal, Chalmers, samt Kjell Hidsjö och Mikael Lennartsson, SGI. Laboratoriearbetena har på ett förtjänstfullt sätt utförts av Jaques Connant, Chalmers, och Inga-Maj Kaller, SGI. Jan Schälin, SGI, har bidragit med uppgifter om iakttagelser och åtgärder direkt efter skredet. Jan Lindgren, SGI, har svarat för redigering och slutlig utformning av rapporten.

Författarna vill framföra sitt varma tack till dessa personer och organisationer, med ett speciellt tack till Rolf Larsson, för deras bidrag till denna rapport.

Linköping och Göteborg april 1999

Hjördis Andersson, SGI Elvin Ottosson, SGI Göran Sällfors, Chalmers

Innehåll

Förord

Om innehållet	7
Summary and conclusions	9
Sammanfattning och slutsatser	13
1. Inledning	17
2. Beskrivning av skredet	18
2.1. Allmänt	18
2.2. Skredförlopp	19
2.3. Insatser från olika instanser	19
2.4. Åtgärder	20
3. Riskbild	21
3.1. Allmänt	21
3.2. Hotade intressen	21
3.3. Tänkbara skredförlopp och konsekvenser	22
4. Geologi och geohydrologi	24
4.1. Allmänt	24
4.2. Topografi	24
4.3. Berggrund	24
4.4. Jordarter	25
4.5. Förhållanden inom skredområdet	26
4.6. Geohydrologi	26

5. Geoteknik	28
5.1. Utförda undersökningar	28
5.2. Geotekniska förhållanden	29
6. Skjuvhållfasthet	33
6.1. Odränerad skjuvhållfasthet	33
6.2. Dränerad skjuvhållfasthet	38
7. Beräkning av portrycksfördelning	39
7.1. Allmänt	39
7.2. Beräkningsunderlag	39
7.3. Beräkningsmetod	40
7.4. Beräkningsresultat	40
8. Stabilitetsberäkningar och analys av skredorsak	41
8.1. Allmänt	41
8.2. Beräkningsunderlag	41
8.3. Beräkningsmetoder	43
8.4. Beräkningsresultat	43
8.5. Jämförelser med observerat skredförlopp	44
9. Slutsatser och rekommendationer	46
Referenser	48
Bilaga 1-2: Sektioner	50

Om innehållet

Vilket är syftet med rapporten?

I denna rapport redovisas den teknisk/vetenskapliga utredning som gjordes av det skred som inträffade den 16 april 1996 längs Göta älv, i Ballabo, Västerlanda, söder om Göta samhälle.

Skredområdet utgjordes av åkermark och inga byggnader eller anläggningar berördes eller hotades av följdskred. Syftet med utredningen har varit att klarlägga förhållandena vid skredtillfället och att analysera skredorsak och skredförlopp. Erfarenheter från inträffade jordskred är av stort värde vid framtida tekniska värderingar och riskbedömningar i liknande områden.

Vem vänder sig rapporten till?

Rapporten riktar sig främst till yrkesverksamma geotekniker som genomför stabilitetsutredningar i sitt dagliga arbete. Rapporten är också av intresse för myndigheter som planerar för byggnadsområden och kommunikationsleder, samt för dem som ansvarar för förebyggande åtgärder mot naturolyckor. Vidare är rapporten av värde för dem vars verksamhet direkt eller indirekt kan beröras av skred utmed Göta älv.

Vad innehåller rapporten?

I rapporten beskrivs först skredförloppet och vilken omfattning skredet fick. Vidare redovisas de insatser som gjordes av olika instanser i samband med skredet och de åtgärder som utförts efteråt. Riskbilden i samband med ett skred utmed Göta älv beskrivs, såväl tänkbara skredförlopp och konsekvenser, som intressen som hotas vid ett skred.

Områdets geologi och hydrogeologi beskrivs. De geotekniska förhållandena som rådde i skredområdet, dvs jordlagerförhållanden, jordens spänningshistoria och hållfasthet analyseras i detalj. På basis av uppmätta och prognosticerade

portryck och vattennivåer görs en modellering av portrycksförhållandena. Därefter redovisas de beräkningar av släntens stabilitet som utförts baserat på analysen av förhållandena i området vid skredtillfället.

Vad ger rapporten för rekommendationer?

Rapporten avslutas med jämförelser mellan beräkningar och observerat skredförlopp samt slutsatser om skredets orsaker. Utredningen visar att släntens säkerhetsnivå beräknats vara nära brott och att, trots de osäkerheter som finns i gjorda beräkningsantaganden, skredet kunnat förutsägas och beräknas med vanligen använda beräkningsmetoder.

Summary and conclusions

The landslide at Ballabo, Sweden

In certain parts of Sweden, large areas are covered with deposits of soft high-plastic clays. Streams and rivers flowing through these areas cause gradual erosion, resulting in landslide activities, which in many respects, constitute a major problem. The Göta River Valley, north of Göteborg, is one such area well known among geotechnical engineers due to several large slides as those in Surte and Göta.

In a rural area along the Göta River, at Ballabo, Västerlanda, a minor slide occurred on the 16th of April 1996. The slide was discovered by a passing ship at 6.40 pm. At that time, the whole slide had already taken place. Another ship passed the slide area between 5.45 pm and 6.00 pm, without noticing any changes of the shore or the river. Therefore, it is possible to establish the time when the slide occurred to between 5.45 pm and 6.40 pm.

The slide involved an area of approximately 110 m x 60 m, where about 30 000 m³ of clay slid out into the river. The depth of the water decreased by about 5 m, from 9–10 m to 4–5 m, thus reducing the width and navigability of the channel. The slide took place in a rural area and no buildings were threatened by retrogressive slides. The inclination of the slope at the site is about 1:50, and much steeper close to the river. The soil consists mainly of clay with depths up to 50 m.

Measures taken

After the slide had been reported by the passing ship, the traffic on the river was immediately stopped by the Swedish National Administration of Shipping and Navigation. Relevant authorities, as the local rescue teams, the local authorities of Lilla Edet, the Police and the Swedish Geotechnical Institute, were alerted. Inspections were carried out both on land and in the river. The area was closed and placed under supervision and nearby residents were informed.

The following day the slide area was inspected and a meeting was held to evaluate the situation. It was decided, that the ship traffic past the slide area could be resumed with reduced speed and one way traffic. Furthermore, the channel had to be inspected twice a day during a period immediately after the slide and the supervision of the slide area with checks of possible ground movements had to be continued.

No reinforcement measures have been carried out. The steep back edge of the slope has successively been reshaped and has now a flatter and safer inclination. A new erosion protection system has been installed at the slide area. The ship traffic is still only allowed at reduced speed, March 1999, but two-way traffic has been reintroduced.

Geotechnical aspects

The soil consists mainly of clay, probably with underlying cohesionless soil. The thickness of the clay is estimated to be up to approx. 50 m close to the river and then successively decreasing. The top layer behind the slope crest consists of high-plastic gyttjey clayey silt and silty clay. Under this layer, the clay is high-plastic to very high-plastic to a depth of 25 m. Below this depth, the soil mainly consists of silty clay and clayey silt with shells. The sensitivity of the clay is low to medium, to the depth of 25 m and below this level it is high.

The pore water pressure measurements show a slightly more than hydrostatic increase with depth.

The preconsolidation pressures have been determined by using oedometer tests (CRS) on undisturbed samples taken in two locations behind the crest of the slope. These tests show that the clay is slightly overconsolidated, with an overconsolidation corresponding to about $1.25 \cdot \sigma'_0$, which is normal for the area around Göteborg.

The undrained shear strength has been determined by field vane tests and CPT-tests in the field and fall cone tests and direct shear tests in the laboratory.

Behind the crest of the slope, the undrained shear strength is constant, about 15 kPa to a depth of 7.5 m (level -1.0). Below this depth, the shear strength increases with on average 0.83 kPa/m to a depth of 16.5 m (level -10.0), and thereunder the increase is 1.17 kPa/m. In the slope close to the river, the undrained shear strength is constant, about 20 kPa to a depth of 4 m (level -4.0).

Thereunder, the shear strength increases with on average 0.58 kPa/m to a depth of 10 m (level -10.0) and thereunder the increase is 1.13 kPa/m.

The investigations carried out in the river show that the undrained shear strength in the upper part of the clay layer is higher for the sounding carried out closest to the shore. The shear strength in the clay under the river in the part with a water depth of 2 m increases from about 12 kPa at the level -2.0 with on average 1.31 kPa/m to the level -10.0 and thereunder with 1.08 kPa/m. In the part of the river with a water depth of 8 m, the shear strength increases from about 14.5 kPa at the level -8.0 with on average 1.57 kPa/m to the level -20.0 and thereunder with 1.08 kPa/m. Thus, to make an accurate and detailed description of the shear strength of the clay, it is necessary to consider the stress history in the various parts of the slope.

Stability analyses

Slope stability calculations with classical analysis have been carried out using the computer program SLOPE/W and the Morgenstern-Prices method. Both undrained and combined analyses have been conducted according to Swedish recommendations and current practice. The factor of safety with undrained analysis was $F_c = 1.0$ (1.02) for the analysed section. Calculations with combined analysis yielded a factor of safety of $F_k = 1.0$ (0.98). Calculations to determine the effect of anisotropy yielded a factor of safety of $F_c = 1.1$ (1.10) with undrained analysis and $F_k = 1.0$ (1.05) with combined analysis.

The observed course of the slide and the measured extent coincide well with the calculated probable shear surface. The whole volume of the sliding mass has probably slid into the river as one monolith. Possibly the soil on one side of the ditch, that parts the slide area, slid slightly before the other. No retrogressive slides have occurred. Only minor sliding from the steep edge in the back of the slide occurred after the initial slide.

Summary and conclusions

Several factors have probably contributed to cause the slide. The calculations made in the section north of the slide show that also this slope is close to failure, with a calculated factor of safety close to 1.0 for undrained as well as combined analysis. This indicates that the slope that slid was close to failure as well. In addition, the slide occurred along a section of the river, where it bends and the west shore forms the outer curve and is therefore especially exposed to erosion. The sounding show a steep slope under the water, formed by ongoing ero-

sion and possible minor slides under water. The investigation shows that, at the time of the slide, the water level in the river was low in combination with relatively high pore water pressures in the ground. A ditch through the sliding area was a natural weak zone.

The stability analysis shows that it was possible to predict the slide, using common methods for stability calculations, in spite of the uncertainties in the assumptions made for the calculations. The analysis shows that the sliding happened predominately under undrained conditions and that the slope was close to failure. Although it was not possible at the time, to take anisotropy satisfactory into account in the computer program used, the calculations show that anisotropy is of some importance even in less steep slopes.

The field and laboratory tests confirm, that a thoroughly conducted investigation produces results, where good agreement is obtained between the various methods used. The undrained shear strength evaluated from the methods used in the investigation; CPT-test, field vane test, fall cone test and direct shear test, show good agreement with one another in the upper 20–25 m of the soil profile. Best agreement was obtained when the shear strength is evaluated related to level. This is in accordance with the geological history of the Göta River, where the river valley has been formed by erosion from a originally relatively flat ground surface.

Sammanfattning och slutsatser

Allmänt

Ett skred inträffade vid Ballabo, Västerlanda, den 16 april 1996. Skredet upptäcktes från ett förbipasserande fartyg kl 18.40. Då hade i princip hela skredet inträffat. Ett annat fartyg passerade skredområdet mellan kl 17.45 och 18.00, utan att några förändringar noterades utmed stranden eller i älven. Man kan därför fastställa skredtidpunkten till 1996-04-16 kl 17.45-18.40.

Skredet kom att omfatta en 110 m lång sträcka utmed Göta älv och sträckte sig 50 à 70 m bakåt från älvstranden. Vattendjupet i älven minskade vid farledskanten från 9-10 m till 4-5 m. Skredmassorna kom således att minska farledsbredden. Skredområdet utgjordes av åkermark och inga byggnader eller anläggningar berördes eller hotades av följskred.

Ballabo är beläget på Göta älvs västra sida ca 5 km söder om Lilla Edet och ca 1,5 km söder om Göta samhälle. Markytan sluttar svagt mot älven med en lutning av ca 1:50. Marklutningen ökar mot älven och avslutas med en ca 7 m hög, relativt brant slänt mot älven. Jorden består i huvudsak av lera med upp till ca 50 m djup. Kwicklera förekommer på djupet.

Åtgärder

Direkt efter att skredet inrapporterats till Sjöfartsverket från det förbipasserande fartyget stoppades sjöfarten förbi skredet. Räddningstjänsten, Lilla Edets kommun, polis, och SGI larmades. Räddningstjänsten och polis påbörjade kontroller i land medan Sjöfartsverket genomförde kontroller i älven. Området spärrades av och sattes under bevakning och närboende informerades.

Efterföljande dag besiktigades skredområdet. Ett samrådsmöte hölls med SGI, Sjöfartsverket, Räddningstjänsten, Länsstyrelsen, Polis och Lilla Edets kommun för värdering av situationen. Man beslöt att: återuppta fartygstrafiken förbi skredplatsen med reducerad fart och enkelriktad trafik, kontrollera farleden två

gångar/dygn under den närmaste tiden samt fortsätta bevakningen av skredområdet och kontrollera eventuella ytliga markrörelser.

Direkta förstärkningsåtgärder har inte genomförts. Den bakre branta skredkanten har successivt genom mindre utglidningar intagit en flackare och säkrare lutning. Sjöfartsverket har ersatt provisoriskt utlagda farledsmarkeringar med en ny fast farledsmarkering för sjöfarten och lagt ut nytt erosionsskydd i strandlinjen förbi skredplatsen. Fartygstrafiken upprätthålls fortfarande med reducerad fart, mars 1999, medan dubbelriktad trafik återinförts.

