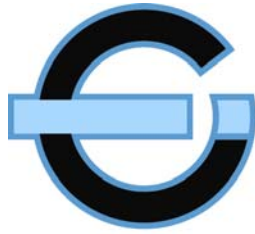


Implementeringskommission för Europastandarder inom Geoteknik

Rapport 4:2010

**Tillståndbedömning/klassificering av
naturliga slänter och slänter med befintlig
bebyggelse och anläggningar**

Vägledning för tillämpning av
Skredkommissionens rapporter 3:95 och
2:96 (delar av).



Implementeringskommission för
Europastandarder inom Geoteknik

IEG Rapport 4:2010

Tillståndbedömning/klassificering av naturliga slänter och slänter med befintlig bebyggelse och anläggningar

Vägledning för tillämpning av Skredkommissionens rapporter 3:95
och 2:96 (delar av)

Framtagen av IEG

Stockholm 2010

IEG Rapport Implementeringskommissionen för
Europastandarder inom Geoteknik

Beställning IEG
c/o IVA
Grev Turegatan 14
Box 5073
102 42 Stockholm
Org. Nr 802430-1221
E-post: ieg@iva.se
Web: www.ieg.nu

ISBN 978-91-85647-33-0
Upplaga Digital

Tryckeri Version mars 2011

Förord

Denna rapport har framtagits på uppdrag av IEG (Implementeringskommission för Europastandarder inom Geoteknik) som är en ideell förening under Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademiens hägn. Föreningen har till uppgift att initiera, samordna och utföra arbete, som krävs för implementering av Europastandarder inom Geoteknikområdet i Sverige.

Syftet med rapporten är att som underlag vid tillståndsbedömning/klassificering av naturliga slänter och slänter med befintlig bebyggelse eller anläggningar utgöra ett komplement till Skredkommissionens Rapport 3:95 och delar av Rapport 2:96. Rapporten ska användas tillsammans med dessa som vägledning för hur de kan tillämpas i enlighet med Eurokod.

Värdefulla synpunkter på rapporten har under arbetets gång inkommit från IEG's styrelse, Tord Olsson och Jan Ekström, Trafikverket, samt från beredningsgruppen bestående av Elvin Ottosson, SGI, Yvonne Rogbeck, SGI, Susanne Edsgård, MSB, Rasmus Muller, Tyréns samt Lars Göransson, Boverket.

Granskare utsedda av IEG:s styrelse har varit Stefan Larsson, KTH samt Claes Alén, Chalmers.

Göteborg/ Linköping i januari 2011

Carina Hultén
SGI

Urban Högsta
Sweco

Per-Evert Bengtsson
SGI

Gunilla Franzén
VTI

Rolf Larsson
SGI

Sammanfattning

Syftet med föreliggande rapport är att vara ett underlag vid tillståndsbedömning/klassificering av naturliga slänter och slänter med befintlig bebyggelse eller anläggningar: Rapporten är ett komplement till Skredkommissionens anvisningar Rapport 3:95 samt kapitel 6 och 7 i Rapport 2:96.

För att bestämma om stabilitetsförbättrande åtgärder behövs kan totalsäkerhetsmetoden användas för att göra en klassning/tillståndsbedömning av en slänt och i tillämpliga fall även vid dimensionering av stabilitetsförbättrande åtgärder. Detta är användbart för bl a naturliga slänter, redan bebyggda områden, karteringar samt planeringsskeden där inte Boverkets föreskrifter BFS 2008_8.- EKS [15] är tillämpliga.

Vid beräkningar enligt totalsäkerhetsmetod ska ett sammanvägt härlett värde på materialparametrar användas.

Rekommenderade säkerhetsfaktorer beror av typ av markanvändning och utredningsnivå, se tabell nedan. Utredningsnivåerna är översiktlig, detaljerad samt fördjupad nivå. Markanvändningen indelas i Nyexploatering/ny- och ombyggnad, Nyexploatering/planering, Befintlig bebyggelse och anläggning, Annan mark samt Naturmark. Val av erforderlig säkerhetsfaktor ska baseras på gynnsamma respektive ogynnsamma faktorer. Dessa faktorer beror av undersökningarnas omfattning och osäkerheten i beräkningsantaganden. Redovisning ska ske i Projekterings PM- beräkningar.

Tabell Val av rekommenderad säkerhetsfaktor

| | | Markanvändning | | | |
|---------------------|-----------------------|---|---|---|---|
| | | Nyexploatering | | Befintlig bebyggelse och anläggning | Annan mark |
| | | Nybyggnation | Planläggning | | |
| Tillståndsbedömning | Översiktlig utredning | <i>Ej tillämpligt för denna rapport</i> | Minst detaljerad utredning ska utföras | $F_c > 2 +$ $F_{\phi} > 1,5$ | $F_c > 2 +$ $F_{\phi} > 1,5$ |
| | Detaljerad utredning | | $F_c \geq 1,7-1,5 +$ $F_{komb} \geq 1,5-1,4$ $F_{\phi} \geq 1,3$ (sand) | $F_c \geq 1,7-1,5 +$ $F_{komb} \geq 1,5-1,3$ $F_{\phi} \geq 1,3$ (sand) | $F_c \geq 1,6-1,4 +$ $F_{komb} \geq 1,4-1,3$ $F_{\phi} \geq 1,3$ (sand) |
| | Fördjupad utredning | | $F_c \geq 1,5-1,4 +$ $F_{komb} \geq 1,4-1,3$ $F_{\phi} \geq 1,3$ (sand) | $F_c \geq 1,4-1,3 +$ $F_{komb} \geq 1,3-1,2$ $F_{\phi} \geq 1,3$ (sand) Under förutsättning att restriktioner införs | $F_c \geq 1,3-1,2 +$ $F_{komb} \geq 1,2$ $F_{\phi} \geq 1,2$ (sand) |
| Projektering | | Dimensionering utförs enligt TD "Slänter och bankar" alternativt TK Geo | Beroende på utredningsnivå, F_c och F_{komb} enligt tabellvärde ovan | Stabilitetsförbättrande åtgärd enligt kap 4.5.2.4 alternativt TD "Slänter och bankar" / TK Geo | |

För befintlig bebyggelse och anläggning, samt annan mark, kan vid fördjupad utredningsnivå en stabilitetsförbättrande åtgärd utföras som en procentuell förbättring av säkerhetsfaktor

från befintliga förhållanden. Syftet med åtgärden är att det ska vara möjligt att behålla det som finns idag och som annars innebär stora ekonomiska konsekvenser för att nå upp till kraven enligt nyexploatering. Den lägre beräknade säkerheten kan enbart tillåtas om restriktioner införs om att ingen försämring av stabiliteten får ske. Metodiken gäller för den glidyta som har otillräcklig stabilitet. Åtgärderna kan i sig innebära att man lokalt får en lägre säkerhetsfaktor och då gäller att själva utformningen av åtgärden ska uppfylla antingen regler för nykonstruktion eller minst den övre gränsen på säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott enligt figur 4.1a och 4.1b (sidan 15). Om konstruktionen faller inom Eurocodes regelverk ska denna dimensioneras enligt Boverkets föreskrifter. Bedömning ska göras från fall till fall beroende på typ av byggnadsverk.

Summary

The purpose of this report is to be a basis for state assessment/classification of natural slope and slopes of existing building or facilities. This report is complementary to the Report 3:95 published by Skredkommissionen as well as chapters 6 and 7 of Report 2: 96 (also by Skredkommissionen).

The concept of total factor of safety can be applied to make a classification/rating with the aim of determining whether measures are needed to achieve the required safety level of a slope. The method can also be used for design of necessary measures. It is useful both for natural slopes, urban areas, and initial planning stages where National regulations BFS 2008_8.-EKS [15] is not applicable.

The derived value of the parameters should be used for application of the concept of total factor of safety.

The Table below shows how the recommended required safety factor is defined in terms of specified land use and level of available geotechnical data. There are three levels of investigations; brief, detailed and extensive. The land use can be divided into the following categories; development/new and rebuilding, development/planning, existing buildings and constructions, other land and rural/nature areas. The choice of the required factor of safety should be based both on favourable and unfavourable factors. These factors depend on the level of investigation and uncertainty in calculation method. In each case, documentation of the calculations and relevant assumptions should be documented in a design report.

Table Recommended factor of safety

| | | Land use | | | |
|---------------------------|-----------|--|---|---|---|
| | | Development | | Existing buildings and constructions | Other land |
| | | New and rebuilding | Planning | | |
| Classification/assessment | Brief | n.a. | Minimum detailed investigation should be performed | $F_c > 2 +$ $F_{c\phi} > 1,5$ | $F_c > 2 +$ $F_{c\phi} > 1,5$ |
| | Detailed | | $F_c \geq 1,7-1,5 +$ $F_{komb} \geq 1,5-1,4$ $F_\phi \geq 1,3$ (sand) | $F_c \geq 1,7-1,5 +$ $F_{komb} \geq 1,5-1,3$ $F_\phi \geq 1,3$ (sand) | $F_c \geq 1,6-1,4 +$ $F_{komb} \geq 1,4-1,3$ $F_\phi \geq 1,3$ (sand) |
| | Extensive | n.a. | $F_c \geq 1,5-1,4 +$ $F_{komb} \geq 1,4-1,3$ $F_\phi \geq 1,3$ (sand) | $F_c \geq 1,4-1,3 +$ $F_{komb} \geq 1,3-1,2$ $F_\phi \geq 1,3$ (sand) Restrictions should be applied | $F_c \geq 1,3-1,2 +$ $F_{komb} \geq 1,2$ $F_\phi \geq 1,2$ (sand) |
| Design | | Design according to TD "Slanter och banker" | Depending on investigation level, F_c och F_{komb} according to above | Measures to improve the factor of safety according to chapter 4.5.2.4 or TD "Slanter och banker" / TK Geo | |

In an extensive investigation, the necessary measures for achieving the required factor of safety are obtained by applying a percentage increase on the factor of safety for the existing

conditions. The aim is to enable preservation of existing constructions/buildings without fulfilling the requirements of safety level corresponding to new constructions. A lower factor of safety can only be allowed, though, if restrictions are applied to avoid other measures/activities resulting in additional reduction of the factor of safety. The methodology is applicable to the critical failure surface, and the measure itself can give a local failure surface with a different (lower) safety factor. For this critical local failure surface the requirement is that it should fulfill the requirements for new constructions or at least the lowest limit value in figures 4.1a and 4.1b (page 15).

For constructions within the framework of the Eurocodes the national regulations according to Boverket should be applied. Assessment should be made on project and case specific basis depending on the type of construction.

Innehåll

| | |
|---|-----------|
| FÖRORD..... | I |
| SAMMANFATTNING | III |
| SUMMARY | V |
| 1 INLEDNING..... | 3 |
| 2 ORDLISTA OCH DEFINITIONER..... | 4 |
| 3 UNDERLAG FÖR TILLSTÅNDSBEDÖMNING/KLASSIFICERING AV STABILITET FÖR NATURLIGA SLÄNTER OCH SLÄNTER MED BEFINTLIG BEBYGGELSE OCH ANLÄGGNINGAR..... | 4 |
| 3.1 Fält och laboratorieundersökningar | 4 |
| 3.2 Från mätdata till härlett värde..... | 6 |
| 4 TILLSTÅNDSBEDÖMNING/KLASSIFICERING AV STABILITET FÖR NATURLIGA SLÄNTER OCH SLÄNTER MED BEFINTLIG BEBYGGELSE..... | 6 |
| 4.1 Allmänt..... | 6 |
| 4.2 Bedömning av hållfasthetsegenskaper (kapitel 5 SR 3:95) | 6 |
| 4.3 Portrycksnivåer och vattenståndsvariationer (kapitel 6 SR 3:95)..... | 7 |
| 4.4 Beräkningar (kapitel 7 SR 3:95) | 7 |
| 4.4.1 Beräkningsantaganden..... | 7 |
| 4.4.2 Beräkningsmetoder..... | 8 |
| 4.4.3 Konsekvensanalys av omgivningspåverkan..... | 8 |
| 4.5 Rekommendationer (kapitel 8 SR3.95)..... | 9 |
| 4.5.1 Allmänt..... | 9 |
| 4.5.2 Tillståndsbedömning – totalsäkerhetsfaktorer | 10 |
| 4.6 Dimensionering genom observationsmetoden..... | 18 |
| 4.7 Geoteknisk kategori..... | 18 |
| 4.8 Säkerhetsklass..... | 18 |
| 5 MATERIALKRAV | 18 |
| 6 UTFÖRANDE | 18 |
| 7 UPPFÖLJNING OCH KONTROLL | 18 |
| 8 DOKUMENTATION..... | 18 |
| 9 REFERENSER | 19 |
| BILAGA A BERÄKNINGSEXEMPEL LÖS KOHESIONSJORD | 21 |
| A.1 Inledning och problemställning..... | 21 |
| A.2 Geotekniskt underlag | 21 |
| A.3 Beräkningsförutsättningar..... | 23 |
| A.3.1 Beräkningsförutsättningar enligt kap 4 samt SR 3:95..... | 23 |
| A.3.2 Beräkningsförutsättningar enligt TD SoB..... | 23 |
| A.4 Dimensionerande jordegenskaper | 24 |
| A.4.1 Härledda och dimensionerande värden enligt kap 4 och SR 3:95..... | 24 |
| A.4.2 Dimensionerande värden enligt TD SoB | 26 |
| A.5 Dimensionering i brottgränstillstånd | 27 |
| A.5.1 Ursprunglig slänt..... | 28 |
| A.5.2 Avschaktad slänt..... | 28 |
| A.5.3 Jämförelse stabilitetsberäkningar enligt kapitel 4 och enligt TD SoB | 32 |

1 Inledning

Denna rapport behandlar tillståndsbedömning och klassificering avseende stabilitet för naturliga slänter och slänter med befintlig bebyggelse eller anläggningar där Skredkommissionens anvisningar är tillämpbara och rapporten är ett komplement till dessa. Föreliggande rapport behandlar även möjligheten att genom stabilitetsförbättrande åtgärder minska brottsannolikheten genom procentuell höjning av beräknad säkerhetsfaktor för befintliga förhållanden. Rapporten är avsedd att användas som en rekommendation på hur stabilitet kan hanteras för tidiga planeringsskeden och befintlig bebyggelse.

För att bestämma om stabilitetsförbättrande åtgärder behövs kan totalsäkerhetsmetoden användas för att göra en klassning/tillståndsbedömning av en slänt. Detta är användbart för bl a naturliga slänter, redan bebyggda områden, karteringar, planeringsfaser etc där inte Boverkets föreskrifter BFS 2008_8.- EKS [15] är tillämpliga.

