

PM – GRANSKNING AV GEOTEKNIK

UPPDRAG Detaljplan Gillet 1, Torshälla	UPPDRAGSLEDARE Max Årbrink	DATUM 2017-02-14
UPPDRAGSNUMMER 2175642 000	UPPRÄTTAD AV Per Engström	

Granskning av handlingar som behandlar stabiliteten vid kv Gillet, Torshälla, Eskilstunas kommun

Uppdrag

På uppdrag av Eskilstuna kommun har Sweco Civil AB studerat handlingar framtagna för att studera stabilitetsförhållandena för detaljplan inom rubricerat område. Studien utgör en granskning av tidigare utförda utredningar. Önskemål från kommunen var att även studera föreslagna förstärkningsåtgärder.

Redan vid inläsning av tidigare utredningar gör vi bedömningen att stabiliteten i området är betydligt bättre än vad som tidigare har redovisats. Med anledning härav inleds studien med att enbart studera stabilitetsförhållandena och tidigare utförda stabilitetsberäkningar.

Granskade handlingar

- [1] Detaljplan Gillet 1 m.fl., Torshälla, Eskilstuna kommun. Markteknisk undersökningsrapport, Geoteknik, MUR/Geo, Norconsult, 2016-08-17
- [2] Detaljplan Gillet 1 m.fl., Torshälla, Eskilstuna kommun. Markteknisk undersökningsrapport, Geoteknik, MUR/Geo, Norconsult, 2016-08-17, Rev 2016-12-20
- [3] Detaljplan Gillet 1 m.fl., Torshälla, Eskilstuna kommun. Geoteknisk PM, Projekteringsunderlag, Norconsult, 2016-08-17
- [4] Detaljplan Gillet 1 m.fl., Torshälla, Eskilstuna kommun. Geoteknisk PM, Projekteringsunderlag, Norconsult, 2016-08-17, rev 2017-02-8

Att både ursprunglig handling och reviderad handling är med i granskade dokument är orsakade av att revideringarna inte ersätter tidigare handling, utan i revideringen ges hänvisning till tidigare version.

Stabilitetsanalys - beräkningsmetoder

Traditionellt görs stabilitetsberäkningar enligt Skredkommissionens "Anvisningar för stabilitetsutredningar" (Rapport 3:95). När denna rapport togs fram 1995 kände sig branschen inte mogen till att gå över till partialsäkerhetsbedömningar. Anvisningarna är därför framtagna med beräkningar som görs med karakteristisk jordparametrar kopplade till en totalsäkerhetsfaktor (F_c och F_{Komb}). Kraven på dessa faktorer är kopplade till utredningsskede och markanvändning. Vid nyexploatering ställs med dessa anvisningar något större krav än vid kontroll av befintlig bebyggelse. För *bebyggda områden* krävs högre säkerhetsfaktor än för

annan mark. Kraven på totalsäkerhetsfaktorn är även beroende på utredningens omfattning. Med mer detaljerade undersökningar kan något lägre säkerhetsfaktor accepteras.

Utifrån omfattningen av Norconsult utförd utredning krävs för bebyggelseområdet att

$$F_c \geq 1,5 - 1,4$$

$$F_{Komb} \geq 1,45 - 1,3$$

och för annan mark (gc-vägen)

$$F_c \geq 1,4 - 1,3$$

$$F_{Komb} \geq 1,4 - 1,2$$

Med införandet av Eurokod i Sverige har osäkerhet uppstått om man fortfarande kan göra beräkningar med karakteristiska jordparametrar med krav på totalsäkerhetsfaktorn. I SS-EN 1997:1 "Dimensionering av geokonstruktioner" anges "EN 1997 är avsedd för geotekniskt dimensionering av byggnader och anläggningar."

Naturligtvis skall kraven i Eurokod kunna innehållas när dimensionering görs, men i detta detaljplaneskede gäller snarare utredningsskede med säkerhetskrav enligt ovan.

För ledning vid anpassning till Eurokod skapades IEG som tog fram skrifter för att beskriva godtagbara utförande enligt de nya reglerna. För släntstabilitet anges i tillämpningsdokument IEG¹ 6:2008 "Tillämpningsdokumentets tyngdpunkt gäller beräkningar enligt partialkoefficientmetoden vilken ska användas vid nyexploatering för konstruktioner i GK2. Konstruktioner i GK1 och GK3 kan också dimensioneras via partialkoefficientmetoden men får även dimensioneras på annat sätt, vilket innebär att t ex stabilitetskartering och utredning för befintlig bebyggelse kan utföras enligt Skredkommissionen."

Med stöd av ovan görs denna granskning utifrån Skredkommissionens krav med *karakteristiska värden* på jordparametrar och med *totalsäkerhetsfaktorer*.