Geoteknik

Jorden inom området består huvudsakligen av lera, som sannolikt vilar på friktionsjord. Lermäktigheten bedöms vara störst, ca 50 m, vid älvfåran och successivt avtagande till berg i dagen på ett avstånd av mer än 400 m från älven. Det övre lagret bakom släntkrönet, ner till ca 5 m djup (nivå +1,5), består av höglplastisk gyttjig lerig silt/siltig lera. Därunder finns höglplastisk till mycket höglplastisk lera ned till ca 25 m djup (nivå -18). Från ca 25 m djup består jorden huvudsakligen av mellanplastisk siltig lera och lerig silt med inslag av skal. Leran är låg till mellansensitiv ned till ca 25 m djup (nivå -18) och därunder högsensitiv. Lerans densitet varierar något, men ligger i huvudsak kring $1,6 \text{ t/m}^3$.

Portrycksmätningarna visar en något större än hydrostatisk ökning mot djupet och en fri grundvattenyta bakom släntkrön ca 0,5 m under markytan.

Förkonsolideringstrycken för leran har bestämts genom ödometerförsök på ostörda prover som tagits på land ovanför släntkrön, norr och söder om skredet. Dessa visar att leran är svagt överkonsoliderad, med en överkonsolidering motsvarande ungefär $1,25 \cdot \sigma'_0$, vilket är normalt i Göteborgsområdet.

Den odränerade skjuvhållfastheten har bestämts genom vingförsök och CPT-sonderingar i fält samt fallkonförsök och direkta skjuvförsök på laboratorium.

Bakom släntkrönet är den odränerade skjuvhållfastheten konstant, ca 15 kPa, ner till nivån -1,0 (ca 7,5 m djup). Därunder ökar hållfastheten med i snitt 0,83 kPa/m ner till nivån -10,0 (ca 16,5 m djup), varunder ökningen är 1,17 kPa/m. I slänten närmast älven är skjuvhållfastheten konstant, ca 20 kPa, ner till nivån -4,0 (ca 4 m djup). Därunder ökar hållfastheten med i genomsnitt 0,58 kPa/m ner till nivån -10,0 (ca 10 m djup), varunder ökningen är 1,13 kPa/m.

Undersökningar i älvfåran visar att skjuvhållfastheten i den övre delen av lerlagret är högre för den sondering som utförts närmast stranden. Skjuvhållfastheten under älvfåran i området med 2,0 m vattendjup ökar med djupet från ca 12 kPa på nivån -2,0 med i genomsnitt 1,31 kPa/m till nivån -10,0 och därunder med 1,08 kPa/m. I området med 8,0 m vattendjup i älven ökar skjuvhållfastheten med djupet från ca 14,5 kPa på nivån -8,0 med i genomsnitt 1,57 kPa/m till nivån -20,0 och därunder med 1,08 kPa/m. En noggrann och detaljerad beskrivning av hållfasthetsegenskaperna kräver således att den varierande spänningshistorien i släntens olika delar beaktas.

Stabilitetsberäkningar

Stabilitetsberäkningar med klassisk analys har utförts med datorprogrammet SLOPE/W, Morgenstern-Prices metod och cirkulärcylindriska glidytor. Med odränerad analys erhöles en säkerhetsfaktor för den analyserade sektionen $F_c = 1,0$ (1,02). Motsvarande beräkningar med kombinerad analys gav $F_k = 1,0$ (0,98). Beräkningar har också utförts för att utvärdera inverkan av anisotropieffekter. Beräkningar med odränerad analys gav då $F_c = 1,1$ (1,10) och med kombinerad analys erhöles $F_k = 1,0$ (1,05).

En jämförelse med beräknad farligaste glidyta visar att dess angreppspunkt ovan slänkrön överensstämmer med det kortare uppmätta avståndet till bakre skredkant. Underkant för farligaste beräknade glidyta återfinns på i stort sett samma djup som uppmätts för skredet (nivå -15 respektive -13).

Observerat skredförlopp och uppmätt omfattning av skredet stämmer väl med beräkningarna. Sannolikt har hela jordvolymen skredat ut i älven som en monolit. Möjligen har jordmassan på ena sidan det åkerdike som delar skredområdet, skredat något före den andra. Inga bakåtgripande skred har inträffat. Endast mindre utglidningar från den bakre skredkanten har skett efter initialskredet.

Slutsatser och rekommendationer

Ett flertal faktorer har sannolikt medverkat till skredet. Utförda beräkningar i sektionen norr om skredet visar att även denna slänt är mycket nära brott, med en beräknad säkerhetsfaktor nära 1,0 såväl med odränerad som kombinerad analys. Detta talar för att den skredade slänten hade en mycket låg säkerhet mot brott. Vidare inträffade skredet längs en sträcka av älven där denna kröker och den västra stranden som bildar "ytterkurva" är särskilt utsatt för erosion. Lodningar visar på en brant undervattensslänt som bildats av pågående erosion i älven och eventuellt även mindre undervattensskred. Utredningen visar att det

vid skredtillfället rådde lågt vattenstånd i älven i kombination med förhållandevis höga portryck i omgivande mark. Ett åkerdike genom skredområdet utgjorde dessutom en naturlig svaghetszon.

Stabilitetsanalysen visar att, trots de osäkerheter som finns i gjorda beräkningssantaganden, skredet kunnat förutsägas och beräknas med vanligen använda beräkningsmetoder. Analysen visar att skredet till största delen skett under odränerade förhållanden. Beräkningar med såväl odränerad som kombinerad analys visar att slänten var nära brotttillstånd. Trots att man i det använda beräkningsprogrammet inte kunnat ta hänsyn till hållfasthetsanisotropi på ett fullt tillfredsställande sätt, visar de beräkningar som gjorts att anisotropieffekter har viss betydelse även i mindre branta slänter.

Fält- och laboratorieundersökningar visar att vid en noggrant utförd undersökning kan mycket god överensstämmelse mellan olika undersökningsresultat erhållas. Uppmätta skjuvhållfasthetsvärden från de vid undersökningen använda metoderna; CPT-sondering, vingförsök, fallkonförsök och skjuvförsök, visar god samstämmighet i de övre 20–25 m av jordprofilen. Bäst överensstämmelse erhålls då hållfastheter sammanställs nivårelaterat, vilket stämmer väl med Göta älvdalens geologiska historia, där älven bildats genom erosion från en relativt horisontell markyta.

Utredningen, som utförts enligt Skredkommissionens anvisningar, visar att släntens säkerhetsnivå beräknats vara nära brott och att skredet därmed kunnat förväntas. Det är författarnas uppfattning att om Skredkommissionens anvisningar följs kommer på motsvarande sätt andra slänter med otillfredsställande stabilitet att kunna identifieras.

Kapitel I.

Inledning

Göta älv rinner genom en dalgång med lös lera, på ömse sidor omgiven av mäktiga höjdparter. Geologin längs älven skiftar, men den glaciala och postglaciala leran dominerar från Lilla Edet och söderut. Ett antal omfattande skred har ägt rum i dalgången genom århundradena, och i modern tid minns man särskilt skreden i Surte 1950 och i Göta 1957. Skred av mindre omfattning inträffar betydligt oftare (t ex Agnesberg 1993).

Ett omfattande arbete har genom åren lagts ner på att utreda stabilitetsförhållandena längs Göta älv och en rad åtgärder har vidtagits. De mest omfattande åtgärderna har genomförts i anslutning till bebyggelse, medan erosionsskydd har lagts ut längs stora sträckor utmed älven. Detta till trots är säkerhetsfaktorn för vissa delar, där marken inte är bebyggd eller används för jordbruksändamål, låg och på vissa ställen troligen nära 1,0. I områden där geotekniska undersökningar inte genomförts och bottenpografien inte är känd, saknas förutsättningar för att kvantifiera säkerheten mot skred på ett tillfredsställande sätt.

Det är därför inte överraskande att skred av den typ som skedde i Ballabo, Västerlanda, 1996 inträffar. En slänt som från början har en mycket låg säkerhet mot brott kan vid ogynnsamma förhållanden, till exempel till följd av en begränsad erosion orsakad av vattenströmningen i älven eller båttrafiken, gå till brott och rasa ut. Skredet i Ballabo är sannolikt ett sådant exempel. Normalt syns för blotta ögat ingen skillnad på en slänt med säkerhetsfaktorn 1,05 och en slänt med säkerhetsfaktor 1,5, vilket försvårar kontrollen av riktigheten i en analys. Det är därför viktigt att man, när ett skred inträffar, så noga som möjligt försöker kartlägga de geotekniska förhållandena och genomför kontrollberäkningar i syfte att kalibrera och kontrollera befintliga analysmetoder. I denna rapport redovisas därför de undersökningar som gjorts på plats i Västerlanda tillsammans med en noggrann analys av stabiliteten.

Kapitel 2.

Beskrivning av skredet

2.1 ALLMÄNT

Skredet vid Ballabo, inträffade den 16 april 1996. Skredet kom att omfatta en 110 m lång sträcka utmed Göta älv och sträckte sig 50-70 m bakåt från älvstranden. Vattendjupet i älven minskade vid farledskanten från 9-10 m till 4-5 m. Skredmassorna kom således att minska farledsbredden. En fast farledsmarkering, dykdalb i trä, förstördes av skredet. Skredområdet utgörs av åkermark och inga byggnader eller anläggningar berördes eller hotades av följskred.

Ballabo är beläget på Göta älvs västra sida, ca 5 km söder om Lilla Edet och ca 1,5 km söder om Göta samhälle. Området vid skredet utgörs av åkermark och närmaste byggnad är belägen ca 700 m från skredområdet. Markytan sluttar svagt mot älven med en lutning av ca 1:50. Marklutningen ökar mot älven. Jorden består i huvudsak av lera med upp till ca 50 m mäktighet.



Figur 2.1 Foto av skredet, taget från söder. Foto Jan Schälin, SGI.

2.2 SKREDFÖRLOPP

Skredet upptäcktes från ett förbipasserande fartyg kl 18.40. Då hade i princip hela skredet med omfattning enligt ovan inträffat och mellan 35.000 och 40.000 kubikmeter jord hade glidit ut mot och ner i älven. Ett annat fartyg passerade skredområdet mellan kl 17.45 och 18.00 utan att notera några förändringar utmed stranden eller i älven. Man kan därför fastställa skredtidpunkten till 1996-04-16 kl 17.45-18.40. Några ögonvittnen till själva skredet finns inte och det finns inte heller några uppgifter om att mindre initialskred skulle föregått huvudskredet. Utförda beräkningar indikerar inte heller att skredet skett i flera steg, jämför Kapitel 8.5. Ett antal mindre utglidningar efter huvudskredet har successivt utflackat den branta bakre skredkanten.

2.3 INSATSER FRÅN OLIKA INSTANSER

Direkt efter att skredet inrapporterats till Sjöfartsverket från det förbipasserande fartyget vidtogs följande åtgärder:

- Sjöfarten förbi skredet stoppades omedelbart. Två fartyg berördes direkt.
- Räddningstjänsten, Lilla Edets kommun, polis, och SGI larmades.
- Räddningstjänsten och polis påbörjade kontroller iland och Sjöfartsverket påbörjade kontroller i älven.
- Området avspärrades och sattes under bevakning.
- Närboende informerades.



Efterföljande dag besiktigades skredområdet. Ett samrådsmöte hölls med SGI, Sjöfartsverket, Räddningstjänsten, Länsstyrelsen, polis och Lilla Edets kommun för värdering av situationen. Uppgifter om skredets omfattning, inträffade skador och begränsning av farledens bredd och djup förelåg. Ny farledsmarkering av bojar hade lagts ut. Följande beslut togs:

- Återupptagande av fartygstrafiken förbi skredplatsen med reducerad fart och enkelriktad trafik.
- Kontroll av farleden två gånger/dygn under den närmaste tiden för att upptäcka eventuella markrörelser under vattnet.
- Fortsatt bevakning av skredområdet.
- Kontroll av ytliga markrörelser.

Eftersom hotbilden inte var allvarlig förelåg inte något allmänt samhälleligt krav på utredning av skredorsak och erforderliga stabiliseringsåtgärder. SGI och Chalmers beslöt dock från teknisk- vetenskaplig synpunkt att gemensamt och i samverkan genomföra föreliggande utredning med syfte att klarlägga förhållandena och analysera skredet.

2.4 ÅTGÄRDER

Direkta förstärkningsåtgärder har inte företagits. Den bakre branta instabila skredkanten har successivt genom mindre utglidningar intagit en flackare och säkrare lutning.

Sjöfartsverket har ersatt de provisoriska farledsmarkeringarna som lades ut direkt efter skredet med en ny fast farledsmarkering för sjöfarten och lagt ut erosionsskydd i strandlinjen förbi skredplatsen. Fartygstrafiken upprätthålls fortfarande, mars 1999, med reducerad fart, medan dubbelriktad trafik återinförts.

Kapitel 3.

Riskbild

3.1 ALLMÄNT

Skred i lera är en naturlig geologisk process, som drabbar stora delar av landet. Göta älv dalen är ett av de områden i Sverige som har den högsta skredfrekvensen. Den mest sannolika skredutvecklingen i älv dalen är att skred börjar i vattenområdet eller strandkanten. Beroende på övriga förhållanden, t ex marklutning, slänthöjd, kvicklereförekomst, artesiska porvattentryck, kan initialskred fortplanta sig bakåt och eller åt sidorna. I merparten av alla större svenska skred har kvicklera påträffats, varför lerans sensitivitet utgör en god indikation på förutsättningar för att stora skred skall kunna utvecklas. Ett skred utmed Göta älv i områden med kvicklera och artesiska vattentryck kan utvecklas till ett bakåtgripande skred och i princip komma att beröra större delen av bakomliggande lermark och därmed omfatta mycket stora områden.