Syftet med denna rapport är att ge vägledning om och när Skredkommissionens anvisningar, Rapport 3:95 (SR 3:95) "Anvisningar för släntstabilitetsutredningar" [1] och Rapport 2:96 (SR 2:96) "Förstärkningsåtgärder i silt- och lerslänter" [2], kan vara tillämpbara samt att utföra en uppdatering av delar av innehållet i dessa rapporter.

Skredkommissionens rapport 3:95 "Anvisningar för släntstabilitetsutredningar" [1] refererar till den praxis, de rekommendationer för försök och utvärderingsmetoder samt de beräkningsprogram och metoder som fanns tillgängliga och användes i början av 1990-talet. Sedan dess har såväl praxis, försöksutrustningar och utvärderingsmetoder modifierats i viss grad samtidigt som nya undersökningsmetoder tillkommit, beräkningsmetoderna utvecklats och ett stort antal nya standarder, tekniska specifikationer och andra dokument tagits fram vilket föranlett att denna kompletterande skrift framtagits.

Skredkommissionens rapport 2:96 "Förstärkningsåtgärder i silt- och lerslänter" [2], kapitel 6 och 7, behandlar val av förstärkningsgrad med hänsyn till brottsannolikhet och diskussion kring förändring av erforderlig säkerhetsfaktor med hänsyn till variationskoefficienter.

För dimensionering av slänter och bankar i brottgräns och bruksgränstillstånd gäller idag för nykonstruktioner utförande enligt kapitel 11 och 12 i SS-EN 1997-1. Tillämpningsdokument IEG Rapport 6:2008, Rev1 Slänter och bankar [10] (TD Slänter och bankar) beskriver dimensionering enligt partialkoefficientmetoden i enlighet med SS-EN 1997-1. Denna rekommendation gäller för samtliga geotekniska kategorier (GK1 – GK3). Tillämpningsdokumentets tyngdpunkt gäller dock beräkningar enligt partialkoefficientmetoden som ska användas vid nykonstruktioner i GK2. Konstruktioner i GK1 och GK3 får dock också dimensioneras med andra metoder. Detta innebär att bl.a. stabilitetskartering och utredning för befintlig bebyggelse kan utföras enligt Skredkommissionens anvisningar med vissa tillägg. Om konstruktionen faller inom Eurocodes regelverk ska denna dimensioneras enligt Boverkets föreskrifter. Bedömning ska göras från fall till fall beroende på typ av byggnadsverk.

Denna rapport har i princip getts samma kapitelindelning som Skredkommissionens Rapport 3:95 med eventuella ändringar och tillägg till befintlig text. De nya rekommendationer som anges i detta dokument ersätter angiven tidigare text i Skredkommissionen Rapport 3:95. För Skredkommissionens rapport 2:96 har enbart kapitel 6 och 7 kompletterats med tillägg till befintlig text.

2 Ordlista och definitioner

För allmänna förklaringar och definitioner gällande IEG:s tillämpningsdokument, se TD Grunder [12]

| | |
|-------------------------|---|
| Glidyta | Potentiell brottyta i jorden för vilken kraft- och momentjämviktsekvationer tecknas vid stabilitetsberäkning. |
| Dränerad analys | Stabilitetsberäkning där ingående jordars skjuvhållfasthet definieras av dess dränerade skjuvhållfasthetsparametrar. |
| Odränerad analys | Stabilitetsberäkning där förekommande kohesionsjordars skjuvhållfasthet definieras av dess odränerade skjuvhållfasthet. |
| Kombinerad analys | Stabilitetsberäkning där förekommande kohesionsjordars skjuvhållfasthet definieras av det lägsta värdet av dränerad och odränerad skjuvhållfasthetsparametrar. |
| Numerisk metod | Beräkning med någon numerisk beräkningsmetod, exempelvis finita elementmetoden eller finita differensmetoden |
| Totalsäkerhetsmetod | Beräkning med karakteristiska värden för hållfasthet och dimensionerande parametrar på geometrier, grundvattenförutsättningar, laster etc nyttjas. |
| Partialkoefficientmetod | Beräkning med dimensionerande värden för materialparametrar, geometrier, grundvattenförutsättningar, laster etc. nyttjas. |
| Återkomsttid | Den tidsperiod inom vilken en händelse i genomsnitt inträffar eller överskrids en gång. Detta innebär exempelvis att för en 100-årshändelse är sannolikheten 1 på 100 för varje enskilt år. Sannolikheten under 100 år blir då 63%. |

3 Underlag för tillståndsbedömning/klassificering av stabilitet för naturliga slänter och slänter med befintlig bebyggelse och anläggningar

Omfattningen av undersökningar och redovisning relateras till vald Geoteknisk kategori (GK), se vidare IEG:s rapport 4:2008 Tillämpningsdokument Dokumenthantering [11]. Principerna och den arbetsgång som anges i Kapitel 4 i Skredkommissionens anvisning Rapport 3:95 bör dock fortfarande följas.

Allmänt gäller att rekommendationer i Skredkommissionens Rapport 3:95 (SR 3:95) ska följas med de ändringar och tillägg som anges nedan.

3.1 Fält och laboratorieundersökningar

Fältundersökningar ska, beroende på vad som finns, utföras enligt nedan angiven prioritetsordning

- 1) SS-EN Standard
- 2) SIS-EN Teknisk Specifikation
- 3) av SGF rekommenderad standard eller metodbeskrivning

Laboratorieundersökningar ska, beroende på vad som finns, utföras enligt nedan angiven prioritetsordning

- 1) SS-EN Standard
- 2) SIS-EN Teknisk Specifikation
- 3) SGF Notat och SGFs laboratoriekommittés anvisningar

SR 3:95 kapitel 4.3.2, Lodning och Vingförsök

Text utgår och ersätts med

Lodning

I de undersöka sektionerna ska vattendragens bottengeometri bestämmas. Mätning kan göras genom ekolodning för att identifiera eventuella djuphålur i botten eller bottenuppretryckningar. Alternativt kan batymetriska mätningar genom multibeamekolodning eller motsvarande, eventuellt tillsammans med side-scan sonar, utföras för en mer heltäckande kartering av bottengeometrin. Speciellt kontrolleras krökar och sektionsförändringar i vattendragen. Vid kraftig erosion kan dykare vara behjälplig vid kartläggning av skador på bl.a.erosionsskydd. Vid manuell lodning används stång eller måttband med platta (minst 200 mm). I en del fall kan mätning med slangställningsmätare vara ett alternativ.

Vingförsök

För bestämning av odränerad skjuvhållfasthet och sensitivitet i kohesionsjord samt för kalibrering av sonderingsresultaten utförs vingförsök och då bl.a. vid provtagningspunkterna. Vingförsök ska utföras i alla kohesionsjordlager och i en sådan omfattning att de ger en fullgod kalibrering av CPT-sonderingarna och tillsammans med dessa ger en komplett bild av de odränerade egenskaperna inom området.

Vid små lerdjup och låg skjuvhållfasthet kan såväl utrustning typ SGI som Geotech eller motsvarande användas. Med utrustning typ SGI avses en utrustning med vingen infälld i en skyddskåpa under neddrivningen till en nivå strax över försöksnivån och med vridstängerna inkapslade i foderrör. Med utrustning typ Geotech avses en utrustning med oskyddad vinge och okapslade vridstänger, där vridmotståndet av leran mot stängerna kan mätas separat och särskiljas från det totala vridmotståndet med hjälp av en glappkoppling. Vid höga sensitiviteter och lagerföljder som medför stor risk för störning bör utrustning typ SGI väljas.

SR 3:95 kapitel 4.3.3, Laboratorieundersökningar

Text utgår och ersätts med

Laboratorieundersökningar

Upptagna ostörda jordprover undersöks med avseende på:

- jordart
- vattenkvot
- flytgräns
- skjuvhållfasthet
- densitet
- sensitivitet

På ett antal utvalda representativa prover utförs också ödometerförsök, stegvisa försök eller CRS- försök, för bestämning av jordens förkonsolideringstryck samt bestämning av provets kvalitetsklass.

Kompletterande direkta skjuvförsök utförs i skiktade och siltiga jordar, liksom i andra jordar där utvärdering av skjuvhållfastheten är osäker. Direkta skjuvförsök bör också utföras i de fall där hållfastheter som härletts ur andra typer av försök markant avviker från varandra och/eller från vad som empiriskt kan förväntas med ledning av jordens belastningshistoria och övriga egenskaper.

3.2 Från mätdata till härlett värde

Vid beräkningar enligt totalsäkerhetsmetoden ska sammanvägt härlett värde på materialparametrar användas.

Vid valet av det härledda värdet ska resultat från olika typer av försök beaktas och en värdering av de olika försökens relevans för den aktuella dimensioneringssituationen utföras. Större vikt bör ges mer avancerade metoder t. ex. skjuvförsök, triaxialförsök och uppenbart realistiska mätresultat ska förkastas. Vid val av härlett värde bör även jämförelse göras med tillgänglig empiri. Det ska även beaktas om de betraktade härledda värdena är belägna inom område med samma geologiska bildningssätt och geologiska historia.

4 Tillståndsbedömning/klassificering av stabilitet för naturliga slänter och slänter med befintlig bebyggelse

4.1 Allmänt

Kapitel 2 och 3 i SR 3:95 gällande arbetsgång vid stabilitetsutredningar samt geotekniska undersökningar bör följas. I övrigt gäller att rekommendationer i SR 3:95 bör följas med de ändringar och tillägg som anges nedan.

4.2 Bedömning av hållfasthetsegenskaper (kapitel 5 SR 3:95)

SR 3:95 kapitel 5.2.1.1 – 5.2.1.3 (Kohesionsjord, odränerad skjuvhållfasthet, provtagningsmetoder, Empiriska relationer samt Bedömning av hållfasthetsvärden).

SR 3:95 text utgår och ersätts med nedanstående rapporter:

För kohesionsjord, SGI Information 3 (2007) [3]

För sulfidjord, SGI Rapport 69 [6]

Direkta skjuvförsök, SGF Notat 2:2004 [9]

CPT-sondering, SGI Information 15 (2007)[4]

SR 3:95 kapitel 5.2.1.4 Beaktande av anisotropi

Följande tillägg gäller till SR 3:95:

Om effekten av anisotropi utnyttjas vid stabilitetsbedömningen krävs att den verifieras med triaxialförsök, normalt minst tre försök. Anledningen är att alla empiriska samband innehåller spridning och att effekt av anisotropi baserad på konflytgränsen i vissa fall kan bli missvisande. Om värdena från triaxialförsöken sammanfaller med eller överstiger de empiriska värdena kan de senare användas. Om värdena från triaxialförsöken är lägre än de empiriska värdena får endast de lägre mätta värdena utnyttjas. Vill man utnyttja högre mätta värden än de empiriska ska omfattningen av triaxialförsöken utökas så att underlaget är tillräckligt för att utgöra en lokal kalibrering för jorden i det aktuella området. För detta krävs, utöver att antalet försök utökas (normalt minst 6-8 försök), att alla ingående typer av lera och annan finkornig jord vars egenskaper påverkar stabilitetsbedömningen provas.

Anisotropieffekter utnyttjas främst i branta slänter och glidytor där den aktiva skjuvzonen är stor. Anisotropieffekten provas och verifieras då med aktiva triaxialförsök. För glidytor med

en betydande passivzon ska även passiva triaxialförsök utföras för bestämning av den passiva skjuvhållfastheten.

SR 3:95 kapitel 5.3 Friktionsjord

Som tillägg till SR 3:95 kan för siltjord SGI Information 16 (1998) [5] användas.

4.3 Portrycksnivåer och vattenståndsvariationer (kapitel 6 SR 3:95)

SR 3:95 kapitel 6.2 Portrycksmätning

Tillägg till SR 3:95:

En uppskattning av negativa portryck kan göras enligt SGI Information 16 (1998) [5]

SR 3:95 kapitel 6.3 Prognostisering av portryck

Ändring till SR 3:95

Vid beräkning av det maximala vattentrycket i observationspunkten ska återkomsttiden vara 100 år vid beräkningar gällande områden där byggnation finns eller planeras. För infrastruktur gäller Trafikverkets krav.

SR 3:95 kapitel 6.4 Val av portryck vid beräkningar

Tillägg till SR 3:95

Lämpligt är att i ett inledande skede först utföra en känslighetsanalys av portryck för bedömning av när portrycket blir dimensionerande för säkerhetsfaktorn mot stabilitetsbrott.

Där portrycket kan vara dimensionerande för stabiliteten ska prognostiseringen av maximala portryck utföras för aktuell återkomsttid. Utöver mätta portryck på plats och i referensstationer ska också hänsyn tas till de observationer som gjorts i den inledande besiktningen, där det ska kartläggas på vilka nivåer fastmarkspartier och eventuella dränerande lager går i dagen. Dessa bräddningsnivåer sätter tak för vilka grundvattentryck som naturligt kan utvecklas i dränerande lager och vilka maximala portryck som kan utvecklas i finkornigare jord över och under dessa lager.

I de fall prognostisering av extremt portryck inte är möjligt, exempelvis med hänsyn till för stort avstånd till referensrör eller avvikande akvifär i förhållande till referensrör, ska som ett minimum en känslighetsanalys av extremt portryck användas och en erfarenhetsbaserad bedömning av påverkan på erforderlig säkerhetsfaktor utföras.

SR 3:95 kapitel 6.5 Bedömning av erosionsrisk

Tillägg till SR 3:95

Beskrivning av erosionsmekanismer och råd för dimensionering av erosionskydd ges i följande rapporter:

Erosion och sedimenttransport i vattendrag, SGI Varia 592 (2008) [16]

Erosionsskydd i strömmande vatten. Trafikverket. (preliminär 2011) [17]

4.4 Beräkningar (kapitel 7 SR 3:95)

4.4.1 Beräkningsantaganden

SR 3:95 kap 7.1.2 Laster

Tillägg till SR 3:95:

Vid totalsäkerhetsmetod tillämpas inte dimensionerande laster enligt EN 1997 utan karakteristiska laster dvs. ingen partialkoefficient läggs på lasten.

I kombinerad och dränerad analys ska hänsyn tas till de variabla lasternas varaktighet.

SR 3:95 kapitel 7.1.2.2 Ytlaster

SR 3:95 text utgår och ersätts med:

Permanent och tillfälliga ytlaster ska beaktas. Till ytlaster räknas last från byggnader och andra konstruktioner, bankar, i plan begränsade fyllningar och upplag, snölast, trafik etc. Vid beräkning av last från byggnader måste eventuell förekomst av källare beaktas.

För trafiklasten gäller anvisningar enligt Trafikverkets TK Geo [13].

