

JANUARI 2024
SGI – DELEGATIONEN FÖR GÖTA ÄLV

TORNA DAL, LILLA EDETS KOMMUN

MARKTEKNISK UNDERSÖKNINGSRAPPORT (MUR) GEOTEKNIK

30800VRA01



COWI

ADRESS COWI AB
Vikingsgatan 3
Box 12076
402 41 Göteborg
Sverige

TEL 010 850 10 00
FAX 010 850 10 10
WWW cowi.se

JANUARI 2024
SGI – DELEGATIONEN FÖR GÖTA ÄLV

TORNA DAL, LILLA EDETS KOMMUN

MARKTEKNISK UNDERSÖKNINGSRAPPORT (MUR) GEOTEKNIK

30800VRA01

PROJEKTNR.	DOKUMENTNR.	KONTAKTPERSON SGI		DIARIENR. SGI	UPPDRAGSNR. SGI
A244820	30800VRA01	Jimmy Aradi		6.2-2205-0491	10292
VERSION	UTGIVNINGSDATUM	BESKRIVNING	UTARBETAD	GRANSKAD	GODKÄND
1.0	2024-01-19	MUR Geoteknik	Andreas Stöllman	Charlotte Junkers	Eli Martinez Szmyt

INNEHÅLL

1	Objekt	10
2	Syfte	10
3	Underlag för undersökningen	11
3.1	Allmänt	11
3.2	Tidigare utförda undersökningar	12
4	Styrande dokument	13
5	Befintliga förhållanden	15
5.1	Topografi och ytbeskaffenhet	15
5.2	Befintliga konstruktioner	18
6	Utsättning / Inmätning	21
7	Geotekniska fältundersökningar	22
7.1	Utförda sonderingar och in situ-försök	22
7.2	Utförda provtagningar	23
7.3	Undersökningsperiod	23
7.4	Fältingenjör	23
7.5	Observationer och iakttagelser	23
7.6	Kalibrering och certifiering	24
7.7	Provhantering	24
8	Hydrogeologiska fältundersökningar	24
8.1	Utförda hydrogeologiska fältundersökningar	25
8.2	Undersökningsperiod	25

8.3	Fältingenjör	25
8.4	Kalibrering	25
9	Geotekniska laboratorieundersökningar	26
9.1	Utförda undersökningar	26
9.2	Undersökningsperiod	26
9.3	Laboratorieingenjör	27
9.4	Kalibrering och certifiering	27
9.5	Provförvaring	27
10	Härledda värden	28
10.1	Hållfasthetsegenskaper	29
10.2	Deformationsegenskaper	29
10.3	Indexegenskaper	29
10.4	Hydrogeologiska egenskaper	29
11	Värdering av undersökning	30
11.1	Generellt	30
11.2	Härledda värdens spridning och relevans	30
11.3	Övrigt	32

BILAGOR

Bilaga 1	Laboratorieundersökningar, rutinförsök
Bilaga 2	Laboratorieundersökningar, CRS-försök
Bilaga 3	Laboratorieundersökningar, direkta skjuvförsök
Bilaga 4	Laboratorieundersökningar, triaxialförsök
Bilaga 5	Conradutvärdering av CPTU-R
Bilaga 6	Härledda värden, hållfasthetsegenskaper
Bilaga 7	Härledda värden, överkonsolidering
Bilaga 8	Härledda värden, indexparametrar
Bilaga 9	Diagram, hydrogeologiska undersökningar
Bilaga 10	Datum för upptagning och analys av prover
Bilaga 11	Provkvalitet CRS-försök
Bilaga 12	Vingförsök rådata
Bilaga 13	Kalibreringsprotokoll
Bilaga 14	Detaljerad redovisning av CPTU-R
Bilaga 15	Lista utförda fältundersökningar
Bilaga 16	Lista utförda laboratorieundersökningar
Bilaga 17	Arkivmaterial – tidigare utförda undersökningar
Bilaga 18	Notat Förschakt åkerdränning

RITNINGSBILAGOR

Plan	Ritning G-10-1-101 till G-10-1-102 skala 1:1000 (A1)
Sektioner	Ritning G-10-2-001 till G-10-2-006 skala H 1:200 L 1:500 (A1)
Enstaka undersökningspunkter	Ritning G-10-2-101 till G-10-2-127 skala 1:100 (A1)

Förord

Risken för skred längs Göta älv är stor och ökar i och med klimatförändringarna. Regeringen har gett Statens geotekniska institut (SGI) uppdraget att arbeta för att minska risken för ras och skred. Arbetet görs tillsammans med Delegation för Göta älv där representanter från berörda kommuner, myndigheter och organisationer ingår. Delegationen har ett sekretariat på SGI som bistår i administrativa och tekniska frågor.

År 2009–2011 gjordes en översiktlig utredning av skredrisken längs Göta älv. Denna utredning, kallad Göta älvutredningen, pekar ut områden i behov av vidare utredning och utgör ett stöd till bland annat kommuner vid prioritering av områden att arbeta vidare med. Utifrån den översiktliga utredningen går SGI vidare och utför detaljerade och fördjupade stabilitetsutredningar i utvalda områden med hög- eller medelhög skredrisk.