Konsekvenserna av ett skred i älv dalen är starkt avhängigt av var och när skredet inträffar och skredets omfattning. Även till omfattningen relativt måttliga skred kan få allvarliga konsekvenser och medföra kostsamma återställnings- och förstärkningsarbeten.

Konsekvenser av ett skred i älv dalen är allmänt de skador på liv, egendom och miljö som kan uppstå till följd av skredet samt följdverkningar i form av drifts-avbrott, begränsad eller stoppad framkomlighet såväl på land som på älven, avbrott eller störning i kommunala råvattenintag utmed älven samt drifts-avbrott eller störning i kraftproduktionen.

3.2 HOTADE INTRESSEN

Riskbilden utmed Göta älv är komplex.

Allmänt finns utmed älven flera hotade intressen och riskobjekt varav speciellt kan nämnas:

- Bebyggelse, industriområden och anläggningar utmed älven
- Kommunikationsleder utmed älven t.ex. Bergslagsbanan och Riksväg 45
- Fartygstrafiken på älven
- Vattenkraftuttag i älven (Lilla Edet, Trollhättan och Vargön)
- Råvattenuttag i Göteborg, Kungälv, Lilla Edet, och Trollhättan

Till vad som ovan nämnts kan tillfogas följdskador i form av översvämningsskador, miljöpåverkan etc.

För området vid Ballabo utgörs hotbilden främst av stopp eller störning av fartygstrafiken, förlust av åkermark, störning i kraftproduktion och råvattenuttag. Vid ett stort skred som dämmer upp älven kan översvämningsskador och skador till följd av flodvågor uppstå.

3.3 TÄNKBARA SKREDFÖRLOPP OCH KONSEKVENSER

Ett skred utmed Göta älv kan, beroende på var och när det inträffar och skredets omfattning, få mycket olika konsekvenser.

Tidigare skred utmed älven visar på ett högst påtagligt sätt vilken omfattning ett skred i älvdalen kan få. Nedan ges några exempel.

Skredet vid Intagan, söder om Åkerström vid Trollhättan, 1648 är den största skredkatastrofen i historisk tid. Skredmassorna dämde upp älven, vilket orsakade en översvämning som krävde minst 85 människoliv. Norr om skredet förstördes ett stort antal hus och fartyg. När vattenmassorna bröt igenom fördämningen uppkom en flodvåg som orsakade stora skadeverkningar miltals nedströms.

Surteskredet, ca 15 km norr om Göteborg på älvens östra sida, inträffade i september 1950. Skredet hade en total längd utmed älven av ca 400 m och sträckte sig ca 600 m in från älvstranden. Skredet spred sig och kom att omfatta i princip all lermark mellan älven och fastmarkspartierna. Kvikklera och artesiskt grundvatten förekom. En person omkom och 31 bostadshus förstördes.

Götaskredet, ca 2 km uppströms Ballaboskredet på älvens östra sida, inträffade i juni 1957. 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 utvecklade

des 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 sulfittfabriks industriområde gled ut i älven, älven förträngdes kraftigt och en 6 till 8 m hög flodvåg gick norrut.

Skredet vid Agnesberg, ca 10 km norr om Göteborg på älvens östra sida, inträffade i april 1993. Skredet omfattade ett ca 80 m x 30 m stort område på en industritomt och skredmassorna fördelade sig på en yta av 100 m x 80 m på älvens botten och fyllde delvis upp farleden. Kvicklera och artesiska vattentryck förekom. Hotbilden var allvarlig med stopp för fartygstrafiken, hot mot befintliga industribyggnader, Bergslagsbanan, Riksväg 45 och Agnesbergs samhälle samt störningar i Göteborgs råvattenintag. Återställnings- och förebyggande åtgärder genomfördes till en totalkostnad av ca 34 milj kr. Även ett till synes måttligt skred kan således medföra omfattande och kostsamma åtgärder.

Konsekvenserna av ett skred i älvdalen kan således bli mycket allvarliga och beror i allt väsentligt på var skredet inträffar och vilken omfattning skredet får. Olika tänkbara skredförlopp i älvdalen, med olika konsekvenser, kan rangordnas och klassificeras i olika steg, alltifrån skred med obetydliga eller lindriga konsekvenser till skred med katastrofala konsekvenser.

Ett skred med lindriga konsekvenser kan vara ett skred som omfattar undervattenslänt och obebyggt strandområde. Konsekvenserna utgörs främst av markförlust, tillfälligt stopp/begränsad framkomlighet för sjöfarten samt eventuell störning i råvattenuttag och kraftproduktion. Ett katastrofalskred däremot kan vara ett skred med flera dödsfall och som berör stora vatten- och landområden med raserad bostadsbebyggelse och industribebyggelse samt långvariga avbrott i kommunikationsleder på land, långvarigt stopp i sjöfart och vattenförsörjning samt störd kraftproduktion. Ballaboskredet får trots sin storlek anses ha medfört relativt lindriga konsekvenser.

Kapitel 4.

Geologi och geohydrologi

4.1 ALLMÄNT

Skred och ravinbildningar är naturliga geologiska processer, som förekommer allmänt i Götaälvdalen. Anledningen till att lerskred utlöses är ofta att flera faktorer samverkar på ett ogynnsamt sätt. Viktiga förutsättningar är bland annat lutande lermark, lermark som gränsar till vattendrag och jordar med låg skjuvhållfasthet. Vid förekomst av kvicklera kan skreden bli omfattande. Naturliga förändringar som landhöjning och klimat är viktiga faktorer liksom påverkan av mänskliga ingrepp. Området för Ballaboskredet ligger på västra sidan av Göta älv, ca 1,5 km söder om Göta. I närliggande områden har tidigare minst två större skred inträffat. Det äldsta dokumenterade skredet inträffade i mars år 1733, då ett ca 3 ha stort område gled ner i älven ca 1,3 km norr om platsen för Ballaboskredet. Götaskredet, som inträffade den 7 juni 1957, ligger ca 1,8 km norr om Ballaboskredet och omfattade ett ca 15 ha stort område.

4.2 TOPOGRAFI

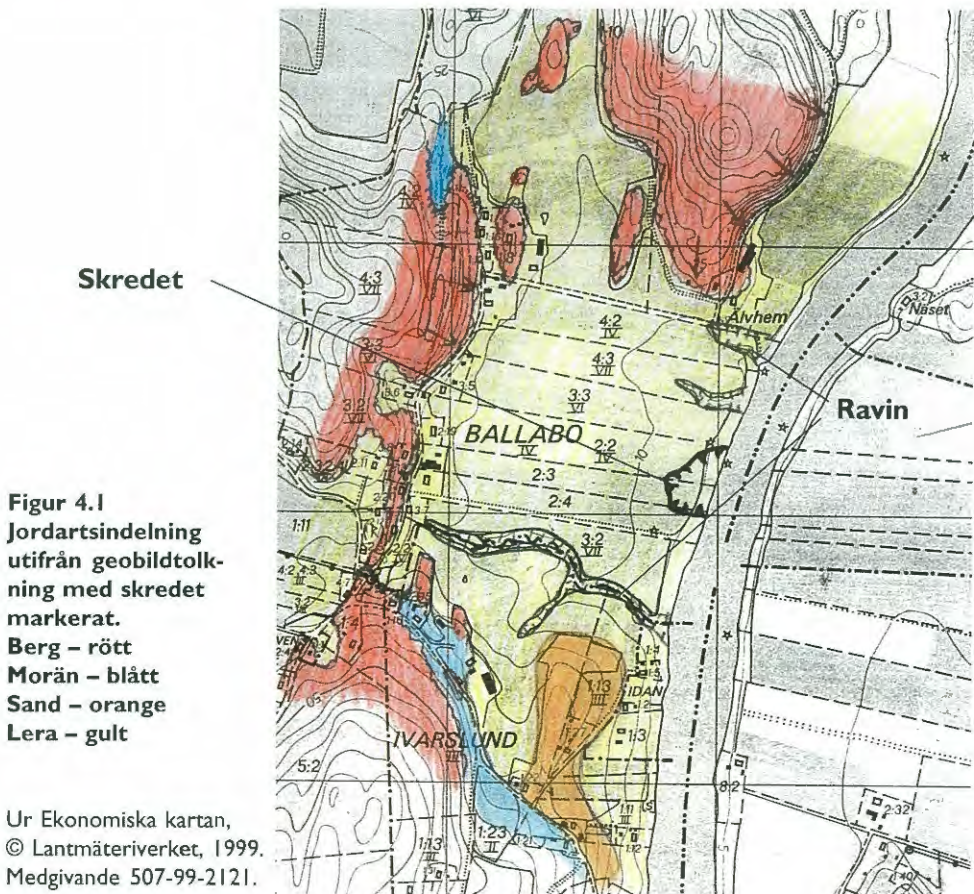
Skredområdet domineras av flack lermark, som omges av höjdparter av berg och morän. Krönkanten för erosionsslänten ned mot älven ligger inom detta område 5-10 m över älvens vattenyta. Höjdskillnaden mellan den låglänta lermarken och omgivande bergområden är som mest ca 75 m. Mindre ravinbildningar förekommer i slänten ner mot älven, såväl norr som söder om skredområdet. En större bäckravin mynnar i Göta älv ca 150 m söder om skredärrat.

4.3 BERGGRUND

Berggrunden domineras av gråröda ögonförande gnejsiga graniter, som ligger i ett stråk längs Göta älv dalen. Dessutom förekommer yngre, gnejsiga granodioriter och tonaliter. Hela Göta älvs dalgång är en förskiffringszon, en zon med krossad berggrund, som bildades för 1500 miljoner år sedan (Samuelsson, 1985). Dessa strukturella egenskaper kan ha betydelse för stabiliteten främst genom brant bergtopografi, grundvattendämmande trösklar och grundvattenförande spricksystem.

4.4 JORDARTER

Jorden i området utgörs av sediment i form av lera och silt med omgivande berg- och moränområden, se Fig. 4.1. Enligt SGU:s jordartskarta, Serie Ae Nr 40, framgår att jordarten i markens ytlager inom själva skredområdet utgörs av postglacial silt, som mot söder övergår i postglacial finlera. Svallsediment, sand, förekommer vid Ivarslund söder om skredområdet. Omgivande höjdparter utgörs mestadels av kalt berg. På sina ställen förekommer svallgrus och glaciallera i bergsprickorna. Morän förekommer sparsamt inom området och främst i de södra och västra delarna. Sonderingar utförda strax söder om skredområdet visar att jordlagren överst består av 5 m gyttjig, lerig silt och siltig lera med växtdelar. Denna underlagras av lera ner till 50 m djup, vilken är siltig från 25 m djup. Laboratorieresultaten visar att kvicklera förekommer. Sedimentens sammanlagda mäktighet är ca 50 m. En mer detaljerad beskrivning av jorden och dess geotekniska egenskaper återfinns i kapitel 5.2.



4.5 FÖRHÅLLANDEN INOM SKREDOMRÅDET

Studier av flygbilder tagna 1993-09-20 visar att det före skredtillfället fanns ett åkerdike, som gick över området i öst-västlig riktning. En mindre ravin hade utbildats i de centrala delarna av det nuvarande skredområdet, där diket mynnade i slänten ner mot Göta älv. Dikets riktning redovisas översiktligt i Fig. 4.2. Höjdskillnaden mellan dikets botten och omgivande markyta kan grovt uppskattas till någon meter, medan djupet på den utbildade ravinen uppskattas till ett par meter.

4.6 GEOHYDROLOGI

Topografi, berggrundens spricksystem och jordlagerförhållanden är betydelsefulla faktorer för grundvattnets strömnings- och tryckförhållanden.

De huvudsakliga strömningsriktningarna för yt- och grundvatten har markerats i Fig. 4.2. Sprickzoner, dvs morfologiska linjer har i figuren markerats med streckade linjer och vattnets strömningsriktning med pilar. Vatten från omgivande höjdparter rinner ner mot de större sprickzonerna för att sedan infiltrera ner till friktionsjorden under lerlagren och i okänd grad till sprickor i berggrunden.

Ytvattnet dräneras bort via öppna diken och genom ravinbildningar som mynnar i slänterna ner mot Göta älv.

Geotekniska undersökningar utförda i anslutning till skredområdet visar att det förekommer kvicklera på 25–45 m djup. Grövre sediment, silt- och sandskikt förekommer i leran på 30–40 m djup och troligen även under leran. Dessa skikt är vattenförande.

De svallsediment och moränavlagringar, som förekommer intill dalsidorna bildades i samband med den postglaciala transgressionen. Dessa avlagringar står ofta i kontakt med berg eller moränlager under lerorna. Den högre omgivande terrängen medför att artesiska grundvattentryck förekommer på många håll i Götaälvdalen.