För byggnader kan i tidiga projekteringskedan, där inte lastförhållanden är klarlagda, normalt antas en ytlast av 10 kPa per våningsplan/ byggrättsyta (exklusive eventuell källare) antas. För industriområden kan en ytlast av 20 kPa normalt antas m.h.t. lagringsplatser, byggnader etc. För parkeringsytor med personbilar kan normalt antas en ytlast av 5 kPa.

Utbredda fyllningar kan betraktas som en del av slänten.

Tillfälliga ytlaster kan utgöras av t.ex. snötippor samt upplag av byggnadsmaterial och jord.

4.4.2 Beräkningsmetoder

SR 3:95 kap 7.2.1 Allmänt

Tillägg till SR 3:95:

I Skredkommissionens anvisningar finns en bred beskrivning av befintliga beräkningsmetoder. Beräkningsprogram utvecklas ständigt och vad som anges i Skredkommissionens skrifter beskriver situationen i början av 1990-talet. Sedan dess har programmen utvecklats beträffande möjligheten att beakta kombinerad analys, anisotropi och icke cirkulära glidytor. Detta rationaliserar beräkningsarbetet, men ställer ännu större krav på efterkontroll av beräkningsresultaten. En rimlighetsmässig bedömning ska göras av glidyternas form och utbredning.

Dagens beräkningar utförs i huvudsak med s.k. rigorösa beräkningsmetoder i vilka alla villkor för kraft- och momentjämvikt ska vara uppfyllda.

Utöver vad som anges i Skredkommissionens anvisningar beträffande potentiella glidyternas längd bör det beaktas att även om undersökningarna varit omfattande i den totala jordmassan kan de likväl vara bristfälliga om:

- man räknar på en lång glidyta som följer ett svagare skikt i vilket det endast gjorts ett fåtal provningar, eller resultaten av dessa av olika orsaker är osäkra.
- man räknar på en mycket liten glidyta som innefattar en liten jordvolym, i vilken endast någon enstaka eller ingen provning utförts och där ett lokalt brott skulle få stora konsekvenser.

Om ett program som tar hänsyn till tredimensionella effekter används ska noga kontrolleras att alla de olika aspekter som omnämns i Skredkommissionens anvisningar Kapitel 7.2.6 beaktas.

Numeriska beräkningsmetoder (exempelvis finita elementmetoden eller finita differensmetoden) kan användas vid totalsäkerhetsmetod enligt detta dokument.

4.4.3 Konsekvensanalys av omgivningspåverkan

SR 3:95 kap 7.4

Förtydligande till befintlig text:

Sekundära skredförlopp är svåra att beräkna. Program finns, med vilka man i efterhand kan förklara varför inträffade skred fick den omfattning som blev det slutliga resultatet och i nya avancerade numeriska beräkningsprogram kan man ta hänsyn till att hållfastheten nedsätts

om stora lokala plastiska töjningar skulle inträffa, och därmed också beräkna en vidare skredutveckling. Några klara regler för hur programmen ska användas och hur ingångsparametrarna i dessa typer av beräkningar ska bestämmas finns dock inte.

Resultaten av den senare typen av avancerade numeriska beräkningar antyder att brott skulle kunna inträffa vid en lägre påkänningsgrad än den som erhålls vid de traditionella beräkningsmetoder som oftast används. Dessa resultat, och den omfattande kalibrering som utförts med de traditionella beräkningsmetoderna visar dock att den möjliga skillnaden är marginell och väl inryms i de totalsäkerhetsfaktorer som rekommenderas. Med de traditionella beräkningsmetoderna kan man göra en första ansats att bedöma risken för en vidare skredutveckling efter att ett skred initierats. För framåtgripande skred ersätts då jordvolymen i initialskredet och dess massa med en motsvarande yttre last som verkar på nedanförliggande jord. För bakåtgripande skred antas att hela eller delar av den jordvolym som ingår i initialskredet avlägsnas, beroende på främst sensitivitet, topografi och om massorna i initialskredet rasar ut i ett vattendrag. Är stabiliteten för framför- eller bakomliggande massor i dessa fall otillfredsställande måste man räkna med att initialskredet kommer att sprida sig.

Inom vissa geografiskt avgränsade områden finns empiriska riktlinjer för hur långt man bör räkna med att bakåtgripande skred kan nå. En sådan riktlinje finns för områden inom södra Götaälvdalen och är redovisad i Trafikverkets "Vägbyggnad med hänsyn till omgivningens stabilitet" [14].

I Trafikverkets anvisningar krävs säkerhetsklass 3 (SK3) vid dimensionering med avseende på stabilitet inom kvicklereområden. För markanvändning gällande enligt denna skrift rekommenderas att säkerheten mot stabilitetsbrott inom kvicklereområden ska normalt väljas i det övre spannet av rekommenderade säkerhetsfaktorer enligt tabell 4,2. Med ett kvicklereområde avses ur stabilitetssynpunkt ett område:

- där en glidyta helt eller delvis kan gå genom kvicklera och konsekvenserna för det aktuella partiet och/eller nedanförliggande områden kan bli stora
- där ett initierat skred och dess skredmassor kan påverka ett nedanförliggande område med kvicklera och därmed få stora följdkonsekvenser eller
- där ett initierat skred kan påverka ett bakomliggande parti med kvicklera med stora följdkonsekvenser

För den första punkten ska observeras att även om ett initialskred inte leder till ett framåtgripande följdskred kan de skredade massorna även vid en mycket måttlig lutning på marken flyta iväg ovanpå denna som en ström av flytande lermassor, vilket kan innebära stora konsekvenser på omgivningen.

4.5 Rekommendationer (kapitel 8 SR3.95)

SR 3:95 kap 8 utgår och ersätts enligt nedan

4.5.1 Allmänt

I en stabilitetsutredning ingår en värdering av släntens/områdets stabilitet (eller alternativt risken för skred). Denna värdering görs med ledning av

- de inverkanse faktorer som dokumenteras i de olika utredningsstegen
- undersökningarna
- beräkningarnas omfattning och resultat
- eventuella kvarstående osäkerheter
- uppskattade konsekvenser av ett eventuellt skred.

Vid värderingen av stabiliteten kan utöver beräknade säkerhetsfaktorer det även vara värdefullt att försöka analysera den tidigare och pågående geologiska processen, möjliga orsaker till skred och sannolikheten för att dessa ska inträffa. Exempel på hur detta kan beaktas ges nedan.

Naturliga slänter är ofta skapade genom erosionsprocesser och erosion i olika former kan anses vara en huvudorsak till skred. I de fall säkerheten är låg och man klart kan konstatera att erosionen är ensam orsak till den otillfredsställande stabiliteten i det aktuella området (eller den aktuella slänten) kan det i en del fall räcka med utläggning av ett erosionskydd och en mycket begränsad förbättring av stabiliteten (säkerhetsfaktorn). I övriga fall där erosion pågår måste man beakta att om inte erosionen stoppas kan en tillfredsställande stabilitet aldrig erhållas i ett längre tidsperspektiv oavsett vilka andra åtgärder som vidtas.

I branta slänter förekommer ofta ytliga rörelser i samband med uttorkning – sprickbildning - vattenmättnad – frysning – upptining. Dessa processer leder ofta med tiden till brott och kan endast förhindras genom speciell vegetation eller att hela slänten flackas ut. Råd om speciell vegetation ges bl. a. i rapporten Slå rot- och väx upp [18]. För djupare glidytor med delvis annan stabilitetsproblematik kan erforderlig stabiliserande effekt oftast erhållas genom avschaktning vid släntkrön och/eller genom fyllning vid slänthot, vilket för dessa glidytor ger ungefär motsvarande effekt som om hela slänten flackas ut.

I de fall stabilitetsproblemen orsakas av höga vattentryck i lager eller skikt i jorden hjälper ofta vare sig erosionskydd, utflackning eller avschaktning. De senare åtgärderna kan då t.o.m. ha en negativ inverkan. I dessa fall krävs en begränsning av vattentrycken, eventuellt i kombination med gynnsam förändring av geometri. Vid all begränsning av vattentrycken måste särskilt beaktas eventuell omgivningspåverkan av sänkta vattentryck. Åtgärden måste utföras för en långsiktig hållbarhet och möjlighet till kontrollerat underhåll.

Eventuella exceptionella laster, d. v. s. undantagsvis förekommande laster, varaktighet och hur de tidsmässigt sammanfaller med andra negativa faktorer som låga vattenstånd eller höga portryck måste också analyseras så att en relevant bedömning av vad som ska beaktas kan göras.

Ger utredningen en klar bild av vilken typ av problem som kan uppstå kan också mer relevanta beräkningar göras och de beräknade säkerhetsfaktorerna kan tillåtas vara lägre än de som inrymmer fler osäkerheter. Eventuella åtgärder kan också anpassas bättre för den aktuella problemställningen och ges mindre omfattning. Möjlighet ges då också till känslighetsanalyser där kritiska nivåer för yttre laster, vattenstånd, portryck, geometriska förändringar och eventuella hållfasthetsnedsättningar kan beräknas liksom vilka marginaler till dessa nivåer som föreligger.

Till det senare synsättet kan också läggas att de aktuella undersöknings- och beräkningsmetoderna kan "kalibreras" för områden med likartad geologi. Är de naturliga slänterna inom området stabila och utan tecken på skred trots en beräkningsmässig säkerhetsfaktor nära 1,0 med det aktuella förfarandet kan ofta en något lägre säkerhetsfaktor accepteras än vad som kunnat göras utan denna "kalibrering". Detta förfarande måste dock användas med stor försiktighet och förutsätter att utredningen klart visar att jordförhållandena är direkt jämförbara och att inga avvikande skikt eller höga porvattentryck förekommer.

4.5.2 Tillståndsbedömning – totalsäkerhetsfaktorer

4.5.2.1 Förutsättningar

I samband med utförandet av tillståndsbedömningen (stabilitetsutredningen) ska en noggrann värdering av erforderlig säkerhetsfaktor göras och motiveras. Val av erforderlig

säkerhetsfaktor ska baseras på ett antal olika gynnsamma respektive ogynnsamma faktorer som beror på undersökningens omfattning och osäkerheten i beräkningsantagandena. I bedömningen ska ett antal faktorer beaktas. Exempel på förutsättningar som ska beaktas redovisas nedan. Det krävs en högre säkerhetsfaktor om flera av nedanstående relevanta förutsättningar är ogynnsamma. En lägre säkerhetsfaktor kan tillåtas om de flesta relevanta förutsättningar är gynnsamma. Det ska observeras att de olika faktorerna är av olika vikt för olika slänter respektive utredningar. En subjektiv bedömning av viktningen måste göras från fall till fall.

I normalfallet ska störst vikt läggas vid tabell 4.1a med nedåtgående viktning till tabell 4.1i.

Tabell 4.1a Konsekvenser av skred

| <i>Gynnsamma förhållanden</i> | <i>Ogynnsamma förhållanden</i> |
|---|---|
| Ingen risk för människoliv och ringa ekonomisk skada | Risk för människoliv eller stor ekonomisk skada |
| Begränsad utbredning av skred | Risk för bakåt- eller framåtgripande skred |
| Ingen risk för omgivningspåverkan eller sekundär påverkan | Risk för omgivningspåverkan eller sekundär påverkan |
| Ej kvicklera | Kvicklereområde enligt kap 4.4.3 |

Tabell 4.1b Släntens beständighet

| <i>Gynnsamma förhållanden</i> | <i>Ogynnsamma förhållanden</i> |
|--|---|
| Inga tecken på rörelser i slänten | Observerade rörelser i slänten, sprickbildning m m |
| Ingen risk för ytvatten- och/eller yterosion | Risk för erosion/pågående ytvatten- och/eller yterosion |
| Intakt gräs-, busk- eller trädvegetation | Vegetationsfria eller avverkade områden alt. lutande och/eller nedfallna träd |

Tabell 4.1c Tidigare förändringar i slänten

| <i>Gynnsamma förhållanden</i> | <i>Ogynnsamma förhållanden</i> |
|--|------------------------------------|
| Utlagda fungerande erosionsskydd | Pågående erosion |
| Utförda stabilitetsförbättrande åtgärder | Ingrepp som försämrat stabiliteten |
| Belastningsminskningar | Belastningsökningar |
| Ogynnsam reglering av vattendrag | Gynnsam reglering av vattendrag |
| | Avverkning |

Tabell 4.1d Jordens egenskaper

| <i>Gynnsamma förhållanden</i> | <i>Ogynnsamma förhållanden</i> |
|---|--|
| Friktionsjordar | Kohesionsjordar |
| Låg sensitivitet | Hög sensitivitet, kvicklera |
| Liten spridning i bestämda hållfasthetsegenskaper | Stor spridning i bestämda hållfasthetsegenskaper |
| Homogen jord | Skiktade jordar |

Tabell 4.1e Analys- och beräkningsarbetets tillförlitlighet

| <i>Gynnsamma förhållanden</i> | <i>Ogynnsamma förhållanden</i> |
|---|---|
| Stort antal beräknade glidytor | Litet antal beräknade glidytor |
| Känslighetsanalys utförd på valda parametrar | Ingen känslighetsanalys utförd på valda parametrar |
| Samtidigt valda ogynnsammaste extremvärden för last, portryck och vattenstånd. Ringa sannolikhet för att vald kombination inträffar samtidigt | Vald kombination för last, portryck och vattenstånd motsvarar normaltillståndet för slänten |

| | |
|---|--|
| Utförd känslighetsanalys av svårtolkade förutsättningar ger endast ringa förändring på beräkningsresultatet | Utförd känslighetsanalys av svårtolkade förutsättningar ger betydelsefull förändring av beräkningsresultat |
| Kritiska glidytan omfattar mycket stor jordvolym med ett stort antal hållfasthetsbestämningar och mindre glidytor har god beräkningsmässig säkerhet | Kritiska glidytan omfattar mindre jordvolym med ett fåtal hållfasthetsbestämningar |
| Förhållandena är enkla med små variationer i yta, jordlagerföljd eller hållfasthet | Förhållandena är komplicerade med stora variationer i yta, jordlagerföljd eller hållfasthet |
| Glidytons läge i plan vald i farligaste delen av slänten ur stabilitetssynpunkt. | Glidytons läge i plan representerar släntens genomsnittliga geometri. |
| Tvådimensionell analys (som regel något på säkra sidan) | Tredimensionell analys (begränsad erfarenhet för stora slänter) |

Tabell 4.1f Fält- och laboratorieundersökningens innehåll och omfattning

| <i>Gynnsamma förhållanden</i> | <i>Ogynnsamma förhållanden</i> |
|---|--|
| Tätt undersökt, d.v.s undersökningarna ger bra geotekniskt underlag av hela utredningsområdet | Glest undersökt vilket kräver antaganden som påverkar stabilitetsberäkningen |
| CPT-sonderingar är utförda | Endast sonderingar typ Tr, Vim är utförda |
| Stort antal undersökta prover i lab | Litet antal undersökta prover i lab |
| Kompressionsförsök utförda | Kompressionsförsök saknas |
| Direkta skjuvförsök är utförda | Direkta skjuvförsök saknas |
| Triaxialförsök är utförda | Triaxialförsök saknas |
| In situ-provning är utförd med vingförsök och/eller dilatometerförsök | Ingen eller ringa provning i fält (vingförsök och/eller dilatometerförsök) |

