

Skapat av D. Schälin	Dokumentdatum 2024-09-20	Teknikområde Geoteknik
Projektnamn Slussar i Trollhätte kanal	Objektnummer XVA300	Uppdragsnummer 10362412

Slussar i Trollhätte kanal Lilla Edet

Beräknings-PM Släntstabilitet ny sluss och justerad farled

Systemhandling

S.14+TK.T.A00-UGB.T.001

Ändringsbeteckning	Ändring avser	Ändring godkänd av	Ändringsdatum
Godkänd av J. Moberg	Datum 2024-09-20	Uppdragsansvarig A. Lager	Företag WSP Sverige AB

Innehåll

1	SAMMANFATTNING	5
2	SYFTE	11
3	UNDERLAG	11
3.1.	KARTOR, ORTOFOTO, MÄTDATA MM.	11
3.2.	GEOTEKNISKT ARKIVMATERIAL	11
3.3.	STYRANDE DOKUMENT	11
4	GEOTEKNISKA UNDERSÖKNINGAR	11
5	OMRÅDESBESKRIVNING	12
5.1.	GEOGRAFI OCH MARKANVÄNDNING	12
5.2.	TOPOGRAFI OCH BATYMETRI	13
6	GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN	14
6.1.	JORDLAGERFÖLJD	14
6.2.	FÖREKOMST OCH UTBREDNING AV KVICKLERA	14
6.3.	VAL AV ODRÄNERAD SKJUVHÅLLFASTHET	16
6.3.1.	SKJUVHÅLLFASTHET I DIREKT SKJUVZON	16
6.3.2.	AKTIV SKJUVHÅLLFASTHET	18
6.4.	FÖRÄNDRING AV ODRÄNERAD SKJUVHÅLLFASTHET TILL FÖLJD AV AVLASTNING	19
6.5.	DRÄNERAD SKJUVHÅLLFASTHET I LERJORDAR	22
6.6.	HÅLLFASTHETSANISOTROPI	23
7	BINDEMEDELSSTABILISERAD JORD	25
7.1.	FÖRUTSÄTTNINGAR	25
7.2.	LABORATORIEUNDERSÖKNING	26
7.2.1.	PROVNINGSPROGRAM, BINDEMEDEL OCH BINDEMEDELSMÄNGD	26
7.2.2.	UTVÄRDERING AV HÅLLFASTHET	28
7.2.3.	RESULTAT	28
7.2.4.	SLUTSATSER	30
7.3.	PROVPELARE	31
8	HYDROLOGISKA OCH HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN	32
8.1.	VATTENNIVÅN I GÖTA ÄLV	34
8.2.	GRUNDVATTENYTA OCH PORTRYCK	34
8.2.1.	PROGNOSTISERING	36
9	BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR STABILITETSANALYS	37
9.1.	ALLMÄNT	37
9.2.	ERFORDERLIG SÄKERHETSFAKTOR	37
9.3.	BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR	37
9.3.1.	PARTIALKOEFFICIENTMETODEN	37
9.3.2.	MATERIALEGENSKAPER	38
9.3.3.	ANISOTROPI	38
9.3.4.	AVLASTNING	39
9.3.5.	LASTER	40
9.3.6.	GRUNDVATTENNIVÅ OCH PORTRYCK	41
9.3.7.	DIMENSIONERANDE VATTENNIVÅER	42

9.3.8.	BINDEMEDELSSTABILISERAD JORD	42
9.4.	VAL AV STABILITETSFÖRBÄTTRANDE ÅTGÄRDER	43
9.5.	EROSIONSSKYDD	44
9.6.	SLÄNTSTABILITET I ETT FÖRÄNDRAT KLIMAT	45
10	STABILITETSBERÄKNINGAR OCH RESULTAT	46
10.1.	OMRÅDESINDELNING OCH VAL AV SEKTIONER	46
10.1.1.	UTFORMNING OCH GEOMETRI	48
10.2.	DELOMRÅDE 1 – 0/450–0/600 (TORNA DAL)	49
10.2.1.	MATERIALPARAMETRAR	49
10.2.2.	SEKTION 0/500	52
10.3.	DELOMRÅDE 2 – 0/600–0/800 (NORR 1)	54
10.3.1.	MATERIALPARAMETRAR	54
10.3.2.	SEKTION 0/630	56
10.3.3.	SEKTION 0/740	59
10.4.	DELOMRÅDE 3 – 0/800–1/100 (NORR 2)	62
10.4.1.	MATERIALPARAMETRAR	62
10.4.2.	SEKTION 0/820	64
10.4.3.	SEKTION 0/900	66
10.4.4.	SEKTION 0/980	68
10.5.	DELOMRÅDE 4 – 1/100–1/250 (SLUSSEN)	70
10.5.1.	MATERIALPARAMETRAR	70
10.5.2.	SEKTION 1/110	72
10.5.3.	SEKTION 1/210	75
10.5.4.	SEKTION 1/240	78
10.6.	DELOMRÅDE 5 – 1/250–1/350 (SÖDER 1)	80
10.6.1.	MATERIALPARAMETRAR	80
10.6.2.	SEKTION 1/320	81
10.7.	DELOMRÅDE 6 – 1/350–1/550 (SÖDER 2)	84
10.7.1.	MATERIALPARAMETRAR	84
10.7.2.	SEKTION 1/370	86
10.7.3.	SEKTION 1/440	88
10.7.4.	SEKTION 1/490	92
10.8.	DELOMRÅDE 7 – 0/500–1/000 (ÄLV NORR)	94
10.8.1.	MATERIALPARAMETRAR	94
11	RESULTAT STABILITETSANALYSER FÖR BEFINTLIGA FÖRHÅLLANDEN	96
12	SLUTSATS	96

Bilagor

Benämning	Filnamn	Beskrivning	Sidor
Bilaga 1	S.14+TK.T.A00-UGB.T.008	Prognos av extremvärden och uppmätta porvattentryck	38
Bilaga 2	S.14+TK.T.A00-UGB.T.009	Valda jordparametrar	66
Bilaga 3	S.14+TK.T.A00-UGB.T.010	Utvärderad anisotropi	23
Bilaga 4	S.14+TK.T.A00-UGB.T.011	Skjuvhållfasthetsfunktioner efter avlastning	28
Bilaga 5	S.14+TK.T.A00-UGB.T.012	Dimensionerande skjuvhållfasthet vid djupstabilisering	6
Bilaga 6	S.14+TK.T.A00-UGB.T.013	Stabilitetsberäkningar, befintliga förhållanden	41
Bilaga 7	S.14+TK.T.A00-UGB.T.014	Stabilitetsberäkningar, justerad farled	53

Hänvisningar dokument

Filnamn	Beskrivning	Datum
S.14+TK.T.A00-UGD.T.001	Rapport arkivinventering Geoteknik	2024-12-20
S.14+TK.T.A00-UGD.T.002	Markteknisk undersökningsrapport (MUR) Geoteknik	2024-12-20
S.14+TK.A.A00-AAB.T.001	PM Projekteringsförutsättningar Geoteknik	2024-12-20
S.14+TK.T.A00-UHA.T.102	PM Hydrogeologi Systemhandling	2024-12-20

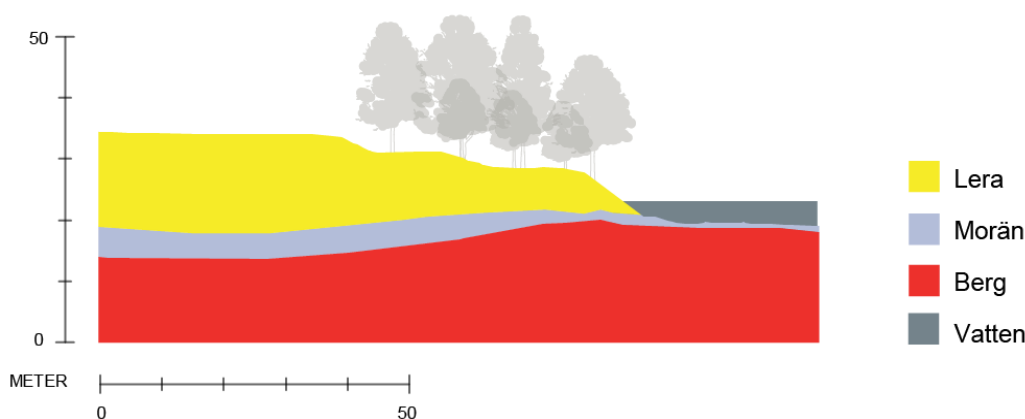
1 Sammanfattning

Den geotekniska säkerheten har undersökts för justerad farled och ny sluss i Lilla Edet på delsträckan från väg 167 i söder upp till området Strömsbäcken och Torna dal i norr. Översiktligt varierar marknivåerna inom området mellan ca +35 vid Ströms slott och ca +1 längs älvkanten nedströms befintlig sluss. Längs älvens västra sida finns en slänt i en eller flera terrasser med varierande nivåskillnader. Totala nivåskillnaden mellan släntkrön och släntfot i området varierar mellan 7 och 14 m.

Markförhållanden

Generellt inom utredningsområdet och kring Ströms sluss utgörs jordlagerföljden av lera som vilar på ett lager med friktionsjord på berg. Den övre delen av lerprofilen, ca 1–2 m, har generellt utvecklats till en torrskorpelera. Leran representeras av en glacial finlera vilket är vanligt förekommande i älvdalen. Lerans skjuvhållfasthet är låg i den övre delen av lerskiktet och ökar med ca 1 till 1,5 kPa/m mot djupet. Leran inom undersökningsområdet är överkonsoliderad. Överkonsolideringsgraden (OCR) varierar mellan 6 och 1,5 med en avtagande tendens mot djupet. Vidare förekommer det, främst i norr kring Strömsbäcken och i söder vid Parkvägen och väg 167, lera med hög sensitivitet vilken är att klassa som kvicklera. Den återfinns i huvudsak i den undre/djupare delen av jordprofilen mellan nivå +1 och underliggande friktionsjord. Friktionsjorden utgörs av en fast lagrad sandig siltig morän med inslag av större stenar och block.

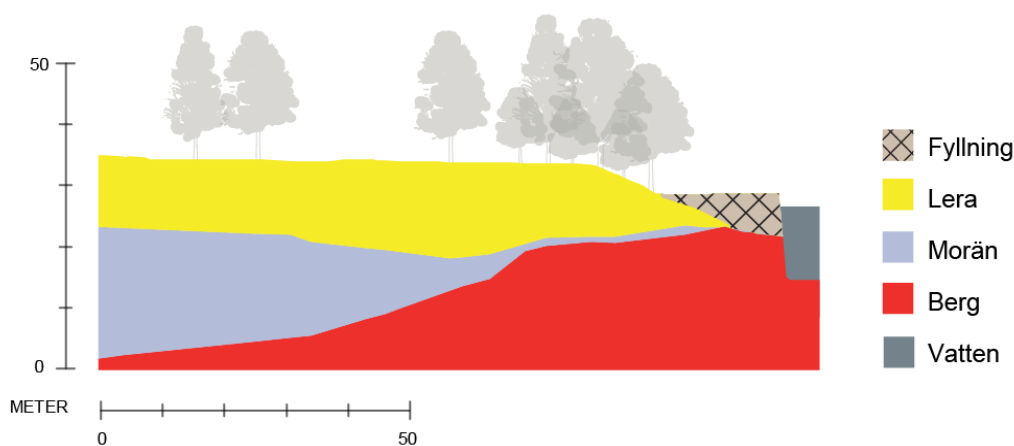
I området uppströms den befintliga slussen utgörs marken närmast älven av lera med en mäktighet mellan ca 10 och 25 meter. Närmast markytan utgörs leran av ett tunnare lager av torrskorpelera. Under leran finns ett moränlager av varierande mäktighet som vilar på berg. I de västligare delarna finns områden där berg sticker upp genom jordlagren. Lokalt förekommer områden med fyllnadsjord, vilka huvudsakligen är lokaliserade bakom befintlig spontkaj uppströms den befintliga slussen. Jorddjupet varierar längs farleden och är mindre vid kajen, omkring 10 meter. Moränen förekommer ytligare närmast älven. En typsektion för området uppströms slussen ses i Figur 1.