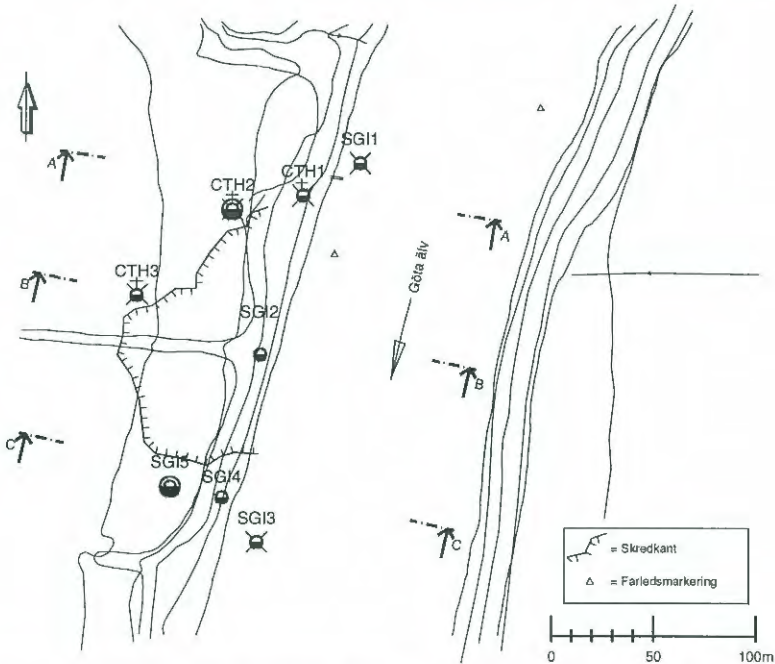
Figur 4.2 Strömningsriktningar för yt- och grundvatten. Sprickzoner har markerats med streckade linjer och vattnets strömningsriktning med pilar. Ur Ekonomiska kartan, © Lantmäteriverket, 1999. Medgivande 507-99-2121.

Kapitel 5.

Geoteknik

5.1 UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR

För att klarlägga rådande förhållanden och utreda skredorsaken utfördes geotekniska undersökningar norr och söder om skredet. Undersökningarna samordnades mellan Chalmers tekniska högskola och SGI. Norr om skredet utfördes undersökningarna av Chalmers, medan undersökningarna söder om skredet samt i älven utfördes av SGI. För att klarlägga glidyttans läge gjordes en sondering i själva skredområdet. Avvägning och lodning av två sektioner, norr och söder om skredet, vilka delvis sammanfaller med borrhälsarna, utfördes av Metria. Inga tidigare undersökningar fanns utförda inom skredområdet.



Figur 5.1 Undersökningsområde med utförda geotekniska undersökningar.

De undersökningar som utförts i anslutning till skredområdet omfattar följande, se borrhplan i Fig. 5.1:

- CPT-sondering, utfördes i samtliga undersökningspunkter, dvs fem punkter på land och tre punkter i älven. En av punkterna i älven (SGI 2) ligger inne i själva skredområdet. Av sonderingarna har fem stycken utförts enligt sonderingsklass 3, vilket innebär högsta krav på noggrannhet. Endast en sondering (SGI 5), vilken drevs till större djup, genomfördes med lägre sonderingsklass.
- Vingförsök utfördes i tre av punkterna på land norr om skredet och i två av punkterna i älven.
- Ostörd provtagning med kolvprovtagare utfördes i två av punkterna på land, en norr om skredet och en söder om skredet. Samtliga upptagna prover har rutinundersökts. För att klarlägga jordens konsolideringstillstånd har ett antal ödometerförsök utförts från representativa nivåer i de båda punkterna och som komplement till dessa, några odränerade aktiva triaxialförsök. För bestämning av jordens hållfasthetsparametrar har även direkta skjuvförsök utförts på prover från ett antal nivåer i de båda undersökningspunkterna.
- Portryck mättes på flera nivåer i tre stationer på land norr om skredet.
- Avvägning och lodning av två sektioner utfördes, en norr och en söder om skredet, samt avvägning av undersökningspunkter.

Resultat från de utförda undersökningarna redovisas i detalj i Bilaga 1-2.

5.2 GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN

Topografi och jordlagerförhållanden

Skredområdet utgörs huvudsakligen av åkermark. Dessutom finns ett mindre bestånd av lövträd längs en smal zon närmast älven. Markytan i den bakre delen av området (bakom slänkrön) sluttar svagt mot älven, med lutningen ca 1:50, med en successiv ökning i zonen närmast älven. På basis av de utförda lodningarna bedöms älvens botten närmast stranden ha en relativt brant lutning, lokalt 35° till 45°. Längre från stranden är botten relativt flack med ett vattendjup på 10 à 12 m.

Jorden inom området består huvudsakligen av lera, som sannolikt vilar på friktionsjord. Lermäktigheten bedöms vara störst, ca 50 m, vid älvfåran och successivt avtagande till berg i dagen på ett avstånd av mer än 400 m från älven. Utförd provtagning (i SGI 5) visar att det övre lagret bakom slänkrönet, ner till

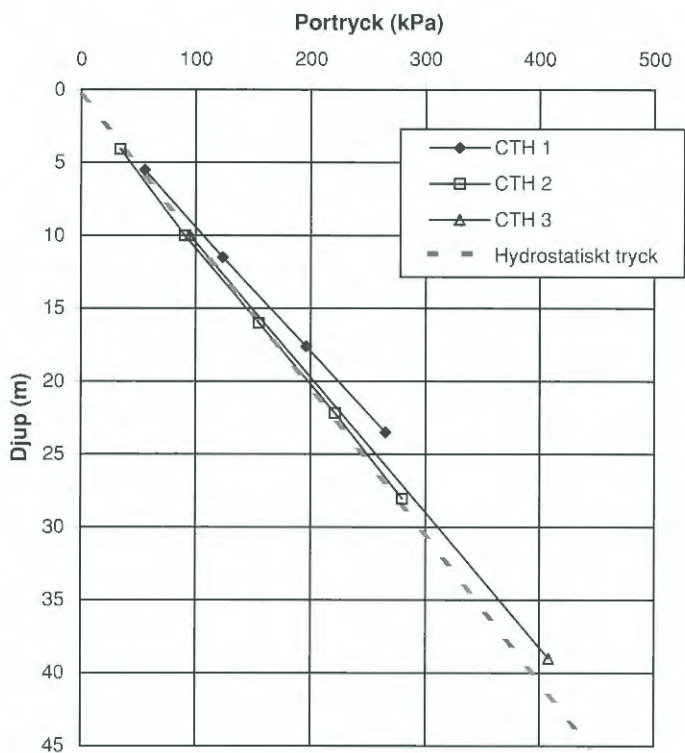
ca 5 m djup (nivå +1,5 m), består av högplastisk gyttjig lerig silt/siltig lera. Därunder vidtar högplastisk till mycket högplastisk lera ned till ca 25 m djup (nivå -18,5 m), vilken är sulfidfläckig från ca 13 m djup (nivå -6,5 m). Från ca 25 m djup består jorden huvudsakligen av mellanplastisk siltig lera och lerig silt med inslag av skal. Leran är låg till mellansensitiv ned till ca 25 m djup (nivå -18 m) och därunder högsensitiv. Tunna fastare skikt har påträffats på nivåerna ca -22 m, -28 m och -31 m.

Lerans densitet varierar något, men är i huvudsak ca 1,6 t/m³.

Vattenstånd och portryck

Uppmätt vattennivå i älven vid tidpunkten för fältundersökningarna, 1996-05-20, var +0,20 m (RAK). Vid tidpunkten för skredet, 1996-04-16, var vattenståndet i älven -0,20 till -0,25 m enligt uppgift från Sjöfartsverket. Lågvattenytan i farleden anges till -0,35 m och högvattenytan till +1,80 m.

Portrycksmätningar har utförts vid fyra tillfällen under 1996, den 23/5, 13/6, 27/8 och 20/11. Mätningarna visar relativt små variationer i portrycket under mätperioden. De portryck som uppmätts på olika nivåer i leran visar en nära nog rätlinjig ökning av portrycken mot djupet. Mätningarna visar en något större ökning än vad som motsvarar en hydrostatisk ökning mot djupet, med en uppåtriktad gradient som ökar närmare älven där marknivån på grund av erosion är lägre och lermäktigheten mindre. Interpolering mellan mätarna på olika nivåer ger en grundvattenyta bakom släntkrön ca 0,5 m under markytan. Inga portrycksmätare har satts ända ner i friktionsjorden, men portryck i bottenlagren registrerat efter portrycksutjämning vid CPT-sonderingen stämmer väl med extrapolerade värden från portrycksmätningarna. Resultatet av portrycksmätningarna framgår av Fig. 5.2.

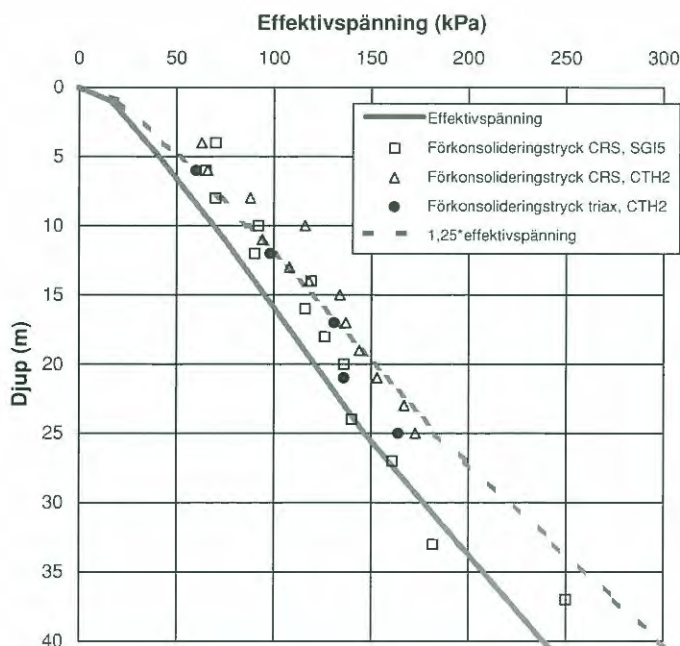


Figur 5.2 Uppmätta porvattentryck.

Spänningshistoria och överkonsolidering

I området har lerlagren avsatts successivt under lång tid. Samtidigt med avsättningen av de övre lagren har landhöjningen pågått och området har till slut höjts över vattenytan. Området i älvdalens centrala delar kan vid denna tidpunkt antas ha varit relativt plant. Därefter har älven bildats, och genom erosion, skred och eventuellt mänskliga ingrepp successivt vidgats och fördjupats. Inom området har jorden således inte varit utsatt för högre spänningar än de som råder idag. Jorden kan antas ha konsoliderat för den rådande situationen och kan förväntas uppvisa förkonsolideringstryck som på grund av främst krypning är något högre än rådande spänningstillstånd.

Ostörda prover har tagits norr och söder om skredet, på land ovanför släntkrön. Förkonsolideringstrycken har bestämts genom ödometerförsök (CRS-försök). På några nivåer har också triaxialförsök utförts och ur dessa kan en kompletterande utvärdering av förkonsolideringstrycket göras. Utvärderade förkonsolideringstryck visas i Fig 5.3. I figuren redovisas även en linje som motsvarar en spänning som är $1,25 \cdot \sigma'_0$. Denna överkonsolidering är normal i Göteborgsområdet (Larsson och Sällfors, 1995). De utvärderade förkonsolideringstrycken ansluter relativt väl till denna linje, åtminstone ner till ca 25 m djup.



Figur 5.3
Utvärderade
förkonsoliderings-
tryck ovan släntkrön
i punkterna CTH 2
och SGI 5.

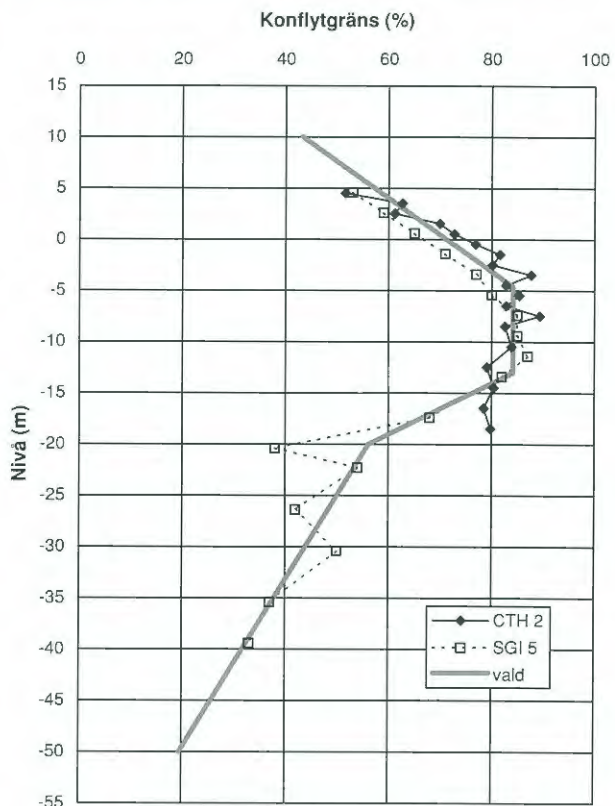
Kapitel 6.

Skjuvhållfasthet

6.1 ODRÄNERAD SKJUVHÅLLFASTHET

Den odränerade skjuvhållfastheten har bestämts genom vingförsök och CPT-sonderingar i fält samt fallkonförsök och direkta skjuvförsök på laboratorium. Kompletterande aktiva odränerade triaxialförsök har också utförts.

Ett representativt värde på konflytgränsen, för utvärdering av empiriska hållfastheter och korrigering av uppmätta skjuvhållfasthetsvärden i de punkter där provtagning saknas, har bestämts ur laboratorieresultat från provtagning i CTH 2 och SGI 5, se Fig. 6.1. För korrigering av mätvärdena från vingförsök och fallkonförsök i CTH 2 och fallkonförsök i SGI 5 har dock uppmätta värden på konflytgränsen från respektive provtagningsnivå använts.



Figur 6.1
Utvärderade värden och valt representativt värde på konflytgränsen.