Geotekniska förhållanden

Topografi och markbeskaffenhet

Marken på utredningsområdet sluttar från Eskilstunavägen i öst mot Torshällaån i väst. Marknivån vid Eskilstunavägen är ca +12 och marknivån vid Torshällaån är ca +8,3 – +8,5. Områdets södra delar är även lägre än dess norra delar. I strandkanten mot Torshällaån finns ett flertal träd. [2]

Ån, som är nederoderad i finsediment, rinner från norr mot söder och gör vid kv Gillet en tvär böj (nästan 90°). Botten ligger som djupast på nivån +0,5, vilket ger ett vattendjup på 6,5 m vid lägsta lågvatten. Åslänten har i medeltal lutning 1:2 till 1:3, men lokalt finns brantare delar i slänten med lutning 1:1,5.

¹ IEG = Implementeringskommission för Europastandarder inom Geoteknik.

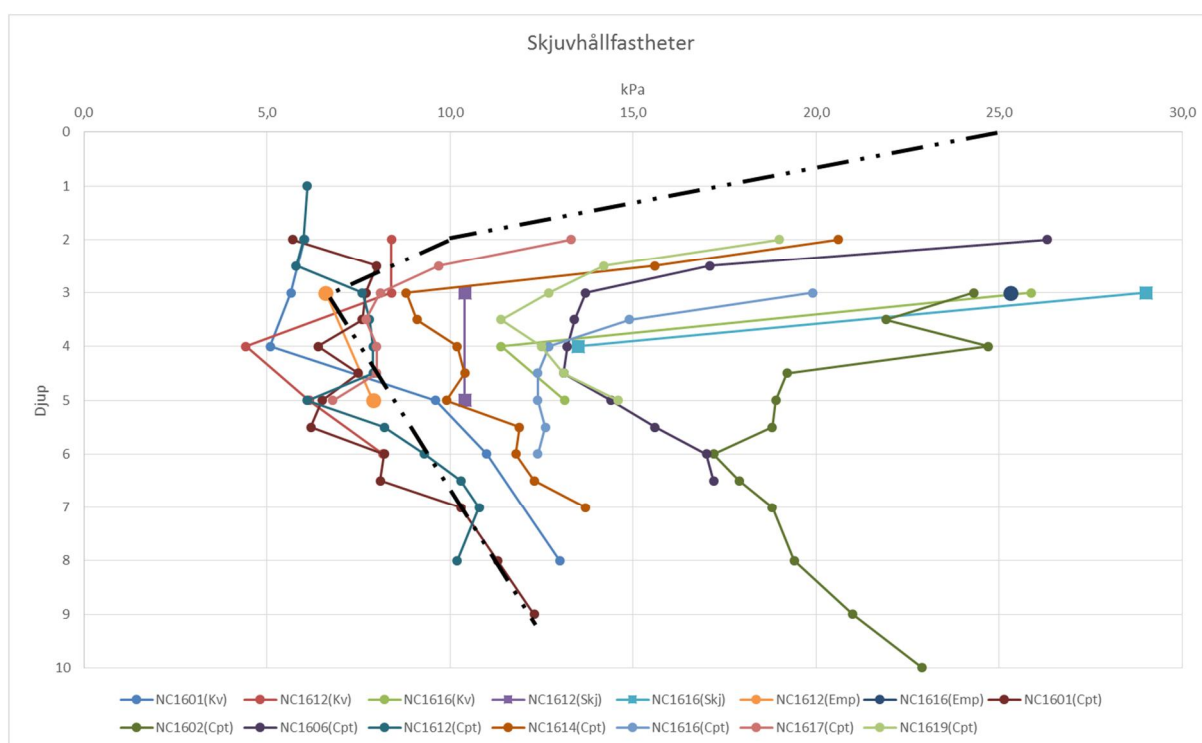
Jordlagerbeskrivning samt egenskaper

Närmast Torshällaån utgörs jorden under en tunnare fyllning av gyttja/lera på friktionsjord (troligen morän) på berg. I begränsad del påträffas gyttja direkt från markytan (punkt NC1601).

Inga sonderingar har utförts i åns vattenområde. Undersökningssektionerna indikerar dock att på större delen är ån nederoderad helt genom leran ned till underliggande friktionsjord, utom möjligen i södra delen (kring sektion A) där botten kan utgöras av 1 å 2 lera.

Skjuvhållfasthet

Leran är överst torrskorpefast. Närmast Torshällaån bedöms torrskorpans underkant till nivå +7,0. För denna studie antas hållfastheten i torrskorpan försiktighetsvis till 25 kPa (Norconsult 30 kPa).



Figur 1 Sammanställning av alla skjuvhållfasthetsbestämningar – härledda värden .

Som framgår ovan är det som Norconsult poängterat stor spridning i bestämningarna. Hållfastheten är påtagligt bättre med ökat avstånd från ån. I denna studie har de sämsta förhållandena antagits gälla i hela sektionen. Bestämningarna är viktade vid utvärdering av skjuvhållfasthetsprofil. Störst vikt läggs till gjorda direkta skjuvförsök som visar hållfasthet kring 10 kPa. Empiri utifrån bestämd förkonsolideringsspänning och konflytgräns bedöms mer rättvisande än fallkon och Cpt. Utifrån denna sammanvägning har en skjuvhållfasthetsprofil bestämts enligt den svarta punktstreckade linjen i figuren ovan med

$$0 < z < 2 \quad t_{fu} = 25 - 12,5 \times z \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned} 2 < z < 3 & \quad t_{fu} = 10 - 3 \times (z - 2) \text{ kPa} \\ z > 3 & \quad t_{fu} = 7 + 1,3 \times (z - 3) \text{ kPa} \end{aligned}$$

Angiven profil representerar leran närmast ån där skjuvhållfastheten är som lägst. Längre in i området är hållfastheten större.