Tabell 4.1g Släntens geometri

| <i>Gynnsamma förhållanden</i> | <i>Ogynnsamma förhållanden</i> |
|--|---------------------------------------|
| Välkänd geometri (bra grundkarta, utförda avvägningar, lodningar etc.) | Glest avvägt och/eller lodat |
| Flack slänt | Brant slänt |
| Lokala branta partier finns ej i slänten | Lokala branta partier finns i slänten |

Tabell 4.1h Grundvatten- och portrycksförhållanden

| <i>Gynnsamma förhållanden</i> | <i>Ogynnsamma förhållanden</i> |
|--|---|
| Känslighetsanalys med avseende på grundvatten- och portrycksförhållandena utförd | Känslighetsanalys med avseende på grundvatten- och portrycksförhållandena inte utförd |
| Långtidsobservationer finns | Långtidsobservationer saknas |
| Begränsade förväntade tryckvariationer | Risk för stora tryckvariationer |
| God kännedom om portrycksfördelning såväl med djupet som i slänten som helhet | Ringa kännedom om portrycksfördelningen i slänten |

Tabell 4.1i Ytvattenförhållanden

| <i>Gynnsamma förhållanden</i> | <i>Ogynnsamma förhållanden</i> |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Karaktäristiska vattenstånd är kända | Karaktäristiska vattenstånd är okända |
| Små vattenståndsvariationer | Stora vattenståndsvariationer |
| Långsam förändring i vattenstånd | Hastiga förändringar i vattenstånd |
| Väldränerat och dikat område | Stor risk för lokala vattensamlingar |

4.5.2.2 Markanvändning

Vid bedömning av erforderlig säkerhetsfaktor vid markanvändning för olika ändamål skiljer man på:

✓ **Nyexploatering/nybyggnation**

Avser alla byggnader eller anläggningar som tillkommer genom lov enligt PBL eller annat sätt (vägar, järnvägar, ledningar i mark, hamnar etc) samt förändringar i form av t.ex. om- och tillbyggnader där konsekvenser av ett skred eller ras är betydande eller mycket stora med avseende på ekonomiska, sociala eller miljömässiga konsekvenser t ex allmänna byggnader, bostads- och kontorsbyggnader, parkeringar, idrottsanläggningar, vägar och järnvägar.

✓ **Nyexploatering/Planering**

Avser tidiga skeden i fysisk planering, t ex detaljplaner, av byggnader och anläggningar som tillkommer genom planläggning enligt PBL eller annat sätt (vägar, järnvägar, ledningar i mark, hamnar, kanaler etc).

✓ **Befintlig bebyggelse eller anläggning**

Tidigare exploaterade områden där konsekvenser av ett skred eller ras är betydande eller mycket stora med avseende på ekonomiska, sociala eller miljömässiga konsekvenser t ex allmänna byggnader, bostads- och kontorsbyggnader, parkeringar, idrottsanläggningar, vägar och järnvägar. Varje form av tilläggsbelastning eller nyanläggning inom området betraktas som nyexploatering.

✓ **Annan mark**

Med annan mark avses markanvändning som endast medför dagvistelse och/eller anläggningar av mindre betydelse. Exempel är parker, befintliga gång-, cykel- och mopedvägar (GCM-vägar), bodar, garage, andra ledningar än huvudledningar samt frekvent använda fritidsområden och områden med små miljömässiga konsekvenser av skred.

✓ **Naturmark**

Naturmark avser mark som endast utnyttjas för dagvistelse av enstaka personer och som inte inrymmer några anläggningar av betydelse.

För naturmark tillåts säkerhetsfaktorn i princip vara nära 1,0 förutsatt att eventuella skred är ytliga, att skreden inte kan bli framåt- eller bakåtgripande så att angränsande markanvändningsområden berörs, eller att stabiliteten för denna påverkas, samt att inga miljökonsekvenser, eller annan påverkan på andra områden uppstår.

För de olika markanvändningstyperna ställs olika krav på erforderlig säkerhetsfaktor med hänsyn till den risk för personskada och materiell eller miljömässig förlust som är involverad. Ur denna synvinkel bör nyexploatering och befintlig bebyggelse jämföras. Motivet till att en något lägre säkerhetsfaktor ändå under vissa förhållanden kan accepteras för befintlig bebyggelse är att det ur samhällsekonomisk synpunkt är viktigt att använda rimliga risker som mål med en åtgärd. Härvid kan då bl.a. beaktas att de osäkerhetsmoment som är förknippade med belastningsökningar och vibrationer vid pågående anläggningsarbeten är eliminerade samt att strängare restriktioner för framtida verksamheter införs.

4.5.2.3 Erforderlig säkerhetsfaktor

Erforderlig säkerhetsfaktor väljs beroende på utredningens och undersökningarnas omfattning och konsekvensen av skred vilken beror på markanvändningen.

Vid **geotekniska besiktningar och överslagsberäkningar** ska hållfasthet och porvattentryck väljas på ett sätt som bedöms vara klart på säkra sidan. Med dessa parametrar och det begränsade underlag som då finns för överslagsberäkningarna krävs att $F_{c\phi} > 1,5$ samt för kohesionsjord att $F_c > 2$. Användande av överslagsberäkningar förutsätter i sig att släntens jordlagerförhållanden, topografi och portrycksbild är relativt enkla. Höga krav är ställda för att man på detta vis på ett tidigt stadium ska kunna urskilja klara fall som kan klassificeras som stabila och därmed sorteras bort från vidare utredning. De höga kraven är också baserade på att man vid överslagsberäkningar inte kan utföra kombinerade analyser som alltid ger lägsta säkerhetsfaktor. Varje form av nyexploatering måste dock föregås av minst "detaljerad utredning" i enlighet med detta dokument eller TD Slänter och bankar.

På basis av den **detaljerade utredningen** kan området/slänten klassificeras som tillfredställande stabilt/stabil om säkerhetsfaktorerna för både odränerad analys (F_c) och kombinerad analys (F_{komb}) enligt tabell 4.2 är uppfyllda. Erforderliga säkerhetsfaktorer inom spannen bedöms utifrån aktuella förutsättningar med hänsyn till ogynnsamma och gynnsamma förhållanden. I sand bör F_ϕ vara lägst 1,3.

För en **fördjupad utredning** ska bedömningsunderlaget vara mer omfattande för att kraven på erforderliga säkerhetsfaktorer ska kunna sänkas något. För befintlig bebyggelse kan lägre värden enligt tabell 4.2 eller procentuell förbättring enligt kapitel 4.5.2.4 accepteras under förutsättning att restriktioner införs för markens nyttjande.

För kohesionsjord gäller att såväl odränerade som kombinerade analyser ska utföras och att såväl kraven på F_c som på F_{komb} ska vara uppfyllda. Undantagen är överslagsberäkningar vid den geotekniska besiktningen där dock såväl dränerade som odränerade analyser ska göras och såväl kraven på $F_{c\phi}$ som F_c ska vara uppfyllda undantaget är också beräkningar för mycket kortvariga lastfall som med säkerhet kan antas vara odränerade.

Tabell 4.2 Val av rekommenderad säkerhetsfaktor

| | | Markanvändning | | | |
|---------------------|-----------------------|---|---|---|---|
| | | Nyexploatering | | Befintlig bebyggelse och anläggning | Annan mark |
| | | Nybyggnation | Planläggning | | |
| Tillståndsbedömning | Översiktlig utredning | <i>Ej tillämpligt för denna rapport</i> | Minst detaljerad utredning ska utföras | $F_c > 2 +$ $F_{\phi} > 1,5$ | $F_c > 2 +$ $F_{\phi} > 1,5$ |
| | Detaljerad utredning | | $F_c \geq 1,7-1,5 +$ $F_{komb} \geq 1,5-1,4$ $F_{\phi} \geq 1,3$ (sand) | $F_c \geq 1,7-1,5 +$ $F_{komb} \geq 1,5-1,3$ $F_{\phi} \geq 1,3$ (sand) | $F_c \geq 1,6-1,4 +$ $F_{komb} \geq 1,4-1,3$ $F_{\phi} \geq 1,3$ (sand) |
| | Fördjupad utredning | | $F_c \geq 1,5-1,4 +$ $F_{komb} \geq 1,4-1,3$ $F_{\phi} \geq 1,3$ (sand) | $F_c \geq 1,4-1,3 +$ $F_{komb} \geq 1,3-1,2$ $F_{\phi} \geq 1,3$ (sand) Under förutsättning att restriktioner införs | $F_c \geq 1,3-1,2 +$ $F_{komb} \geq 1,2$ $F_{\phi} \geq 1,2$ (sand) |
| Projektering | | Dimensionering utförs enligt TD "Slänter och bankar" alternativt TK Geo | Beroende på utredningsnivå, F_c och F_{komb} enligt tabellvärde ovan | Stabilitetsförbättrande åtgärd enligt kap 4.5.2.4 alternativt TD "Slänter och bankar" / TK Geo | |

Inom befintliga bebyggelseområden ska man sträva efter att höja säkerheten till en nivå motsvarande rekommendationerna vid nyexploatering. I den mån inte säkerheten når upp till minimikraven ska förstärkningsåtgärder vidtas. Detta gäller även annan mark.

I tidiga skeden i byggprocessen t ex i samband med detaljplaner i den kommunala planprocessen är normalt inte lasters eller konstruktioners exakta lägen eller storlek bestämda utan enbart angivna med olika områdesgränser för t ex verksamhetsområde, möjlig byggrätt, trafikområde etc. I detta skede får totalsäkerhetsmetod användas för klassificering av naturliga slänter för att bedöma om marken är lämplig eller inte för ändamålet enligt PBL eller motsvarande regelverk för infrastruktur d.v.s. om förslaget kan visa att slänten utan eller med en åtgärd har tillräcklig totalsäkerhet mot stabilitetsbrott inklusive omgivningspåverkan och eventuella sekundära effekter. I detta skede får inte metodiken med procentuell förbättring enligt kapitel 4.5.2.4 tillämpas. Den geotekniska utredningen ska utföras som minst en detaljerad utredning.

Mycket långa och djupa glidytor, som därmed omfattar mycket stora jordvolym, utgör en speciell kategori. Stabiliteten för dessa glidytor är i sig normalt inte känslig för osäkerheter i yttre laster, markytans geometri, vegetation, erosion, normala variationer i grund- och ytvatten m.m. Bedömningen av jordens skjuvhållfasthet baseras också ofta på resultaten från ett stort antal undersökningspunkter och hållfasthetsbestämningar. Att åtgärda en otillfredsställande beräknad säkerhetsfaktor med en procentuell förbättring kan i dessa fall kräva mycket stora ingrepp och kostnader. För denna typ av glidytor kan man efter kompletterande fördjupade undersökningar tillåta säkerhetsfaktorer som ligger i underkanten av de rekommenderade. På motsvarande sätt bör kraven på stabilitetsförbättrande åtgärder kunna modifieras något. En absolut förutsättning är dock att det inom området inte finns

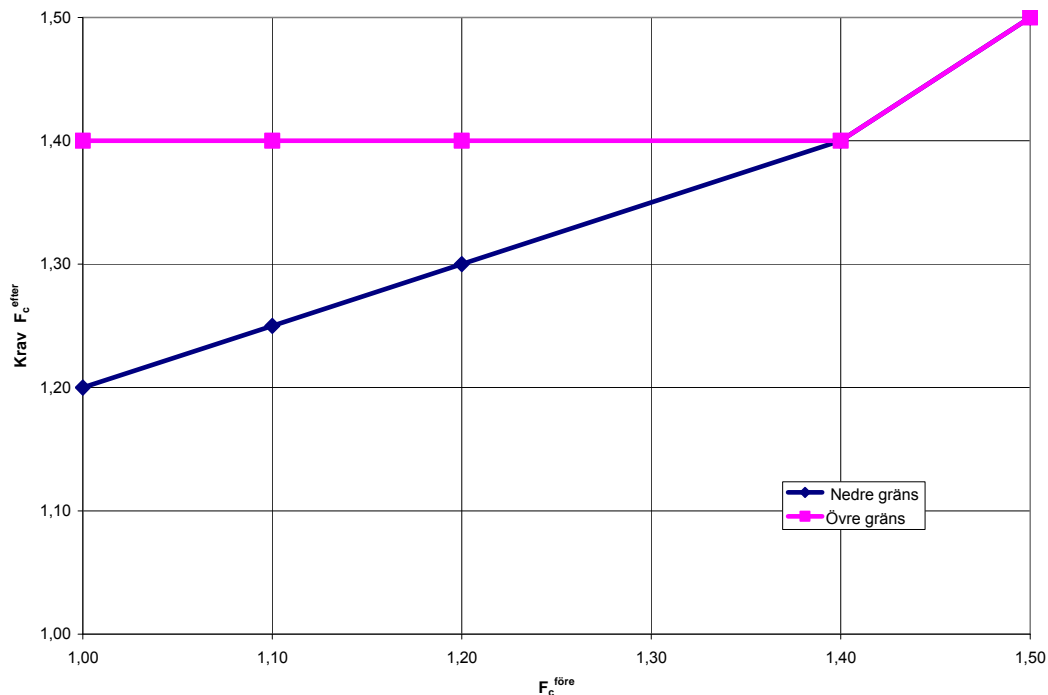
några ansträngda partier eller att det pågår eller planeras anläggningsaktiviteter som skulle kunna medföra en lokal partiell nedbrytning av hållfastheten eller att pågående erosion vid släntfoten skulle kunna förorsaka lokala skred. I båda fallen skulle detta förändra förutsättningarna för den stora glidyttans stabilitet och dessutom kunna leda till en progressiv skredutbredning som skulle kunna komma att omfatta hela området