Vid bedömning av hållfasthetsvärden har hänsyn tagits till de enskilda förhållandena vid respektive undersökningspunkt/-typ:

- CPT-sonderingar och vingförsök i älven har utförts från flotte, vilken i vissa fall kan ha rört sig under försöken. Vid genomförandet av vingförsöken kan detta ha orsakat störning av jorden och därmed lägre hållfasthetsvärden. Hållfasthetsvärdena från vingförsöken i älven visar också något större spridning än värden från motsvarande försök på land.
- CPT-sonderingarna är utförda i klass 3, utom SGI 5 som är utförd i klass 2. Resultatet från den sistnämnda sonderingen lämpar sig därför inte lika väl för en kvantitativ utvärdering av skjuvhållfastheten i leran.
- Resultaten från fallkonförsöken är starkt beroende av de upptagna provernas kvalitet och vilken spänningsomlagring som skett före provningen. Erfarenhetsmässigt är hållfasthetsvärden från prover som tagits på större djup än 10 à 15 m för låga, men detta kan även gälla prover från ytligare nivåer i lättstörda sensitiva jordar. De utförda fallkonförsöken från provtagningen i undersökningspunkterna CTH 2 och SGI 5 visar lägre hållfasthetsvärden än övriga metoder från 20 à 25 m djup.

För att få ytterligare ett mått på rimligheten i erhållna skjuvhållfastheter har dessa 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 den empiri som anges i SGI Information 3 och Skredkommissionens rapport 3:95 "Anvisningar för släntstabilitetsutredningar".

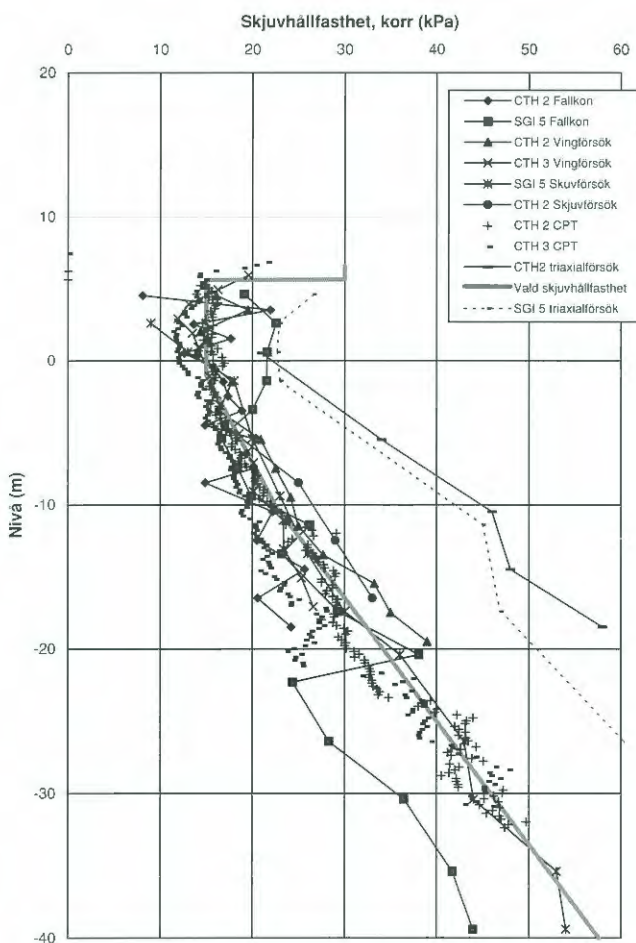
Eftersom älven eroderats ned från en relativt plan markyta, har lerlagren inom älvområdet en annan belastningshistoria än lerlagren inom landområdet. Vid jämförelse av uppmätta skjuvhållfastheter har därför en uppdelning gjorts mellan de undersökningspunkter som ligger relativt långt ifrån älven, de som ligger inom ca 25 m från älven där markytans nivå ligger mellan ca ± 0 till +3 och de som utförts i älvens djupfåra.

Vid en sammanställning av samtliga skjuvhållfasthetsvärden, både djup- och nivårelaterade, erhålls bäst överensstämmelse då resultaten sammanställs nivårelaterade. Detta stämmer väl med antagandet att älven eroderats ned från en i stort sett horisontell markyta. Vid uppdelningen i tre delområden har därför samtliga sammanställningar gjorts nivårelaterade.

En jämförelse mellan skjuvhållfastheter från CPT-sondering, vingförsök, fallkonförsök och skjuvförsök i de tre undersökningspunkterna bakom slänkrönet visar god överensstämmelse. Största avvikelsen visar värdena från fallkonförsöken på djup större än 20 à 25 m, där lägre hållfastheter erhålls från fallkonförsöken (jfr ovan). Fallkonförsöken från en av undersökningspunkterna visar också avvikande värden ned till ca 5 m djup, men här erhålls högre värden. Jämförs uppmätta resultat med empiriska skjuvhållfastheter erhålls högre värden med empiri inom djupintervallet 6–26 m.

Skjuvhållfastheten bakom slänkrönet, där markytan vid undersökningspunkterna ligger mellan +6,5 och +8,0, kan beskrivas enligt följande: Bortsett från den övre torrskorpan är skjuvhållfastheten konstant, ca 15 kPa, ner till nivån -1,0 (ca 7,5 m djup). Därunder ökar hållfastheten med i snitt 0,83 kPa/m ner till ni-

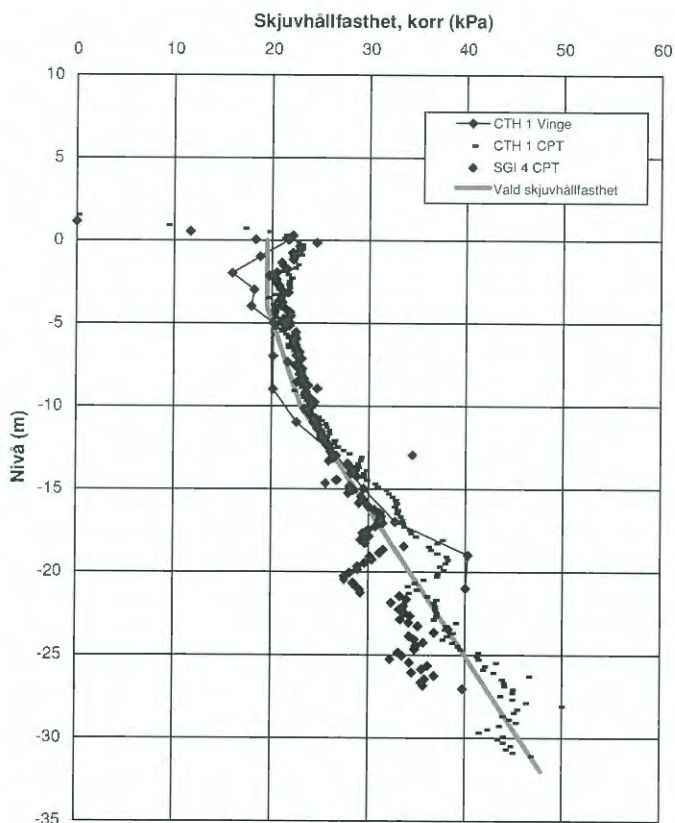
vån -10,0 (ca 16,5 m djup), varunder ökningen är 1,17 kPa/m. Uppmätta skjuvhållfastheter samt vald skjuvhållfasthet för det bakre området redovisas i Fig. 6.2.



Figur 6.2
Utvärderad och vald odränerad skjuvhållfasthet bakom slänkrön.

I slänten närmast älven har CPT-sonderingar utförts i två borrhöjningar samt vingförsök i en av dessa. Uppmätta skjuvhållfastheter vid dessa undersökningar visar god överensstämmelse. Skjuvhållfastheten kan beskrivas enligt följande: Bortsett från den övre torrskorpan är skjuvhållfastheten konstant, ca 19,5 kPa, ner till nivån $-4,0$ (ca 4 m djup). Därunder ökar hållfastheten med $0,58$ kPa/m ner till nivån $-10,0$ (ca 10 m djup), varunder ökningen är $1,13$ kPa/m. Uppmätta skjuvhållfastheter samt vald skjuvhållfasthet i området närmast älven redovisas i Fig. 6.3.

En jämförelse mellan skjuvhållfastheter från CPT-sondering och vingförsök i de tre undersökningspunkterna i älven visar en relativt stor spridning jämfört med de andra två områdena. De uppmätta värdena ligger dock inom ett intervall som begränsas av skjuvhållfastheten på samma nivå bakom skredet och den reducerade hållfasthet som empiriskt kan förväntas om leran först konsolideras för

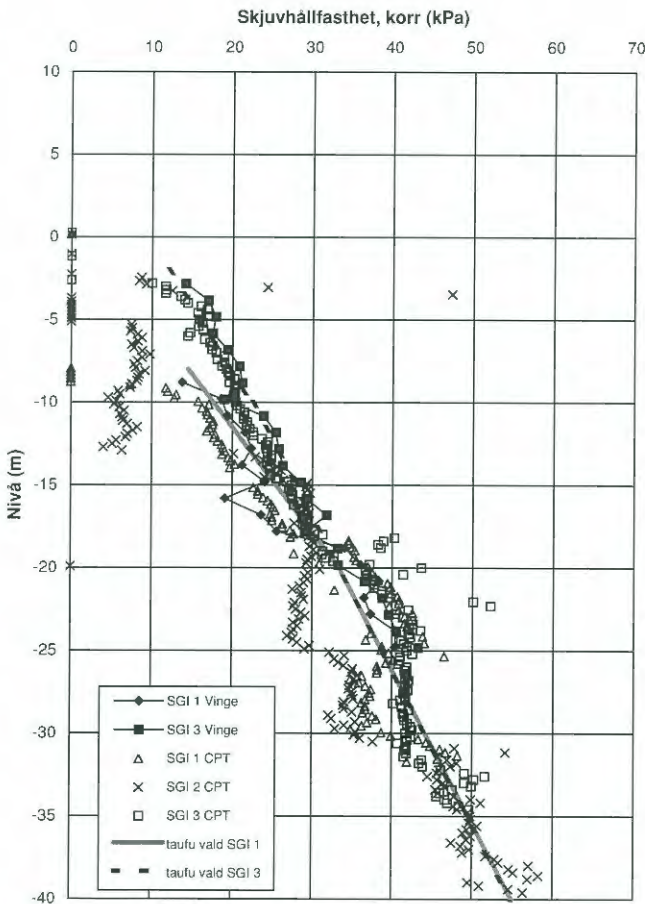


Figur 6.3 Utvärderad och vald odränerad skjuvhållfasthet i slänten närmast älven.

motsvarande överlagringstryck och sedan avlastas till spänningssituationen under älven. Från CPT-sonderingen i SGI 2, vilken utfördes i älven inom skredområdet, kan gränsen mellan ultrasade skredmassor och den forna älvbotten tydligt urskiljas på nivån -13 m. Skjuvhållfastheten i skredmassorna har uppmätts till ca 8 kPa med CPT-sondering.

Utförda undersökningar i älvfåran visar att skjuvhållfastheten i den övre delen av lerlagret är högre för den sondering som utförts närmast stranden. Skjuvhållfastheten under älvfåran i området med 2,0 m vattendjup kan beskrivas enligt följande: Skjuvhållfastheten ökar med djupet från ca 12 kPa på nivån -2,0 med 1,31 kPa/m till nivån -10,0 och därunder med 1,08 kPa/m. I området med 8,0 m vattendjup i älven kan skjuvhållfastheten beskrivas enligt följande: Skjuvhåll-

fastheten ökar med djupet från ca 14,5 kPa på nivån -8,0 med 1,57 kPa/m till nivån -20,0 och därunder med 1,08 kPa/m. Uppmätta skjuvhållfastheter samt vald skjuvhållfasthet i älvfåran redovisas i Figur 6.4. En noggrann och detaljerad beskrivning av hållfasthetsegenskaperna kräver således att den varierande spänningshistorien i släntens olika delar beaktas.



Figur 6.4 Utvärderad och vald odränerad skjuvhållfasthet i älvfåran.

Anisotropieffekter kan spela en relativt stor roll för stabiliteten i branta slänter där aktivzonen är påtagligt större än passivzonen. Effekten är störst i normal-konsoliderade lågplastiska leror. Triaxialförsök som utförts på leran visar att den aktiva skjuvhållfastheten är 50–80 % högre än hållfastheten vid direkt skjuvning, se även Figur 6.2.

6.2 DRÄNERAD SKJUVHÅLLFASTHET

Den dränerade skjuvhållfastheten har inte direkt bestämts med laboratorieförsök. Empiriskt kan man räkna med hållfasthetsparametrarna $\phi' = 30^\circ$ och $c' = 0,1\tau_{fu}$ (alternativt $c' = 0,03\sigma'_c$). En dränerad skjuvhållfasthet av $0,1\tau_{fu}$ skulle innebära ett värde på c' som är konstant ca 1,5 kPa de översta metrarna under torrskorpan och därunder ökande mot djupet motsvarande ökningen för den odränerade hållfastheten. Eftersom de odränerade hållfasthetsparametrarna stämmer väl överens med den empiriska erfarenheten kan ingen större skillnad förväntas mellan verklig och empiriskt bestämd dränerad hållfasthet. Ett dränerat triaxialförsök har utförts på djupet 8,0 m i CTH 2. Eftersom det erfordras flera försök för att bestämma såväl c' som ϕ' har parametrarna inte kunnat utvärderas. Antas ϕ' vara 30° fås ett värde på c' av ca 3,5 kPa.

Kapitel 7.

Beräkning av portrycksfördelning

7.1 ALLMÄNT

Vid bestämning av portrycksfördelningen i en slänt utgår man ifrån de portrycksmätningar som utförts i eller i närheten av beräkningssektionen. Om observationer gjorts av en fri grundvattenyta tas även hänsyn till dessa. I vissa fall behöver mätningarna pågå under så lång tid att naturliga variationer i portrycken kan observeras. Då sådana mätningar gjorts främst i slutna grundvattenmagasin kan man prognostisera extremvärdena med hjälp av data från långtidsobservationer i närliggande referensrör i grundvattennätet. Inverkan av vattenståndet i vattendrag på portrycken i slänten studeras också.