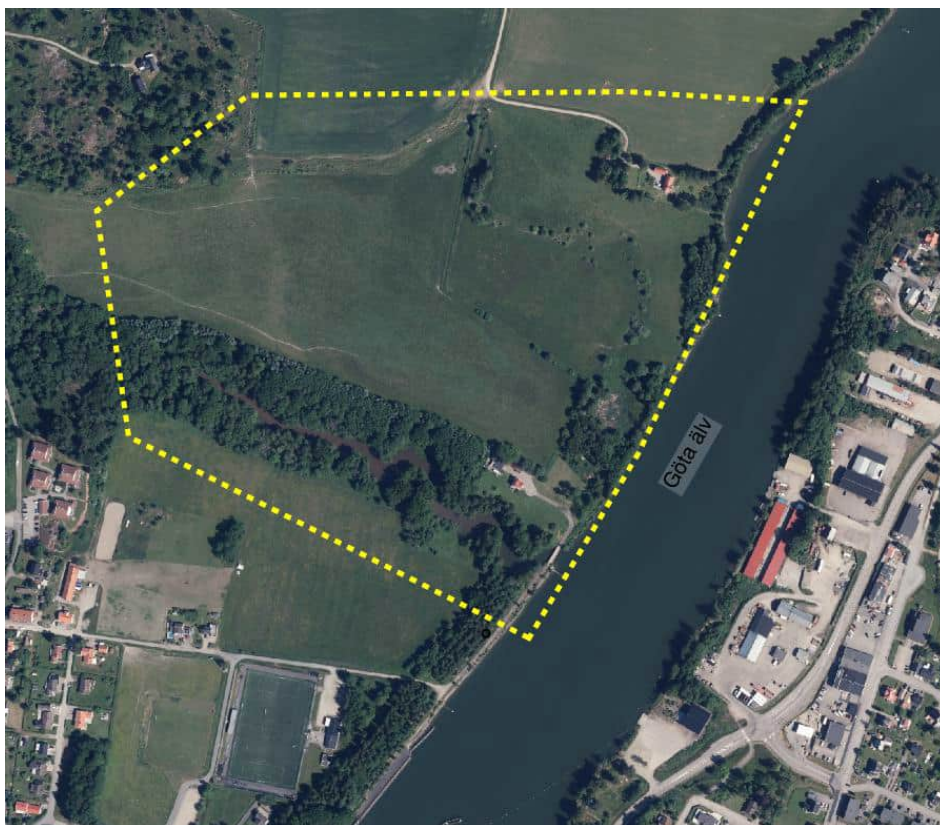
Stabilitetsutredningarna görs av geotekniska konsulter under ledning av SGI. I uppdragen ingår bland annat att presentera en bedömning av skjuvhållfastheten och att ge förslag på lämpliga stabilitetshöjande åtgärder. Utredningsresultaten ligger till grund för SGI:s fortsatta arbete med analys och beräkning av sannolikhet för skred samt för planering av eventuella stabilitetshöjande åtgärder. Allt i syfte att på sikt minska risken för skred i Göta älv dalen.

Statens geotekniska institut, Sekretariatet för Göta älv

1 Objekt

På uppdrag av Statens geotekniska institut (SGI) har COWI AB utfört en geoteknisk undersökning vid Torna dal i Lilla Edets kommun.

Undersökningsområdet är beläget på västra sidan om Göta älv i höjd med de norra delarna av Lilla Edets tätort. Området ligger mellan Kungälvsvägen och Göta älv, se Figur 1. Området sträcker sig från km 30/550 i norr till km 31/150 i söder enligt Göta älvs längdmätning. För planritning med längdmätning hänvisas till ritningsbilagorna.



Figur 1 Översiktssbild, aktuellt område markerat med gul linje (kartkälla: minkarta.lantmateriet.se 2023)

2 Syfte

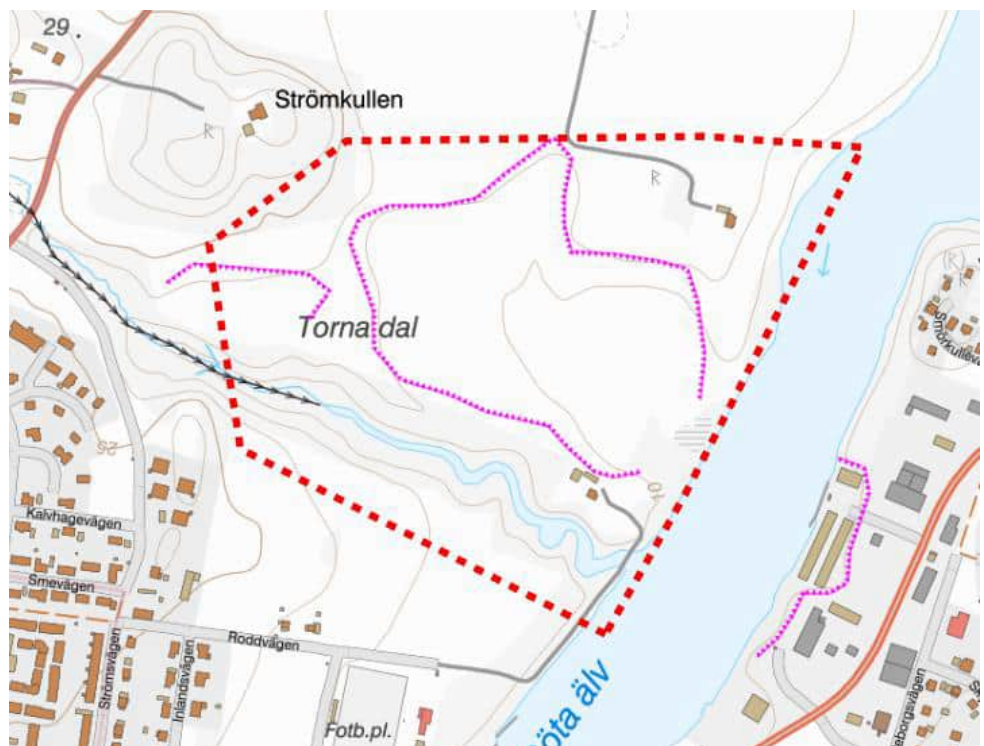
Syftet med de geotekniska undersökningarna har varit att fastställa jordlagerföljd och jordens geotekniska egenskaper samt de hydrogeologiska förhållandena inom området. De geotekniska undersökningarna har utgjort underlag för en fördjupad stabilitetsutredning enligt IEG Rapport 4:2010.

3 Underlag för undersökningen

3.1 Allmänt

Vid planering av undersökningarna har arkivmaterial i form av tidigare undersökningar använts. Dessa redovisas i Kapitel 3.2. Övrigt underlag har utgjorts av:

- > Grundkarta erhållen från beställaren, augusti 2022
- > Kartmaterial erhållet från berörda ledningsägare, augusti 2022
- > Batymetrisk mätning av älvbotten från 2018
- > Höjddata från Lantmäteriets WCS-tjänst, erhållen från beställaren, mars 2023
- > Geosuite-databas med tidigare utförda undersökningspunkter erhållen från beställaren, juni 2022.
- > SGU:s kartvisare för jordskred och raviner, februari 2023. Ett utsnitt över aktuellt område framgår av Figur 2.