Sensitivitet

I utredningsområdets sydvästra del mot Torshällaån har leran sensitiviteten mellan 28 och 65 och kan lokalt klassas som kvick. Leran bedöm endast vara kvick i denna del, d.v.s. vid undersökningspunkterna NC1601 och NC1612.

Tunghet

Lerans tunghet är ca 16 kN/m³ ner till ca 5 m djup då leran blir något tyngre och väger 17 kN/m³.

Gyttjan som återfinns i tomtens sydvästra del antas ha en tunghet på ca 13 kN/m³

Hydrogeologiska förhållanden

Portrycksmätningar visar att på 10 m djup i undersökningspunkt NC1602 på något artesiska förhållanden (0,3 – 0,4 m över markytan).

I ett öppet rör i punkt NC1617 uppmättes i oktober 2016 en betydligt lägre trycknivå på grundvattenytan (1,35 m under markytan).

Nivån på lågvattenytan (LW) i Torshällaån anges i PM [4] till nivån +7,59 i RH2000 (-0,77 i Eskilstunas lokala höjdsystem). I beräkningarna från samma PM anges LLW till +7,0. Uppgift om källa saknas. Här gjorda stabilitetsberäkningar görs på säkra sidan med en vattenyta på nivån +7,0, det vill säga på av Norconsult bedömd LLW.

Stabilitetsberäkningar

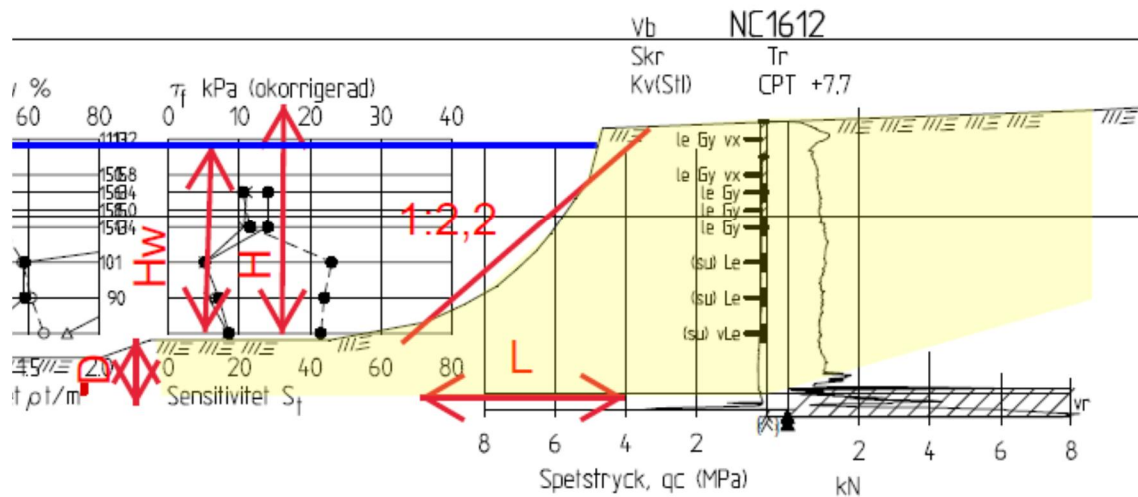
Odränerad analys

Enkla överslag kan göras inledande i en stabilitetsutredning och/eller för att verifiera mer förfinade beräkningar. Vid överslagsberäkningar används normalt den diagrammetod som utvecklats av Janbu².

Med släntens geometri, jordmäktigheter samt vattendjup erhålls från diagram en bärighetsfaktor, N_0 . Med bärighetsfaktorn kopplad till medelskjuvhållfasthet i leran, eventuella laster och jordens tunghet kan en säkerhetsfaktor överslagsmässigt enkelt bestämmas.

Förutsättningar som hämtats från ritningar och diagram i MUR [2] framgår av figuren nedan.

² Metoden finns beskriven i Skredkommissionens Rapport 3:95 (sida 7.10)



Figur 2 Geometriförutsättningar för bedömning av slänts stabilitet med Janbus diagram (sektion B-B)

Vid bedömning har medelskjuvhållfastheten som karakteristiskt värde satts till 10 kPa, vilket är ett rimligt värde för stora glidytor som går ned till lerans underkant. Mindre glidytor kan vara kritiska och då kanske med lägre medelskjuvhållfasthet än 10 kPa. Detta studeras separat. Tungheten har satts till 16 kPa. Vattenytan i ån har i tabellen nedan ansatts till nivån +7,0.

