



Projekterings-PM/Geoteknik

PM/Geo

Gårdaån

Lödöse, Lilla Edets kommun

Släntstabilitet

Uppdragsnr: 23102

Bohusgeo AB 2024-05-17

Beställare

Kund: Lilla Edets kommun

Kontaktperson: Emma Allerbo

Bohusgeo AB

Uppdragsnummer: 23102

Uppdragsledare: Henrik Lundström

Handläggare: Emil Johansson, Frida Lundin, David Palmquist

Granskning: Henrik Lundström

Bastionsgatan 26

451 50 Uddevalla

Org.nr. 556601-5243

Tel. vxl. 0522-946 50

bohusgeo.se

Innehållsförteckning

1.	Uppdrag och syfte	2
2.	Underlag	2
3.	Styrande dokument	2
4.	Befintliga förhållanden	3
4.1.	Utredningsområde	3
4.2.	Mark, vegetation och topografi	3
4.3.	Geotekniska förhållanden	3
4.4.	Geohydrologiska förhållanden	4
5.	Släntstabilitet	5
5.1.	Allmänt	5
5.2.	Valda parametrar	5
5.3.	Beräkningar, befintliga förhållanden	6
5.4.	Beräkningar, befintliga förhållanden med anisotropi	7
5.5.	Känslighetsanalys, portryck	8
5.6.	Primär- och sekundärskred	8
5.7.	Förslag på möjliga släntstabilitetsförbättrande åtgärder	9
6.	Erosion	9

Bilagor

Bilaga 1:1	Undersökningsområde och beräkningssektioner
Bilaga 2:1-2:8	Jordlagerparametrar
Bilaga 3:1	Områdesindelning, skjuvhållfasthet
Bilaga 4:1-4:5	Skjuvhållfasthetssammanställningar
Bilaga 5:1	Sammanställning av friktionsvinklar
Bilaga 6:1-6:3	Anisotropi
Bilaga 7:1-7:3	Konsolideringsförhållanden
Bilaga 8:1	Resistivitet
Bilaga 9:1	Plan, kvicklera
Bilaga 10:1-10:6	Portrycksprofiler
Bilaga 11:1-11:3	Val av erforderlig säkerhetsfaktor
Bilaga 12:1-12:27	Stabilitetsberäkningar, befintliga förhållanden
Bilaga 13:1-13:17	Stabilitetsberäkningar, befintliga förhållanden, anisotropi
Bilaga 14:1-14:20	Stabilitetsberäkningar, känslighetsanalys
Bilaga 15:1	Plan, primär- och sekundärskred
Bilaga 16:1-16:18	Stabilitetsberäkningar, åtgärdsförslag
Bilaga 17:1	Åtgärdsförslag i plan

1. Uppdrag och syfte

På uppdrag av Lilla Edets kommun, med SGI som medfinansierare, har Bohusgeo AB utfört en kompletterande geoteknisk undersökning och släntstabilitetsutredning för en delsträcka av Gårdaån i Lödöse, Lilla Edets kommun. Tidigare har Bohusgeo AB utfört undersökningar och utredningar längs Gårdaån från S:t Peders kyrka i öster och fram till utloppet vid Göta älv (uppdrag Tingberget 4:147, uppdragsnummer 20041). Resultaten från de tidigare undersökningarna och utredningarna har redovisats under 2020-2023. Utredningen visade bland annat att släntstabiliteten längs ån är otillfredsställande för befintliga förhållanden och att släntstabilitetsförbättrande åtgärder behöver utföras. En utredning av möjliga åtgärder utfördes därför 2022-2023 för den delsträcka som ligger mellan S:t Peders väg och Göta älv. Inom ramen för nuvarande uppdrag har kompletterande undersökning och utredning utförts för den delsträcka av Gårdaån som ligger öster om bron för S:t Peders väg. Det aktuella undersökningsområdet innefattar bland annat St Peders kyrka, tomtmark och naturområden runt ån, se bilaga 1.