Figur 1: Typsektion norr om befintlig sluss.

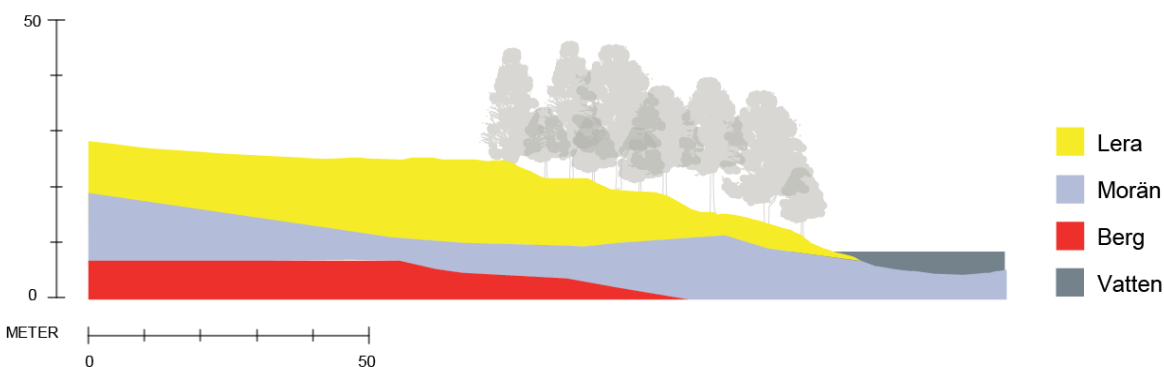
Närmast den befintliga slussen återfinns cirka 5 till 7 meter fyllnadsjord direkt på berg. Från släntfot och västerut mot Ströms slott utgörs jordlagerföljden överst av torrskorpelera och därunder lera, följt av morän som vilar på berg. Lerlagret har en mäktighet som varierar mellan någon enstaka meter, närmast befintlig farled, till upp emot cirka 16 meter. Moränlagrets mäktighet varierar mellan någon enstaka meter till drygt cirka 20 meter. Djupet till berg ökar påtagligt i västlig/nordlig riktning och

uppgår till drygt 30 meter under Slottsparken och strax norr om slussen. En typsektion för området vid slussen ses i Figur 2.



Figur 2: Typsektion vid den befintliga slussen.

Nedströms den befintliga slussen, längs älvkant och i älvbotten återfinns moränen i ytligast i jordlagerföljden. Jordlagren utgörs generellt i området nedströms slussen av cirka 5 till 15 meter siltig lera följt av morän som vilar på berg. Lerdjupet är minst närmast älven. Närmast markytan förekommer ett tunnare lager av torrskorpelera, dock inte vid terrasseringarna där avschaktningar tidigare har utförts. En typsektion för området nedströms slussen ses i Figur 3.



Figur 3: Typsektion söder om befintlig sluss.

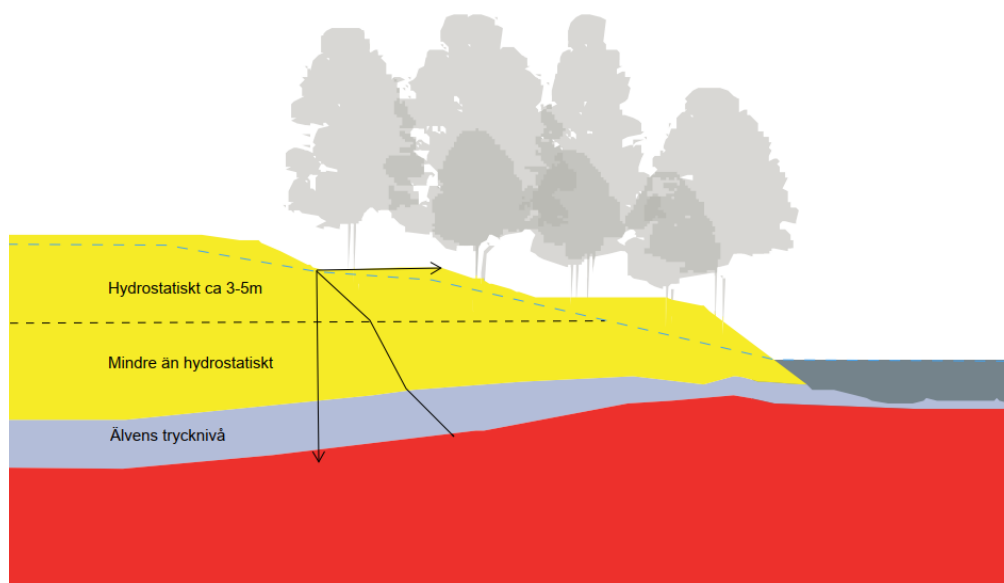
Grundvatten och portryck

Vid den planerade nya slussen förekommer rörligt grundvatten i ett undre grundvattenmagasin i morän samt i det kristallina bergets sprickor. Grundvattenmagasinen i morän och berg har inte kontakt med atmosfärstrycket på grund av det tätande ovanliggande lerlagret och utgör således av slutna grundvattenmagasin. Grundvattentrycknivåerna i morän och berg längs den västra stranden bedöms huvudsakligen styras av ytvattennivåerna i älven och påverkas tydligt av förändringar i vattennivå inne i den befintliga slussen. Vidare står grundvattentrycknivåerna i morän och berg på samma nivåer vid platsen för den nya slussen, vilket bedöms som att det finns en god hydraulisk

kontakt mellan moränen och sprickor i berget. I fyllnadsjorden närmast den befintliga slussen bedöms det kunna förekomma ett litet öppet, övre grundvattenmagasin.

Mätning av grundvattentrycknivåer i moränen utförs i grundvattenrör samt i enskilda brunnar. Mätning av grundvattentrycknivå pågår sedan oktober 2022. Uppmätta grundvattentrycknivåer visar att grundvattenströmningen generellt är riktad mot Göta älv, det vill säga från väst till öst. Ytligt berg vid Ströms slott och strax söder om slottet bedöms utgöra lokala grundvattendelare. Närmst Göta älv följer grundvattentrycknivåerna nivåerna i älven, vilket innebär högre grundvattentrycknivåer uppströms än nedströms den befintliga slussen. Här bedöms grundvattenströmningen vara parallell med flödet i älven och den befintliga slussen. Göta älv bedöms således påverka grundvattnets strömningsbild lokalt.

Generellt visar grundvatten- och portrycksmätningar på en hydrostatisk portrycksprofil i den översta delen av leran ner till 3 till 5 m djup. Därefter ändras förhållandena och portryckökningen per meter minskar, dvs en nedåtriktad strömningsgradient. Ökningen i den underliggande lerprofilen är således lägre än hydrostatiskt och återgår till ett hydrostatiskt förhållande på en nivå som motsvarar älvens vattenyta. Detta sammanfaller med övergång mellan lera och morän, se Figur 4.



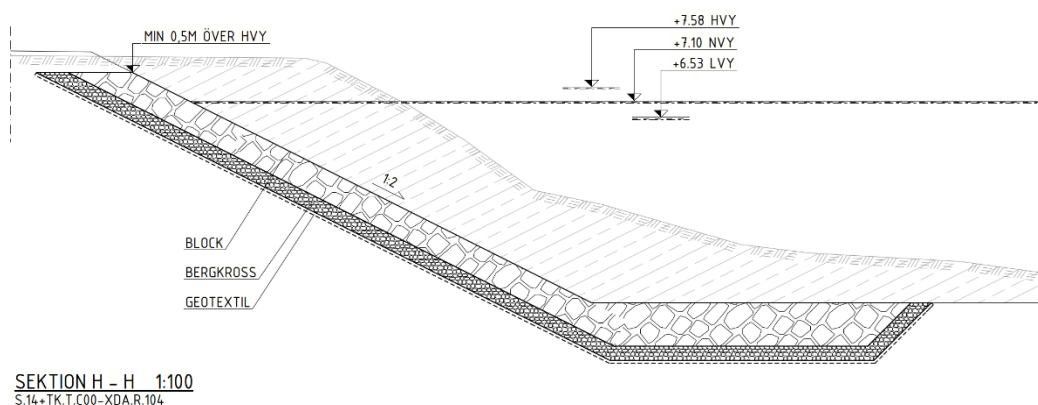
Figur 4: Illustration på portrycksökningen i lerprofilen.

Erosionsskydd

För att säkerställa att stabiliteten inte förändras över tid pga naturlig erosion, slussning av fartyg och fartygsgenererad erosion kommer ett erosionsskydd att anläggas längs hela västra älvstranden och i anslutning till nya ledverk. Störst påverkan förväntas i anslutning till slussen där erosion är föranledd av de propellervattenströmmar och returvattenströmmar som fartygen skapar när de tar sig in respektive ut ur slussen. Dessutom skapar strömmarna från in- och utloppskanalerna förutsättningar för erosion.

På de sträckor med en botten av morän eller lera utformas erosionsskyddet med block ovanpå ett eller flera lager av finare krossmaterial på botten av kanalen, vilket ger en total tjocklek av cirka 1,5 meter (Figur 5). Ett alternativ till erosionsskydd av stora block är en uppbyggnad med betong eller

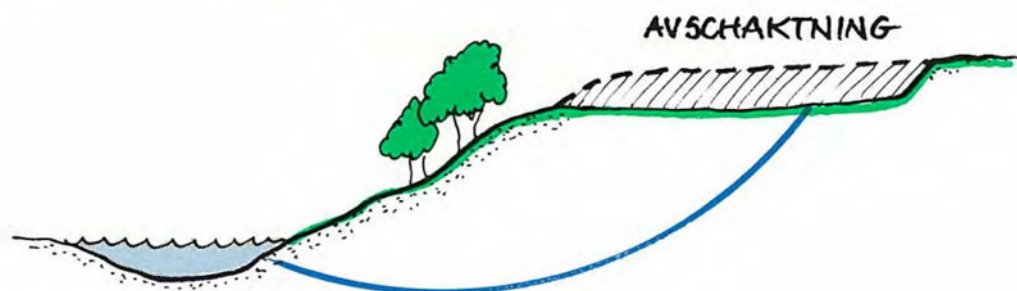
betongmadrass, i form av filterpunktsmadrass som placeras ovan ett avjämningslager av finare krossmaterial. Erosionsskyddet avslutas med en plan botten som sträcker sig ut 5-10 m ut från släntfot se Figur 5. Erosionsskyddets överyta ska följa erforderligt farledsdjup. I skvalpzonen upptill kan erosionsskyddet av miljömässiga och estetiska skäl komma att utföras även med stenmaterial av en mindre stenstorlek.



Figur 5: Typsektion för erosionsskydd av stenmassor.