4.5.2.4 Procentuell förbättring av säkerhetsfaktor (kapitel 6, 7 SR 2:96)

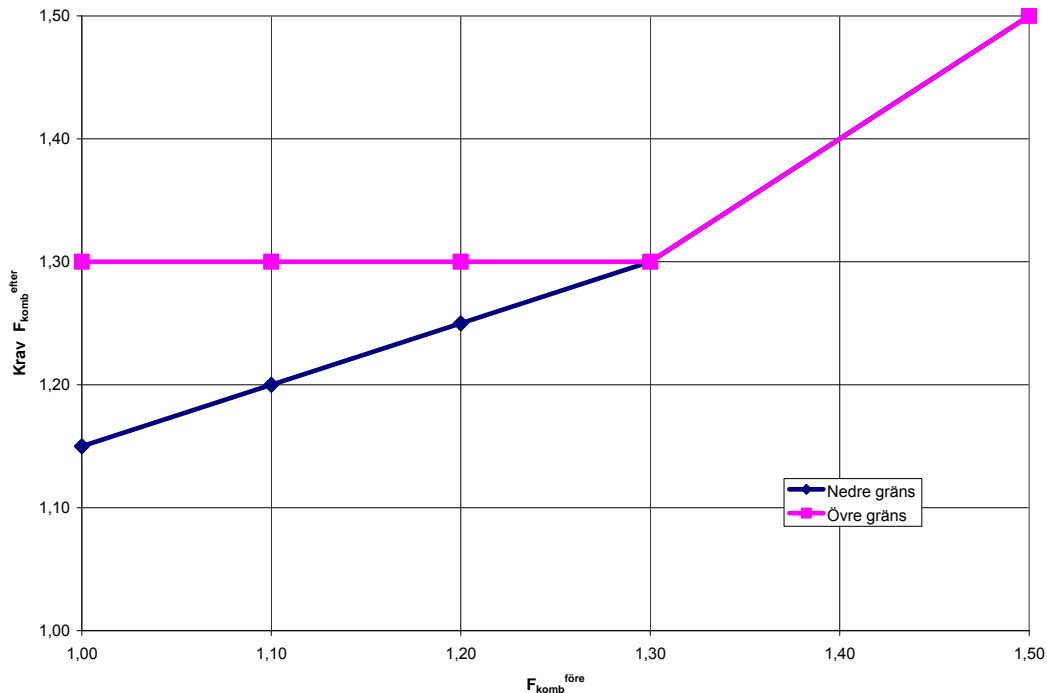
Tillägg till SR 2:96 kap 6 och 7

Ur ett samhällsekonomiskt perspektiv kan det vara svårt att för befintliga byggnader och anläggningar nå upp till de krav som ställs vid nyexploatering. En åtgärd för procentuell förbättring av säkerhetsfaktorn mot stabilitetsbrott är en metodik med målet att minska risken för brott och därmed skydda befintliga anläggningar. Syftet med åtgärden är således att det ska vara möjligt att behålla det som redan finns idag i form av befintliga byggnader och anläggningar som finns i anslutning till naturliga slänter.

En lägre beräknad säkerhetsfaktor än vad som redovisas i tabell 4.2 kan tillåtas om restriktioner införs om att ingen försämring av stabiliteten får ske.. Metodiken gäller enbart för *befintlig bebyggelse eller anläggning samt annan mark om fördjupad utredning har utförts*. Säkerhetsfaktorer enligt figur 4.1a och 4.1b kan då tillämpas.



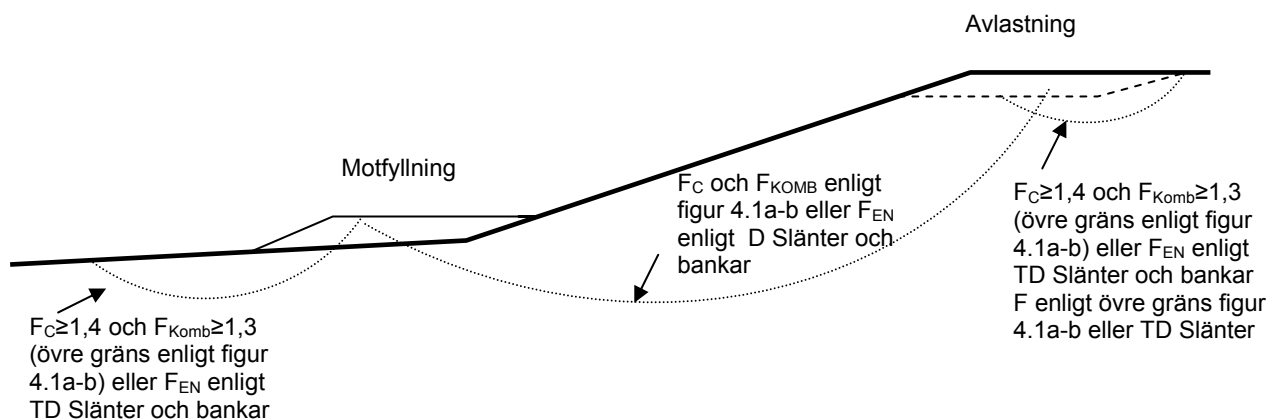
Figur 4.1a. Rekommenderad minsta totalsäkerhet efter åtgärdskrav (odränerad analys)



Figur 4.1b. Rekommenderad minsta totalsäkerhet efter åtgärdskrav (kombinerad analys)

Osäkerheten i indata till stabilitetsanalysen ligger inom det område som anges mellan de olika linjerna, övre respektive nedre gräns. För teoretiskt beräknade säkerhetsfaktorer mindre än 1 ska säkerhetsfaktorn efter åtgärd i absolutvärden minst uppfylla kravet på förbättring för $F^{före} = 1$. Inom området mellan övre respektive undre gräns ska positiva och negativa faktorer värderas i enlighet med kapitel 4.5.2.1 för val av erforderlig säkerhetsfaktor.

Metodiken gäller enbart för den glidyta som har otillräcklig stabilitet och inte för potentiella glidytor till följd av de enskilda åtgärderna. Åtgärden kan lokalt innebära en minskning av säkerhetsfaktorn innan åtgärd, t ex för bakslänten till alternativet avschaktning. Denna lokala glidyta ska efter och under åtgärd uppfylla antingen reglerna för nybyggnation eller minst en säkerhetsfaktor enligt den övre gränsen i Figur 4.1a respektive 4.1, se exempel figur 4.2. Om konstruktionen faller inom Eurocodes regelverk ska denna dimensioneras enligt Boverkets föreskrifter. Bedömning ska göras från fall till fall beroende på typ av byggnadsverk.



Figur 4.2 Illustration av säkerhetskrav för olika glidytor vid procentuell förbättring

4.6 Dimensionering genom observationsmetoden

I de fall som metoden är tillämplig hänvisas till TD Slänter och bankar [10] och TD Observationsmetoden [19]

4.7 Geoteknisk kategori

Geoteknisk kategori 1- 3 beror av vilken typ av konstruktion som avses och definieras i TD Grunder. För naturliga slänter beror utredningsnivån på den geotekniska komplexiteten och stabilitetsförhållandena. Oavsett vilken geoteknisk kategori som används kan utredningsnivån vara översiktlig, detaljerad eller fördjupad.

För GK 2 - 3 gäller att krav på att oberoende granskare ska finnas eller ej beaktas utifrån den geotekniska problemställningen och konsekvensen av ett eventuellt brott.

4.8 Säkerhetsklass

Inte tillämpbar för denna skrift. För åtgärder enligt partialkoefficientmetod se TD Slänter och bankar [10].

5 Materialkrav

Krav på material m m för eventuella åtgärder ska inhämtas från de Tillämpningsdokument (IEG) som är aktuella för konstruktionen.

6 Utförande

För utförande av stabilitetsförbättrande åtgärd som hänförs till detaljerad eller fördjupad utredning ska objektspecifik utförandeplanering utföras. Till denna ska vara kopplat ett kontroll- och åtgärdsprogram. De beräkningar som utförts under projekteringsfasen ska återspegla den arbetsordning som är nödvändig i utförandeskedet. Arbetsordningen ska tillse att intentionerna i projekteringen efterföljs och att arbeten utförs med tillräcklig säkerhet i byggskedet. Om arbetsordning eller andra förutsättningar förändras under utförandeskedet ska detta kontrolleras och godkännas av ansvarig geotekniker.

7 Uppföljning och kontroll

Program för uppföljning, kontroll och åtgärder ska alltid upprättas för att verifiera förutsättningar och antaganden i projekteringsfasen. För de parametrar som ska följas upp och kontrolleras ska relevanta gränsvärden tas fram. För åtgärden ska omgivningspåverkan kontrolleras.

Det rekommenderas att riktlinjer enligt TD Slänter och bankar [10] följs.

För befintlig bebyggelse där säkerhetsfaktorer enligt procentuell förbättring eller fördjupad utredning enligt tabell 4.2 tillämpas ska restriktioner för markens nyttjande införas.

8 Dokumentation

IEG:s tillämpningsdokument innebär att geotekniska fält- och laboratorieundersökningar ska redovisas i en Markteknisk undersökningsrapport (MUR).

Beräkningar, antaganden och analyser som genomförs i de olika skedena i ett projekt ska redovisas i Projekterings PM Beräkningar, som i princip motsvarar vad som anges i

Skredkommissionens anvisningar. Denna PM ska, beroende på vad som är relevant, bl.a. innehålla information om underlag för utredning, utredningens syfte, markförhållanden, sammanställning av härledda och empiriska värden, redovisning av beräkningar inklusive gjorda antaganden, känslighetsanalyser, motivering av valda säkerhetsfaktorer, rekommendationer, förslag till kontrollprogram med underlag för bedömning av gränsvärden samt uppgift om kvalitetsgranskning. Se IEG:s rapport 4:2008 [11].

Projekterings PM Beräkningar kan när det är lämpligt kompletteras med en separat Projekterings PM Fördjupad Riskanalys, som t.ex. kan innehålla en utförlig värdering och beräkning/bedömning av förväntad omgivningspåverkan med avseende på rörelser, vibrationer, buller, föroreningar och grundvatten

9 Referenser

- [1] Skredkommissionen (1995), Anvisningar för slänstabilitetsutredningar, Rapport 3:95
- [2] Skredkommissionen (1996), Förstärkningsåtgärder i silt- och lerslänter. Rekommendationer för dimensionering och projektering, Rapport 2:96
- [3] SGI (2007), Skjuvhållfasthet- utvärdering i kohesionsjord, Information 3
- [4] SGI (2007) CPT-sondering-utrustning-utförande-utvärdering, Information 15
- [5] SGI (1998), Siltjordars egenskaper, Information 16
- [6] SGI (2007), Sulfidjord – geoteknisk klassificering och odränerad skjuvhållfasthet, Rapport 69
- [7] SGI (1989), Hållfasthet i friktionsjord, Information 8
- [8] SGI (1990), Mätning av grundvattennivå och portryck, Information 11
- [9] SGF (2004), Notat 2:2004
- [10] IEG (2008), Tillämpningsdokument Slänter och bankar, Rapport 6:2008 Rev1
- [11] IEG (2008), Tillämpningsdokument Dokumenthantering, Rapport 4:2008
- [12] IEG (2008); Tillämpningsdokument Grunder; Rapport 2:2008, rev 2
- [13] Trafikverket (2009), TKGeo
- [14] Vägverket Region Väst. Vägbyggande med hänsyn till omgivningens stabilitet, Dnr AL90B 2007:27435, SGI slutrapport 080529
- [15] BFS 2008:8-EKS 1, Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder)
- [16] SGI (2008) Erosion och sedimenttransport i vattendrag, Varia 592
- [17] Trafikverket, Borlänge (prel .2011) Erosionsskydd i strömmande vatten, Bengtsson, D., Löfling P., Johansson, N. (beräknas att ges ut 2011)
- [18] SGI (2002), Slå rot - och väx upp eller Vegetation som förstärkningsmetod, K Rankka <http://www2.msb.se/Shopping/pdf/19694.pdf>
- [19] IEG (2010); Tillämpningsdokument Observationsmetoden i Geotekniken, Rapport; 9:2010

Bilaga A Beräkningsexempel lös kohesionsjord

A.1 Inledning och problemställning

En lerslänt mellan ett industriområde med befintlig bebyggelse och ett vattendrag har analyserats både i en översiktlig stabilitetsutredning och en i detaljerad stabilitetsutredning och stabiliteten har konstaterats vara otillfredsställande enligt Skredkommissionens Rapport 3:95 (SR 3:95).

Den befintliga bebyggelsen omfattas främst av industribyggnader med tillhörande parkerings- och uppställningsytor.

Utredningen är nu inne i ett fördjupat skede och stabiliserande åtgärd ska dimensioneras.

A.2 Geotekniskt underlag

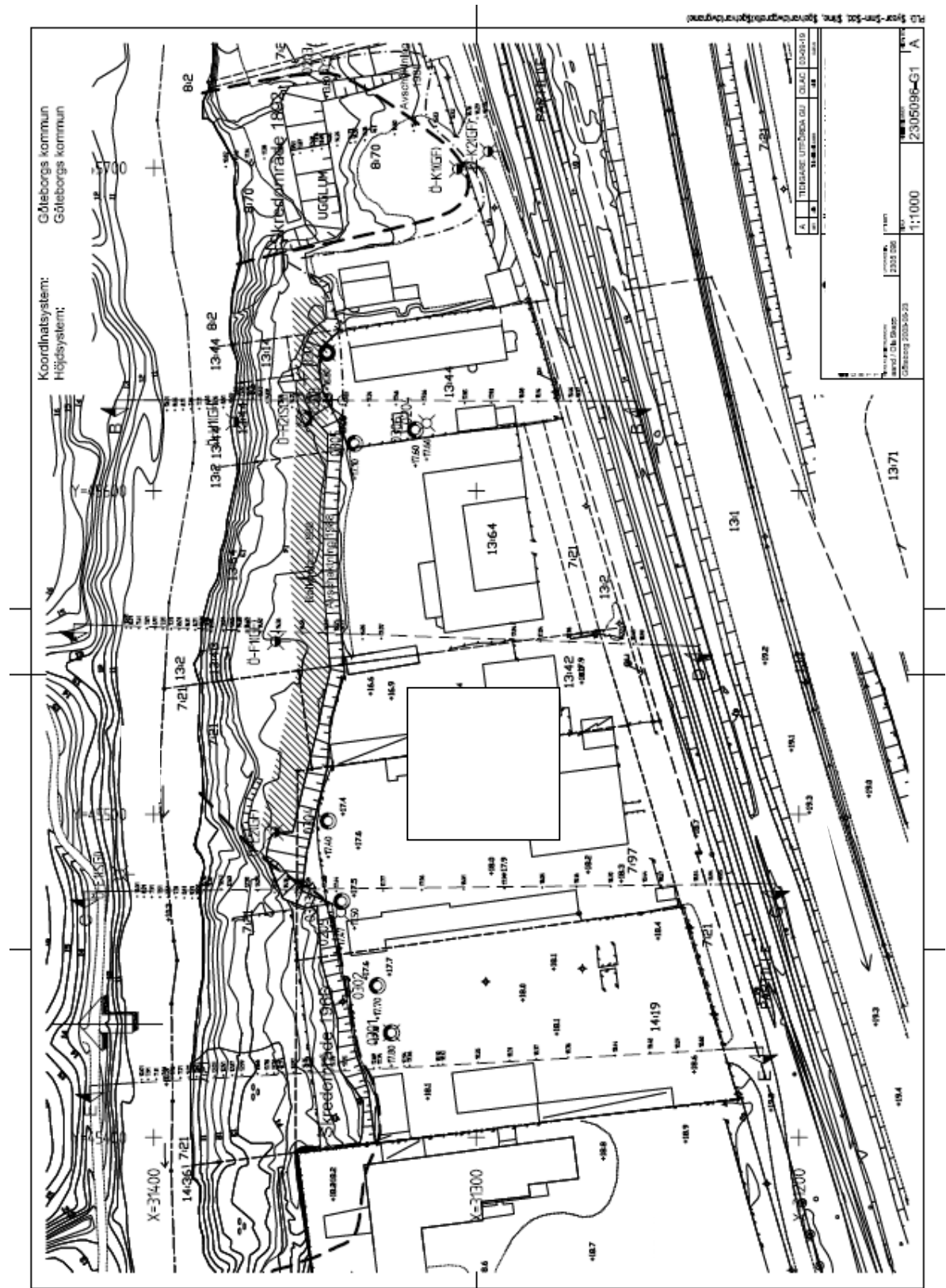
Det geotekniska underlaget i utredningen är relativt omfattande med anledning av tidigare genomförda stabilitetsutredningar. Underlaget finns inte redovisat i någon MUR eftersom undersökningarna i det aktuella exemplet baseras på ett äldre praktiskt fall.