Syftet med undersökningen och utredningen är att uppnå fördjupad utredningsnivå enligt IEG Rapport 4:2010, att bland annat undersöka lerans sensitivitet och anisotropa egenskaper och att utreda släntstabiliteten för befintliga förhållanden vid Gårdaån.

2. Underlag

Underlag för de utvärderingar som redovisas i detta PM utgörs av:

- Fält- och laboratoriearbeten utförda av Bohusgeo AB för projektet. Resultaten finns redovisade i en MUR daterad 2024-01-19, uppdragsnummer 23102. På ritningar och i sammanställningar redovisas även äldre undersökningar som är utförda inom det aktuella området.
- Tidigare fält- och laboratoriearbeten utförda av Bohusgeo AB uppdrag Tingberget 4:147. Resultaten finns redovisade i en MUR daterad 2023-03-17, uppdragsnummer 20041.
- Tidigare släntstabilitetsutredningar utförda av Bohusgeo AB för uppdrag Tingberget 4:147, uppdragsnummer 20041. Handlingar daterade 2021-07-02 samt 2023-04-28.
- Utvalda delar ur följande handling:
 - Sekretariatet för Göta älv 2022, DGA00XST01 - Riktlinjer för tekniskt arbete, version 6.0 - Avser stabilitetsutredningar längs Göta älv, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping, 2022-04-29.

3. Styrande dokument

Utredningen har utförts i enlighet med tillämpliga delar i dokument förtecknade i Tabell 1.

Tabell 1. Styrdokument.

Typ av utredning	Styrande dokument
Alla utredningar	SS-EN 1997-1, SS-EN 1997-2 IEG Rapport 2:2008, rev 3 IEG Rapport 4:2008, rev 1
Släntstabilitet	SGI Vägledning 8 IEG Rapport 4:2010 TRVINFRA-00229 TRVINFRA-00230
Slänter och bankar	IEG Rapport 6:2008, rev 1

4. Befintliga förhållanden

4.1. Utredningsområde

Utredningsområdet ligger i Lödöse och innefattar en delsträcka av Gårdaån med omkringliggande slänter, se markering på plan i bilaga 1. Området sträcker sig över en yta på ca 240 x 180 m som avgränsas av S:t Peders väg i väster och bergspartier i öster. Inom området finns befintlig bebyggelse och befintliga verksamheter, bland annat med villabebyggelse, S:t Peders kyrka med kyrkogård, mindre vägar och skolbyggnader.

4.2. Mark, vegetation och topografi

Marken inom utredningsområdet består i huvudsak av gräsbevuxna ytor och skogsmark i slänter mot ån. Markytans nivå är som lägst ca +1,5 vid ån och varierar mellan ca +8 och ca +11 i slänternas övre del. Bottennivån i ån varierar mellan ca +0,9 och +1,1.

Slänterna mot ån är bitvis branta med lutningar mellan ca 1:2 och ca 1:3. Lokalt förekommer brantare partier med lutning ca 1:1. Berg i dagen förekommer på båda sidor om ån i områdets östra del.

4.3. Geotekniska förhållanden

Det totala sonderingsdjupet varierar mellan ca 1 och ca 27 m. Jorddjupet är som störst i den nordvästra delen mot S:t Peders väg och minskar mot sydost. Jordlagerförhållandena varierar kraftigt inom området och jordlagren är generellt inhomogena. I huvudsak bedöms jordlagren, från markytan räknat, utgöras av:

- fast ytlager
- lera (saknas delvis)
- friktionsjord vilande på berg

Det fasta ytlagret utgörs i huvudsak av sand och silt, men även grus, humusjord och tegelrester har påträffats. Sanden är i regel grusig och siltig och silten är delvis sandig och delvis lerig. Tjockleken varierar mellan ca 1 och ca 6 m. Vattenkvoten varierar kraftigt mellan ca 5 och ca 165 %, där de högre värdena är uppmätta i prov med organiskt innehåll. Observera att silten är mycket tjällyftande och starkt flytbenägen.