Stabilitetsförhållanden och släntutformning

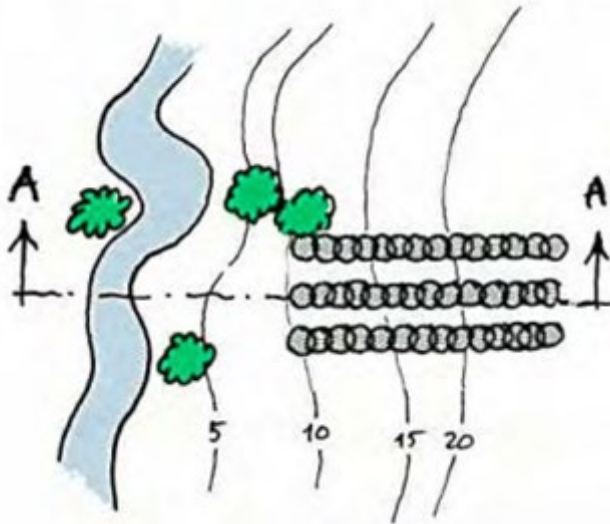
För att skapa en robust lösning i syfte att höja säkerheten för nya farled har 2 åtgärdsalternativ (avschaktning, och jordförbättring med inblandningspelare) studerats både enskilt och i kombination. Med en robust lösning menas att den över tid kräver litet eller inget underhåll och utgörs av material som är beständiga och inte bryts ner. Valda åtgärdsförslag är beprövade och har erfarenhetsmässigt visat sig vara både kostnadseffektiva och genomförbara på platser som är jämförbara med Lilla Edet.



Figur 6: Principskiss för avschaktning som stabilitetsförbättrande metod (Skredkommissionen rapport 5:95)

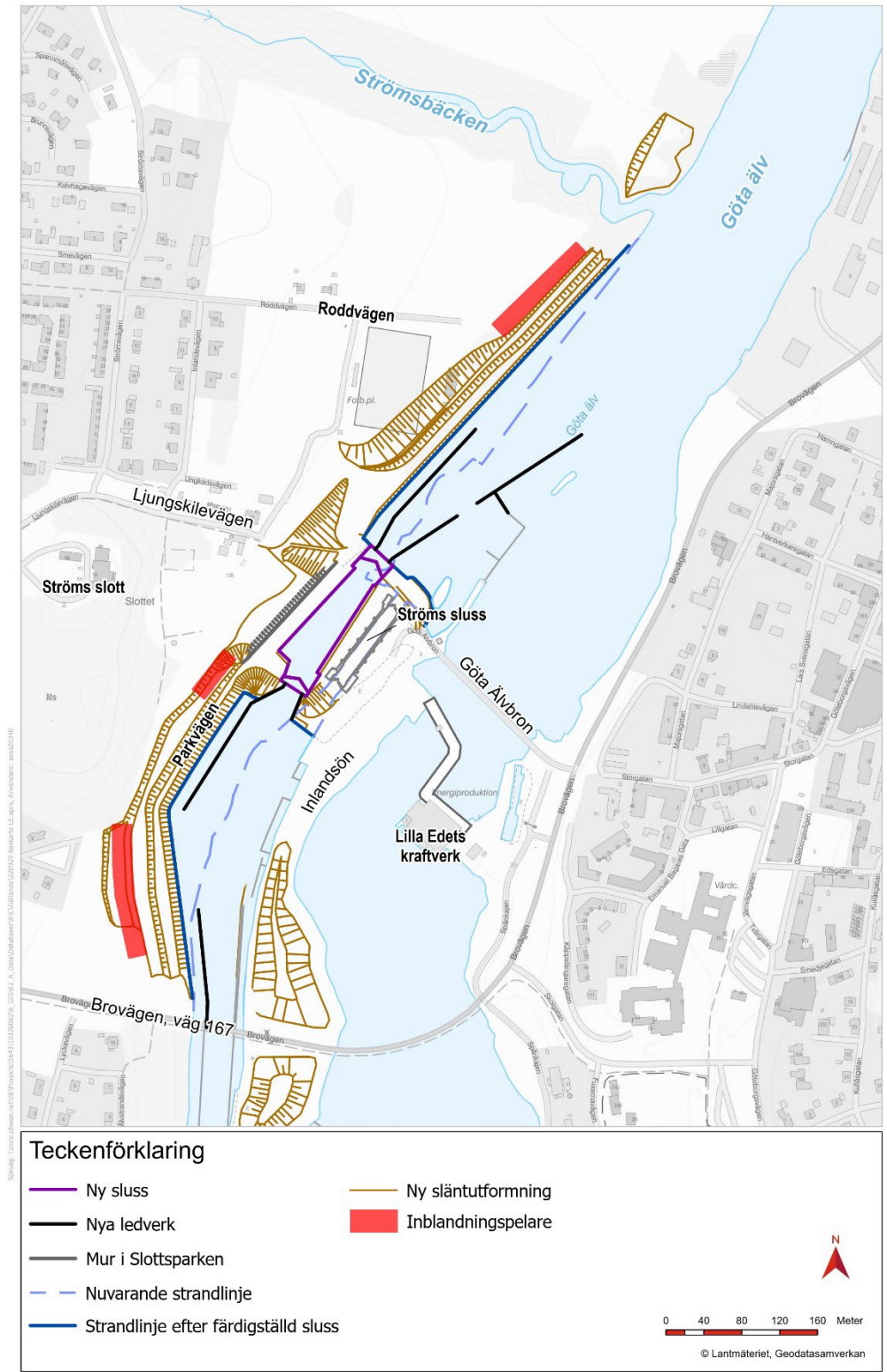
Utgångspunkten och huvudalternativet på lösning för utformningen av nya släntgeometrier har varit avschaktning (se även avsnitt 9.4). En fördel med avschaktning är att metoden är utförandemässigt förutsägbar och medför att arbetskedet kan kontrolleras på ett systematiskt sätt. Med inblandningspelare är utförandeskedet mer komplicerat och det krävs mer omfattande kontroll för att verifiera att säkerheten upprätthålls. Således har inblandningspelare valts som åtgärdslösning för att ytterligare höja säkerheten från säkerhetsklass 2 till 3 inom områden där enbart avschaktning p.g.a. geometriska begränsningar inte har varit tillräcklig för att uppfylla stabilitetskraven eller av annat skäl

inte var lämpligt. Detta tillvägagångssätt medför att totalstabiliteten i mindre utsträckning är beroende av de förbättrande egenskaper som inblandningspelare ger och säkerheten som helhet vilar på en geometriskt stabil och robust släntutformning.



Figur 7: Principskiss för utförande av Inblandningspelare i skivor (Skredkommissionen rapport 5:95)

Med en anpassad släntutformning och installation av inblandningspelare i utrymmeskrävande släntavsnitt, med avseende på utrymme i plan, uppnås en fullgod stabilitet längs hela farledenssträckan och för området kring slussen. Även området norr om Strömsbäcken (Torna dal) kommer att åtgärdas som en del av projektet. Stabiliteten uppfyller rekommenderad säkerhetsnivå för säkerhetsklass 3 (SK3, $F_{EN} = 1,1$), vilket är den högsta klassen enligt Trafikverkets regelverk. Slänternas utformning och placering av pelarförstärkt jord kan ses i Figur 8 nedan.



Figur 8: Farleds- och släntutformning och placering av inblandningspelare, västra sidan Lilla Edet.

2 Syfte

Denna PM har som syfte att i detalj beskriva de geotekniska och hydrogeologiska förutsättningarna längs justerad farled och sluss i Lilla Edet. Dessutom beskrivs beräkningsförutsättningar och beräkningsresultat för stabilitetsanalyser såväl för befintliga som planerade förhållanden. Handlingen beskriver även förslag till stabilitetsförbättrande åtgärder och utformning av erosionsskydd.

3 Underlag

3.1. Kartor, ortofoto, mätdata mm.

Som underlag för denna geotekniska utredning har bland annat nedanstående underlagsmaterial nyttjats:

- Nu och tidigare utförda geotekniska fält- och laboratorieundersökningar utförda på land och i älvområdet. Se hänvisade dokument.
- Inmätta sektioner i området.
- Digital primärkarta med 0,5 m ekvidistans (AutoCad-format).
- Ortofoton över aktuellt område.
- Batymetrisk mätning av botten-topografin i Göta älv (SGI, Marin Miljöanalys AB, år 2021).
- Övergripande geotekniska och topografiska underlag (SGU jordartskarta, SGU jorddjupskarta, (www.sgu.se), Lantmäteriets topografiska karta (nedtonade WMS))
- Historiska foton och flygbilder.

3.2. Geotekniskt arkivmaterial

Geotekniskt arkivmaterial inom området runt slussen i Lilla Edet har inhämtats och redovisas i ”Rapport arkivinventering Geoteknik”, dokumentnummer: S.14+TK.T.A00-UGD.T.001.

3.3. Styrande dokument

Se ”PM projekteringsförutsättningar Geoteknik”, dokumentnummer S.14+TK.A.A00-AAB.T.001.

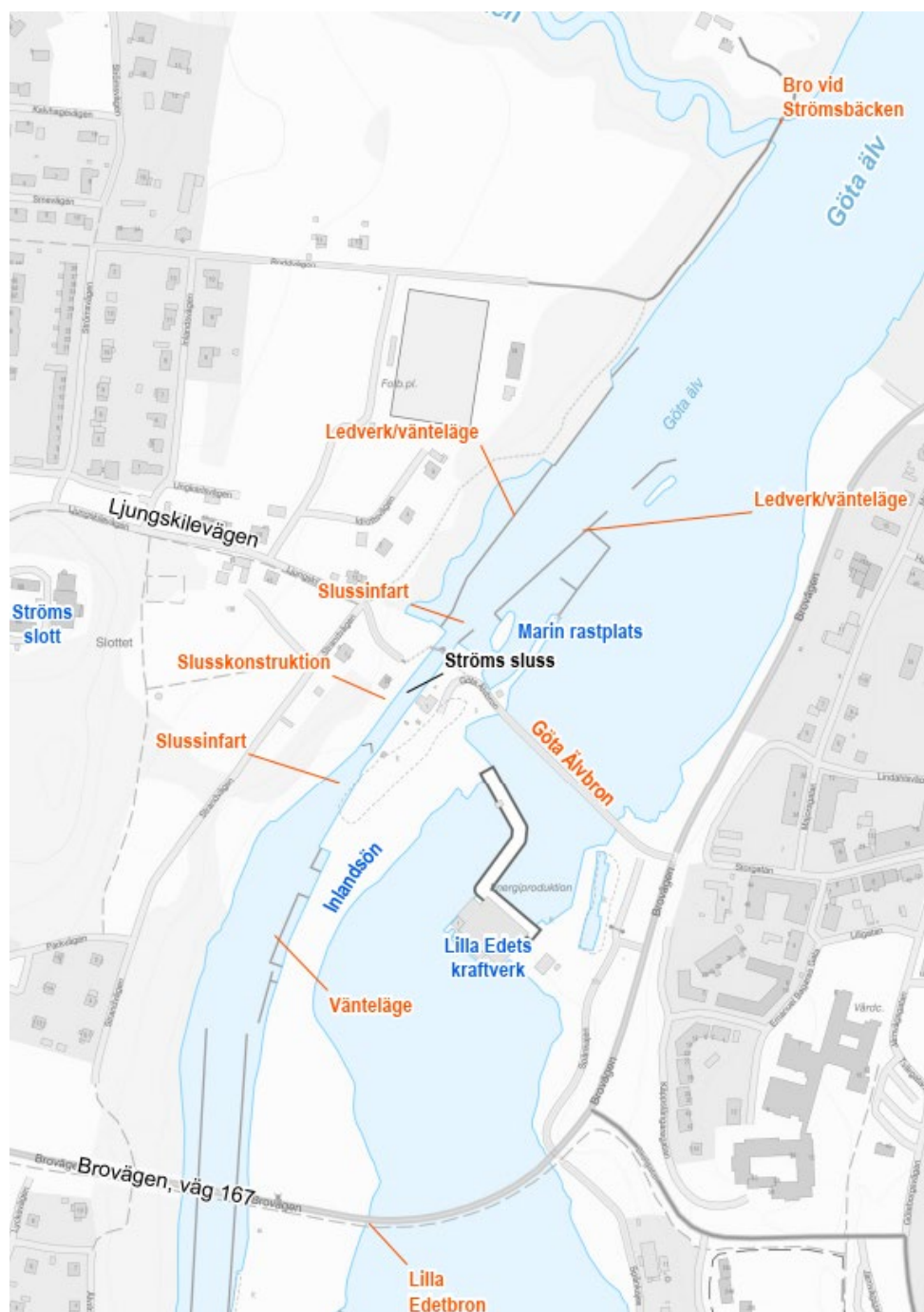
4 Geotekniska undersökningar

Resultat från utförda fält- och laboratorieundersökningar redovisas i ”Markteknisk undersökningsrapport (MUR) Geoteknik”, dokumentnummer: S.14+TK.T.A00-UGD.T.002, och dess tillhörande ritningar och bilagor.