Undersökningar gjorda i området, både i denna utredning samt tidigare, finns redovisade i figur A.1.

Antalet undersökningar inom området är fler än fem och utgörs av trycksonderingar, skruvprovtagningar, portrycksmätningar, vingborrförsök och kolvprovtagning. På upptagna ostörda prover har i laboratorium rutinförsök samt crs-, skjuv och triaxialförsök utförts.

I fyra sektioner har inmätning av markytan samt lodning av å-botten utförts.

Inom området har det tidigare inträffat skred. Kända skred har ägt rum under 1890- samt 1960-talet.



Figur A.1 Sammanställning av undersökningar i området.

A.3 Beräkningsförutsättningar

Beräkningarna följer beräkningsgång enligt kap 4 och SR 3:95 samt avsnitt 4.3.1.1 i Tillämpningsdokument Slänter och bankar [10] nedan benämnd TD SoB.

Beräkningarna genomförs för att kontrollera släntens stabilitet samt dimensionera avschaktning som stabiliserande åtgärd. Dimensioneringen genomförs för brottgränstillstånd. Stabilitetsberäkningarna har utförts i programmet SLOPE/W ver 5.14 med Bishop's metod för cirkulärcylindriska glidytor. Stabilitetsanalyserna har utförts som odränerade samt kombinerade.

Ingen kvicklera har påträffats i området.

A.3.1 Beräkningsförutsättningar enligt kap 4 samt SR 3:95

Markanvändning

Befintlig bebyggelse och anläggning samt annan mark.

Utredningsskede

Fördjupad utredning.

Rekommenderad erforderlig säkerhetsfaktor

Värdering av ogynnsamma och gynnsamma förhållanden enligt tabell 4.1 a-e som inverkar på erforderlig säkerhetsfaktor i den aktuella slänten:

Risk för människoliv och ekonomisk skada (-)

Ingen kvickera (+)

Begränsad utbredning av skred (+)

Inga tecken på rörelser i slänten (+)

Tidigare skred i området (-)

Ingen pågående erosion (+)

Reglering av vattendrag (+)

Kohesionsjord (-)

Relativt liten spridning av hållfasthetsegenskaper (+)

Homogen jord (+)

Samtidigt valda ogynnsamma extremvärden på last, portryck och vattenstånd (+)

Litet antal beräknade glidytor (-)

Ödometerförsök utförda (+)

Direkta skjuvförsök utförda (+)

Triaxialförsök utförda (+)

Långtidsobservationer av portryck saknas (-)

Karakteristiska vattenstånd är kända (+)

Procentuell förbättring kan tillämpas då det är befintliga anläggningar och en fördjupad stabilitetsutredning utförs. Sammanlagd värdering har gett att den undre gränsen i figur 4.1a respektive 4.1b kan väljas. Erforderlig säkerhetsfaktor baseras på ursprunglig slänts säkerhetsfaktor för befintliga förhållanden, se kap A.5.1

Dimensionerande ytlast

Den permanenta dimensionerande lasten är 10 kPa (lätta byggnader) och den temporära 5 kPa (p-yltor)

A.3.2 Beräkningsförutsättningar enligt TD SoB

Dimensioneringsätt: DA3

Val av säkerhetsklass

Säkerhetsklassen har valts till SK2 med anledning av att risk för allvarlig personskada finns men den kan inte anses vara hög.

Partialkoefficienter och erforderlig säkerhetsfaktor F_{EN}

Partialkoefficienter för säkerhetsklass och jordmaterial:

- Säkerhetsklass $\gamma_d = 0,91$
- Friktionsvinkel ($\tan \phi'$) $\gamma_{\phi'} = 1,3$
- Effektiv kohesion $\gamma_{c'} = 1,3$
- Odränerad hållfasthet $\gamma_{cu} = 1,5$
- Tunghet (γ) $\gamma_\gamma = 1,0$

Partialkoefficienten för vattenstånd är 1,0 (avsnitt 3.4.4 i TD SoB).

Krav på säkerhetsfaktorn F_{EN} i säkerhetsklass 2 är $F_{EN} = 1,0$.

Val geoteknisk kategori

Åtgärden som ska dimensioneras kan anses vara konventionell. Mark- eller lastförhållandena är inte av svår karaktär och ingen högsensitiv lera finns i området. Geoteknisk kategori väljs till GK2. Kraven som ställs för respektive kategori är väl uppfyllda, i denna utredning till och med GK3 eftersom underlaget utgörs av en fördjupad utredning.

Dimensionerande laster

Lasterna i aktuell sektion har antagit utgöras av en permanent last om 10 kPa (byggnader) samt en temporär last närmast släntrönn på 5 kPa (hårdgjorda ytor med eventuella temporära massupplag, uppställningar av fordon etc.). Detta var den lastsituation som användes vid de tidigare beräkningarna enligt SR 3:95. Dessa laster ska nu överföras till laster i enlighet med IEG's anda.

Laster och lasteffekter i brottgränstillstånd beskrivs i avsnitt 4.2.3 i TD Slänter och Bankar. För säkerhetsklass 2 gäller följande ekvation för geoteknisk last:

$$\text{Geoteknisk last} = 0,91 \cdot 1,1 G_{kj} + 0,91 \cdot 1,4 Q_{kj} = 1,00 \cdot G_{kj} + 1,27 \cdot Q_{kj}$$

där G_{kj} är den permanenta lasten och Q_{kj} den variabla.

De ovan angivna antagna lastvärdena är av den storleken som ofta antas som karakteristiska värden vid en totalsäkerhetsanalys enligt andan i TKGeo. Dessa ska därför inte direkt översättas till att utgöra de karakteristiska lasterna G_{kj} och Q_{kj} . Det dimensionerande värdet för den temporära (variabla) lasten har därför antagits vara 5 kPa.

Sammanfattningsvis har den permanenta dimensionerande lasten valts till 10 kPa och den temporära till 5 kPa.

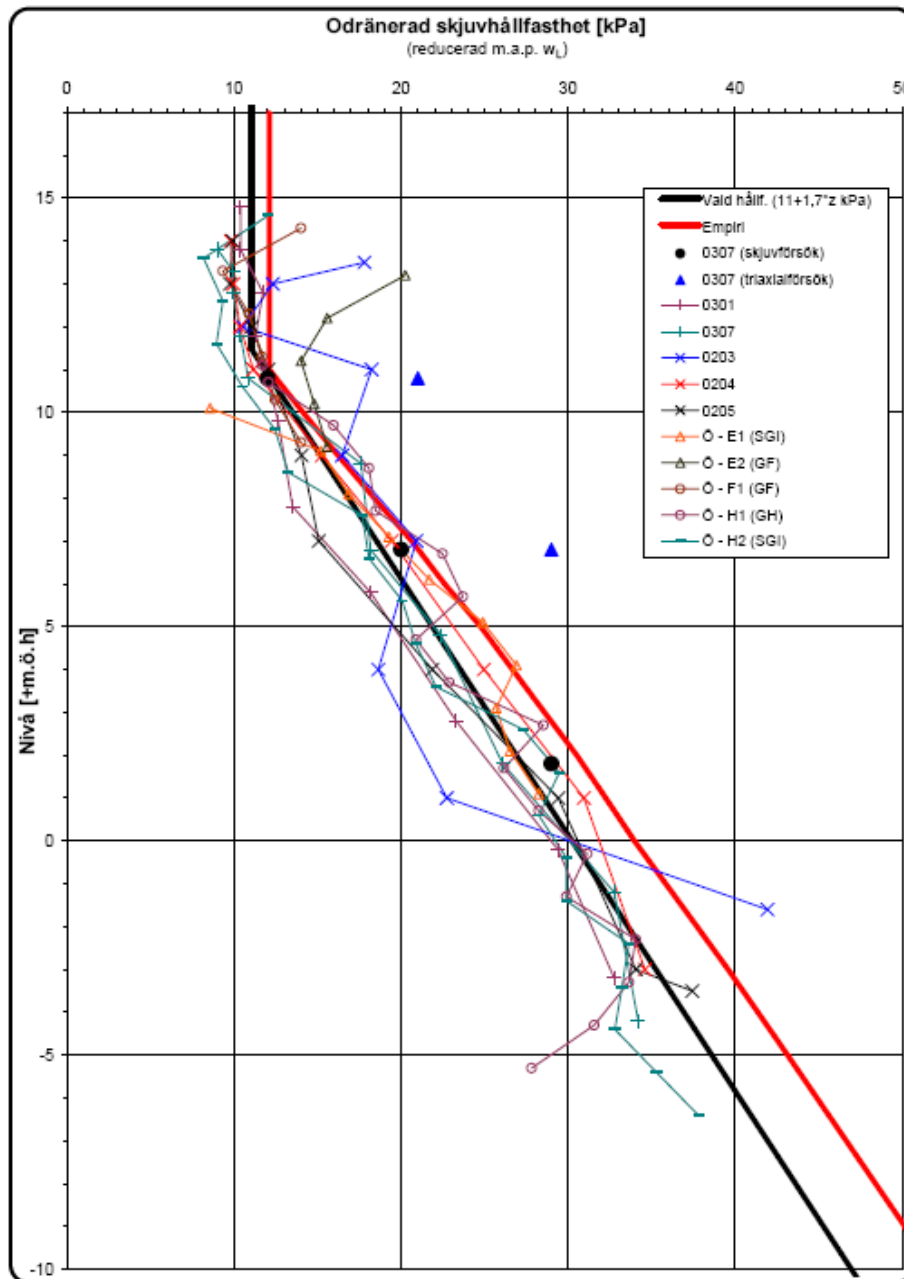
A.4 Dimensionerande jordegenskaper

A.4.1 Härladda och dimensionerande värden enligt kap 4 och SR 3:95

Utvärdering av c_u

En sammanställning av utförda hållfasthetsbestämningar kan ses i figur A.2.

Fördjupad stabilitetsutredning
Sammanställning av vingförsök etc.



Figur A.2 Hållfasthetsbestämningar i aktuellt område.

Utvärderingarna resulterade i ett härlett värde för odränerad hållfasthet på 11 kPa ner till nivå +11,5 m och därefter ökar hållfastheten med 1,7 kPa/m.

Hållfastheten i ovanliggande torrskorpa (ca 2 m, ner till nivå +16) har antagits vara 11 kPa. Anisotropi, enligt avsnitt 4.2, har tillgodoräknats vid stabilitetsanalyserna. Funktionen för $K_0=0,7$ har ansatts. Inga förändringar i funktionen har gjorts.

Utvärdering av c' och ϕ'

De dränerade hållfasthetsparametrarna utvärderas empiriskt enligt SR 3:95:

$$\phi' = 30^\circ$$

$$c' = 0,1 \times c_u$$

Tunghet

$$\gamma_{\text{torrskorpa}} = 16 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{\text{lera}>+11,5\text{m}} = 15,5 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{\text{lera}<+11,5\text{m}} = 16 \text{ kN/m}^3$$

Grundvatten och portryck

Utförda mätningar i området visar på en hydrostatisk portrycksprofil från grundvattenytan som ligger 1,0-1,5 m under markytan.

Känslighetsanalyser för stabilitetsberäkningarna visar att det är den odränerade analysen som är styrande och därför har ingen prognostisering gjorts av portrycksförhållandena i detta fall. Om det är av betydelse för stabiliteten ska prognostisering utföras enligt avsnitt 4.3.

Yttre vattenstånd

Som dimensionerande värde på vattennivån har +LLW valts, +9,8m.

A.4.2 Dimensionerande värden enligt TD SoB

Generellt gäller att det dimensionerande värdet beräknas i de fall ett lågt värde är ogynnsamt enligt:

$$X_d = \frac{1}{\gamma_M} \cdot \eta \cdot \bar{X}$$

Utvärdering av η

Antalet oberoende undersökningar är fler än fem vilket ger

$$\eta_{1,2} = 1,0 \quad \text{enligt tabell 3.3a i TD SoB}^1.$$

Avancerade laboriemetoder såsom skjuvförsök samt empiri bekräftar resultat från två andra metoder som har en relativt normal till liten spridning. Ovanstående ger

$$\eta_3 = 1,1 \quad \text{enligt tabell 3.4a i TD SoB.}$$

Skjuvhållfastheten längs en stor glidyta representeras av medelvärdet i jordvolymen. Brottytans läge ligger i nära anslutning till undersökningspunkterna. Detta ger

$$\eta_{4,5,6,7} = 1,0 \quad \text{enligt tabell 3.5 i TD SoB.}$$

För dimensionering av slänter och bankar sätts $\eta_8 = 1,0$ (enligt avsnitt 3.4.1 i TD SoB).

Detta resulterar sammantaget i $\eta_{cu'} = 1,1$.

$$\eta_{\phi'} = \eta_{c'} = 1,0 \quad \text{enligt avsnitt 3.4.1 i TD SoB.}$$

$$\eta_{\gamma'} = 1,0 \quad \text{enligt avsnitt 3.4.3 i TD SoB.}$$

¹ Tillämpningsdokument Slänter och Bankar (IEG rapport)

Odränerad hållfasthet

Det dimensionerande värdet blir

$$c_{ud} = \frac{1}{\gamma_{cu}} \cdot \eta_{cu} \cdot \bar{c}_u = \frac{1}{1,5} \cdot 1,1 \cdot \bar{c}_u$$

vilket ger

$$c_{ud} = 8 \text{ kPa} \quad +11,5 < z < +16 \text{ m}$$

och

$$c_{ud} = 8 \text{ kPa} + 1,25 \text{ kPa/m} \quad z < +11,5$$

Anisotropi har tillgodoräknats vid stabilitetsanalyserna. Funktionen för $K_0=0,7$ har ansatts. Inga förändringar i funktionen har gjorts.