Leran, som också innehåller silt i varierande grad, påträffas till mellan ca 7 och ca 27 m djup under markytan. Mäktigheten är som störst inom områdets nordvästra del och minskar mot områdets sydöstra del där leran saknas i ett flertal undersökningspunkter. Friktionsjordslager förekommer inne i lerlagret i flera sonderingar och bedöms ha en tjocklek på mellan ca 0,5 och ca 2 m och påträffas i huvudsak på nivå ca -6 till ca -2. Vattenkvoten i leran varierar kraftigt och har uppmätts till mellan ca 30 och ca 80 %. Konflytgränsen har uppmätts till mellan ca 35 och ca 70 %.

Skjuvhållfastheten har i fält bestämts genom vingförsök och CPT-sonderingar och på laboratorium genom konförsök och direkta skjuvförsök. Dessutom har en empirisk utvärdering med ledning av utförda CRS-försök utförts. Sammanställningar av härledda skjuvhållfastheter redovisas uppdelade för olika delområden i bilaga 4, se områdesindelning i bilaga 3. Skjuvhållfastheten är korrigerad för konflytgräns och överkonsolideringsgrad (OCR). Den korrigerade skjuvhållfastheten varierar kraftigt och uppgår till mellan ca 10 och 35 kPa i den övre delen och ökar till mellan ca 30 och ca 45 kPa i lerans nedre del. För att undersöka lerans anisotropa egenskaper har även passiva och aktiva triaxialförsök utförts, se ytterligare information i kapitel 4.3.1 nedan.

Sensitiviteten har uppmätts i laboratorium på tagna ostörda prover, se sammanställning i bilaga 2. Dessutom har resisivitetsmätningar utförts i 5 punkter under 2020. Sensitiviteten varierar

generellt mellan ca 20 och ca 80, men har i punkt 20BH22 uppmätts till närmare 200. Leran bedöms vara mellan- till högsensitiv och i undersökningspunkt 20BH22 och 23BH04 är leran delvis kvick. Resistivitetmätningar redovisas mer i detalj i avsnitt 4.3.2.

För att undersöka lerans konsolideringsegenskaper har kompressionsförsök typ CRS utförts. I bilaga 7 redovisas lerans konsolideringsförhållanden i de punkter där kolvprovtagning utförts. Leran bedöms i huvudsak vara normalkonsoliderad, förutom i det nederoderade området runt åfåran, där leran generellt bedöms vara överkonsoliderad med ca 20-70 kPa.

Friktionsjorden under leran har inte undersökts närmare. Sonderingarna har trängt ner mellan 0 och ca 3,5 m i friktionsjorden och har stoppat, delvis med och delvis utan att stopp mot sten, block eller berg erhållits.

4.3.1. Anisotropi

Lera är ett anisotropt material vilket innebär att skjuvhållfastheten varierar beroende på skjuvningsvinkel. Ju brantare skjuvningsvinkel på aktivsidan, desto högre värde antar lerans skjuvhållfasthet (upp till 60 graders skjuvningsvinkel). Generellt erhålls högre säkerhetsfaktorer vid beräkningar med hänsyn tagen till anisotropi.

En utredning av lerans anisotropa egenskaper har utförts i undersökningspunkt 20BH05/22BH13 och 23BH03 där aktiva odränerade triaxialförsök utförts och i punkt 23BH05 där passiva odränerade triaxialförsök utförts. Utvärderade försök har jämförts mot valda skjuvhållfastheter för direkt skjuvning, se bilaga 6. Utvärderad anisotropifaktor är sammanställd i bilaga 6:3 tillsammans med empiriskt framtagen faktor enligt Skredkommissionens rapport 3:95.

Faktorn mellan aktiv och direkt skjuvning varierar i huvudsak mellan ca 1,3 och ca 1,7 och faktorn mellan passiv och direkt skjuvning varierar mellan ca 0,75 och ca 0,95.