Figur 2 Utsnitt ur SGU:s kartvisare för jordskred och raviner där tidigare jordskred och skredärr markerats med rosa. Aktuellt område är översiktligt markerat med röd-streckad linje (kartkälla: SGU).

3.2 Tidigare utförda undersökningar

I samband med den geotekniska undersökningen har arkivinventering av tidigare utförda undersökningar utförts.

Plan- och sektionsritningar samt i förekommande fall laboratorieprotokoll och conradutvärderingar, från tidigare utförda undersökningar har bilagts denna rapport, se Bilaga 17. Utvalda undersökningspunkter som nyttjats i utredningsarbetet redovisas på planritningarna med beteckningar enligt Tabell 1 nedan.

Tabell 1 Tidigare utförda undersökningar

Uppdrag	Utförd av	Uppdrags-nummer	Beteckning i plan	Datum	Undersökningspunkterna erhållet i format:	Bilaga:Sida
Förhandsinformation: SGI Geotekniska undersökningar i Göta älv från flotte (Östra Berg)	WSP	10345431	22S803	-	Autograf-databas/PDF	17:1-17:15
Förhandsinformation: Slussarna i Trollhätte kanal	WSP	10326082	22W871	-	Autograf-databas/PDF	17:16-17:56
Västra älvstranden Fördjupad utredning, Norra delområdet	Ramböll	61461253085-03	R121XX	2013-12-10	PDF	17:57-17:118
Fördjupad stabilitetsutredning Ryk 3:11	Ramböll	614661145055	1106A11 1106A12 1106A13 1106A14	2011-10-10	Autograf-databas/PDF	17:119-17:152
Göta älvutredningen delområde 4	SGI	14084	U04094-U04103	2011-03-31	Autograf-databas/PDF	17:153-17:242
Göta älvutredningen delområde 5	SGI	14084	U05208-U05213	2010-04-15	Autograf-databas/PDF	17:243-17:248
Trollhätte kanalverk	Scandia-consult	391719-01	Ej digitaliserade	1991-12-11	PDF	17:249-17:257
Ström 2:18 m.fl.	Göteborgs Förorter	36202182230	84GF141/7510AXX	1984-06-15	Autograf-databas/PDF	17:258-17:292
Vårdbyggnad på Ström	Göteborgs Förorter	36202030230	7510AXX	1975-10-21	Autograf-databas/PDF	17:293-17:301

4 Styrande dokument

Denna rapport ansluter till SS-EN 1997-1 med tillhörande nationell bilaga. För mer information gällande styrande dokument för specifika fält- och laboratorieundersökningar se Tabell 2 till Tabell 5 nedan.

Tabell 2 Planering och redovisning

Undersökningsmetod	Standard eller annat styrande dokument
Fältplanering	SS-EN 1997-2
Fältutförande	SGF Rapport 1:2013 Geoteknisk fälthandbok samt SS-EN-ISO 22475-1
Beteckningssystem	SGF/BGS beteckningssystem 2001:2

Tabell 3 Fältundersökningar

Undersökningsmetod	Standard eller annat styrande dokument
Trycksondering (Tr)	SGF Rapport 1:2013, Geoteknisk Fälthandbok
Spetstrycksondering med resistivitmätning (CPTU-R)	SS-EN ISO 22476-1: 2012/AC 2013, SGF Rapport 1:2013, Geoteknisk Fälthandbok
Jord-bergsondering	SGF Rapport 4:2012
Störd provtagning, Skruvprovtagning (Skr)	SGF Rapport 1:2013, Geoteknisk Fälthandbok
Ostörd provtagning, Kolvprovtagning (Kv)	SGF Rapport 1:2009, Standardkolv
Vingförsök (Vb)	SGF Rapport 2:93
Hydrogeologiska mätningar	SS-EN ISO 22475-1:2006 SGI Information 11 Mätning av grundvattennivå och portryck
Installation av portrycksspets	SGF Rapport 1:2013, Geoteknisk Fälthandbok

Tabell 4 Laboratorieundersökningar WSP

Undersökningsmetod	Standard eller annat styrande dokument
Jordartsbeskrivning	SS-EN ISO 14688 1:2002 & SS-EN ISO 14688 2:2004 samt BFR T21:1982
Vattenkvot	SS 027116, utgåva 3
Konflytgräns	SS 027120, utgåva 2
Skrymdensitet	SS 027114, utgåva 2
Fallkonförsök	SS 027125, utgåva 1 (avvikelse: lägsta konintrycket för 100 gramskonen är 7 mm enligt SGF:s laboratoriekommittés rekommendationer)
CRS-försök	SS 027126, utgåva 1
Skjuvhållfasthet - Direkta skjuvförsök	SS 027127 och SGF Notat 2:2004
Triaxial försök - aktivt odränerat	ISO/TS 17892-9:2004

Tabell 5 Laboratorieundersökningar AFRY

Undersökningsmetod	Standard eller annat styrande dokument
Jordartsbeskrivning	SS EN ISO 14688-1, SS EN ISO 14688-2
Vattenkvot	SS-EN/ISO 17892-1:2014
Konflytgräns	SS-EN/ISO 17892-12:2018 samt SGF Notat 1:2018
Skrymdensitet	SS-EN/ISO 17892-2:2014
Fallkonförsök	SS-EN ISO 17892-6 samt SGF Notat 2:2018
CRS-försök	SS 027126
Skjuvhållfasthet - Direkta skjuvförsök	SS-EN/ISO 17892-10:2019
Triaxialförsök - aktivt odränerat	SS-EN/ISO 17892-8:2018, SS-EN/ISO 17892-9:2018, ISO/TS 17892-8:2005 samt ISO/TS 17892-9:2005

5 Befintliga förhållanden

5.1 Topografi och ytbeskaffenhet

Undersökningsområdet utgörs till största delen av åker- och betesmark. I områdets mellersta delar finns ett våtmarksområde närmast Göta älv. I den södra delen av området rinner Strömsbäcken i sydostlig riktning mot Göta älv. Kring Strömsbäcken och längs med strandkanten vid Göta älv växer träd och buskar. Inom området finns två bebyggda tomter, en i norr och en i söder. Till tomterna går grusbelagda vägar. Strax väster om bostadshuset på tomten i norr finns ett parti med berg i dagen, se Figur 3.