5 Områdesbeskrivning

5.1. Geografi och markanvändning

Utredningsområdet ligger i Lilla Edet vid Ströms sluss, se översigtskarta i Figur 9. Området sträcker sig från väg 167 i söder upp till området Torna dal och Strömsbäcken i norr. I öster avgränsas området av Göta Älv, där älven ingår i utredningsområdet. Från Göta Älv och väster ut sträcker sig utredningsområdet upp till Kungälvsvägen. Även området öster om slussen, Inlandsön, bedöms ingå i området kring slussen som kommer att påverkas av ny sluss och justerad farled.



Figur 9: Översigtskarta Lilla Edet.

Marken inom området utgörs av slussområdet som består av asfalterade ytor och gräsytor. Slottsparken och Ströms slott utgör en stor del av området och består av gräsytor med enstaka träd. Längs älvkanten, både uppströms och nedströms slussen, utgörs marken av brantare slänter beväxta med träd och buskar. Inom utredningsområdet återfinns även jordbruksmark, och villabebyggelse och rekreationsområden.

5.2. Topografi och batymetri

Översiktligt varierar marknivåerna inom området vid Ströms sluss i Lilla Edet mellan ca +35 vid Ströms slott och ca +1 längs älvkanten nedströms slussen. Längs Göta älvs västra sida följer en slänt med nivåskillnader som varierar mellan 7 och 14 m mellan släntkrön och släntfot. Hela utredningsområdet sluttar i sydostlig riktning ned mot Göta älv.

Batymetrisk mätning i Göta älv har utförts vid ett flertal tillfällen och senast av Marin miljöanalys AB under år 2020–2021. Nedströms slussen uppgår vattendjupet till ca 7 m. Uppströms slussen varierar vattendjupet mellan ca 7 och 19 m där djupaste delarna återfinns öster om Strömsbäckens mynning. Generellt vattendjup i farleden är ca 7 meter och Sjöfartsverket garanterar ett segelfritt djup på 6,4 meter.

Nedströms Ströms sluss representeras topografin av en brant släntgeometri med nivåskillnader på ca 14 m mellan släntkrön (+15) och älvkant (+1). Inom området för Slottsparken är markytan flackare med nivåer som varierar mellan +16 och +13. Från Slottsparken upp mot Ströms slott ökar nivån kraftigt mot den högsta punkten inom området som har en nivå på +35. Befintlig sluss har en nivå på ca +8 för befintliga slussväggar och arbetsytan i anslutning till slussen. Uppströms slussen representeras topografin av en slänt med flera etapper. Nivåskillnaden är ca 7 m mellan släntkrön (+14) och älvkant (+7). Från vattenlinjen och ner till farledsbotten återfinns en undervattensslänt med en lutning på ca 1:2–1:4.

6 Geotekniska förhållanden

I följande avsnitt redovisar tillvägagångssättet för bedömning av geotekniska förhållandena och utvärdering av jordens egenskaper som underlag för geotekniska analyser och beräkningar.

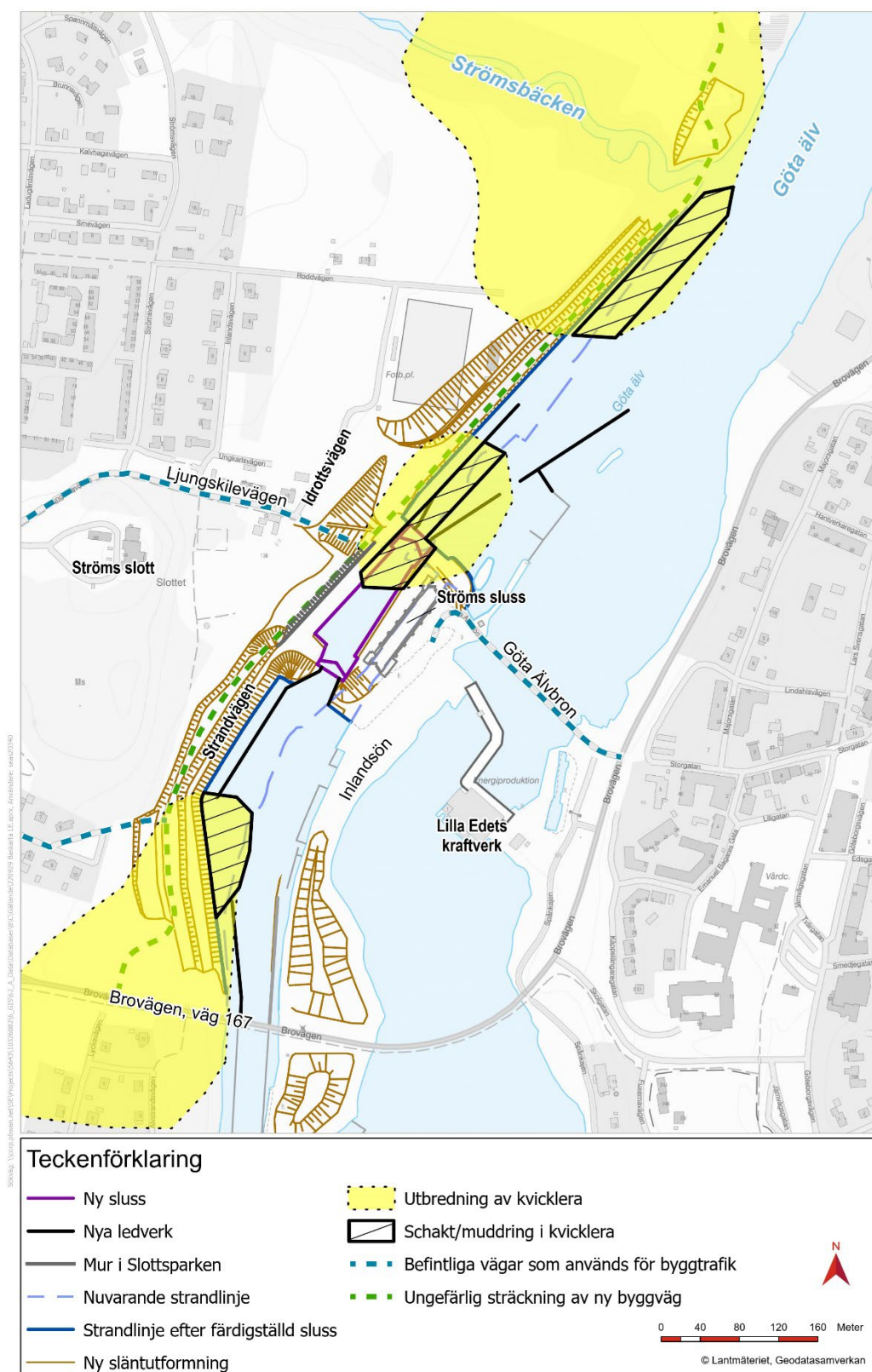
6.1. Jordlagerföljd

Generellt inom området kring Ströms sluss i Lilla Edet utgörs jordlagerföljden av en lera som underlagras av en friktionsjord som vilar på berg. Övre 1 – 2 m av leran har generellt utvecklats till en torrskorpelera. Leran utgörs av en glacial finlera, vilket är vanligt förekommande i Göta älvdalen. Lerans skjuvhållfasthet är låg i överkant av lerskiktet och ökar mot djupet. I stora delar av området förekommer lera med hög sensitivitet vilken klassas som kvicklera. Friktionsjorden utgörs av en sandig siltig morän med hög fasthet. Mäktigheter och jordegenskaper varierar inom utredningsområdet, vilket medför att 6 delområden har urskilts på landområdet kring Ströms sluss. Jordlagerföljd och egenskaper under älven har utvärderats som ett eget delområde. Inom delar av området främst i anslutning till befintliga konstruktioner (sluss, byggnader, vägar och parkeringsytor) representeras övre jordlagret av en fyllning bestående av grus, sand, silt och lera.

6.2. Förekomst och utbredning av kvicklera

För att bedöma utbredning av kvickleraresultat från rutin försök på ostörda prover och CPT-sonderingen med totalt neddrivningsmotstånd nyttjas. Utöver detta har även geologiska faktorer såsom förekomsten av vattenförande skikt, grundvattengradienter och jorddjup medtagits för att skapa en helhetsbild. På västra sidan i Lilla Edet har dessa undersökningar visat att det nedströms dagens sluss från Parkvägen och söder ut förekommer det kvicklera i den undre delen av jordprofilen. Från Parkvägen upp till Ljungskilevägen har lera som klassificerats som kvicklera inte påträffats. Norr om Ljungskilevägen och uppströms befintlig sluss finns det kvicklera närmast älven utom längs en 100 meter lång sträcka där bergnivån ligger högt och jorddjupet är litet. Tolkade områden med förekomst av kvicklera redovisas i Figur 10.

Likt i det södra området återfinns kvickleran i den undre delen av jordprofilen nära den underliggande friktionsjorden. Det troligaste bildningssätt för kvickleran i området är att friktionsjorden under leran står i kontakt med älven med en nedåtgående vattenströmning som har bidragit till utlakningen av saltjoner i botten. Kvicklerlagret mäktighet är ca 2 till 8 meter i norr och ca 2 till 12 meter i söder. Överkanten ligger generellt inte över nivån +3. Det är tydligt i framtagna lerdjupsmodell att volymer med kvicklera återfinns där lerdjupet, jämförelsemässigt, är större och där friktionsjordslaget är djupare beläget, se Figur 10 nedan.



Figur 10: Utbredning av kvicklera bedömt från provtagning och geologiska förutsättningar längs farled och ny sluss i Lilla Edet.