4.3.2. Resistivitet och kvicklera

En sammanställning av de resistivitetmätningar som utförts inom utredningsområdet redovisas i bilaga 8. Mätningarna är utförda med CPTu-R. Erhållen resistivitet varierar i huvudsak mellan ca 2 och ca 100 Ω m. De högsta erhållna värdena bedöms vara registrerade i friktionsjord utan saltinnehåll. Tumregler från tidigare studier gör gällande att förutsättningar för kvicklera kan finnas när resistiviteten överstiger ca 5 Ω m. Jämförelser mellan bedömd kvicklera i rutinundersökningen och motsvarande resistivitetmätning visar att kvicklera kan förekomma för resistiviteter över ca 6 Ω m i mätningarna längs Gårdaån. Resistivitetssammanställningen visar att risken för kvicklereförekomst ökar för minskande lermäktigheter och att resistiviteten generellt är som högst i den övre och undre delen av jordprofilen samt runt friktionsjordslager, vilket bedöms överensstämma med gängse teorier om urlakning av marin lera vid bildning av kvicklera.

I bilaga 9 redovisas en tolkning av resistivitetmätningarna i plan tillsammans med markeringar av var kvicklera påträffats i upptagna kolvprover.

4.4. Geohydrologiska förhållanden

Portrycksmätningar har utförts i 6 punkter inom undersökningsområdet. Avläsning har utförts med logger var fjärde timme. Mätningar i undersökningspunkter med numrering 20BHXX har utförts i tidigare uppdrag 20041. Dessa mätningar avslutades i samband med att det tidigare uppdraget avslutades. I punkt 20BH05 har mätningar utförts under perioden augusti 2020 till september 2022, i punkt 20BH22 har mätningarna utförts under perioden december 2020 till september 2022. Mätningarna i nuvarande uppdrag (punkt 23BH01, 23BH03, 23BH04 och 23BH05) har pågått under perioden oktober 2023 till december 2023. De uppmätta trycknivåerna redovisas i MUR 2023-03-17 samt i MUR 2024-01-19. Portrycksprofiler för mätningarna i respektive punkt redovisas i bilaga 10. Variationsbredden i mätserierna ligger på mellan ca 0,2 och ca 1,5 m.

Den övre grundvattennivån (0-portrycksnivån) bedöms i områdets lägre belägna delar vara belägen strax under markytan. I de mer höglänta delarna bedöms den vara belägen mellan ca 0,5 och ca 4 m under markytan. De mätningar som ger störst djup är belägna i närheten av släntkrön.

Portrycknivån i lerans underkant är relativt likartad inom området och varierar mellan ca +3 och ca +5. Detta innebär att portrycksökningen mot djupet ökar mindre än för hydrostatisk tryckfördelning i områdets högre belägna delar och ökar mer mot djupet jämfört med hydrostatisk i den låglänta delen runt ån, där grundvattenstrycket i lerans underkant är artesiskt.

5. Släntstabilitet

5.1. Allmänt

Släntstabiliteten har beräknats i totalt fem sektioner, se placering i bilaga 1. I två av sektionerna har beräkningar utförts på båda sidor om ån.

Stabilitetsberäkningarna har utförts med programvaran GeoStudio 2021.4. Beräkningarna har utförts med cirkulär-cylindriska glidytor med odränerad (c), kombinerad analys (komb) och dränerad analys (ϕ). Beräkningarna är utförda med totalsäkerhetsmetoden, dels med, dels utan hänsyn till anisotropi.

Den utförda undersökningen bedöms uppfylla fördjupad nivå enligt IEG R4:2010. Erforderliga säkerhetsfaktorer enligt IEG R4:2010 framgår av Tabell 2. Observera att det i detta skede är befintlig bebyggelse som är utgångspunkten för bedömningar och utredning av släntstabilitetsförbättrande åtgärder. För nyexploatering ställs högre krav på beräknad säkerhetsfaktor.

Tabell 2 Erforderliga säkerhetsfaktorer enligt IEG R4:2010

Utredningsnivå	F_c	F_{komb}	F_ϕ
Fördjupad utredning, befintlig bebyggelse	$\geq 1,4 - 1,3$	$\geq 1,3 - 1,2$	$\geq 1,3$

För att välja erforderliga säkerhetsfaktorer har en värdering gjorts utifrån en sammanställning av gynnsamma och ogynnsamma förhållanden enligt tabell 4.1a-4.1i IEG Rapport 4:2010. Sammanställningen redovisas i bilaga 11 och ger erforderliga säkerhetsfaktorer på gränsen till den övre delen av intervallet. Valda erforderliga säkerhetsfaktorer redovisas i Tabell 3.