Figur 3 Parti med berg i dagen i anslutning till bostadshuset i norr. Foto taget mot väst daterat 2022-08-23.

Inom undersökningsområdets norra delar varierar markytans nivå i huvudsak från ca +18 i väst till ca +7 närmast älven. I väst är markytan relativt flack med svag lutning mot Göta älv. I öst, närmast Göta älv, ökar släntlutningen gradvis och uppgår till som mest ca 1:3,5. Bottennivåerna i Göta älv varierar mellan ca -9 och -7. Höjdskillnaden mot markytans nivå bakom släntkrön är ca 14-27 m. Undervattenssläntens lutning varierar i allmänhet mellan ca 1:1,5 och 1:2. Lokalt förekommer slänter med lutning 1:1,2.

I undersökningsområdets mellersta delar finns en slänt som i huvudsak löper i öst-västlig riktning, Figur 4. Släntens lutning uppgår till ca 1:3,5-1:9. Slänten har troligtvis uppkommit i samband med ett tidigare inträffat skred. I norr, bakom släntkrön, varierar markytans nivåer mellan ca +15 och +19. Söder om slänten utgörs området av ett låglänt parti där markytans nivåer varierar från ca +8 närmast Göta älv till ca +10 ca 300 m från strandlinjen, se Figur 5. Längre västerut stiger markytan mot ett höjddparti med berg i dagen, Strömskullen se Figur 6. I norra delen har slänten ner mot Göta älv lutning ca 1:6-1:8. Inom det låglänta partiet i söder finns inte någon större höjdskillnad mot älven och därmed finns inte heller någon slänt. Bottennivåerna i Göta älv varierar från ca -4 á -7 i norr till -4 á -10 i söder. Höjdskillnaden mot markytans nivå bakom släntkrön är ca 15-25 m i norr och ca 13-18 m i söder. Undervattenssläntens lutning varierar i allmänhet mellan ca 1:1 och 1:3 i norr respektive mellan ca 1:1,3 och 1:1,7 i söder.



Figur 4 Slänt i den mellersta delen av området. Foto taget mot norr daterat 2022-08-23.



Figur 5 Låglänt parti inom den mellersta delen av området. I bakgrunden ses Strömskullen till vänster och slänten efter tidigare inträffat skred till höger. Foto taget mot väst daterat 2022-08-23.



Figur 6 Strömskullen strax väster om undersökningsområdet. Foto taget mot väst daterat 2022-08-23.

I den södra delen av undersökningsområdet meandrar Strömsbäcken i väst-östlig riktning i en ca 5-13 m djup ravinbildning. Markytan bakom ravinens slänkrön ligger i den västra delen, på nivå ca +13 till +21. I öst, närmast Strömsbäckens utlopp faller markytan, norr och söder om ravinen, till nivåer varierande från ca +10 till +13 vid slänkrön mot Göta älv. Slänten ner mot Göta älv har lutning ca 1:4,5-1:10.



Figur 7 Betesmark inom området söder om Strömsbäcken. Foto taget mot öst med älven bakom främre trädridån, daterat 2022-08-23.

Enligt utförd lodning varierar bottennivån i de östra delarna av Strömsbäcken mellan +3 och +6. Släntlutningen i ravinens östra delar uppgår i allmänhet till ca 1:2,5 eller flackare. Enligt utförd lodning i Strömsbäckens västra delar varierar bottennivån mellan ca +6,5 och +8,5. Släntlutningen i ravinens västra delar uppgår i allmänhet till ca 1:2 eller flackare. Lokalt förekommer släntlutningar som är brantare än 1:1,5. Bottennivåerna i Göta älv varierar mellan ca -10 och -15. Höjdskillnaden mot markytans nivå bakom släntkrön är ca 20-27 m. Undervattenssläntens lutning varierar i huvudsak mellan ca 1:1 och 1:1,5. Vid Strömsbäckens utlopp finns en ca 8-26 m bred undervattenshylla där älvbotten ligger på nivå ca -1 till +2. Slänten från undervattenshyllan ned mot älvbotten har en lutning som i allmänhet varierar mellan ca 1:1 och 1:2 men som ställvis är brantare än 1:1.

5.2 Befintliga konstruktioner

Inom områdets norra och södra del finns två bostadshus. Det norra bostadshuset ligger ca 60 m från Göta älvs strandlinje och det södra ca 90 m från Göta älvs strandlinje. Det södra bostadshuset ligger även ca 40 m norr om Strömsbäckens strandlinje. Infartsvägen till det södra bostadshuset passerar Strömsbäckens utlopp i Göta älv via en pålad betongbro, se Figur 8.



Figur 8 Betongbro över Strömsbäcken. Foto taget mot norr, daterat 2022-08-23

Inom området finns markförlagda el- och teleledningar. Inom den norra delen av området finns en luftledning som enligt uppgift ska vara tagen ur bruk.

Längs Göta älvs strandlinje har erosionsskydd i form av sprängsten lagts ut, se Figur 9 och Figur 10. Vid platsbesök 2022-08-23 bedömdes erosionsskyddet vara intakt utan tecken på pågående erosion. Dock medför begränsad sikt i Göta älv svårigheter att bedöma erosionsskyddets utbredning och kondition under vattenytan.



Figur 9 Utlagt erosionsskydd i strandkanten mot Göta älv. Fotot taget mot norr, daterat 2022-08-23



Figur 10 Utlagt erosionsskydd i strandkanten mot Göta älv. Fotot taget mot söder, daterat 2022-08-23

Vid platsbesök 2022-08-23 och 2023-04-14 kunde inte något erosionsskydd observeras längs Strömsbäckens norra och södra strandlinje, se Figur 11 och Figur 12. Exponerade trädrötter i strandkanten tyder på viss pågående erosion.