Dränerad hållfasthet

$$\phi'_d = \tan^{-1} \left(\frac{1}{\gamma_{\phi'}} \cdot \eta_{\phi'} \cdot \tan \phi' \right) = \tan^{-1} \left(\frac{1}{1,3} \cdot 1,0 \cdot \tan 30 \right) = 23,9^\circ$$

$$c'_d = \frac{1}{\gamma_{c'}} \cdot \eta_{c'} \cdot 0,1 \cdot \bar{c}_u = \frac{1}{1,3} \cdot 1,0 \cdot 0,1 \cdot \bar{c}_u = 0,07 \cdot \bar{c}_u$$

Tungheter

$$\gamma_d = \gamma_\gamma \cdot \eta_\gamma \cdot \bar{\gamma} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot \bar{\gamma} = \bar{\gamma}$$

vilket ger

$$\gamma_{torrskorpa} = 16 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{lera>+11,5m} = 15,5 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{lera<+11,5m} = 16 \text{ kN/m}^3$$

Grundvatten och portryck

Utförda mätningar i området visar på en hydrostatisk portrycksprofil från grundvattenytan, 1,0-1,5 m under markytan.

Eftersom stabilitetsanalyserna visar på att det är den odränerade analysen som är styrande så har ingen prognostisering gjorts. Om dränerad analys är av betydelse för stabiliteten ska prognostisering utföras enligt avsnitt 3.4.4 och 3.2.1 i TD SoB.

Yttre vattenstånd

Som dimensionerande värde på vattennivån har +LLW valts (+9,8m) utifrån avsnitt 3.4.4 i TD SoB.

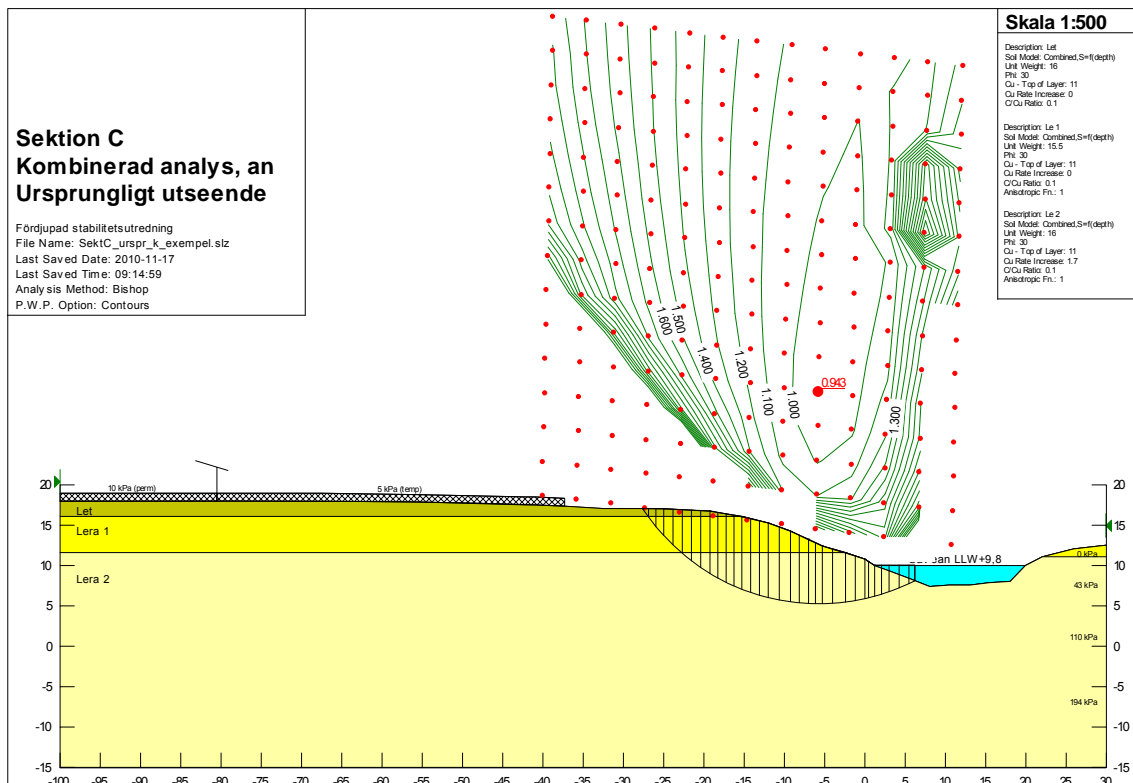
A.5 Dimensionering i brottgränstillstånd

Stabilitetsberäkningarna har utförts med förutsättningar enligt ovan. Den ursprungliga släntens totalstabilitet beräknas enligt kap 4 och SR 3:95. Vid dimensionering av stabiliserande åtgärd ska de lokala slänterna kontrolleras så att IEG:s rekommendationer uppfylls, dvs $F_{EN} > 1,0$ alternativt enligt kap 4.5.2.4.

Nedan redovisas beräkning i en sektion i det aktuella området, sektion C. I avsnitt A5.3 redovisas en sammanställning av alla beräkningssektioner inklusive jämförelse med beräkning enligt TD SoB.

A.5.1 Ursprunglig slänt

Säkerhetsfaktorn för den ursprungliga slänten är enligt totalsäkerhetsmetoden $F_c = 0,98$ och $F_{komb} = 0,94$, se figur A.3. Värdering av ogynnsamma och gynnsamma förhållanden enligt kapitel A.3.1 ger att rekommenderad säkerhetsfaktor enligt procentuell förbättring väljs till $F_c = 1,2$ och $F_{komb} = 1,15$ enligt Figur 4.1a respektive 4.1b. Detta baserat på ursprunglig slänts säkerhetsfaktor för befintliga förhållanden. Stabiliteten är inte tillfredställande utifrån krav på erforderlig säkerhetsfaktor. Åtgärd behöver dimensioneras.



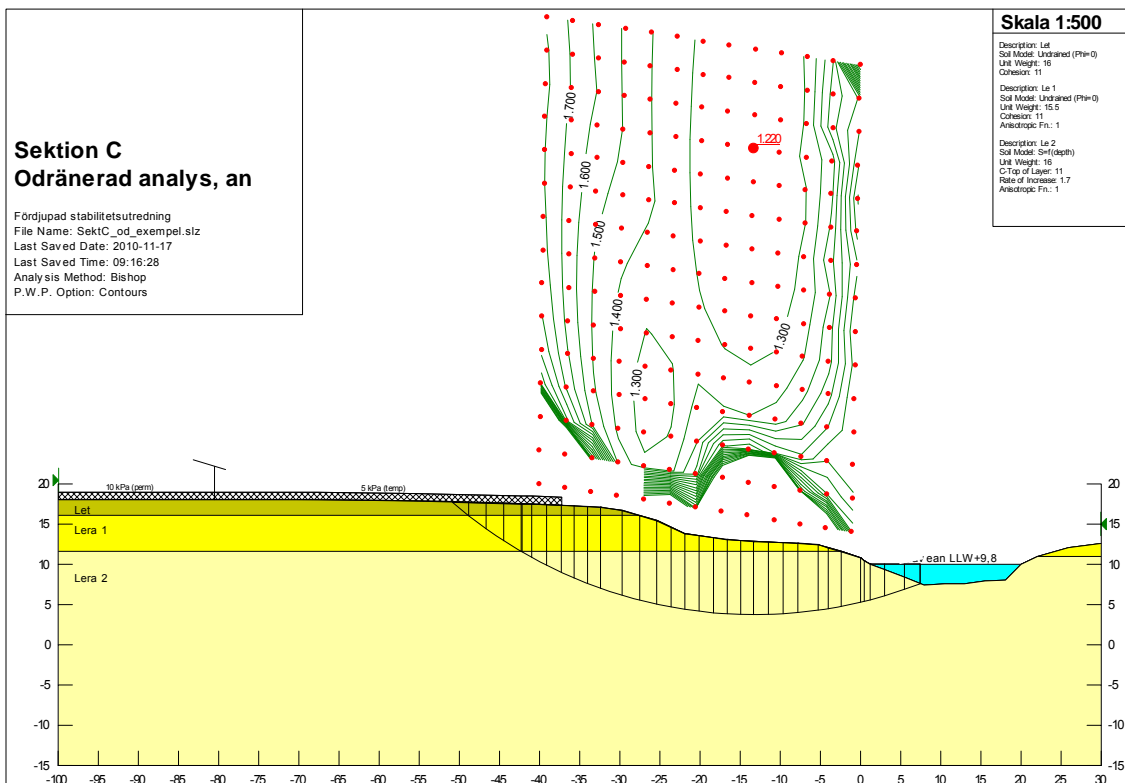
Figur A.3 Kombinerad analys (totalstabilitet) för ursprunglig slänt (härledda värden på skjuvhållfasthet).

A.5.2 Avschaktad slänt

Totalstabilitet

Som stabiliserande åtgärd väljs avschaktning. Då detta är en befintlig slänt kan metoden för procentuell förbättring tillämpas (avsnitt 4.5.2.4). Detta ger att godtagbar säkerhetsfaktor blir $F_c = 1,2$ samt $F_{komb} = 1,15$ istället för $F_c \geq 1,4 - 1,3$ och $F_{komb} \geq 1,3 - 1,2$ enligt figur 4.2.

Nödvändig avschaktning för att höja säkerhetsfaktorerna är $53 \text{ m}^3/\text{m}$ utformad enligt figur A.4. $F_c = 1,22$ och $F_{komb} = 1,19$.

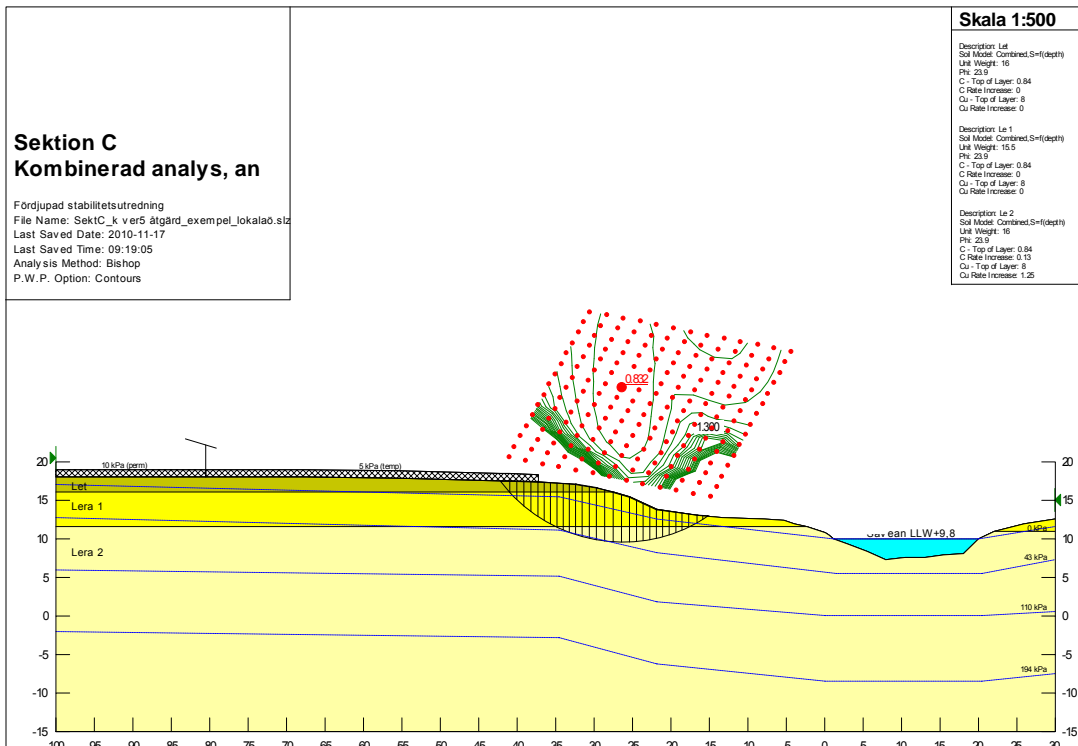


Figur A.4 Odränerad analys (totalstabilitet) efter avschaktning (härledda värden på skjuvhållfasthet).

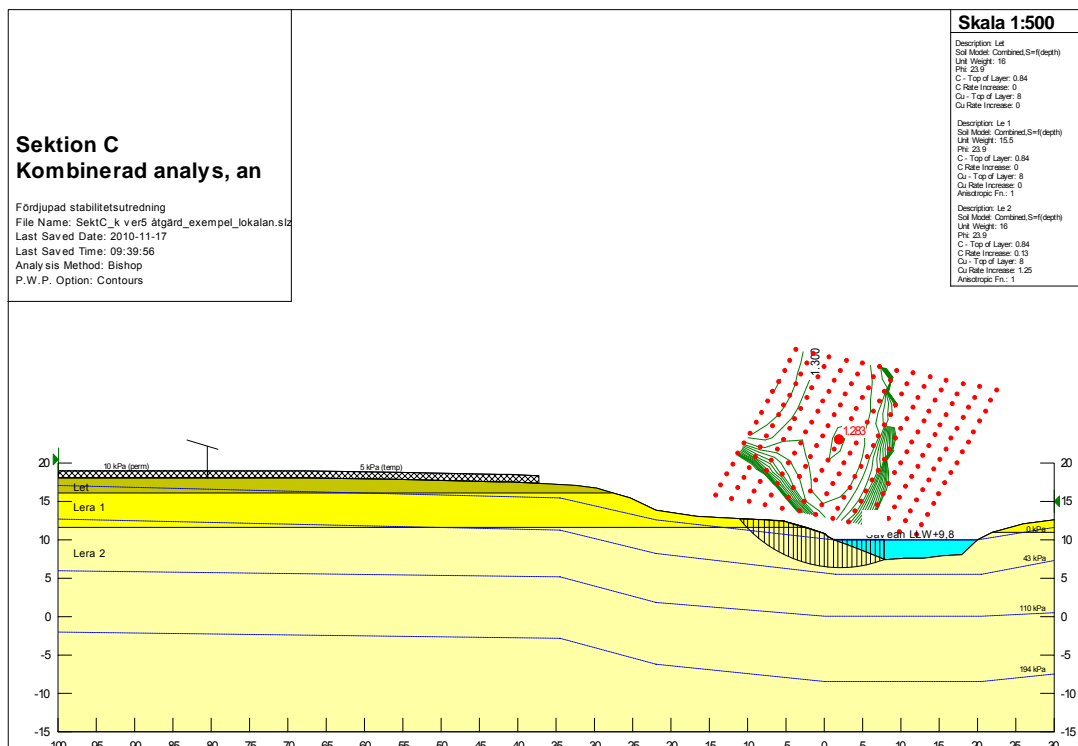
Lokal stabilitet

Efter att totalstabiliteten åtgärdats måste de lokala slänterna som uppstått i och med avschaktningen kontrolleras utifrån IEG:s krav alternativt enligt figur 4.2. För den övre lokala slänten blir $F_{c,EN} = 0,86$ och $F_{komb,EN} = 0,83$ (figur A.5). För den nedre är $F_{c,EN} = 1,31$ och $F_{komb,EN} = 1,28$ (figur A.6). Den övre slänten är därmed inte att anse tillräckligt stabil varför ytterligare avschaktning om $18 \text{ m}^3/\text{m}$ krävs.