Tabell 3 Valda erforderliga säkerhetsfaktorer

Utredningsnivå	F_c	F_{komb}	F_ϕ
Fördjupad utredning, befintlig bebyggelse	$\geq 1,35$	$\geq 1,25$	$\geq 1,3$

5.2. Valda parametrar

5.2.1. Tunghet

Val av tunghet har gjorts med ledning av erhållna tungheter från tagna kolvprover. I bilaga 2:5 redovisas en sammanställning av erhållna värden inklusive valt värde. Valda tungheter redovisas även i beräkningssektionerna, se bilaga 12-14.

5.2.2. Skjuvhållfasthet

Skjuvhållfasthetssammanställningar med valda odränerade skjuvhållfastheter redovisas i bilaga 4. Eftersom erhållna skjuvhållfastheter varierar stort mellan olika delar av undersökningsområdet, har en uppdelning gjorts för fyra olika delområden, där

skjuvhållfastheterna inom respektive delområde bedöms vara likartade. Områdesindelningen redovisas i bilaga 3. Vid val av skjuvhållfasthet har stor vikt lagts vid utförda skjuvförsök. Valda värden är nivårelaterade.

Valda anisotropifaktorer för aktiv och passiv skjuvning redovisas i bilaga 6.

5.2.3. Friktionsvinkel

En sammanställning av utvärderade friktionsvinklar från utförda Cpt-sonderingar i friktionsjorden redovisas tillsammans med valda värden i bilaga 5. Valda värden är nivårelaterade.

5.2.4. Portryck

Vid beräkningarna har högsta uppmätta portryck valts, se portrycksprofiler i bilaga 10. I bilaga 12 och 13 redovisas portrycksfördelningen i beräkningssektionerna.

En känslighetsanalys har utförts för förhöjda portryck i lerans underkant samt i förekommande friktionsjordlager i leran. Vid känslighetsanalysen har beräkningarna utförts för en tryckökning på 20 kPa i friktionsjordsskikten, eller då skikt saknas, i underkant lera. För att inte ansätta portryck som ger hydraulisk upptryckning så har tryckökningen dock begränsats så att ansatt portryck inte överskrider ovanliggande leras tyngd inklusive en marginal på 5 kPa. Portrycksfördelningen vid känslighetsanalysen redovisas för beräkningssektionerna i bilaga 14.

5.2.5. Ytvatten

Vattennivåerna i Gårdaån bedöms för den aktuella sträckan delvis påverkas av vattennivåerna i Göta älv. Dimensionerande vattenstånd i Göta älv har erhållits från dokument DGA00XST01, se kapitel 3. En interpolation mellan sänkningshöjden vid slussen i Lilla Edet och lägsta lågvatten i Älvängen har gjorts enligt riktlinjerna i dokumentet, vilket ger ett lägsta lågvatten i Göta Älv vid Lödöse på ca -0,3. Vid lägsta lågvatten i Göta Älv bedöms ån kunna bli torrlagd eftersom lägsta bottennivå inom undersökningsområdet är ca +0,9. Ån har därför valts torrlagd vid beräkningarna.

5.2.6. Laster

Vid beräkningarna har en trafiklast på 20 kPa valts för vägarna längs ån, i enlighet med Trafikverkets föreskrifter. Vid beräkningar med kombinerad analys betraktas trafiklasten på vägarna som kortvarig och har satts till 0 kPa. På parkeringsytor och inom kyrkogården har en utbredd last på 5 kPa använts.

Vilka grundläggningsmetoder som använts för byggnaderna inom området är inte känt. För bostadshus, förråd och liknande har ytlaster på 10-15 kPa använts vid beräkningarna och för kyrkan har en last på 50 kPa valts.

För beräkningarna har en partialkoefficient ansatts på lasterna med syfte att laster inte ska agera mothållande.