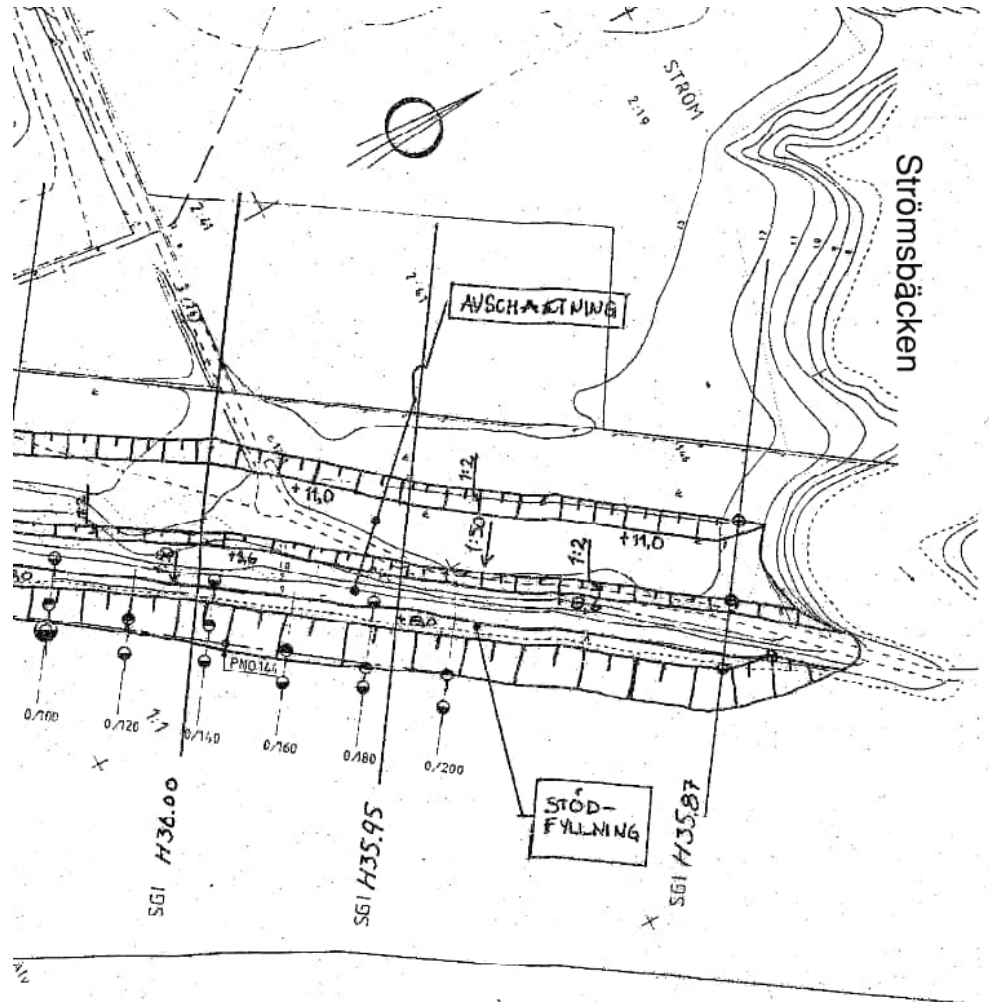


Figur 11 Strömsbäckens södra strandkant. Fotot taget mot söder, daterat 2022-08-23



Figur 12 Strömsbäckens norra strandkant. Fotot taget mot nordväst, daterat 2023-04-14

I området söder om Strömsbäcken har stabilitetsförbättrande åtgärder utförts i slänten mot Göta älv från ca km 31/100 och ca 470 m söderut. Åtgärden omfattade avlastning bakom slänkrön genom avschaktning samt utläggning av stödfyllning i slänten ner mot och i Göta älv, se Figur 13 nedan.



Figur 13 Planritning över utförd stabilitetsförbättrande åtgärd söder om Strömsbäcken i form av avschaktning och stödfyllning (Scandiaconsult 1991)

6 Utsättning / Inmätning

Inmätningar och avvägningar av underökningspunkter har utförts av Hampus Rydén, COWI AB. Lodning samt lidarskanning av Strömsbäcken har utförts under ledning av Pär Ljungdahl, Scior Geomanagement AB. Mätningarna redovisas i koordinatsystemet SWEREF 99 TM och i höjdsystemet RH 2000.

Inmätningar och avvägningar har utförts i mätklass B i enlighet med SGF Rapport 1:2013 Geoteknisk Fälthandbok.

7 Geotekniska fältundersökningar

Fältundersökningar har utförts på land i 35 undersökningspunkter, namngivna 22C101-22C135.

Resultaten av undersökningarna redovisas i plan, sektion och som enstaka undersökningspunkter, se Ritningsbilagor. Detaljerad redovisning av CPT-sonderingar återfinns i Bilaga 14. CPT-sonderingar har utförts i användningsklass 0 med 0,8 tons spets. Fältprotokoll med rådata från vingförsök har sammanställts i Bilaga 12.

I Bilaga 15 redovisas vilka fältundersökningar som har utförts i respektive undersökningspunkt. I bilagan framgår datum för utförande, filnamn vid digital lagring, utförare samt koordinater.

7.1 Utförda sonderingar och in situ-försök

I Tabell 6 nedan redovisas de undersökningar som utförts med respektive metod enligt gällande standarder, se Kapitel 4 Styrande dokument.

Tabell 6 Antalet utförda sonderingar och in situ-försök

Undersökningsmetod	Antal
Trycksondering (Tr)	35
CPT-sondering (CPTU-R)	30
Jord-bergsondering	7
Vingförsök (Vb)	12

7.2 Utförda provtagningar

I Tabell 7 nedan redovisas de undersökningar som utförts med respektive metod enligt gällande standarder, se Kapitel 4 Styrande dokument.