Vid bedömning av den lokala glidytan har η enligt kap A.4.2 ansetts gälla.



Figur A.5 Kombinerad analys, enligt IEG, för den övre lokala slänten (dimensionerande värden på skjuvhållfasthet).



Figur A.6 Kombinerad analys, enligt IEG, för den nedre lokala slänten (dimensionerande värden på skjuvhållfasthet).

Sammanfattning

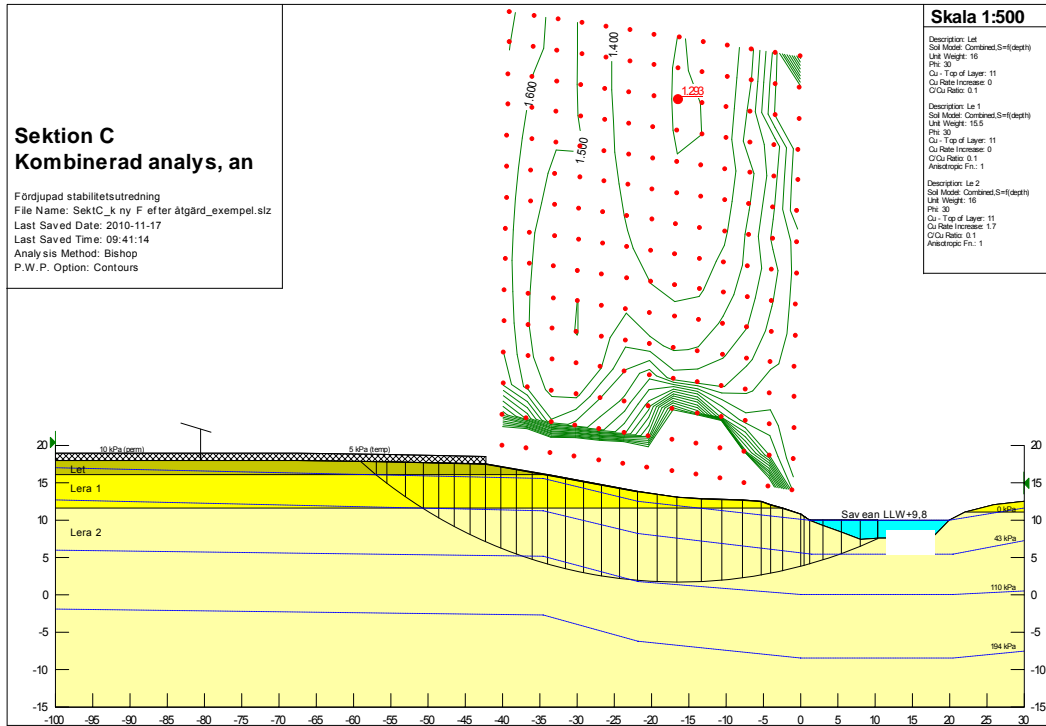
Efter slutlig dimensionering av avschaktningen (figur A.7 och A.8) blir säkerhetsfaktorerna:

Totalsäkerhetsmetod:

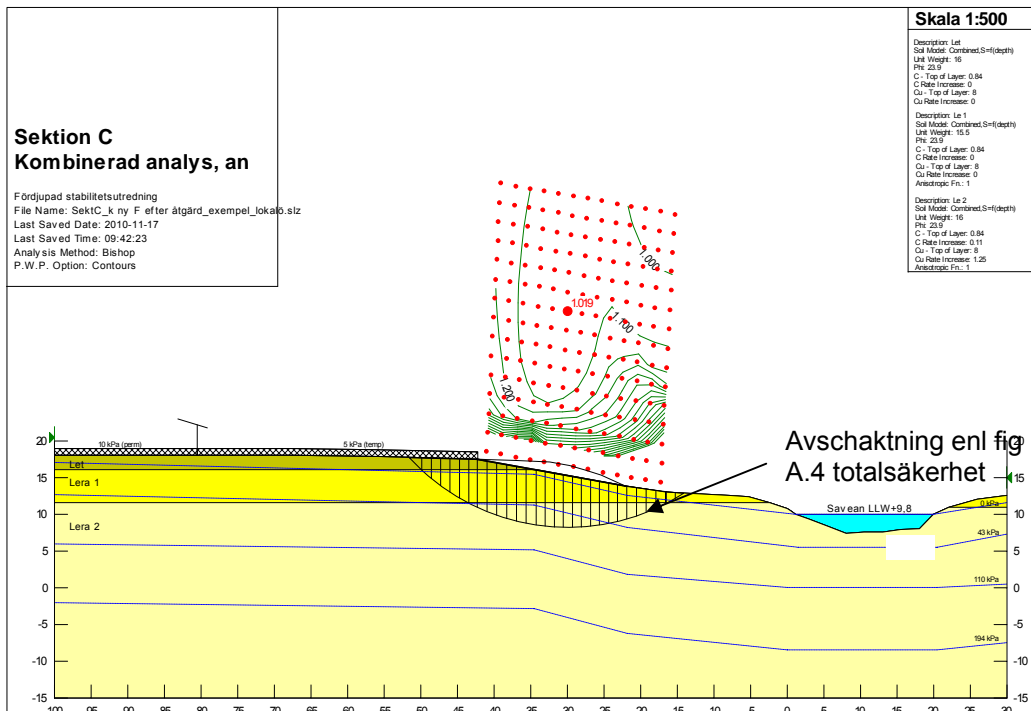
$$F_c = 1,3 \quad F_{komb} = 1,3$$

Lokal stabilitet (enl TD SoB):

| | | |
|-------------|-------------|------------------|
| övre slänt | $F_c = 1,0$ | $F_{komb} = 1,0$ |
| nedre slänt | $F_c = 1,3$ | $F_{komb} = 1,3$ |



Figur A.7 Kombinerad analys efter slutlig avschaktning (härledda värden på skjuvhållfasthet).



Figur A.8 Övre släntens kombinerade analys efter slutlig avschaktning (dimensionerande värden på skjuvhållfasthet).

A.5.3 Jämförelse stabilitetsberäkningar enligt kapitel 4 och enligt TD SoB

För att åskådliggöra skillnaden mellan att räkna totalstabiliteten med TD SoB och kap 4 i aktuellt dokument redovisas en jämförelse mellan alla sektioner i det aktuella området. Beräkningar har utförts enligt totalsäkerhetsmetod och partialsäkerhetsmetod enligt TD SoB. I nedanstående tabell redovisas säkerhetsfaktorer för respektive metod.

Tabell A.1 Framräknade säkerhetsfaktorer

| Sektion | $F_{c,tot}$ | $F_{c,part(EN)}$ | $F_{c,tot}/F_{c,part}$ | $F_{komb,tot}$ | $F_{komb,part(EN)}$ |
|-----------------|-------------|------------------|------------------------|----------------|---------------------|
| B, efter åtgärd | 1,27 | 0,93 | 1,37 | 1,22 | 0,91 |
| C, ursprunglig | 0,98 | 0,72 | 1,36 | 0,94 | 0,69 |
| C, efter åtgärd | 1,22 | 0,89 | 1,37 | 1,19 | 0,87 |
| C1, ursprunglig | 1,36 | 0,99 | 1,37 | 1,33 | 0,97 |
| D, ursprunglig | 1,20 | 1,00 | 1,20 | 1,20 | 0,88 |
| E, ursprunglig | 1,30 | 0,95 | 1,37 | 1,22 | 0,89 |

Kvoten $F_{c,tot}/F_{c,part(EN)}$, som nästan genomgående är 1,37, kan hänföras till kvoten $\gamma_M/\eta_{cu} = 1,5/1,1$ (enligt TD SoB avsnitt 3.4.1) som det härledda värdet för den odränerade hållfastheten divideras med. Denna parameter är det enda som skiljer beräkningarna åt.

En jämförelse har gjorts av ställda krav på säkerhetsfaktorn för respektive metod. I nedanstående tabell anger ett minustecken att kravet inte är uppfyllt med angiven differens. Ytterligare åtgärd krävs.

| Sektion | $F_{c,tot}$ Kravdiff. | $F_{c,part(EN)}$ Kravdiff. | $F_{komb,tot}$ Kravdiff. | $F_{komb,part(EN)}$ Kravdiff. |
|-----------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| B, efter åtgärd | 0,07 | - 0,07 | 0,07 | - 0,09 |
| C, ursprunglig | - 0,22 | - 0,28 | - 0,21 | - 0,31 |
| C, efter åtgärd | 0,02 | - 0,11 | 0,04 | - 0,13 |
| C1, ursprunglig | 0,16 | - 0,01 | 0,18 | - 0,03 |
| D, ursprunglig | 0,00 | 0,00 | 0,05 | - 0,12 |
| E, ursprunglig | 0,10 | - 0,05 | 0,07 | - 0,11 |

Tabell A.2 Differens mellan säkerhetsfaktor och

För sektion B i kombinerad analys erhöles en större glidyta med TD SoB än med totalsäkerhetsmetod. I övrigt var skillnaden mellan glidyterna ingen eller marginell.

TD SoB ger något större behov av åtgärder eftersom säkerhetsfaktorn framtagen med partialkoefficientmetoden inte innefattar metoden med procentuell förbättring. I beräkningsexemplet avsnitt A.5.2 åskådliggörs detta då större avschaktningssyta krävs för att klara åtgärden enligt krav i TD SoB.



IEG

IEG är en ideell förening, under ingenjörsvetenskapsakademins, IVA, hägn, som har till uppgift att initiera, samordna och utföra arbete som krävs för implementering av Europastandarder inom Geoteknikområdet, vilka inom de närmaste åren enligt EU-direktiv och lagen om offentlig upphandling kommer att ersätta och komplettera stora delar av dagens svenska geotekniska regelverk. Syftet är också att säkerställa att det tas fram nödvändiga hjälpmedel i form av anpassade tillämpningsdokument o. dyl.

Utgivna rapporter

- 1:2005 Eurokoder och Europastandarder. Vad kan man skriva i Nationella Tillämpningsregler till olika Geotekniska Standarder?
 - 1:2006 Sammanställning av standarder och närliggande dokument
 - 2:2006 EN 1997-1, Grunder, Fas 1
 - 3:2006 EN 1997-1 Kapitel 6, Plattgrundläggning, Fas 1
 - 4:2006 EN 1997-1 Kapitel 8-9, Stödkonstruktioner, Fas 1
 - 5:2006 Bergtunnel
 - 6:2006 EN 1997-1 Kapitel 7, Pålgrundläggning, Fas 1
 - 7:2006 EN 1997-1, Grunder, Fas 2
 - 8:2006 EN 1997-1 Kapitel 6, Plattgrundläggning, Fas 2
 - 9:2006 Fältmetoder dynamisk sondering, Fas 1
 - 10:2006 EN 1997-1, Geoteknisk data, Fas 1
 - 11:2006 Stödkonstruktioner, Betaberäkningar
 - 1:2007 EN 1997-1, kapitel 10 och 11, Slänter och bankar, Fas 1
 - 2:2007 Geoteknisk kategori
 - 3:2007 Fältmetoder dynamisk sondering, underlag nationell bilaga
 - 4:2007 EN 1997-1, kapitel 10 och 11, Slänter och bankar, Fas 2
 - 5:2007 Hantering av geoteknisk data
 - 6:2007 EN 1997-1 Kapitel 7, Pålgrundläggning, Fas 2
 - 7:2007 Konsekvens analys EN 1997-2
 - 1:2008 EN 14688 Klassificering
 - 2:2008 Tillämpningsdokument - Grunder EN 1997
 - 3:2008 Bergtunnel, fas 2
 - 4:2008 Tillämpningsdokument – Dokumenthantering
 - 5:2008 EN 22475-1 Provtagning och grundvattenmätning
 - 6:2008 Tillämpningsdokument – EN 1997-1 kapitel 10 och 11, Slänter och bankar
 - 7:2008 Tillämpningsdokument – EN 1997-1 kapitel 6, Plattgrundläggning
 - 8:2008 Tillämpningsdokument – En 1997-1 kapitel 7, Pålgrundläggning
 - 1:2009 EN 1997-1 Kapitel 8, Stödkonstruktioner, Fas 2
 - 2:2009 Tillämpningsdokument – EN 1997-1 kapitel 8 stödkonstruktioner
 - 3:2009 Vägledning för tillämpning av Skredkommissionens rapport 3:95 och 2:96 i enlighet med Eurokod. Fas 1 Frågeställningar
 - 1:2010 EN 1997-2, Marktekniska undersökningar i fält och laboratorie – fas 2 konsekvensanalys
 - 2:2010 Rapportering av geotekniska fältundersökningar (jord) – omfattning och fältprotokoll
 - 3:2010 Klassificering (jord) enligt SS-EN ISO 14688-1 och 2. Konsekvenser och förslag till åtgärder
 - 4:2010 Tillståndsbedömning/klassificering av naturliga slänter och slänter med befintlig bebyggelse och anläggningar. Vägledning för tillämpning av Skredkommissionens rapporter 3:95 och 2:96
 - 5:2010 Tillämpningsdokument Bergtunnel och Bergrum
 - 6:2010 Observationsmetoden i geoteknik fas 1 och fas 2
 - 7:2010 Tillämpningsdokument Ankare EN 1997-1 kapitel 8
 - 8:2010 Tillämpningsdokument hantering av vatten
 - 9:2010 Tillämpningsdokument observationsmetoden inom geotekniken
 - 10:2010 Tillämpningsdokument EN 1997-2, Marktekniska undersökningar i fält och laboratorie
 - 11:2010 Tillämpningsdokument Stödmur
 - 12:2010 Tillämpningsdokument EN 14688-1
 - 13:2010 Tillämpningsdokument EN 14688-2
-