6.3. Val av odränerad skjuvhållfasthet

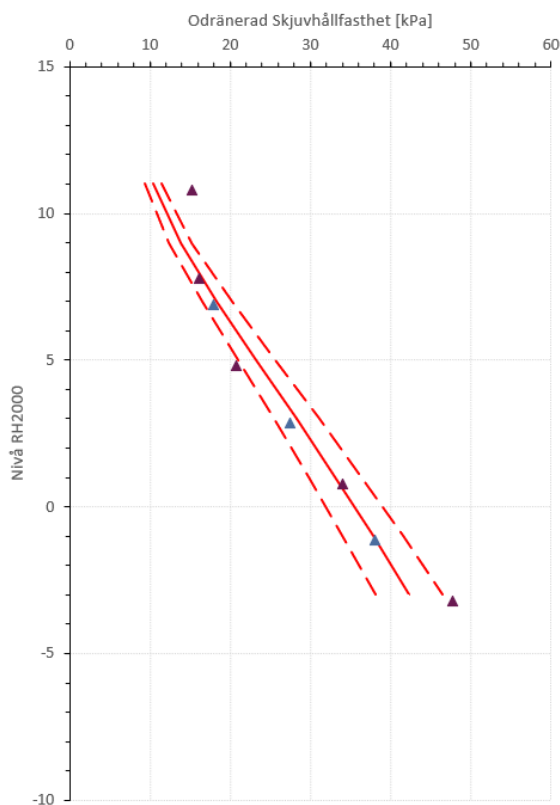
För att bestämma lerans odränerade skjuvhållfasthet, både i direkt och aktiv skjuvzon, har en mängd sonderingar, insitu-försök och provning i laboratorium utförts. En stor mängd av dessa utgörs av avancerade försök såsom ödometerförsök, direkta skjuvförsök och triaxialförsök (dränerad och odränerade). Till detta har även empiriska samband nyttjats som vägledningen i valet av odränerad skjuvhållfasthet.

Det generella tillvägagångssättet för bedömning av odränerad skjuvhållfasthet är enligt följande. Sonderingar och in-situ försök har korrigerats enligt praxis mot konflytgränsen och överkonsolideringsgrad (OCR). Resultaten från rutinförsök, både densitet och konflytgräns, har medelvärdesanpassats och en trendlinje för dessa har skapats inom respektive delområde 1 till 7 Dessa har sedan använts för att beräkna spänningarna i jordprofilen tillsammans med utvärderat portryck. Från utförda CRS-försök har därtill en bild av lerans förkonsolideringstryck utvärderats och detta har varit vägledande för uppskattning av spänningar för vilka direkta skjuvförsök och triaxialförsök har utförts. Resultaten från CRS-försöken har dessutom använts som underlag till empiriska samband.

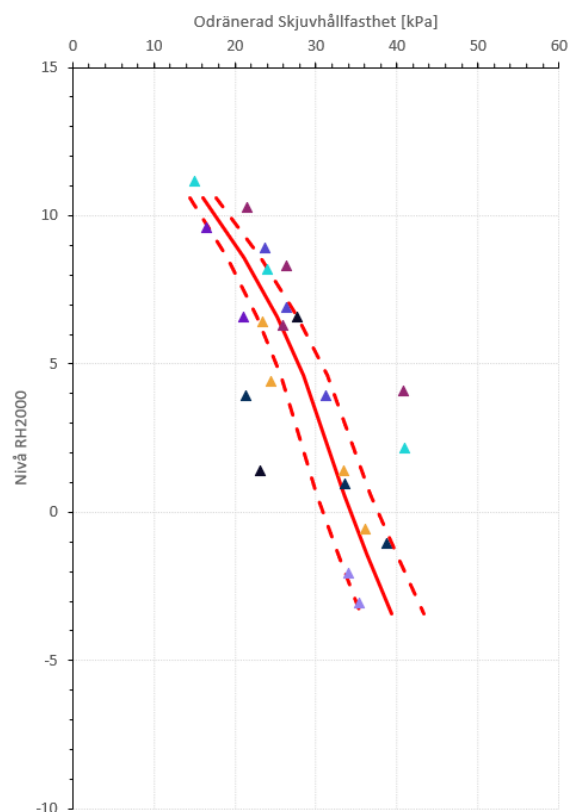
6.3.1. Skjuvhållfasthet i direkt skjuvzon

En stor mängd direkta skjuvförsök har utförts vilket medför att valet av odränerad skjuvhållfasthet i huvudsak styrts av resultaten från dessa. Resultat från övrig provning och sondering såsom konförsök, vingförsök och CPT har bidragit till att belysa helhetsbilden av odränerad skjuvhållfasthet i området. Dessa resultat visar dock en lägre skjuvhållfasthet jämfört med avancerade laboratorieförsök. Dessa har i stället nyttjats för att skatta hållfasthetensökningen i leran mot djupet. Empiriska samband mellan lerans belastningshistoria och dagens spänningsförhållanden har också varit vägledande i valet av odränerad skjuvhållfasthet.

Noteras bör att det vid bestämning av odränerad skjuvhållfasthet både i fält och i laboratoriemiljö finns en spridning i resultat kopplat till provhantering, provkvalité och metod. Den spridning som vanligtvis ses i en sammanställning av resultat är både den naturliga spridningen i jorden och spridningen i den metod från vilken provningen har utförts. För direkta skjuvförsök är spridningen liten och den som erhålls från försöket är att betrakta som den naturliga spridningen i leran, vilket i litteraturen bedöms ha en variationskoefficient på ca 6%. Nedan redovisas två exempel på sammanställningar av resultat från direkta skjuvförsök tillsammans med empiriskt beräknad skjuvhållfasthet. Den naturliga spridningen illustreras av det område som ligger mellan de streckade begränsningslinjerna, vilka motsvara en variationskoefficient på 6%.

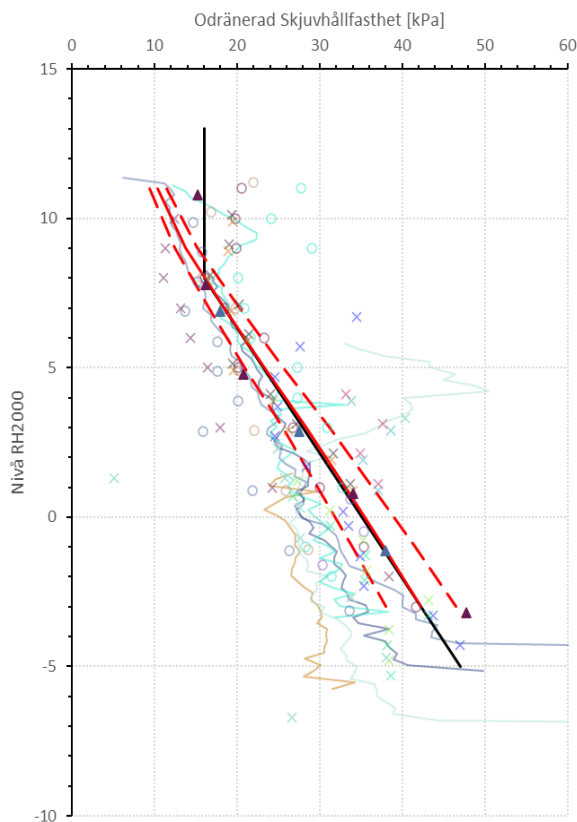


Figur 11: Resultat från direkta skjuvförsök sammanställt ihop med empiri (heldragen linje) baserad på aktuell spänningssituation utvärderad från CRS-försök. (streckade linjer motsvarar ett konfidensintervall på 90 %) delområde 6

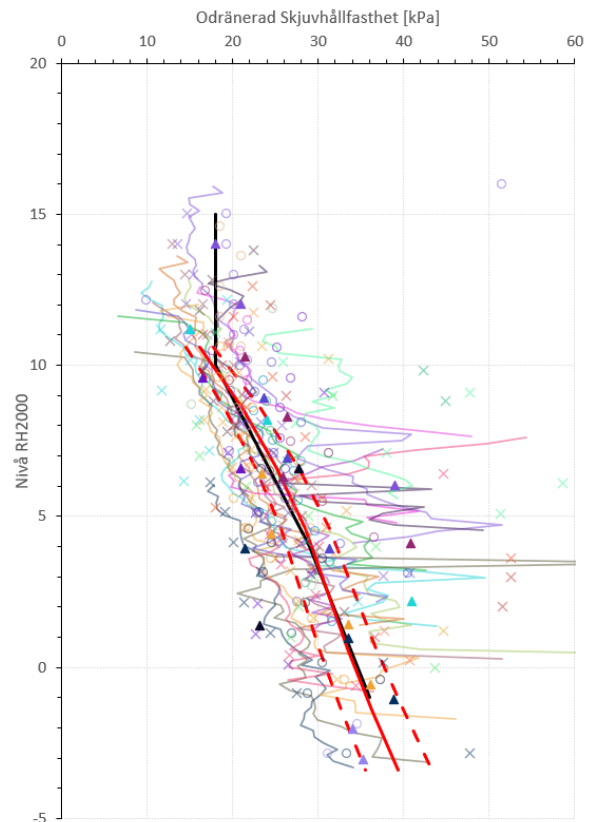


Figur 12: Resultat från direkta skjuvförsök sammanställt ihop med empiri (heldragen linje) baserad på aktuell spänningssituation utvärderad från CRS-försök. (streckade linjer motsvarar ett konfidensintervall på 90 %) delområde 4

Det slutliga valet av odränerad skjuvhållfasthet har styrts av representativa direkta skjuvförsök som sammanfaller med den spridningskon med en variationskoefficient på 6%. Valt värde hamnar således inom begränsningslinjerna i hållfasthetssammanställningarna ovan. Värden som avviker och med god marginal hamnar utanför lerans naturliga spridning, både högre och lägre, anses inte vara representativa och har inte beaktats vid val av odränerad skjuvhållfasthet. Med undantag i den övre delen av jordprofilen där odränerade skjuvhållfastheten oftast är konstant och där empiriska samband underskattar hållfastheten jämfört med både in-situ försök i fält och provning i laboratoriet. I Figur 13 och Figur 14 nedan redovisas vald skjuvhållfasthet med samtliga undersökningar, empiri och bedömd naturlig spridning för två utvalda delområden.



Figur 13: Valt värde från empiri och undersökningsresultat delområde 6



Figur 14: Valt värde från empiri och undersökningsresultat delområde 4

6.3.2. Aktiv skjuvhållfasthet

För att bestämma lerans aktiva odränerad skjuvhållfasthet har ett flertal odränerade triaxialförsök utförts. Dessa har sammanställts på liknande sätt som hållfastheten i direktzon. Från sammanställning har ett valt värde för hållfasthet vid aktiv skjuvning tagits fram för att bestämma lerans anisotropa egenskaper. Sammanställningen av aktiv odränerad skjuvhållfasthet i leran visar på en mindre eller likvärdig spridning som direkt skjuvförsök.