Tabell 7 Antalet utförda provtagningar fördelat på metod

Undersökningsmetod	Antal
Störd provtagning, Skruvprovtagning (Skr)	32
Ostörd provtagning, Kolvprovtagning (Kv)	9

7.3 Undersökningsperiod

De geotekniska fältundersökningarna har utförts under perioden vecka 40 till vecka 45 år 2022 samt under perioden vecka 15 till vecka 16 2023.

7.4 Fältingenjör

Fältarbetena utfördes av Hampus Rydén (HSRN) och Mattias Ilmestrand (MTIL), COWI AB.

7.5 Observationer och iakttagelser

Utförda trycksonderingar i undersökningspunkterna 22C117, 22C118 och 22C119 belägna i det låglänta området för tidigare inträffat skred, uppvisar en avvikande utseende på matningskraften i den övre delen av lerprofilen. Av skruvprovtagningen i undersökningspunkt 22C119 kan två separata lager med torrskorpora utläsas. Möjligtvis kan de övre jordlagren utgöras av skredmassor från tidigare inträffat skred.

Fältingenjörernas noteringar i samband med kolvprovtagning redovisas i bilaga "Datum för upptagning och analys av prover", se Bilaga 10.

7.6 Kalibrering och certifiering

COWI AB är kvalitetscertifierat enligt ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 och OHSAS 18001:2007.

Kalibreringsprotokoll för borrarbandvagn, vingdon samt CPT-spets har bilagts denna rapport, se Bilaga 13.

7.7 Provhantering

Provtagning och hantering av jordprover har utförts enligt SGF Rapport 1:2013 Geoteknisk Fälthandbok.

Ostörda prover har förvarats i glasfiberhylsor med tätslutande gummilock i avsedda lådor som tillhandahållits av laboratoriet. Proverna har transporterats på ett sådant sätt att de inte utsatts för temperaturer under fryspunkten eller skadliga vibrationer eller stötar. Jordprover har förvarats kylda och sparas på laboratoriet i upp till sex månader.

Störda prover har förvarats och transporterats i provpåsar av plast.

8 Hydrogeologiska fältundersökningar

I området har hydrogeologiska undersökningar utförts i nio undersökningspunkter 22C103, 22C119, 22C121, 22C124, 22C126, 22C127, 22C128, 22C131 och 22C134. Installation av porttrycksmätare och grundvattenrör har utförts i samband med de geotekniska fältundersökningarna.

I Bilaga 15 redovisas vilka porttrycksspetsar och grundvattenrör som installerats för respektive undersökningspunkt. I bilagan framgår installationsdatum, installationsdjup samt spetsnummer på porttrycksspetsar.

8.1 Utförda hydrogeologiska fältundersökningar

I Tabell 8 nedan redovisas de undersökningar som utförts med respektive metod enligt gällande standarder, se Kapitel 4 Styrande dokument.

Tabell 8 Antalet utförda hydrogeologiska undersökningar fördelat på metod

Undersökningsmetod	Antal
Installation av porttryckspets (Pp)	20
Installation av grundvattenrör (Rf)	7

8.2 Undersökningsperiod

Avläsning av porttryckspetsar har utförts med elektrisk porttrycksmätare med automatisk avläsning en gång per dag under perioden oktober år 2022 till september år 2023.

Grundvattenrören har avlästs vid 7-8 tillfällen under perioden november år 2022 till september år 2023.

8.3 Fältingenjör

De hydrogeologiska mätningarna har utförts av Hampus Rydén och Mattias Ilmestrand, COWI AB.

8.4 Kalibrering

Kalibreringsprotokoll för de elektriska porttryckspetsarna finns sammanställda hos COWI AB och skickas till beställaren på begäran.

9 Geotekniska laboratorieundersökningar

Geotekniska laboratorieundersökningar har utförts på WSP geotekniska laboratorium i Göteborg samt AFRY geotekniska laboratorium i Göteborg.

I Bilaga 16 redovisas utförda laboratorieundersökningar som utförts på jordprover upptagna med störd respektive ostörd provtagning enligt gällande standarder, se Kapitel 4 Styrande dokument. I bilagan framgår laboratorieanalys, antal prov/nivå samt datum för utförande.

Resultaten av undersökningarna redovisas i bilagda laboratorieprotokoll och på ritningsbilagor, se Bilaga 1 - 4 och Ritningsbilagor.

9.1 Utförda undersökningar

I Tabell 9 nedan redovisas de undersökningar som utförts med respektive metod enligt gällande standarder, se Kapitel 4 Styrande dokument.

Tabell 9 Antalet utförda undersökningar fördelat på metod

Undersökningsmetod	Antal
Jordartsbeskrivning	174
Vattenkvot	173
Konflytgräns	114
Skrymdensitet	76
Skjuvhållfasthet, konförsök	76
CRS-försök	48
Direkt skjuvförsök	40
Aktivt odränerat triaxialförsök	19

9.2 Undersökningsperiod

Geotekniska laboratorieundersökningar har utförts under perioden oktober år 2022 till februari år 2023 samt under perioden april till maj 2023.

Datum för upptagning och analys av prover har sammanställts i bilaga, se Bilaga 10.

9.3 Laboratorieingenjör

Laboratorieundersökningarna på WSP:s, geotekniska laboratorium i Göteborg har utförts av Abdirahman Hassan, Gustav Ländström och Karina Stjärne. Laboratorieundersökningarna på AFRY:s, geotekniska laboratorium i Göteborg har utförts av Hanna Karlström och Peter Hedborg.

9.4 Kalibrering och certifiering

WSP är kvalitets- och miljöcertifierat enligt ISO 9001:2015, ISO 14001:2015. På WSP utförs kalibrering, kontroll och dokumentation av laboratorieutrustningarna en gång om året och vid särskilt behov. Detta utförs av egna laboratorieingenjörer och externt ackrediterat företag –Tillquist för vågar och ugnar.