5.3. Beräkningar, befintliga förhållanden

Beräknade säkerhetsfaktorer för befintliga förhållanden redovisas i Tabell 4. Beräkningssektionerna redovisas i bilaga 12. I beräkningssektionerna redovisas bland annat kritisk glidyta samt gränsen mellan otillfredsställande och tillfredsställande glidytor (för befintlig bebyggelse). För de beräkningar som redovisas i detta stycke har inte hänsyn tagits till lerans anisotropa egenskaper, se kapitel 5.4 nedan för beräkningar med anisotropi.

Tabell 4. Beräknade säkerhetsfaktorer, befintliga förhållanden, faktorer med röd markering uppfyller inte kraven på erforderlig säkerhetsfaktor

Sektion\Analys	F_c	F_{komb}	F_ϕ
Sektion A, södra sidan	1,19	1,23	1,33
Sektion A, norra sidan	1,28	1,20	1,05
Sektion B, södra sidan	1,17	1,16	1,15
Sektion C, södra sidan	-	-	1,13
Sektion C, norra sidan	1,26	1,25	1,15
Sektion D, norra sidan	1,00	0,93	0,80
Sektion E, norra sidan	1,62	1,75	1,54

5.3.1. Resultat, befintliga förhållanden

Beräkningarna visar att erforderlig säkerhetsfaktor underskrids i samtliga sektioner, förutom i sektion E som är belägen längst österut. Särskilt låga säkerhetsfaktorer har erhållits i sektion D, där ån ligger i en ytterkurva med brant slänt upp mot Kvarnvägen.

Säkerhetsfaktorn är i regel som lägst för ytliga glidytor i det fasta ytlagret av silt. Vid beräkningarna har dock inte den sammanbindande effekt som befintlig växtlighet och rotsystem ger beaktats, vilket innebär att beräknade säkerhetsfaktorer för små ytliga glidytor bedöms vara på säkra sidan. Erforderlig säkerhetsfaktor uppnås även i regel på kort avstånd från släntkrön, mellan ca 1 och ca 4 m. I sektion D är dock avståndet större, ca 9 m.

För låga beräknade säkerhetsfaktorer har även erhållits för glidytor som går genom leran i sektion A-D, både vid odränerad och kombinerad analys. Vidare analys av hur dessa påverkas vid beaktande av anisotropa förhållanden i leran har utförts och redovisas nedan.

5.4. Beräkningar, befintliga förhållanden med anisotropi

Beräknade säkerhetsfaktorer av kritisk glidyta för befintliga förhållanden vid beaktande av anisotropa förhållanden i leran redovisas i Tabell 5. I tabellen redovisas även procentuell differens mellan erhållna säkerhetsfaktorer för beräkningar med och utan anisotropi. Beräkningssektionerna redovisas i bilaga 13.

Tabell 5. Beräknade säkerhetsfaktorer, befintliga förhållanden, hänsyn tagen till anisotropi, faktorer med röd markering uppfyller inte kraven på erforderlig säkerhetsfaktor

Sektion\Analys	F_c	ΔF_c	F_{komb}	ΔF_{komb}
Sektion A, södra sidan	1,32	10,9%	1,39	13,0%
Sektion A, norra sidan	1,49	16,4%	1,21	0,1%
Sektion B, södra sidan	1,29	10,3%	1,33	14,7%
Sektion C, norra sidan	1,35	7,1%	1,33	6,4%
Sektion D, norra sidan	0,99	0%	0,90	-0,3%

5.4.1. Resultat, befintliga förhållanden, anisotropi

Beräkningarna visar att beaktande av anisotropa förhållanden i leran generellt ger en ökning av säkerhetsfaktorn med mellan ca 6 och ca 16 %. Förändringen bedöms bero på hur stor del av den kritiska glidyttans aktivzon som går genom lera. I de fall där ökningen är obefintlig eller till och med negativ, som till exempel i sektion D, bedöms detta bero på att kritisk glidyta endast tangerar lerlagret och att delen av glidyttan som berörs av förändringar i hur lerlagret modelleras

är försumbar. De små skillnader som observerats i de fallen bedöms i huvudsak bero på hur sökområdet för glidytor ansatts i beräkningarna.