Sektion	H [m]	L [m]	n	b [°]	H _w [m]	D [m]	g [kN/m ³]	p _d [kN]	d	N ₀	t _{fu} [kPa]	F _c	F _c (Nor)
A-A	6,2	23,2	3,7	15,0	5	3	16	49,2	0,5	7,5	10	1,52	0,67
B-B	6,2	13,5	2,2	24,7	5,5	2	16	44,2	0,3	7,75	10	1,75	1,32
C-C	Stabil												
D-D	6,9	19,2	2,8	19,8	6,3	0	16	47,4	0,0	9,75	10	2,06	
E-E	6,9	20	2,9	19,0	5	0	16	60,4	0,0	9,75	10	1,61	1,18

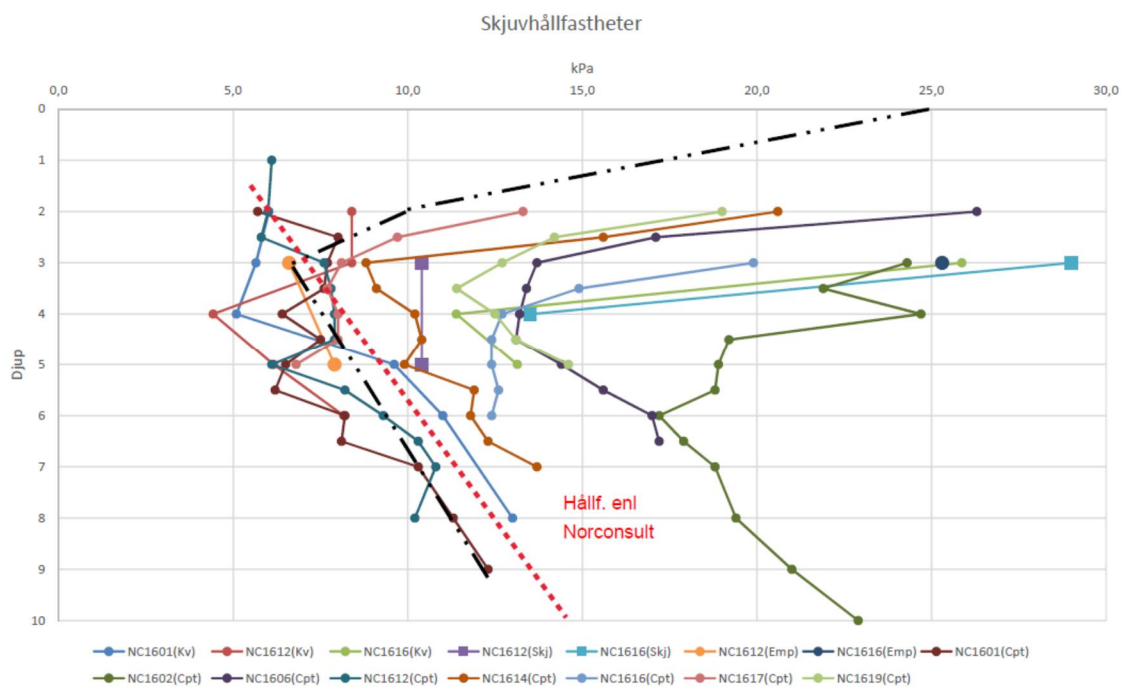
I de två högra kolumnerna visas säkerhetsfaktor enligt Janbu (F_c) och säkerhetsfaktor enligt Norconsult beräkningar med F_c (Nor).

Beräkningarna med Janbu är gjorda med karakteristisk skjuvhållfastheter varvid som visats ovan krävs att totalsäkerhetsfaktorn (F_c) är större än 1,5.

Norconsult kommenterar sina beräkningsresultat med "Stabiliteten för sektion B och för sektion E är med befintliga förhållanden inte tillräckligt för att uppnå säkerhetsfaktorn F = 1,0 (1,0 för SK2)." Resonemanget gäller om man gör beräkningar med dimensionerande värden.

Norconsult har dock använt karakteristiska värden varvid kravet borde vara F ≥ 1,5. Denna kontroll med Janbus diagram visar att Norconsults resultat är så besynnerliga att fördjupad analys måste utföras.

I diagrammet nedan visas av Sweco utvärderad skjuvhållfasthetsprofil utifrån karakteristiska värden. I diagrammet visas även Nordkonsults värden som de enligt PM anger som dimensionerande värden.



Figur 3 Skjuvhållfastheter enligt Sweco (svart fel linje) och Norconsult (röd linje)

Enligt Eurokod med nationella regler skall i Sverige den odränerade karakteristiska skjuvhållfastheten belastas med partialkoefficient 1,5 för att få dimensionerande värden. Detta kan inte ha gjorts av Norconsult. De använder värden i samma härad som karakteristiska värden (till och med lite högre).