Inför stabilitetsberäkningarna sammanställs observationer och prognoser av grundvattennivåer, portryck och vattenstånd i vattendrag. Med ledning av dessa, samt markytans och vattenförande lagers topografi, bedöms portrycksfördelningen i slänten. Eventuellt kan portrycksfördelningen i slänten modelleras med hjälp av program för beräkning av vattenströmning i jord.

7.2 BERÄKNINGSUNDERLAG

Vattenstånds- och portrycksförhållandena i skredområdet har i detalj beskrivits i kapitel 5.2. Vid modellering av portrycken i slänten har portrycken vid sektionens ränder valts utifrån mätningarna. Vid modelleringen har sedan kontrollerats att beräknat portryck i läget för mätstationerna överensstämmer med mätningarna. Vattenståndet i älven vid tidpunkten för skredet, dvs nivån $-0,2$, har använts vid beräkningarna. Ett vattenförande friktionsjordlager har antagits på nivån $-45,0$.

Beräkningar har även utförts för att se vilken inverkan variationer i vattenstånd och portryck har på beräkningsresultatet. En uppskattning av maximala portryck och portryck vid extrem torka för en 20-årsperiod har gjorts genom att jämföra variationsbredden i tre av de referensrör i grundvattennätet som är belägna relativt nära skredområdet. Dessa rör i område 53 Kungälv, där mätningar

utförts sedan 1971, är belägna ca 30 km från skredområdet. Variationsbredden har bedömts med ledning av det referensrör där förhållandena ansetts mest jämförbara med förhållandena i skredområdet. Maximala portryck för en 20-årsperiod har på detta sätt bedömts ligga ca 2 kPa högre än uppmätta portryck och portryck vid torrperiod har bedömts ligga ca 10 kPa lägre än uppmätta värden. Att justeringen av de maximala portrycken inte blir större beror på att mätningarna gjordes vid en tidpunkt med höga portryck. Som extremvärden för vattenståndet i älven har högvattenytan, +1,80 m, och lågvattenytan, -0,35 m, använts vid beräkningarna.

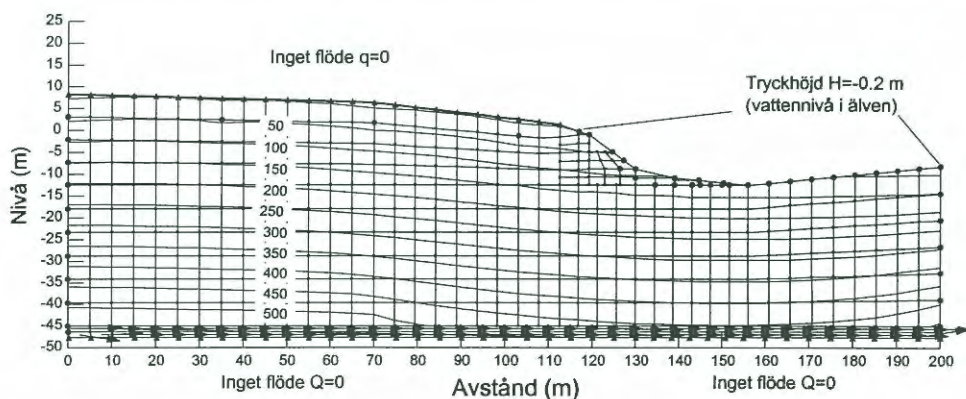
7.3 BERÄKNINGSMETOD

Portrycksfördelningen i slänten har bedömts utifrån genomförda mätningar och med stöd av resultat från beräkningar med det finita elementprogrammet SEEP/W.

7.4 BERÄKNINGSRESULTAT

Resultatet av portrycksmodelleringen för de förhållanden som rådde vid tidpunkten för skredet redovisas i Fig. 7.1. I figuren redovisas den bedömda portrycksfördelningen i slänten som trycklinjer för portrycket.

Vid antagande om maximala portryck och högvattenstånd erhålls en portrycksfördelning i slänten som generellt ligger högre, men till utseendet stämmer väl överens med portrycksbilden vid skredtillfället. Vid antagandet om lägsta portryck och lågvattenstånd erhålls på motsvarande sätt lägre portryck i hela slänten, men portrycksbilden motsvarar den vid skredtillfället.



Figur 7.1 Portrycksfördelning vid tidpunkten för skredet enligt portrycksmodellering.

Kapitel 8.

Stabilitetsberäkningar och analys av skredorsak

8.1 ALLMÄNT

Vid beräkning av en slänts stabilitet är det viktigt att först analysera förutsättningar och gjorda antaganden. Släntens geometri, skjuvhållfasthet, portrycksförhållanden samt angripande laster och deras variation måste utredas och klarläggas i möjligaste utsträckning.

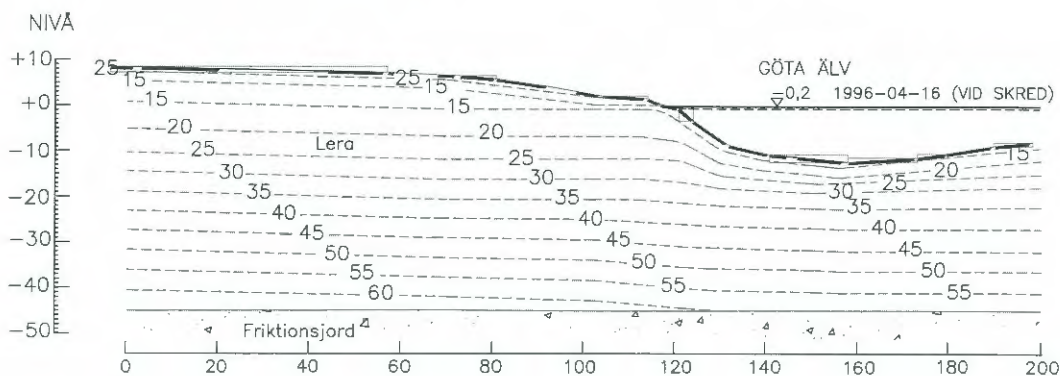
Vid analysen används normalt så kallade klassiska beräkningsmetoder där jorden antas vara ett idealplastiskt material. Detta innebär att brottlasten är oberoende av de deformationer som inträffar i jorden såväl före som efter brott. Skjuvhållfastheten antas därmed kunna mobiliseras helt och hållet samtidigt i släntens alla delar, oberoende av de deformationer som krävs för att denna samverkan mellan olika delar skall kunna utvecklas.

8.2 BERÄKNINGSUNDERLAG

De geotekniska förhållandena inom skredområdet har beskrivits i detalj i kapitel 5, 6 och 7. I detta kapitel redovisas den geometri och de parametrar som använts vid analysen.

Geometri

En jämförelse av geometrin inom och utanför skredområdet har gjorts med hjälp av flygbilder tagna innan skredet. Dessa visar att geometrin (på land) för den norra delen av skredområdet överensstämmer med geometrin norr om skredet och på samma sätt överensstämmer geometrin för den södra delen av skredområdet med geometrin söder om skredet. Skredområdet delas av ett åkerdike. För analysen har geometrin för den avvägda och lodade sektionen norr om skredet använts. Marknivån bakom släntkrön är här något högre och älvfåran djupare än på den södra sidan. Överslagsberäkningarna med Janbus direktmetod har dock gjorts för den södra sektionen. Den analyserade släntens geometri framgår av Fig. 8.1.



Figur 8.1 Geometri och odränerad skjuvhållfasthet i beräkningssektionen.

Skjuvhållfasthet

Den odränerade skjuvhållfastheten har valts utifrån resultaten av utförda provningar i enlighet med vad som redovisats i kapitel 6.1. Vald skjuvhållfasthet bakom släntkrön, i slänten respektive under älvfåran har sedan lagts in på beräkningssektionen i läget för provningarna. Därefter har en anpassning av skjuvhållfastheten gjorts med hänsyn till den troliga geologiska belastningshistorien. Eftersom ingenting tyder på att strandområdet varit utsatt för högre belastning än området bakom släntkrön har den relativt höga skjuvhållfastheten (19,5 kPa) i de övre lagren inom strandområdet anpassats till skjuvhållfastheten bakom släntkrön, där ett större antal hållfasthetsbestämningar gjorts. Ökningen i skjuvhållfasthet i de djupare lagren har också utjämnats så att den i stort överensstämmer längs med sektionen. I Fig. 8.1 redovisas den odränerade skjuvhållfasthet som använts vid beräkningarna.

Den dränerade skjuvhållfastheten har valts i enlighet med empiriska erfarenheter till $\phi' = 30^\circ$ och $c' = 0,1\tau_{fu}$.

Vattenstånd och portryck

Vattenståndet i älven vid skredtillfället och portrycksfördelningen modellerad enligt Kapitel 7 har använts vid stabilitetsberäkningarna.

Laster

Området har antagits obelastat.

8.3 BERÄKNINGSMETODER

Beräkningarna har genomförts i enlighet med Skredkommissionens anvisningar för släntstabilitetsutredningar. Inledningsvis har överslagsberäkningar gjorts med direktmetoden för såväl dränerad som odränerad analys. Med detta som bas har undersökningarna och utvärderingen drivits vidare och stabilitetsanalysen har genomförts för cirkulär cylindriska glidytor med användande av Morgenstern–Prices metod. Därvid har såväl odränerad som kombinerad analys använts. Anisotropieffekter har beaktats i analysen, varvid bl a resultat från triaxialförsök har legat till grund för val av parametrar.

8.4 BERÄKNINGSRESULTAT

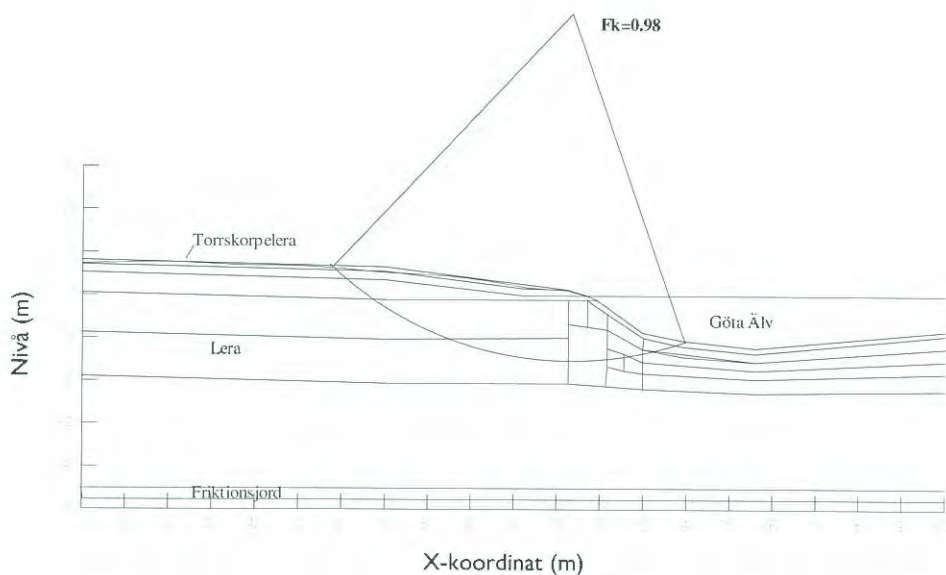
Överslagsberäkningar, för sektionen söder om skredet, med Janbus direktmetod och cirkulär cylindriska glidytor gav med odränerad analys en säkerhetsfaktor $F_c = 1,1$ för hela slänten. Med dränerad analys erhöles $F_{c\phi} = 1,3$. En kontroll av säkerheten för det branta partiet under vattenytan gav en säkerhetsfaktor av storleken 1,6 med odränerad analys och 1,3 med dränerad analys.

Detaljerade beräkningar har utförts med datorprogrammet SLOPE/W, Morgenstern–Prices metod och cirkulär cylindriska glidytor. Med odränerad analys erhöles en säkerhetsfaktor för den analyserade sektionen $F_c = 1,0$ (1,02), med antagande av en ej vattenfylld torrskorpespricka. Motsvarande beräkningar med kombinerad analys gav $F_k = 1,0$ (0,98). En meter vattenfylld spricka vid beräkningarna gav en obetydlig skillnad i beräknade säkerhetsfaktorer.

En jämförelse av beräknad säkerhet för slänten vid antagande om maximala portryck och högvattenstånd respektive lägsta portryck och lågvattenstånd har också gjorts. Vid beräkning med höga värden och odränerad analys erhöles $F_c = 1,2$ (1,19), och med kombinerad analys erhöles $F_k = 1,1$ (1,14). Motsvarande beräkning för låga värden gav $F_c = 1,0$ (1,01) och $F_k = 1,0$ (0,98).

Beräkningar har också utförts för att utröna inverkan av anisotropieffekter. Det gick vid beräkningstillfället inte enkelt att ta hänsyn till anisotropieffekter i datorprogrammet SLOPE/W för en slänt med en skjuvhållfasthet som ökar mot djupet. Vid beräkningarna har skjuvhållfastheten i de övre lagren modifierats manuellt med värden baserade på hållfasthetsökningen i lagret på grund av anisotropi och glidyntans lutning i lagret. Beräkningar med odränerad analys gav då $F_c = 1,1$ (1,10) och med kombinerad analys erhöles $F_k = 1,0$ (1,05).

Den beräknade farligaste glidytan (kombinerad analys) omfattar ett område som sträcker sig ca 60 m bakåt från älvstranden och jordmassor till ett djup av maximalt ca 15 m under vattennivån i älven vid skredtillfället (nivå -15 m), se Fig. 8.2. Vid beräkningen med hänsyn tagen till anisotropieffekter erhålls en farligaste glidyta som sträcker sig något längre bakåt och går något djupare.