Vid beaktande av anisotropi erhålls erforderlig säkerhetsfaktor även i sektion C. I övriga sektioner underskrids fortfarande kraven, dock generellt med säkerhetsfaktorer som ligger betydligt närmare gränsen för tillfredsställande stabilitet jämfört med säkerhetsfaktorerna när anisotropi inte beaktas. Beräkningarna visar även att det område som påverkas av glidytor med otillfredsställande stabilitet minskar vid beaktande av anisotropi.

För att släntstabiliteten ska bli tillfredsställande mot ån krävs släntstabilitetsförbättrande åtgärder, se även kapitel 5.7.

5.5. Känslighetsanalys, portryck

Beräknade säkerhetsfaktorer för kritisk glidytta vid utförd känslighetsanalys med avseende på portryck redovisas i Tabell 6 nedan, tillsammans med procentuell skillnad gentemot befintliga förhållanden med hänsyn till anisotropi, se Tabell 5 ovan. Vid jämförelse av glidytor i enbart friktionsjord (ΔF_ϕ) har beräkningar i Tabell 4 använts, eftersom de inte påverkas av anisotropi. Beräkningssektionerna redovisas i bilaga 14. I känslighetsanalysen har leran modellerats med anisotropi.

Tabell 6. Beräknade säkerhetsfaktorer, känslighetsanalys med avseende på portrycksökning, faktorer med röd markering uppfyller inte kraven på erforderlig säkerhetsfaktor

Sektion\Analys	F_c	ΔF_c	F_{komb}	ΔF_{komb}	F_ϕ	ΔF_ϕ
Sektion A, södra sidan	1,25	-5,3%	1,13	-18,7%	-	-
Sektion A, norra sidan	1,49	0,0%	1,21	0,0%	-	-
Sektion B, södra sidan	1,24	-3,9%	0,91	-31,6%	-	-
Sektion C, södra sidan	-	-	-	-	1,03	-8,8%
Sektion C, norra sidan	1,34	-0,7%	0,96	-27,8%	-	-
Sektion D, norra sidan	0,97	-2,2%	0,76	-15,6%	0,66	-17,5%

Känslighetsanalysen visar att i synnerhet säkerhetsfaktorn för kombinerad och dränerad analys är känslig för portryckshöjningar, med minskningar på mellan ca 10 och ca 30% jämfört med befintliga förhållanden där uppmätta portryck ansatts. Under Gårdaån och i intilliggande siltslänter blir effektivspänningen vid en portrycksökning mycket låg, vilket ger låg skjuvhållfasthet vid dränerad och kombinerad analys och en minskning av jordens mothållande vikt.

Beräkningarna visar att även säkerhetsfaktorn för odränerad analys påverkas negativt, detta då portrycksökningen dels ger lägre skjuvhållfasthet i de dränerade siltskikten, dels ger mindre effektiv tyngd från jorden på mothållande sida.

Avståndet från släntkrön inom vilket beräknad säkerhetsfaktor är för låg blir generellt större vid utförd känslighetsanalys.

5.6. Primär- och sekundärskred

Det område som bedöms kunna påverkas av eventuella skred under befintliga förhållanden redovisas med hjälp av primär- och sekundärskredsmarkeringar i bilaga 15. Området för primärskred anger påverkansområdet av beräknade kritiska glidytor, dvs området för de glidytor som har lägst beräknad säkerhet vid beräkningar med anisotropi. Sekundärskredsområdet visar påverkansområdet av bakåtgripande skred, alternativt gränsen för glidytor med otillfredsställande stabilitet, beroende på vilken av alternativen som påverkar störst del i varje sektion. Inom påverkansområdet finns befintliga byggnader och lokalvägar.

Risken för bakåtgripande skred har översiktligt analyserats enligt metoden i Göta älvutredningen delrapport 32 kap 2.3, där n-faktorn med ledning av uppmätt sensitivitet valts till 15 i leran. I silten har n-faktorn valts till 3. Möjligheterna för Gårdaån att transportera bort skredade massor bedöms vara begränsade, vilket minskar risken för att primärskred blir bakåtgripande.