6.4. Förändring av odränerad skjuvhållfasthet till följd av avlastning

Odränerad skjuvhållfasthet i lera varierar normal med effektivt överlagringstryck, överkonsolideringsgrad och konflytgräns. Enligt empiriska erfarenheter från direkta skjuvförsök och triaxialförsök kan odränerad skjuvhållfasthet utvärderas från följande samband

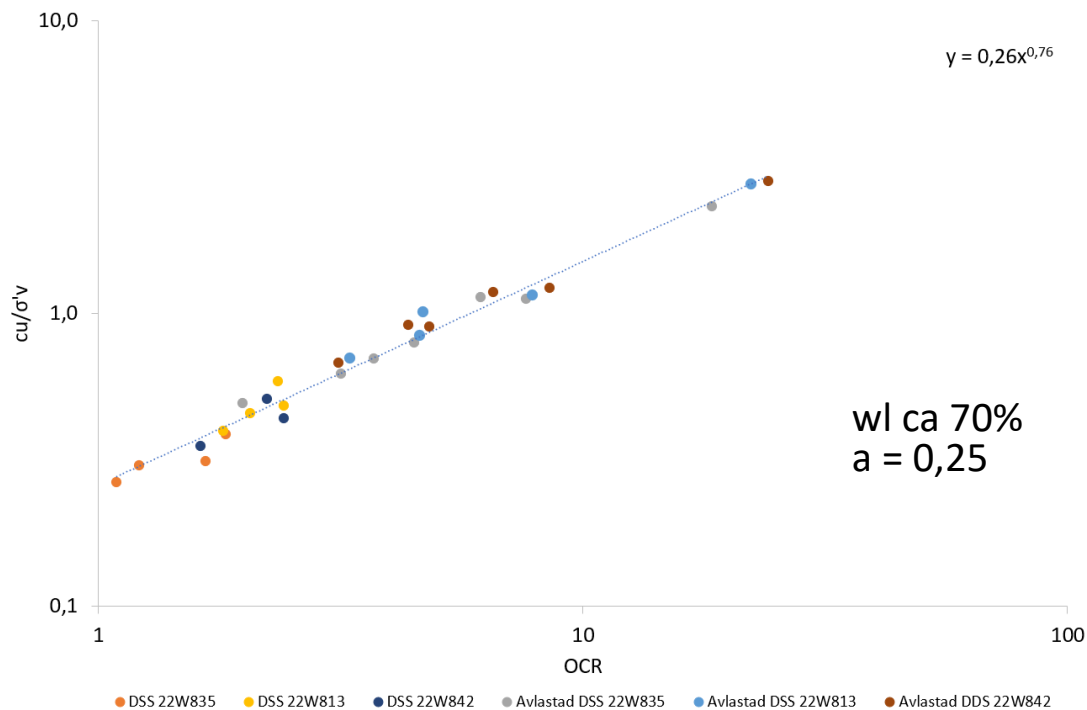
$$c_u = a \cdot \sigma'_v \cdot OCR^b \text{ eller } c_u = a \cdot \sigma'_c \cdot OCR^{b-1}$$

där c_u = odränerad skjuvhållfasthet
 σ'_v = vertikal effektivspänning
 OCR = överkonsolideringsgrad, σ'_c / σ'_v
 σ'_c = förkonsolideringstryck

(Ladd et al. 1977, Jamiolkowski et al. 1985)

a och b är materialkonstanter, där a beror på såväl typ av jord som belastningsfall. Vid aktiv skjuvning har det funnits att värdet ligger kring 0,33 i svenska leror. Vid direkt skjuvning, som därtill motsvarar ett medelvärde på skjuvhållfastheten, har a ett medelvärde kring 0,22. För lågplastiska leror är detta värde lägre och högre för högplastiska och organiska leror. Faktorn b har i normalfallet funnits variera mellan ca 0,75 och 0,85 oberoende av belastningsfall (Larsson, R, Åhnberg, H, 2003). Normalt antas b vara 0,8.

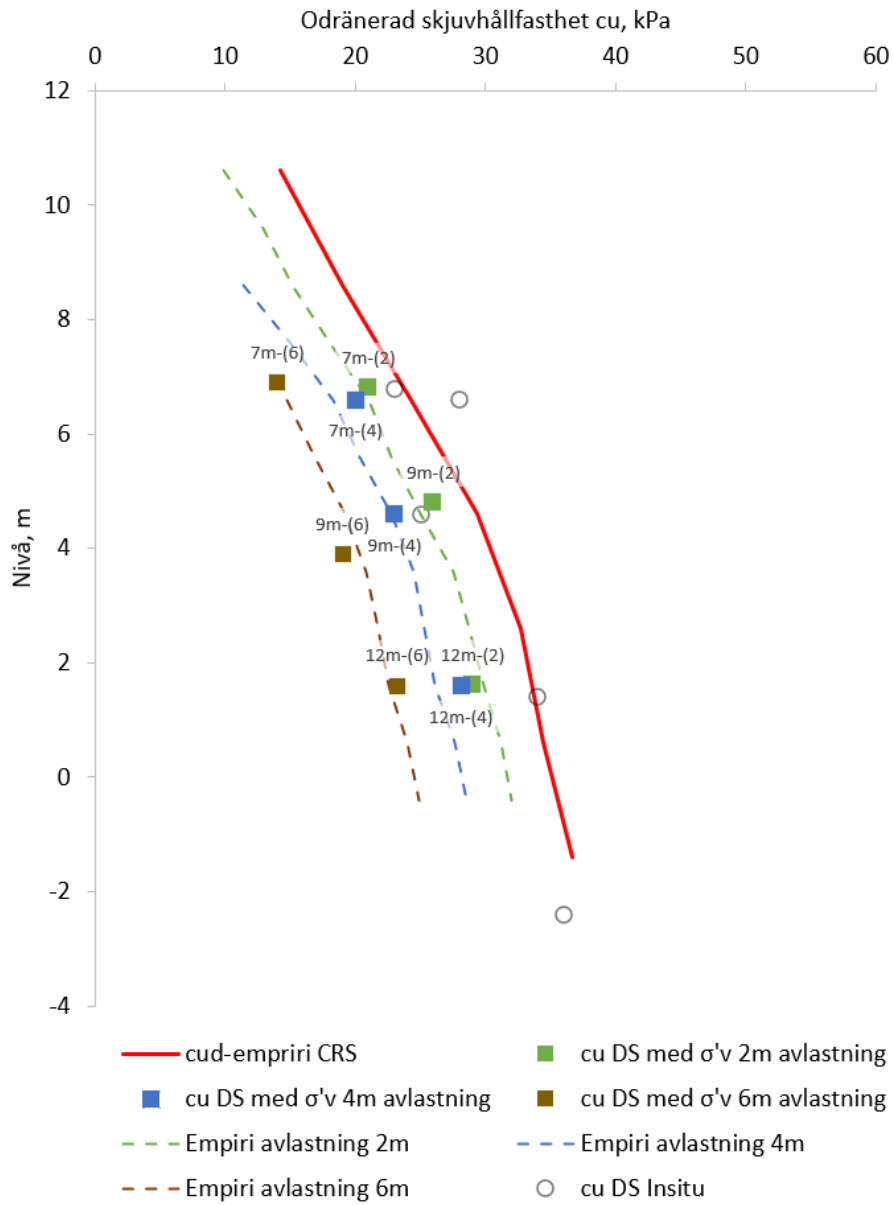
I normalfallet är det inte nödvändigt eller praktiskt genomförbart att utföra avlastade försök för att utvärdera värdet på faktorerna a och b. Då detta kräver en serie av direkta skjuvförsök med olika OCR inom spänningsintervallet 1,2 till 10. Då denna frågeställning ansågs viktig för både dimensionering av tillfälliga och permanenta konstruktioner samt för släntutformningen utfördes flertalet försök för att studera avlastningens effekter. Resultaten från avlastade direkta skjuvförsök överensstämde väl med de empiriska sambanden anpassade för de lokalt utvärderade faktorerna a och b, se Figur 15.



Figur 15: Diagrammet visar sambandet mellan normaliserad skjuvhållfasthet och OCR. Där konstanten framför x motsvarar faktorn a och exponenten faktorn b i ekvationen ovan.

Denna utvärderingsmetodik, där avlastningens effekter beaktas, har således använts för att utvärdera lerans skjuvhållfasthet i ett långtidsförhållande. Detta har medfört en anpassad och robust utformningen av justerad farled och släntutformning.

Metodiken utgår ifrån att lerans skjuvhållfasthet anpassas till spänningssituationen som gäller för slänternas nya geometrier och även de förändringar i grundvattennivåer och porttryck som väntas. Denna nya spänningssituation nyttjats sedan för att beräkna en justerad skjuvhållfasthet enligt uttrycken ovan. Effektivspänningsmodellen har sedan implementerats i stabilitetsberäkningar för att beräkna en uppdaterad säkerhetsfaktor för vilket utformningen av förstärkningsåtgärder har anpassats.



Figur 16: Sammanställning av resultat från avlastade direkta skjuvförsök jämfört med empiriskt beräknad skjuvhållfasthet med förändrade spänningsförhållanden

6.5. Dränerad skjuvhållfasthet i lerjordar

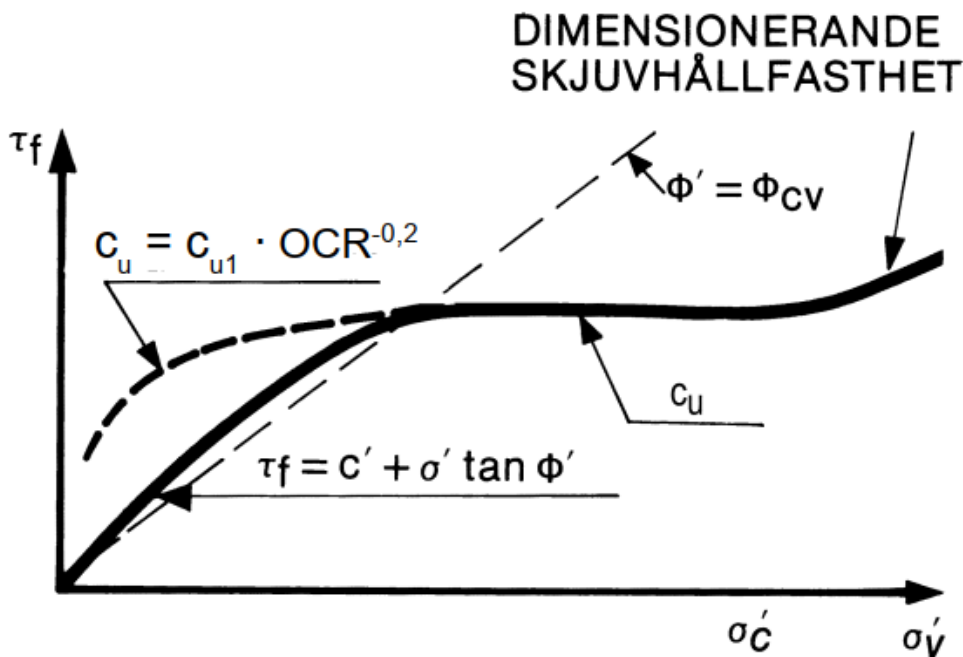
För kombinerade stabilitetsanalyser erfordras såväl lerans odränerade som dränerade hållfasthet (dvs. kohesionsintercept samt friktionsvinkel. Friktionsvinkeln (ϕ') i västsvenska leror väljs vanligtvis till 30 grader. För svagt överkonsoliderade leror väljs normalt ett kohesionsintercept (c') som baseras på den skjuvhållfastheten c_u eller lerans förkonsolideringstryck σ'_c enligt följande samband:

$$c' \approx 0,1 \times c_u \quad \text{alt.} \quad c' \approx 0,03 \times \sigma'_c$$

För leror som är påtagligt överkonsoliderade kan ett högre värde på c' normalt väljas, t.ex. i storleksordningen 0,2–0,3 c_u , alternativt 0,06–0,09 σ'_c . (SGI Vägledning 8, Linköping 2023)