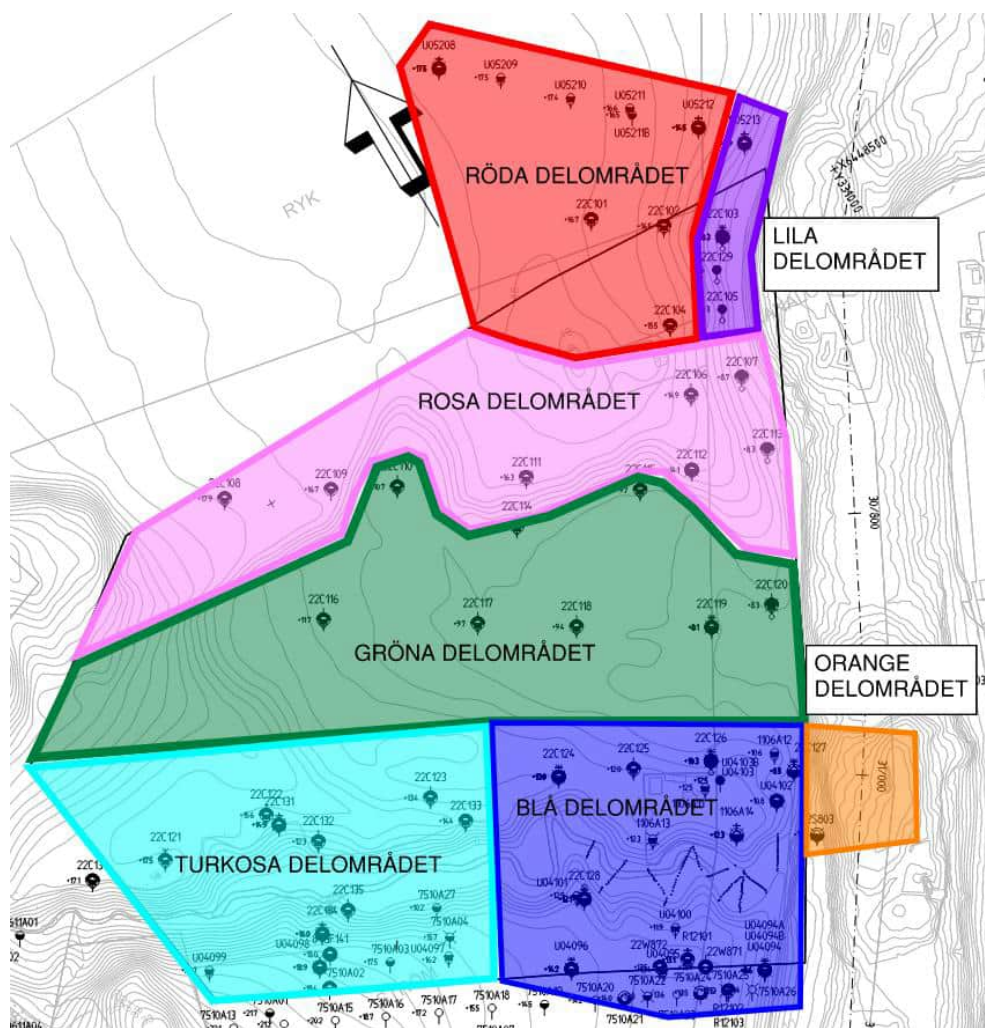
AFRY är certifierat enligt ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 samt OHSAS 18001:2007. Årlig kalibrering, kontroll och dokumentation av använd utrustning görs av extern ackrediterad aktör.

9.5 Provförvaring

Jordproverna har efter mottagande förvarats i kylrum. Proverna sparas därefter i sex månader efter utförd rutinundersökning.

10 Härledda värden

Härledda värden har sammanställts och redovisas i diagram uppdelat för sju olika delområden som benämns, röda delområdet, lila delområdet, rosa delområdet, gröna delområde, blå delområde, turkosa och orange delområdet, se Figur 14. I sammanställningarna för härledda värden har resultat från tidigare utförda undersökningar inarbetats.



Figur 14 Indelning av undersökningsområdet

10.1 Hållfasthetsegenskaper

Härledda värden för lerans odränerade skjuvhållfasthet har utvärderats från CPT-sonderingar, vingförsök samt konförsök, direkta skjuvförsök och triaxialförsök på ostörda jordprover. Skjuvhållfastheten bestämd med CPT-sonderingar, vingförsök och konförsök har korrigerats med hänsyn till konflytgräns. För vingförsök har skjuvhållfastheten dessutom korrigerats med hänsyn till överkonsolideringsgrad. De härledda värdena har sammanställts i diagram som har bilagts denna rapport, se Bilaga 6.

CPT-sonderingarna har utvärderats med datorprogrammet Conrad version 3.1 och har bilagts denna rapport, se Bilaga 5.

10.2 Deformationsegenskaper

Härledda värden för lerans förkonsolideringstryck har utvärderats från utförda CRS-försök. Laboratorieresultat för utförda CRS-försök redovisas i Bilaga 2.

Lerans överkonsolideringsgrad, OCR, har sammanställts i diagram som bilagts denna rapport, se Bilaga 7.

10.3 Indexegenskaper

Härledda värden för lerans densitet, vattenkvot, konflytgräns och sensitivitet har utvärderats från utförda laboratorieanalyser av ostörda prover. De härledda värdena har sammanställts i diagram och bilagts denna rapport, se Bilaga 8.

10.4 Hydrogeologiska egenskaper

Uppmätta portrycksnivåer redovisas på Ritningsbilagor och i diagram där trycknivån uppritats mot djup respektive tid, se Bilaga 9.

11 Värdering av undersökning

11.1 Generellt

Inga avvikelser har noterats i samband med fältundersökningarna eller laboratorieundersökningarna. CPT-sonderingar har utförts i användarklass 0.

Inom jordbruksmarken finns befintliga åkerdräneringar. För 15 av undersökningspunkterna inom området för åkerdräneringen utfördes en förschakt för att minska risken för skada på dräneringsledningarna. Dokumentation över utförd förschakt redovisas i Bilaga 18.

Enligt önskemål från markägare placerades kvarsittande porttrycksstationer och grundvattenrör inom betesmarken intill befintliga staket.