5.7. Förslag på möjliga släntstabilitetsförbättrande åtgärder

Då beräknad säkerhetsfaktor i stora delar av undersökningsområdet är för låg har möjliga stabilitetsförbättrande åtgärder undersökts. För- och nackdelar för respektive åtgärd redovisas nedan.

Installation av KC-pelare bedöms inte vara lämpligt då det medför stora ingrepp i bebyggda områden och då stora delar av glidytor går igenom det ytliga friktionsjordslagret, i vilket KC-pelare bedöms ge försumbar effekt. Installation av KC-pelare ger vanligtvis en portrycksökning i jorden, och då utförd känslighetsanalys visar att berörda slänter är känsliga för portryckshöjningar finns en risk att installation medför att skred utlöses. I kombination med KC-pelare krävs även att ån erosionsskyddas för att förhindra framtida försämringar av stabilitetsförhållandena.

Installation av spont bedöms vara en möjlig stabilitetsförbättrande åtgärd. Utformning har inte undersökts närmare i detta skede. Sponten behöver dimensioneras för att klara att material framför sponten spolats bort efter eventuella skred, samt för avrostning för en livslängd på 100 år i vatten. Om spont utförs med bakåtförankring genom borrning av stag till berg bedöms stagen generellt bli långa, uppskattningsvis mellan ca 25 och ca 40 m. Vid beaktande av ovanstående bedöms spont som stabilitetsförbättrande åtgärd bli mycket kostsam jämfört med andra alternativ. Dock agerar sponten som ett erosionsskydd, så att inget ytterligare skydd mot erosion erfordras.

I bilaga 16 redovisas utförda beräkningar för den stabilitetsförbättrande åtgärd som bedöms vara mest kostnadseffektiv och lämpligast ur geotekniskt perspektiv. Åtgärdsförslaget utgörs av erosionsskydd som utöver att skydda mot erosion, och därmed mot framtida försämring av stabiliteten, även agerar som tryckbank. I sektion D krävs att erosionsskyddet kombineras med höjning av åbotten och att lättfyllning, exempelvis lättklinker, läggs i läget för befintlig väg. Ungefärlig utbredning av åtgärdsförslaget redovisas i plan i bilaga 17. Att enbart lägga ut lättfyllning som stabilitetsförbättrande åtgärd bedöms inte vara lämpligt, eftersom erosionsskydd krävs för att släntstabiliteten inte ska försämrats med tiden.

Åtgärdsförslaget är i detta skede räknat för högsta uppmätta portryck. Vid detaljprojektering av åtgärder bör även hänsyn tas till att slänterna är känsliga för portryckshöjningar. För att kunna göra en bedömning av lämpligt dimensionerande portryck bör portrycksmätningarna fortgå. Åtgärder för att begränsa portrycksuppbyggnad i friktionsjordslagret bör också utredas.

6. Erosion

Erosionen i Gårdaån bedöms vara måttlig vid undersökningsområdet. Längs delar av sträckan förekommer sten och block i strandlinjen och utöver det verkar den kraftiga växtligheten längs vattendraget som ett naturligt erosionsskydd, se Figur 1 och Figur 2 nedan. Längs delar av åfåran är slänterna extra utsatta för erosionskrafter, bland annat i ytterkurvor och vid dagvattenutsläpp, där relativt kraftig urspolning noterats, se Figur 3. Föreslagen stabilitetsförbättrande åtgärd agerar som erosionsskydd längs delar av ån. Inom övriga delar bedöms befintligt naturligt erosionsskydd behöva kompletteras. Placering och utformning av kompletterande erosionsskydd får utredas vid detaljprojektering. Möjligheten att använda naturanpassade erosionsskydd som komplement eller ersättning till tunga erosionsskydd bör utredas.



Figur 1, Sten och block i och längs å-fåran



Figur 2, Kraftig växtlighet längs ån



Figur 3, Urspolning vid vattenutsläpp