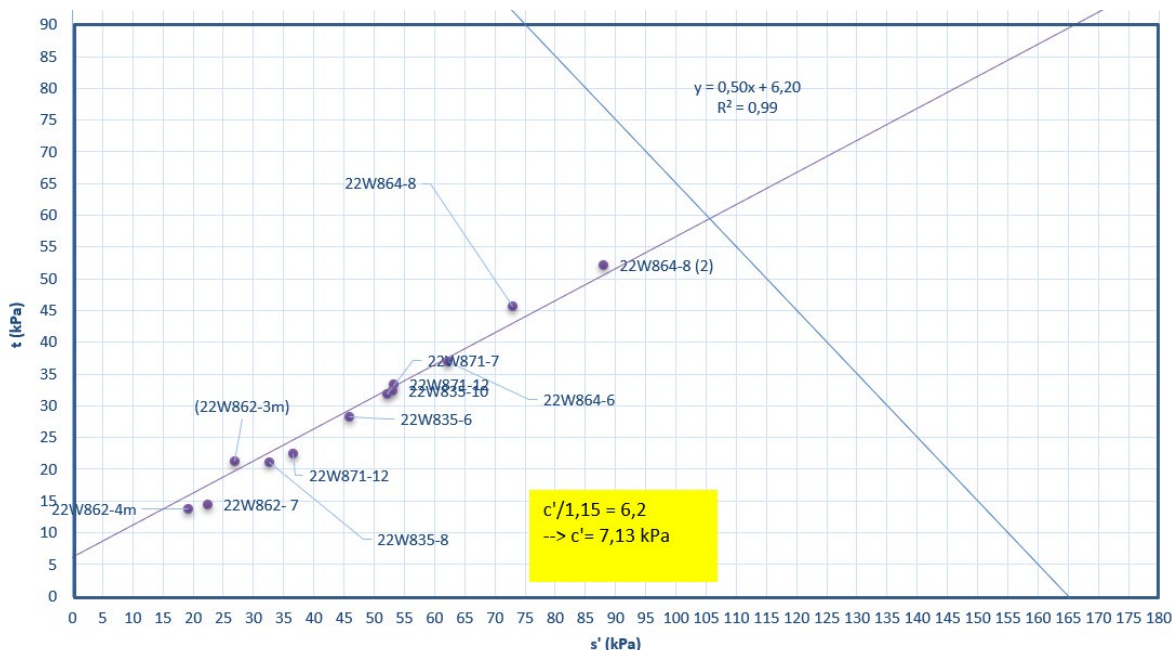
Dränerad skjuvhållfasthet i kohesionsjord kan även bestämmas i laboratorium genom dränerade direkta skjuvförsök eller triaxialförsök. Den dränerade skjuvhållfastheten är främst relevant i överkonsoliderad kohesionsjord och i skikt och lager med grövre jord. Även i normalkonsoliderade jordprofiler kan dränerad skjuvhållfasthet bli dimensionerande i anslutning till lager med höga vattentryck.

I slussprojektet har en serie av dränerade triaxialförsök utförts i syfte att genom provning bestämma lerans dränerade skjuvhållfasthet. Dessa har utförts vid olika spänningsförhållanden inom det spänningsintervall där dränerad skjuvhållfasthet är dimensionerande, dvs vid små spänningar där OCR är högt. Se principen i Figur 17 nedan.



Figur 17: Dimensionerande skjuvhållfasthet i finkorniga jordar (SGI information 1, Linköping 2008)

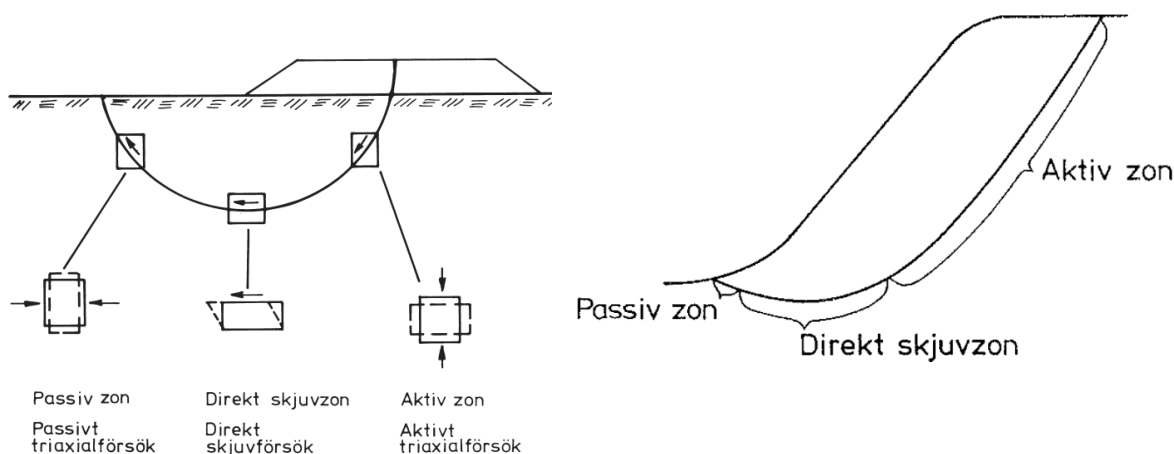
En serie av totalt 12 dränerad aktiva triaxialförsök har utförts. Resultaten från dessa visar att lerans kohesionsintercept c' är ca 7 kPa. Jämförbart med empirin för påtagligt överkonsoliderade leror ovan så är det ca 2 till 3 gånger högre jämfört med värden framtagna med empirin för svagt överkonsoliderade leror baserat på odränerade skjuvhållfasthet c_u , se Figur 18.



Figur 18: Resultat från dränerade triaxialförsök.

6.6. Hållfasthetsanisotropi

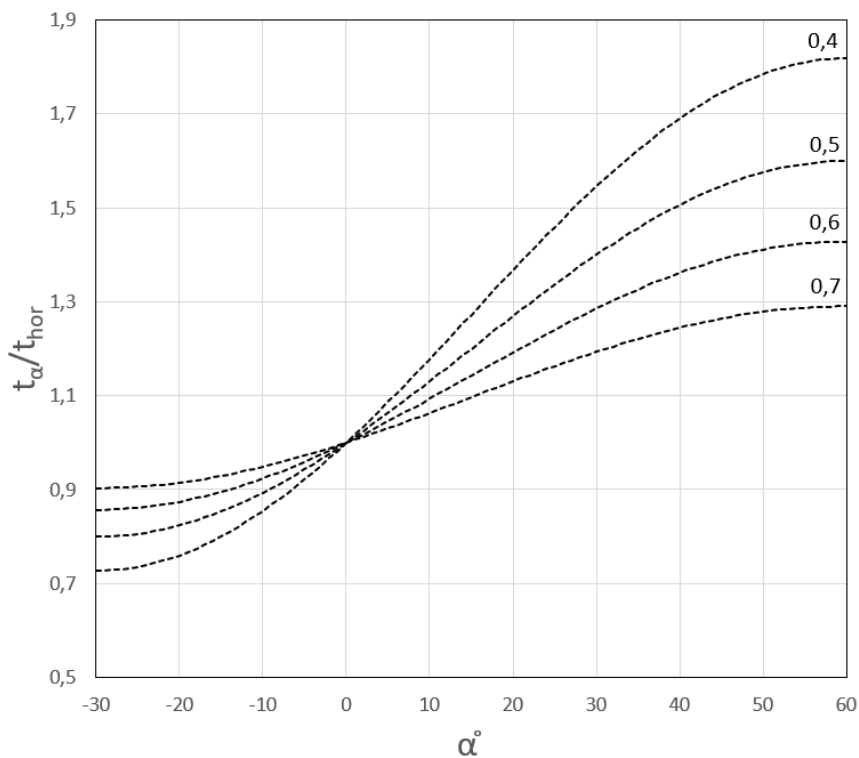
Lera är ett anisotropt material som har olika beteenden och hållfasthet i olika belastningsriktningar. Dessa delas allmänt in i passiv, direkt och aktiv skjuvzon vilket illustreras i Figur 19.



Figur 19: Olika belastningsriktningar (passiv, direkt och aktiv skjuvzon)

Vid sonderingar, provning in-situ och laborieförsök (med undantag för triaxialförsök) undersöks och utvärderas lerans odränerade skjuvhållfasthet i direkt skjuvzon. Detta är att betrakta som ett medelvärde för lerans hållfasthet längs en glidyta och är tillräckligt för att med god noggrannhet bestämma markens stabilitet i slänter med måttlig lutning. I branta slänter, där förhållandet mellan aktiv, passiv och direkt skjuvzon är sådan att aktivzonen är betydande finns det stor anledning att beakta lerans anisotropi för att korrekter återge aktuell stabilitetssituation. För att utvärdera lerans anisotropi utförs aktiva odränerad triaxialförsök. Resultaten från dessa jämförs mot resultat från direkta skjuvförsök och kvoten sinsemellan ger ett värde på förhållandet mellan skjuvhållfastheten i

det horisontala skjuvplanet och skjuvplanet vid $\alpha = 60$ grader. Denna kvot kan sedan härledas till ett förhållande mellan vertikala och horisontala spänningarna, $KO_{(NC)}$ och i förlängningen en odränerad skjuvhållfasthet i alla skjuvplan för α mellan -30 till 60 grader enligt principen och kurvorna för $KO_{(NC)}$ nedan. Utvärdering av resultat från direkta skjuvförsök och triaxialförsök i Lilla Edet har $KO_{(NC)}$ funnits generellt ligga mellan $0,5$ och $0,6$; med de lägre värdena mot djupet. I enstaka jordprover/lerlager har erhållit värden på ca $0,4$ och $0,7$.



Figur 20: Odränerad skjuvhållfasthet för olika skjuvplan i lera baserat på $KO_{(NC)}$.

7 Bindemedelsstabiliserad jord

7.1. Förutsättningar

För att höja säkerheten längs farleden kommer inblandningspelare att installeras i skivor. Delar av skivorna kommer schaktas bort och utgöra en del av en skärning. Att nyttja inblandningspelare på detta sätt medför extra kontroller och följande faktorer ska beaktas vid dimensionering enligt Svensk djupstabilisering rapport 17. Flera av dessa analyser medtas vid kontrollen av totalstabiliteten och utförs som känslighetsanalyser.

- Eventuell sänkning av grundvattennivån.
- Risken för odränerat och dränerat brott.
- Vattentryck intill pelarförstärkningen, som kan leda till glidytebrott.
- Risken för att pelarinstallationen medför att hållfastheten i den naturliga jorden mellan pelarskivorna och inom gittren nedsätts temporärt eller permanent.
- Risken för nedsatt hållfasthet utmed pelarskivornas ytor och dålig vidhäftning mellan jord och pelare.
- Risken för att grundvattenströmning medför att bindemedel urlakas med tiden.
- Risken för att tjälning medför att pelarnas funktion försämras ned till frostfritt djup.
- Risken för att hållfasthet i naturlig jord och pelare inte kan mobiliseras samtidigt.

Förutom krav att beräkningsmässigt visa att förstärkningen kan utföras på ett säkert sätt finns det tekniska krav beträffande vilka bindemedel och bindemedelsmängder som i dagsläget tillåts enligt Trafikverkets kravdokument. För inblandningspelare som nyttjas som förstärkning under väg- och järnvägsbankar, under byggnadsverk samt i skärningsslänter gäller följande enligt TRVINFRA-00230:

- mjuka kalkcementpelare med skjuvhållfasthet upp till och med 100 kPa
- diameter mellan 0,5 och 0,8 m
- bindemedel som ska bestå av minst 70% bränd kalk och cement
- bindemedelsmängd uppgår till minst 80 kg/m³

Följande krav på utformning ska även följas enligt TRVINFRA-00230:

- I Geoteknisk kategori 2 kan krav på tillfredsställande stabilitet hos den mellanliggande jorden och oönskade ojämnheter anses uppfyllt om det fria avståndet mellan skivor är högst 1,5 m för banksränter och 2,0 m för skärningsslänter
- Pelare i skivor, gitter eller block ska installeras med tillräcklig överlappning för att kunna överföra dimensionerande krafter mellan pelarna (centrumavståndet väljs till 0,45 m för pelare Ø600 mm).
- Om skivverkan på större djup än 8 m ska utnyttjas bör pelarnas verkliga läge verifieras. Alternativt installeras skivor med två rader pelare i bredd med överlappning.