Kraven framgår av tabell I-6 i BFS 2015:6 EKS 10 samt av Avdelning i 33 § med

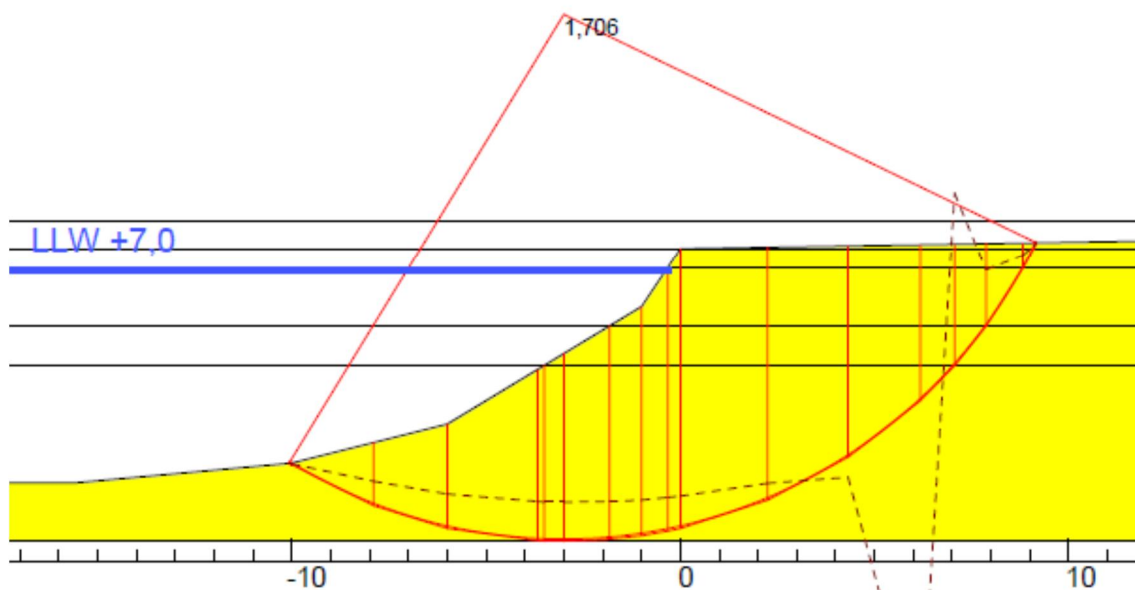
Tabell I-6 Partialkoefficienter för jordparametrar (γ_M) vid verifiering av (STR/GEO)

Jordparameter	Beteckning	Uppsättning
		M2
Friktionsvinkel, $\tan \varphi'$	$\gamma_{\varphi'}$	1,3
Effektiv kohesion	$\gamma_{c'}$	1,3
Odränerad skjuvhållfasthet	γ_{cu}	1,5
Enaxlig tryckhållfasthet	γ_{qu}	1,5
Tunghet	γ_{γ}	1,0

Figur 4 Tabell I-6 i EKS 10

I och med att Norconsult använt karakteristiska värden för odränerad hållfasthet är stabilitetsförhållandena ännu sämre än vad tidigare bedömningar visar.

För att finna förklaring till motstridiga resultat och bedömningar har även Sweco gjort beräkningar, utförda med stabilitetsprogrammet SSTAB. Beräkningar har inledningsvis gjorts med odränerad analys och med resultat enligt figur nedan och bilaga 1.



Figur 5 Stabilitetsberäkning med odränerad analys (del av bilaga 1)

För denna sektion ger Janbus metod säkerhetsfaktorn $F_c = 1,75$ och den ovan redovisade mer förfinade beräkningen ger $F_c = 1,71$. Varför Norconsults beräkning ger $F_c = 1,32$ går inte att förklara utan mer detaljerad redovisning (vilken hållfasthet har programmet använt i varje del av glidytan). Om glidytan i sin helhet är gjorda med dimensionerande värden så är Swecos och Norconsults beräkningar samstämmiga. Slänten är stabil vid nuvarande förhållanden.

Vad avser Swecos beräkningar kan noteras att beräkningar är gjorda på säkra sidan i och med att i denna sektion finns 3 m gytjtja med mindre tunghet som inte har beaktats. Sektionen har dock allmängiltighet då gytjelagret är mindre i andra sektioner.

Ligger lägsta lågvatten på nivån +7,6 som anges i PM Geoteknik är den beräkningsmässiga säkerhetsfaktorn betydligt bättre.

Kombinerad analys

I ett antal beräkningar har Nordkonsult klarlagt stabiliteten med kombinerad analys, det vill säga en beräkningsmetod där även por- och grundvattentrycks inverkan på lerans hållfasthet beaktas. Ett beräkningssätt som måste beaktas vid bestämning av stabilitet mot ett vattendrag.