Figur 8.2 Farligaste glidytan beräknad med SLOPE/W (kombinerad analys).

8.5 JÄMFÖRELSE MED OBSERVERAT SKREDFÖRLOPP

Rapportering till Sjöfartsverket av att ett skred inträffat gjordes från ett förbi-passgerande fartyg den 16 april 1996 kl 18.40.

Det inträffade skredet omfattar ett 110 m långt avsnitt längs älven och sträcker sig 50–70 m bakåt från älvstranden. Avståndet till bakre skredkant är drygt 70 m mitt i skredområdet, i läget för åkerdiket, och 50–60 m på ömse sidor om detta. Utförd CPT-sondering mitt i skredområdet visar att skredet omfattar jordmassor till ca 13 m djup under vattenytan vid skredtillfället (nivå -13 m). Efter huvudskredet har successivt mindre flak av den bakre skredkanten fallit ut.

En jämförelse med beräknad farligaste glidyta visar att dess angreppspunkt ovan släntrön överensstämmer med det kortare uppmätta avståndet till bakre skredkant. Underkant för farligaste beräknade glidyta ligger på i stort sett samma djup som faktiskt uppmätt djup för skredet (nivå -15 m resp -13 m).

Observerat skredförlopp och uppmätt omfattning av skredet stämmer således väl med beräkningarna. Sannolikt har hela jordvolymen skredat ut i älven som en monolit. Möjligen har jordmassan på ena sidan det åkerdike som delar skredområdet, skredat något före den andra. Inga bakåtgripande skred har inträffat. Endast mindre utfall av den bakre skredkanten har skett efter initialskredet.

Kapitel 9.

Slutsatser och rekommendationer

De geologiska förhållandena i Götaälvdalen karakteriseras av mäktiga avlagringar av lös eller mycket lös lera. Markeytan i det aktuella området, liksom inom stora delar av Götaälvdalen, sluttar svagt mot älven med en brantare lutning i anslutning till älvfåran. Erosion orsakad av fartygstrafik och av älvens naturliga vattenföring pågår i älvfåran. Vattentrycket i underliggande friktionslager är artesiskt inom ett flertal områden längs älven, med en uppåtriktad vattenströmning som följd. De i området utförda portrycksmätningarna visar också något större än hydrostatisk ökning mot djupet, med en uppåtriktad vattenströmning som ökar närmare älven. Leran är på många håll högsensitiv. I det undersökta området förekommer dock högsensitiv lera endast på större djup.

De geologiska och geohydrologiska förutsättningarna gör Götaälvdalen till ett av Sveriges mest skredfrekventa områden. Inträffade skred har ofta startat som lokala skred i eller vid älven. Genom en serie av efterföljande, bakåtgripande skred har ett större område på land kommit att omfattas. Vid skredet i Ballabo har sannolikt hela den involverade jordvolymen skredat ut i älven på en gång. Möjligen har jordmassan på ena sidan åkerdiket skredat något före den andra. Inga bakåtgripande skred har inträffat utan endast mindre utfall av den bakre skredkanten.

Ett flertal faktorer har sannolikt medverkat till skredet. Utförda beräkningar i sektionen norr om skredet visar att även denna slänt är mycket nära brott, med en beräknad säkerhetsfaktor nära 1,0 såväl med odränerad som kombinerad analys. Detta talar för att den skredade slänten hade en mycket låg säkerhet mot brott. Vidare inträffade skredet längs en sträcka av älven där denna kröker och den västra stranden som bildar "ytterkurva" är särskilt utsatt för erosion. Utförda lodningar visar på en brant undervattensslänt som bildats av pågående erosion i älven och eventuellt även av mindre undervattensskred. Utredningen visar att det vid skredtillfället rådde lågt vattenstånd i älven i kombination med förhållandevis höga portryck i omgivande mark. Ett åkerdike genom skredområdet utgjorde dessutom en naturlig svaghetszon.

Den utförda stabilitetsanalysen visar att, trots de osäkerheter som finns i gjorda beräkningsantaganden, skredet kunnat förutsägas och beräknas med vanligen använda beräkningsmetoder. Analysen visar att skredet till största delen skett under odränerade förhållanden. Beräkningar med odränerad såväl som med kombinerad analys visar att slänten var nära brottillstånd. Trots att man i det använda beräkningsprogrammet inte kunnat ta hänsyn till hållfasthetsanisotropi på ett fullt tillfredsställande sätt, visar de beräkningar som gjorts att anisotropieffekter har viss betydelse även i mindre branta slänter. Beräkningarna visar en säkerhetsfaktor som vid odränerad analys är ca 7 % högre om hänsyn tas till anisotropi.

Utförd portrycksmodellering visar vikten av att portrycksmätningar utförs inom modellerat område, så att en avstämning av beräknad portrycksbild kan göras.

Utförda fält- och laboratorieundersökningar visar att vid noggrant utförd undersökning kan mycket god överensstämmelse mellan olika undersökningsresultat erhållas. Utvärderade skjuvhållfastheter från de vid undersökningen använda metoderna; CPT-sondering, vingförsök, fallkonförsök och skjuvförsök, visar god samstämmighet i de övre 20–25 m av jordprofilen. Bäst överensstämmelse erhålls då hållfastheterna sammanställs nivårelaterat, vilket stämmer väl med Göta älvdalens geologiska historia, där älven bildats genom erosion från en relativt horisontell markyta.

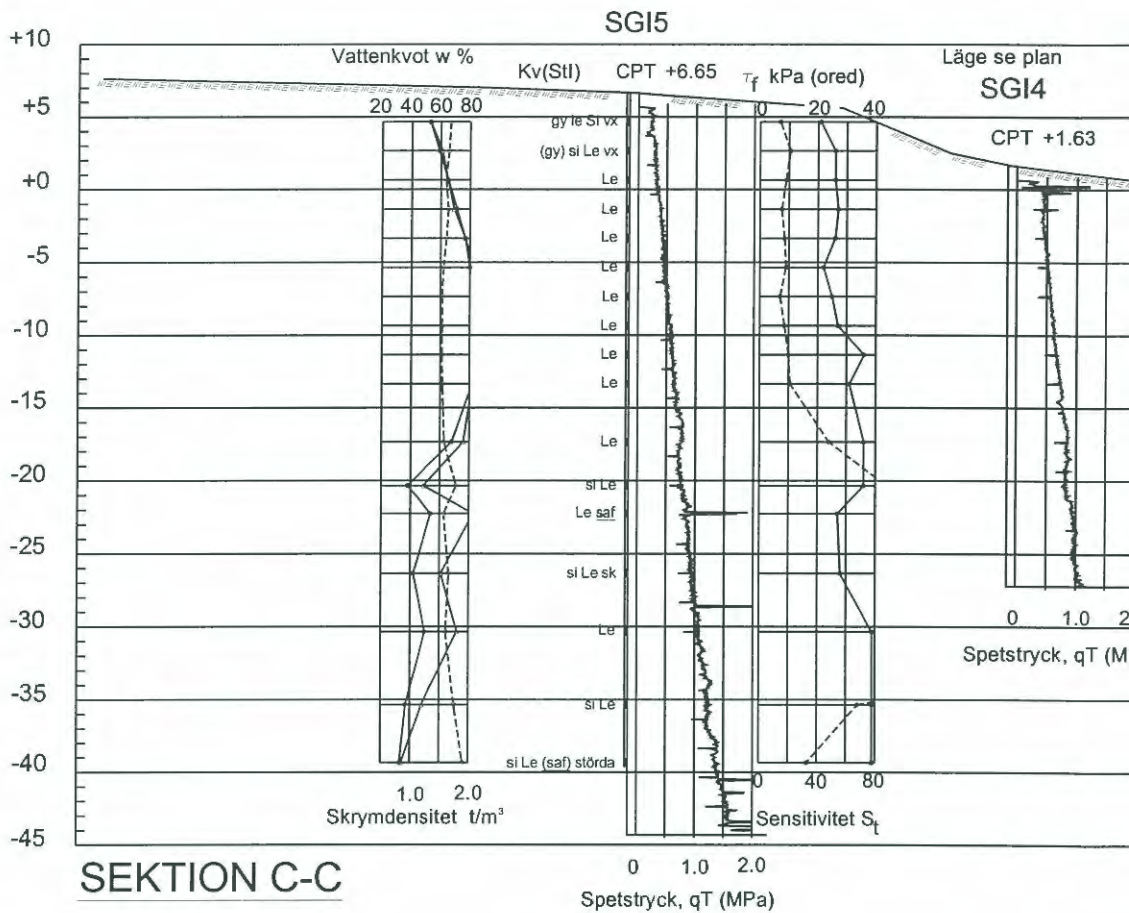
Utredningen har genomförts i enlighet med Skredkommissionens anvisningar för släntstabilitetsutredningar. Inledningsvis har överslagsberäkningar gjorts och därefter har undersökningarna och utvärderingen fördjupats och såväl odränerad som kombinerad analys har använts. Utredningen visar att släntens säkerhetsnivå beräknats vara nära brott och skredet därmed kunnat förväntas. Det är författarnas uppfattning att om Skredkommissionens anvisningar följs, kommer på motsvarande sätt andra slänter med otillfredsställande stabilitet att identifieras.

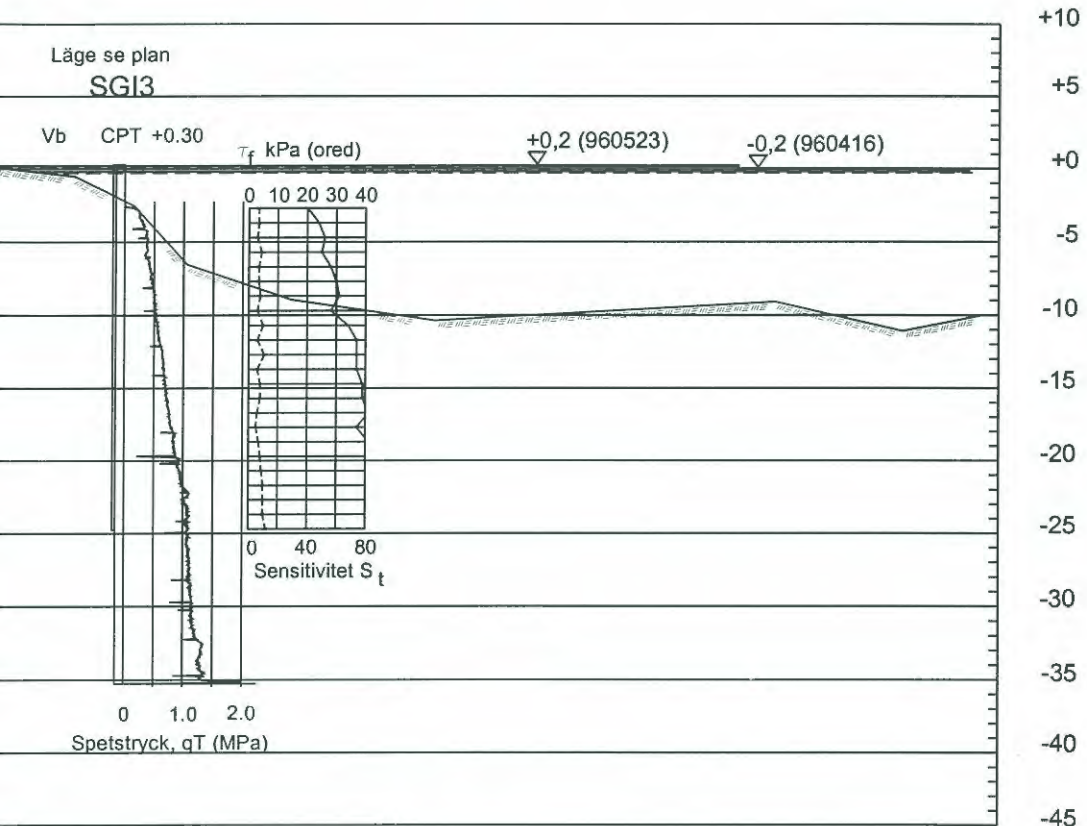
Referenser

- Andersson H., Ottosson E. and Sällfors G. (1998).** Site investigation and parameter evaluation for analysis of a landslide along the Göta River, Sweden. International conference on site characterization, ISC '98, Atlanta, GA, 19-22 April 1998. Proceedings, vol. 2, pp 1219-1224.
- Fredén, C., (1986).** Jordartskartan Göteborg NO. SGU Ser Ae Nr 40. Sveriges geologiska undersökning. Uppsala.
- Geo-Slope International Ltd. (1994).** SEEP/W for finite element seepage analysis, version 3. Calagary, Canada.
- Geo-Slope International Ltd. (1995).** SLOPE/W for slope stability analysis, version 3. Calgary, Canada.
- IVA Skredkommissionen (1995).** Anvisningar för släntstabilitetsutredningar. Rapport 3:95. Linköping.
- Jakobson, B. och Mohrén, E. (1952).** The landslide at Surte on the Göta River, September 29, 1950. Royal Swedish Geotechnical Institute, Proceedings no. 5. Stockholm.
- Larsson, R., Bergdahl, U. och Eriksson, L. (1984).** Utvärdering av skjuvhållfasthet i kohesionsjord. Statens geotekniska institut. Information 3. Linköping.
- Larsson, R., Ottosson, E. och Sällfors, G. (1994).** Agnesbergsskredet. Statens geotekniska institut. Rapport No 44. Linköping.
- Larsson, R. och Sällfors, G. (1995).** Sättningsegenskaper i lös lera på grund av geologisk avsättning och "åldring". Väg- och Vattenbyggaren, 1995, nr 2, pp 33-38.
- Odenstad, S. (1958).** Jordskredet i Göta den 7 juni 1957. Geologiska föreningen i Stockholm förhanlingar. Band 80. Stockholm.
- Samuelsson, L. (1985).** Bergrundskartan Göteborg NO. SGU Ser Af Nr 136. Sveriges geologiska undersökning. Uppsala.
- Sandebring, H. och Ottosson, E. (1994).** Agnesbergsskredet. Skredförebyggande åtgärder. Agnesbergsutredningen. Statens geotekniska institut. Rapport 45. Linköping.