CPTU-sonderingar har utförts i användningsklass 0 med 0,8 tons spets. Vid CPTU-R-sondering i undersökningspunkt 22C106 förlorades kontakten med sonden och sonderingen fick göras om.

Inom framför allt det lila, det blå, det turkosa samt det orange delområdet har leran konstaterats vara kvick. Lerans höga sensitivitet gör proverna mer svårhanterliga, vilket bedöms kunna påverka provkvaliteten. Av utvärdering av provkvalitet framgår det att utförda CRS-försök i allmänhet indikerar någorlunda till god provkvalitet. Bedömningen av provkvalitet utifrån CRS-försök redovisas i Bilaga 11.

På grund av laboratoriets höga beläggning under hösten 2022 har det i allmänhet gått lång tid från fältprovtagning till laboratorieförsök, speciellt för de avancerade försöken, vilket bedöms kunna påverka försökskvaliteten. Antalet dagar från fältprovtagning till laboratorieanalys redovisas i Bilaga 10.

Av beställt triaxialförsök från 4 m i undersökningspunkt 22C103 erhöles inget resultat. I stället utfördes ett triaxialförsök på lerprovet från 5 m djup.

11.2 Härledda värden spridning och relevans

Spridning i härledda värden för lerans skjuvhållfasthet bedöms bero på en rad olika orsaker, till exempel belastningshistorik, lerans sammansättning och innehåll av underfraktioner. Tidigare inträffade skred har orsakat avlastning samt förflyttning och omlagring av jordmassor, vilket har haft betydelse för områdets belastningshistorik. Skillnaden i överkonsolideringsgrad har bland annat betydelse för korrigering av skjuvhållfasthetsvärden som bestämts med vingförsök.

Portrycksspetsen på 4 m djup i undersökningspunkt 22C134 har registrerat negativa värden från 2023-06-26 och fram till sista mättillfället 2023-09-25. Detta bedöms bero på att grundvattenytan under den aktuella perioden har legat lägre än portrycksspetsen på 4 m djup. Mätserien redovisas i diagrammen i Bilaga 9.

Jordprovet på 15 m djup i undersökningspunkt 22C131 samt jordproverna på 8 respektive 9 m djup under markytan i undersökningspunkt 22C134 har benämnts som silt. I sammanställningen av härledda värden för skjuvhållfasthet redovisas ej resultaten av fallkonförsöken på dessa provnivåer.

CRS-försöket från 3 m djup i undersökningspunkt 22C119 har bedömts vara stört och redovisas ej i sammanställningen av härledda värden. Enligt utvärderingen av provkvalitet uppnås dock någorlunda provkvalitet. CRS-försöket från 16 m djup i undersökningspunkt 22C124 kollapsade under första körningen och har därför körts om med halva hastigheten. För CRS-försöket från 15 m djup i undersökningspunkt 22C126 registrerades en initialtöjning på ca 4 %. Enligt utvärdering av provkvalitet uppnår provet dock någorlunda provkvalitet. CRS-försöket från 10 m djup i undersökningspunkt 22C131 har bedömts vara stört och redovisas ej i sammanställningen av härledda värden. Enligt utvärdering av provkvalitet uppvisar provet dålig provkvalitet. CRS-försöket från 8 m djup i undersökningspunkt 22C134 uppvisar ett mycket högt förkonsolideringstryck. Det aktuella provet utgörs av lerig silt med sandskikt. Försöket har därför ej bedömts vara representativt och redovisas ej i sammanställningen av härledda värden.

I undersökningspunkt 22C103 har två direkta skjuvförsök utförts på lerprovet från 8 m djup under markytan, ett med förbelastning och ett utan förbelastning. Försöket utan förbelastning har ej bedömts vara representativt och redovisas ej i sammanställningen av härledda värden. Utvärderad skjuvhållfasthet från direkta skjuvförsöket från 3 m djup i undersökningspunkt 22C112 bedöms vara något hög. Sannolikt beror detta på att lerprovet innehåller hårda rostfläckiga lerkörtlar. Försöket har ej bedömts vara representativt och redovisas ej i sammanställningen av härledda värden. I undersökningspunkt 22C119 visar direkta skjuvförsöket från 6 m djup på avvikande värde som ligger lägre än övriga metoder och har därför inte bedömts vara tillförlitligt. Det aktuella försöket redovisas ej i sammanställningen av härledda värden. För direkt skjuvförsök på lerprovet från 6 m i undersökningspunkt 22C124 visar skjuvspänningskurvan en tydlig flytspänning utan efterföljande brott. Dock ligger försöksresultatet i nivå med resultatet av övriga metoder och redovisas därför i sammanställningen av härledda värden. Vidare visar försöket på 12 m djup också en flack skjuvspänningskurva. Försöksresultatet visar på lägre skjuvhållfasthet än ovanförliggande försöksnivå. Samtidigt visar även vingförsöket och fallkonförsöket på samma djup låga värden. Möjligtvis kan det finnas ett lösare lerlager på aktuellt djup eller så kan de lägre värdena bero på lerans höga sensitivitet. Direkt skjuvförsök på lerprovet från 6 m djup i undersökningspunkt 22C126 uppvisar ett lågt värde som ligger lägre än övriga metoder. Inte heller detta värde anses tillförlitligt och redovisas således inte i sammanställningen av härledda värden.

För triaxialförsöket på 6 m djup i undersökningspunkt 22C126 noterades en något avvikande spänningsväg och utvärderad aktiv skjuvhållfasthet bedöms vara låg. Utifrån fotodokumentation av aktuellt lerprov noterades en spricka i den undre delen av provkroppen. Det är dock inte fastställt om sprickan uppkom i samband med försöket, om den fanns i provet redan vid provtagning i fält eller om den uppkom i samband med att provet delades efter försöket. Försöket har ej bedömts vara representativt och redovisas ej i sammanställningen av härledda värden.

Resultaten av nu utförda undersökningar uppvisar i huvudsak god överensstämmelse med resultat av tidigare utförda undersökningar inom området.

11.3 Övrigt

Enligt SGU:s kartvisare för jordskred och raviner finns det två skredärr inom området, se Figur 2 ovan.