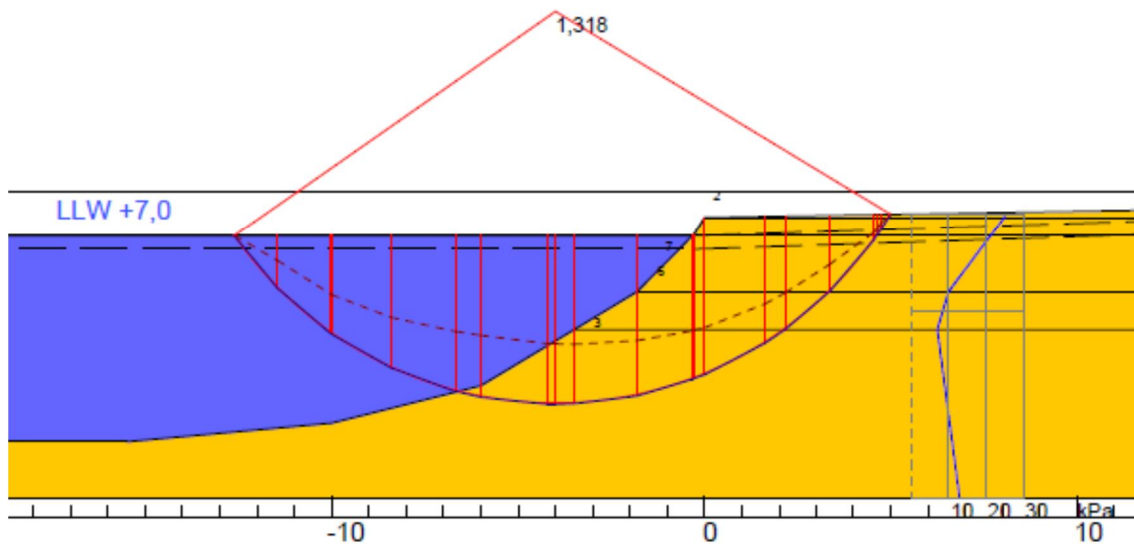
Gjorda portrycks och grundvattenmätningar visar att i princip gäller hydrostatiska förhållanden för en grundvattenyta i nivå med markytan. Portrycksmätningar visar trycknivåer i nivå med markytan. Installerat grundvattenrör i NC1617 har en grundvattenyta enligt PM [4] 1,35 m under markytan (+8,6). Med dessa förutsättningar har grundvattenytan i åns närhet uppmätts till nivån +7,25. Ur stabilitetssynpunkt är det av största vikt att även ha uppgifter om åns vattenyta vid mättilfället, vilket inte kan utläsas från dokumentationen.

Sammanfattningsvis görs i denna granskning bedömningen att några stora artesiska grundvattentryck inte är att förvänta. Utförda mätningar visar på i princip mot djupet hydrostatiska förhållanden. Ett scenario som kan inträffa är att efter t ex kraftig vårflood i Torshällaån och därefter hastig avsänkning i ån så kommer höga fördröjda grundvattentryck i övre akvifären kunna orsaka små lokala brott i åsläntens övre delar (\approx erosionsskada).

Brottstudier efter hastig avsänkning har Nordkonsult visat i flera beräkningar. Beräkningarna visar mycket låga beräkningsmässiga säkerhetsfaktorer. Beräkningarna är dock inte korrekt utförda. Vad avser dränerade hållfastheter använder Norconsult *dimensionerande* friktionsvinkel med $f' = 23,95^\circ$ och $c' = 0$. Använda odränerade hållfastheter är dock *karakteristiska värden*. Redovisningen är inte granskningsbar men det känns mycket troligt att ytliga brott (ras/erosion) kan inträffa i släntens brantaste delar. För att klarlägga behov av erosionskydd är beräkningar med grova antaganden inte ensamt möjlig metod. Här gäller besiktning av slänter (synlig erosion eller spår av jordskollor som fallit ned i ån), uppgifter om åns vattenståndsvariationer, o.s.v.

Även om förutsättningar enligt ovan inte har utretts känns det av mindre betydelse att bekräfta beräkningar för de ytliga glidyterna. Utförs erosionskydd enligt Norconsults förslag uppnås tillfredsställande stabilitet utan andra förstärkningsåtgärder om begränsningar på tillåten belastning närmast ån fastställs.

Nedan redovisas en av Sweco utförd beräkning med kombinerad analys, det vill säga där effekt por- och grundvattentrycks inverkan på lerans hållfasthet beaktas. Beräkningarna, utförda med karakteristiska värden, ger säkerhetsfaktorn $F_{Komb} = 1,32$. Primärt berör den kritiska glidyta område som enligt Skredkommissionen klassas som *annan mark* varvid utifrån nivån på Nordkonsults geotekniska utredning bör vara minst (F_{Komb}) 1,30. Med bättre dokumentation kan möjligen även $F_{Komb} = 1,2$ kunna accepteras som tillfredsställande stabilitetsförhållanden.



Figur 6 Stabilitetsberäkning med kombinerad analys (del av bilaga 2)