Bilagor

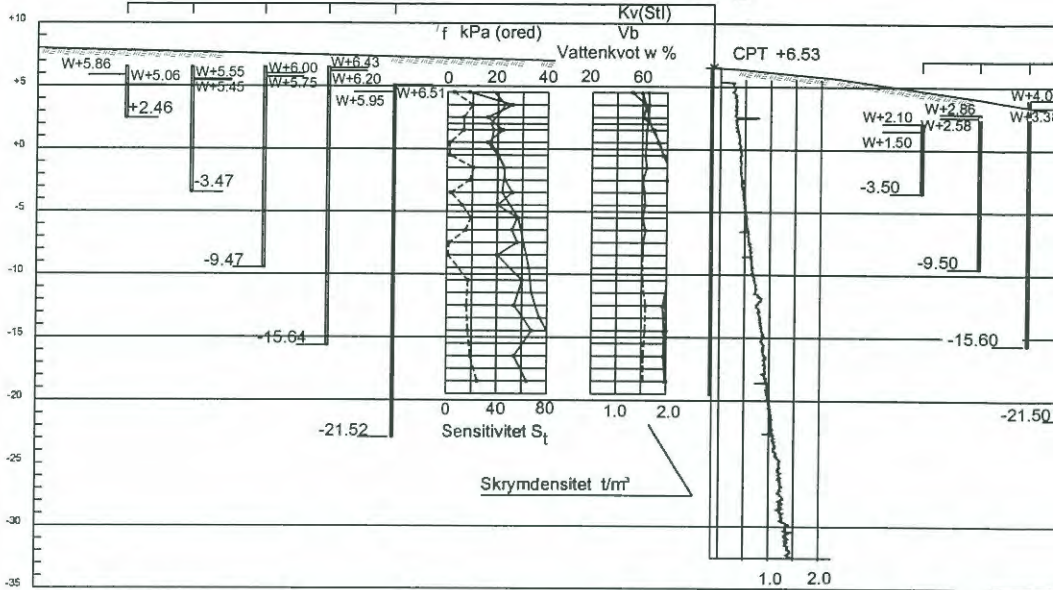
Bilaga I





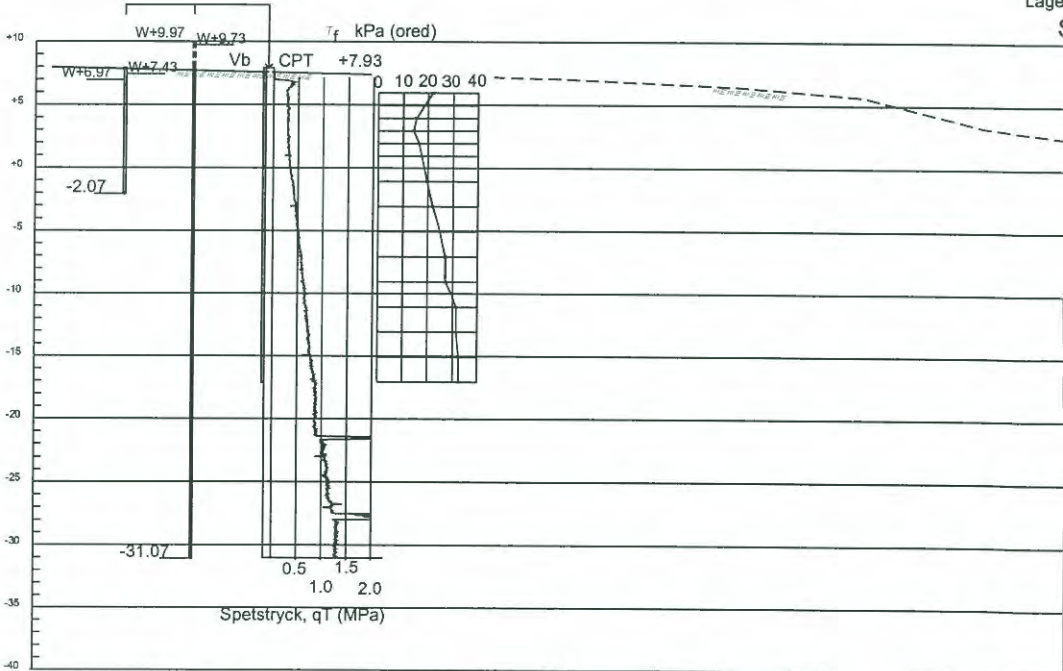
Bilaga 2

Läge se plan
CTH2



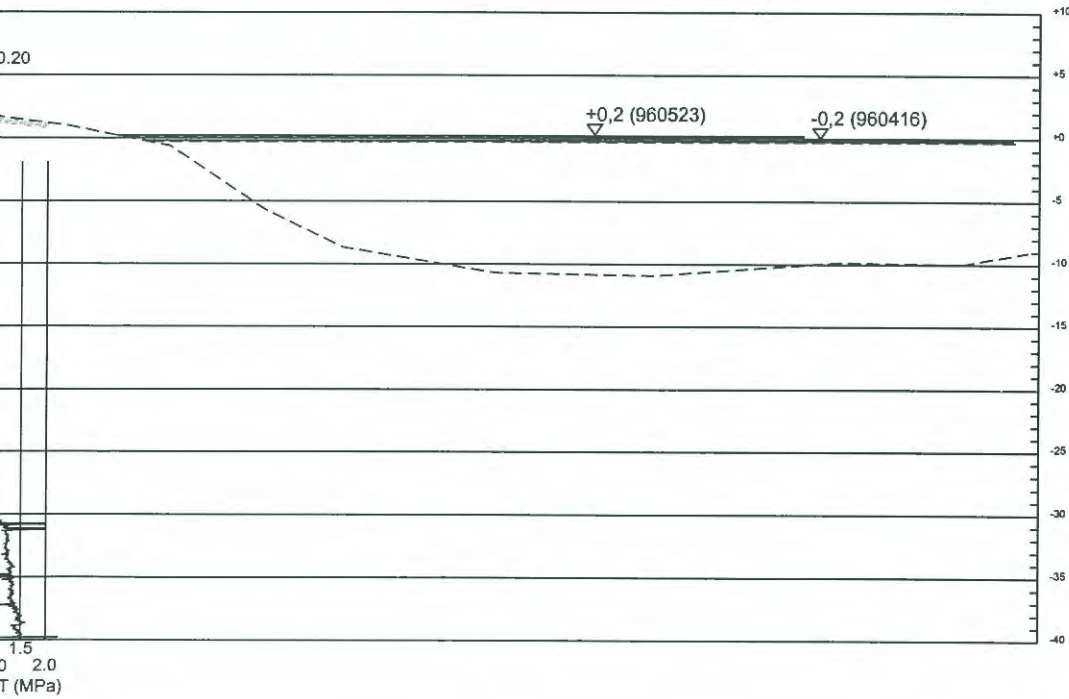
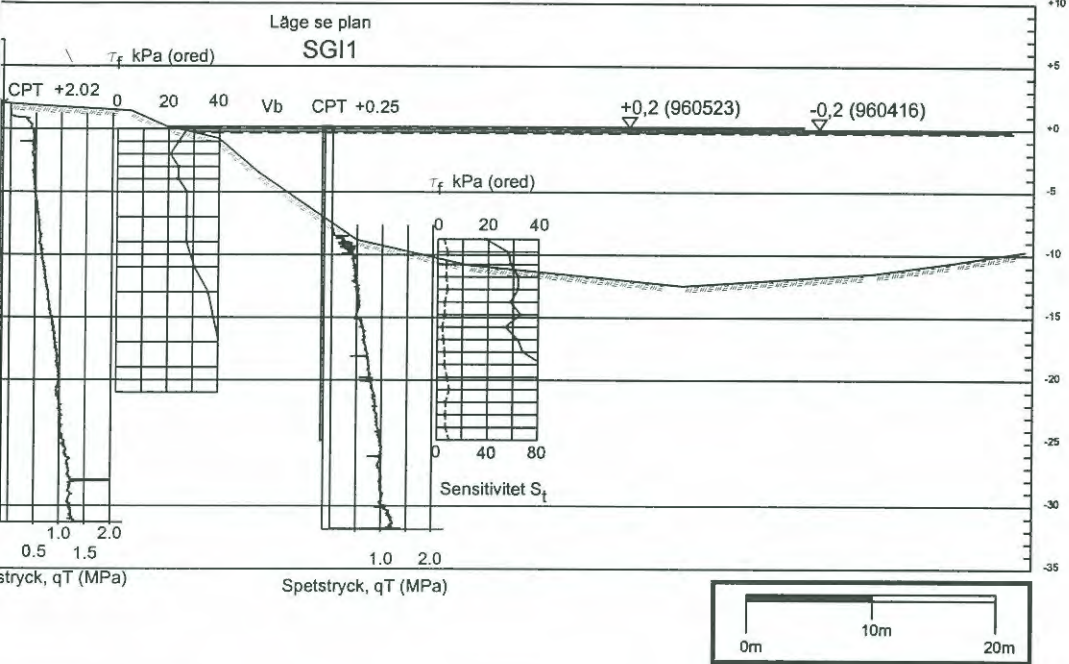
SEKTION A-A

CTH3



SEKTION B-B

TH1



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
20.	Portrycksvariationer i leror i Göteborgsregionen J. Berntson	1983

RAPPORT/REPORT

No

År/Year

-
- | | | |
|------|--|------|
| 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 |
| 28. | Deponering av avfall från kol- och torveldning
T. Lundgren & P. Elander | 1986 |

RAPPORT/REPORT

No

År/Year

-
- | | | |
|------|--|------|
| 28E. | Environmental control in disposal and utilization of combustion residues
T. Lundgren & P. Elander | 1987 |
| 29. | Consolidation of soft soils
R. Larsson | 1986 |
| 30. | Kalkpelare med gips som tillsatsmedel
G. Holm, R. Tränk & A. Ekström | 1987 |
| | 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
Resultat av 10 års forskning och praktisk användning samt framtida utveckling.
H. Åhnberg & G. Holm | 1986 |
| 32. | Two Stage-Constructed Embankments on Organic Soils
• Field and laboratory investigations
• Instrumentation
• Prediction and observation of behaviour
W. Wolski, R. Larsson et al. | 1988 |
| 33. | Dynamic and Static Behaviour of Driven Piles
(Doctoral thesis)
Nguyen Truong Tien | 1987 |
| 34. | Kalksten som fyllningsmaterial
J. Hartlén & B. Åkesson | 1988 |
| 35. | Thermal Properties of Soils and Rocks
(Doctoral thesis)
J. Sundberg | 1988 |

RAPPORT/REPORT

No

År/Year

-
- | | | |
|-----|---|------|
| 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 åtgärdsalternativ
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 |
| 44. | Agnesbergsskredet
R. Larsson, E. Ottosson & G. Sällfors | 1994 |
| 45. | Agnesbergsskredet - Skredförebyggande åtgärder
H. Sandebring & E. Ottosson | 1994 |

RAPPORT/REPORT**No****År/Year**

-
- | | | |
|-----|--|------|
| 46. | R&D for Roads and Bridges
International Seminar on Soil Mechanics
and Foundation Engineering
B. Rydell (Editor) | 1995 |
| 47. | Geotechnical Properties of Clay at Elevated Temperatures
L. Moritz | 1995 |
| 48. | Cement och kalk för djupstabilisering -
En kemisk - fysikalisk studie av stabiliseringseffekter
H. Åhnberg, S-E. Johansson, A. Retelius, C. Ljungkrantz,
L. Holmqvist & G. Holm | 1995 |
| 49. | Jormaterialet silt -
geotekniska egenskaper och deras bestämning
R. Larsson | 1995 |
| 50. | Modelling of Groundwater Conditions in Silt and Fine Sands.
A study of induced groundwater changes based on laboratory
and full-scale field tests
(Doctoral thesis)
M. Tremblay | 1996 |
| 51. | Parameter Study of Solar Heating Systems with
Seasonal Ground Storage in Moraine
M. Lehtmetts | 1995 |
| 52. | Solvärmesystem med säsongslager.
En simulerings- och kostnadsstudie
A. Gabrielsson | 1997 |
| 53. | Heat storage in soft clay.
Field tests with heating (70 °C) and freezing of the soil
A. Gabrielsson, M. Lehtmetts, L. Moritz & U. Bergdahl | 1997 |
| 54. | Investigations and load tests in silty soils.
Results from a series of investigations in silty soils in Sweden.
R. Larsson | 1997 |

RAPPORT/REPORT**No****År/Year**

-
- | | | |
|-----|---|------|
| 55. | Radon i bostäder.
Markradonhaltens betydelse för riskklassificering.
B. Rosén, B-M Ek, J. Ek & H. Mattson | 1997 |
| 56. | Skredet i Vagnhärad.
Teknisk/vetenskaplig utredning om skredets orsaker.
H. Andersson, P.-E. Bengtsson, C. Berglund, R. Larsson
G. Sällfors & A.-L. Högberg-Högsta | 1998 |

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

SE-581 93 Linköping, Sweden

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

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

E-mail: sgi@swedgeo.se Internet: www.swedgeo.se