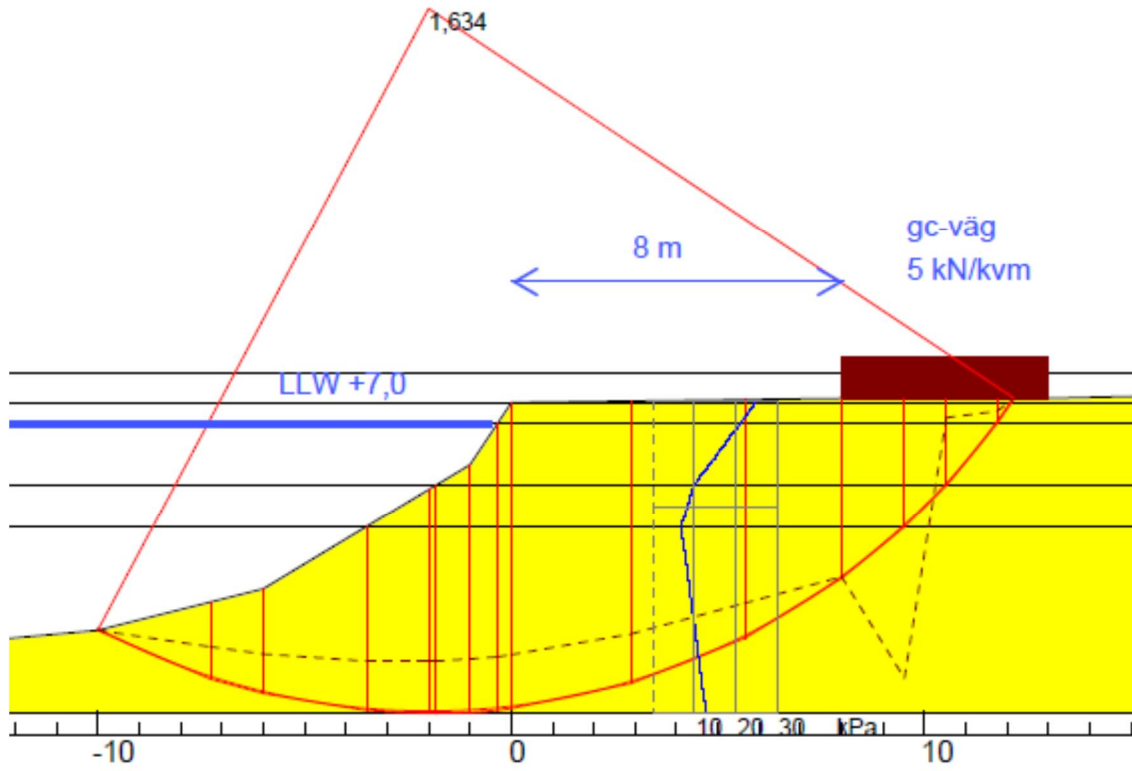
Sammanfattande bedömningar och synpunkter på kompletterande stabilitetsbedömningar

Utförda beräkningar gjorda med stabilitetsberäkningsprogram samt med Janbus direktmetod visar att stabiliteten idag är tillfredsställande med beräkningsmässiga säkerhetsfaktorer vid odränerad analys (F_c) mellan 1,5 och 2,1. Lägsta säkerhetsfaktorn erhålls i södra delen, men beaktas att jorden där överst utgörs av 3 m gytta som är lättare än den i beräkningarna antagna tungheten fås en högre säkerhetsfaktor. Väljer vi medeltungheten till 15 kN/m³ får vi säkerhetsfaktorn $F_c = 1,74$, det vill säga klart tillfredsställande stabilitet.

I och med att inga höga grundvattentryck har uppmätts inom området torde beräkningar med kombinerad analys inte vara kritiska. Ovan redovisad beräkning ger $F_{Komb} = 1,32$, vilket styrker att stabiliteten vid nuvarande förhållanden är tillfredsställande.

Det går inte att dra några slutsatser utifrån Norconsults beräkningar med kombinerad analys då de har blandat ihop hållfasthetsbeskrivningarna.

I sektion B har beräkningar gjorts för att bestämma eventuella besvär av en gc-väg. Beräkningarna har gjorts med vägen 8 m från slänkrön och ger med odränerad analys $F_c = 1,63$, det vill säga helt tillfredsställande stabilitet. Beräkningarna är på säkra sidan i och med att i denna sektion ligger gc-vägen betydligt längre från ån. Vägen ligger som närmast i sektion E, men där är lerdjupen mindre.



Figur 7 Odränerad analys för sektion B, med trafiklast på gc-väg

Rekommendationer

Området kan exploateras som tänkt utan att totalstabiliteten äventyras.

Behov av erosionsskydd går inte helt att bedöma utan platsbesök. Även vid besiktning kan det vara svårt att göra en korrekt bedömning i och med att största delen av slänten ligger under vatten.

Vi rekommenderar om kv Gillet bebyggs att släntpartier med brantare lutning än 1:2 flackas till denna lutning och ett erosionsskydd av sten läggs ut.

Vidare klarläggs på vilken nivå lägsta lågvatten ligger i ån. Här gjorda beräkningar är utförda med LLW +7,0, men uppgifter i granskat material anges den till +7,59. Är det den högre nivån så är beräkningarna gjorda väl på säkra sidan.

Per Engström

Max Årbrink

Bilagor

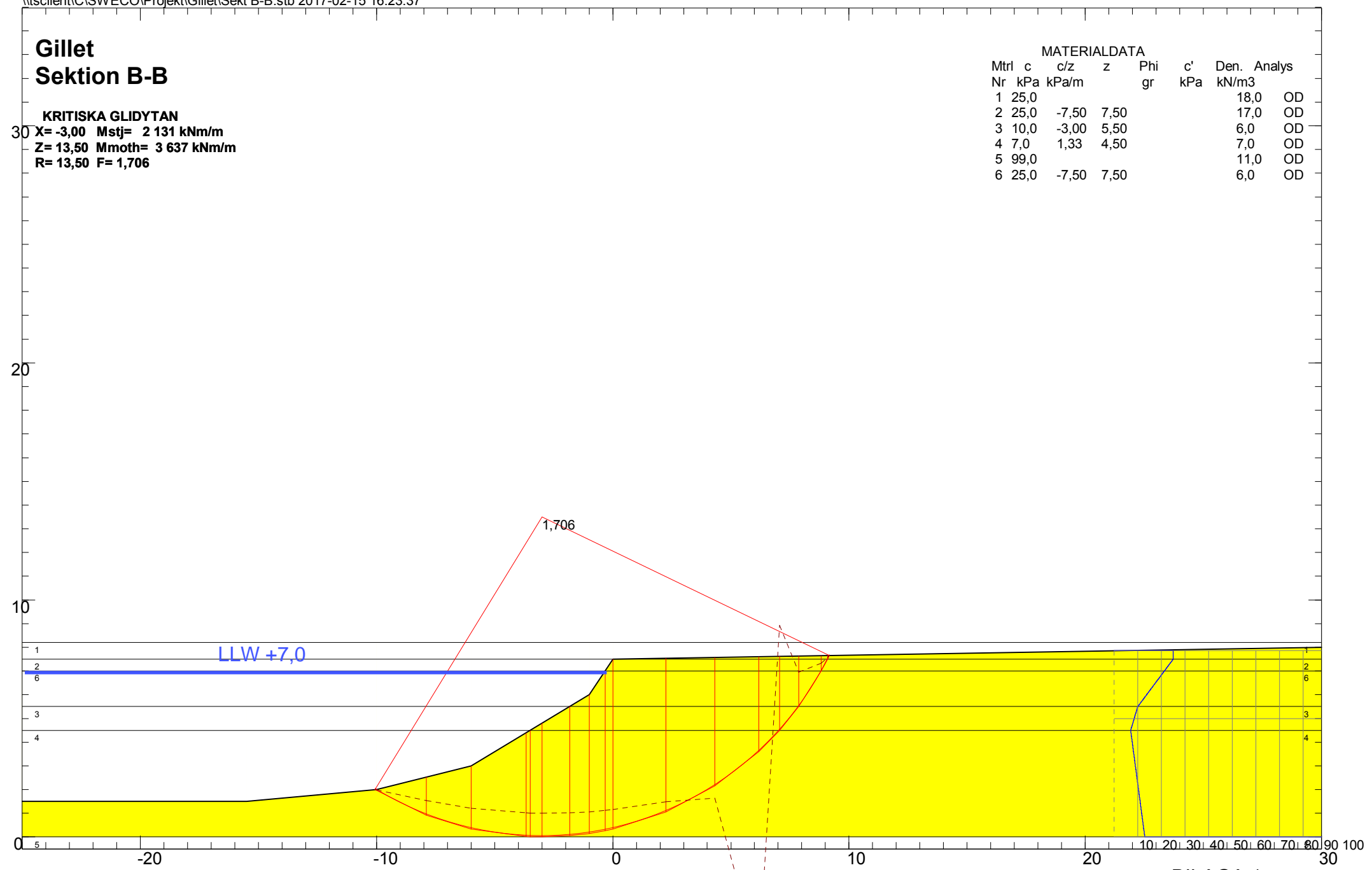
Bilaga 1	Odränerad analys
Bilaga 2	Kombinerad analys

Gillet
Sektion B-B

KRITISKA GLIDYTAN
X= -3,00 Mstj= 2 131 kNm/m
Z= 13,50 Mmoth= 3 637 kNm/m
R= 13,50 F= 1,706

MATERIALDATA

Mtrl Nr	c kPa	c/z kPa/m	z	Phi gr	c' kPa	Den. kN/m3	Analys
1	25,0					18,0	OD
2	25,0	-7,50	7,50			17,0	OD
3	10,0	-3,00	5,50			6,0	OD
4	7,0	1,33	4,50			7,0	OD
5	99,0					11,0	OD
6	25,0	-7,50	7,50			6,0	OD



Gillet

Sektion B-B, kombinerad analys

KRITISKA GLIDYTAN
X= -4,00 Mstj= 794 kNm/m
Z= 13,00 Mmoth= 1 046 kNm/m
R= 10,50 F= 1,318

MATERIALDATA							
Mtrl Nr	c kPa	c/z kPa/m	z	Phi gr	c' kPa	Den. kN/m3	Analys
1	25,0			30,0		18,0	K
2	25,0	-7,50	7,50	30,0	1,0	17,0	K
3	10,0	-3,00	5,50	30,0	1,0	16,0	K
4	7,0	1,33	4,50	30,0	2,0	17,0	K
5	99,0					11,0	OD
6	25,0	-7,50	7,50	30,0	1,0	16,0	K
7	0,0					10,0	K