7.2. Laboratorieundersökning

7.2.1. Provningsprogram, bindemedel och bindemedelsmängd

I syfte att klarlägga bindemedelsrecept och bindemedelsmängder väljs ett antal olika kombinationer baserat på laboratorieundersökningar och lokal erfarenhet. Valet av bindemedel och kombinationer påverkas också av hur man vill att förstärkningen skall fungera med avseende på tekniska egenskaper som pelarnas hållfasthetsnivå och hållfasthetstillväxt med tiden, styvhet m.m. Eftersom jordprofilerna normalt inte består av en enda typ av jord, sett ur stabiliseringssynpunkt, blir valet av bindemedel och bindemedelsmängd ofta baserat på att tillräcklig stabilisering skall uppnås tillräckligt snabbt i alla ingående jordlager [34]. För Lilla Edet har följande bindemedelsmängder och kombinationer undersökts.

Vid val av provtagningsnivåer har lerans vattenkvot varit styrande. Ner till 5 meters djup har leran en lägre vattenkvot, vilken sedan ökar och är konstant ner till någon meter ovan friktionsjorden i botten. Den första provomgången visade att hållfasthetstillväxten skiljde sig ovan och under denna nivå. Försöken i provomgång 2 har således utförts på prover från 2 till 5 meters djup och mellan 5 och 8 meters djup. För ytlig lera har provkroppar med låga bindemedelsmängder 70 kg/m³ inte testats då hållfasthetstillväxten i den övre delen inte förväntades ge tillräcklig ökning av hållfastheten.

Tabell 1: Provomgång 1

Bindemedel	Inblandningsmängd	Tidpunkt för provning	Anmärkning
Kalk/cement, 50/50	80 kg/m ³	7, 14, 28 dygn	Provning med enaxliga tryckförsök
Kalk/cement, 50/50	100 kg/m ³	7, 14, 28 dygn	Provning med enaxliga tryckförsök
Kalk/cement, 50/50	120 kg/m ³	7, 14, 28 dygn	Provning med enaxliga tryckförsök

Tabell 2: Provomgång 2

Bindemedel	Inblandningsmängd	Tidpunkt för provning	Anmärkning
Kalk/cement, 50/50	70 kg/m ³ (endast på lera från 5-8 m djup)	7, 14, 28, 90 dygn	Provning med enaxliga tryckförsök (90 dygn) och stötvågsstyrning
Kalk/cement, 50/50	85 kg/m ³	7, 14, 28, 90 dygn	Provning med enaxliga tryckförsök (90 dygn) och stötvågsstyrning
Kalk/cement, 50/50	100 kg/m ³	7, 14, 28, 90 dygn	Provning med enaxliga tryckförsök (90 dygn) och stötvågsstyrning
Kalk/cement, 30/70	70 kg/m ³ (endast på lera från 5-8 m djup)	7, 14, 28, 90 dygn	Provning med enaxliga tryckförsök (90 dygn) och stötvågsstyrning
Kalk/cement, 30/70	85 kg/m ³	7, 14, 28, 90 dygn	Provning med enaxliga tryckförsök (90 dygn) och stötvågsstyrning
Kalk/cement, 30/70	100 kg/m ³	7, 14, 28, 90 dygn	Provning med enaxliga tryckförsök (90 dygn) och stötvågsstyrning
Multicem	85 kg/m ³	7, 14, 28, 90 dygn	Provning med enaxliga tryckförsök (90 dygn) och stötvågsstyrning
Multicem	100 kg/m ³	7, 14, 28, 90 dygn	Provning med enaxliga tryckförsök (90 dygn) och stötvågsstyrning

Målsättning med inblandningsförsöken och provning är att hitta en inblandningsmängd som är fördelaktig ur ett geotekniskt, miljömässigt och ekonomiskt perspektiv. Inblandningspelarna är i huvudsak placerade i den bakre delen av slänten och kan installeras tidigt, innan övriga schaktarbeten utförs. Viss avschaktning inom det pelarförstärkta området kan förväntas för att förbättra lokal- och totalstabiliteten för att utföra installationen m.h.t. hållfasthetsreduktion i leran och förhöjda portryck. Rekommendationen från SD R17 [34] nedan ska följas. Det kommer dessutom att krävas omfattande kontroll av rörelser och portryck under utförandet.

”Installation av bindemedelstabiliserade pelare i befintliga slänter med otillfredsställande stabilitet kräver mycket stor försiktighet. Det bör endast utföras i de fall som negativa effekter på jordens hållfasthet under utförandefasen bedöms vara begränsade och kunna hanteras genom en restriktiv arbetsordning och noggrann övervakning. I vissa fall kan det tillämpas tillsammans med andra förstärkningsmetoder.”

Med vilken hastighet som härdningen sker i inblandningspelarna och tidsintervallet mellan installation och nyttjandet av förstärkningen kommer att styra valet av bindemedel och bindemedelsmängd. Finns det möjlighet för inblandningspelarna att härda upp till 90 dagar eller mer kan troligtvis en

inblandningsmängd på 85 kg/m³, eller kanske ännu lägre, vara tillräcklig. Målet är att skapa en mjuk pelare men en skjuvhållfasthet som inte väsentligt överstiger 150 kPa. Om detta kan uppnås i samtliga jordlager är det i beräkningarna möjligt att nyttja 100 kPa som skjuvhållfasthet i pelarna. Verifiering i fält krävs och hållfastheten i provpelarna ska överstiga 1,4 gånger vald hållfasthet. Ytterligare justering av inblandningsmängd är inte uteslutet efter provning av pelare i fält.

Vidare avses bindemedel av typen Multicem, som har ett lägre klimatavtryck, att testas. Då detta är en förblandad produkt som till 50 % består av CKD (Cement Kiln Dust) och 50 % av cement, uppfyller bindemedlet inte Trafikverkets i dagsläget gällande krav. Kravet är att bindemedel ska bestå av minst 70 % bränd kalk och cement. Arbeta pågår med att förändra regelverket men fram tills ändringen är på plats kan dispens erhållas efter särskild utredning.

7.2.2. Utvärdering av hållfasthet

Hållfastheten i de bindemedelsstabiliserade provkropparna har utvärderats både med akustisk mätning och enaxliga tryckförsök. Den avslutande mätningen efter 90 dagar som nyttjats som referens för att verifiera att mätmetoderna ger jämförbara resultat.

$$\tau_{fu} = 0,0004V_p^{2,0497} \quad \text{ekvation 1}$$

Vidare har sambandet enligt ekvationen 1 ovan, mellan skjuvvågshastighet (P-vågshastighet) och odränerad skjuvhållfasthet nyttjats för att beräkna skjuvhållfastheten i stabiliserade prover. Resultaten från akustiska mätningar och enaxliga tryckförsök redovisas i tabellerna nedan.

7.2.3. Resultat

Gränsvärdet som eftersträvas i provningen är att $c_{u,crit}$ ska vara minst 140 kPa (UCS 280 kPa) vilket markeras med grön färg i tabellerna nedan.

I Tabell 3 och Tabell 4 redovisas resultat från provomgång 1. Redovisat i tabellerna är parametern UCS som står för *Unconfined Compression Strength* och mäts i kPa. UCS är i storleksordningen det dubbla mot $c_{u,crit}$.

Tabell 3: nivå 1-4 meter

Bindemedel	Inblandningsmängd	UCS kPa (provning efter inblandning, dygn)		
		7	14	28
Kalk/cement, 50/50	80 kg/m ³	118	122	123
Kalk/cement, 50/50	100 kg/m ³	178	221	231
Kalk/cement, 50/50	120 kg/m ³	233	239	256

Tabell 4: nivå 4-12 meter

Bindemedel	Inblandningsmängd	UCS kPa (provning efter inblandning, dygn)		
		7	14	28
Kalk/cement, 50/50	80 kg/m ³	208	238	294
Kalk/cement, 50/50	100 kg/m ³	231	297	345
Kalk/cement, 50/50	120 kg/m ³	285	367	453
Kalk/cement, 50/50	140 kg/m ³	326	-	537

I Tabell 5 - Tabell 8 redovisas resultat från provomgång 2.

Tabell 5: Södra området, nivå 2-5 meter

Bindemedel	Inblandningsmängd	UCS kPa (provning efter inblandning, dygn)					
		7*	14*	28*	42*	90*	90**
Kalk/cement, 50/50	85 kg/m ³	194	192	225	232	399	419
Kalk/cement, 50/50	100 kg/m ³	207	230	259	252	415	483
Kalk/cement, 30/70	85 kg/m ³	223	268	292	328	496	450
Kalk/cement, 30/70	100 kg/m ³	310	339	443	411	537	562
Multicem	85 kg/m ³	315	327	368	358	360	413
Multicem	100 kg/m ³	284	320	372	381	491	568

* resultat från mätning av skjuvvågshastighet (P-vågshastighet)

** resultat från enaxliga tryckförsök

Tabell 6: Södra området, nivå 5-8 meter

Bindemedel	Inblandningsmängd	UCS kPa (provning efter inblandning, dygn)					
		7*	14*	28*	42*	90*	90**
Kalk/cement, 50/50	70 kg/m ³	148	154	174	178	287	276
Kalk/cement, 50/50	85 kg/m ³	170	173	188	203	307	356
Kalk/cement, 50/50	100 kg/m ³	221	223	258	283	386	451
Kalk/cement, 30/70	70 kg/m ³	227	237	269	277	369	379
Kalk/cement, 30/70	85 kg/m ³	201	223	242	276	389	435
Kalk/cement, 30/70	100 kg/m ³	251	274	303	332	480	516
Multicem	85 kg/m ³	250	286	292	306	388	416
Multicem	100 kg/m ³	209	243	285	309	400	442

* resultat från mätning av skjuvvågshastighet (P-vågshastighet)

** resultat från enaxliga tryckförsök

Tabell 7: Norra området, nivå 2-5 meter

Bindemedel	Inblandningsmängd	UCS kPa (provning efter inblandning, dygn)			
		17*	28*	90*	90**
Kalk/cement, 50/50	85 kg/m ³	223	362	696	641
Kalk/cement, 50/50	100 kg/m ³	306	462	869	766
Kalk/cement, 30/70	85 kg/m ³	300	418	638	655
Kalk/cement, 30/70	100 kg/m ³	412	520	865	767
Multicem	85 kg/m ³	487	559	816	667
Multicem	100 kg/m ³	373	437	680	598

* resultat från mätning av skjuvvågshastighet (P-vågshastighet)

** resultat från enaxliga tryckförsök

Tabell 8: Norra området, nivå 5-8 meter

Bindemedel	Inblandningsmängd	UCS kPa (provning efter inblandning, dygn)			
		17*	28*	90*	90**
Kalk/cement, 50/50	70 kg/m ³	161	188	275	264
Kalk/cement, 50/50	85 kg/m ³	222	243	360	337
Kalk/cement, 50/50	100 kg/m ³	227	253	361	374
Kalk/cement, 30/70	70 kg/m ³	212	248	334	431
Kalk/cement, 30/70	85 kg/m ³	268	298	405	464
Kalk/cement, 30/70	100 kg/m ³	304	328	488	560
Multicem	85 kg/m ³	223	275	395	421
Multicem	100 kg/m ³	232	286	421	376

* resultat från mätning av skjuvvågshastighet (P-vågshastighet)

** resultat från enaxliga tryckförsök

7.2.4. Slutsatser

Resultaten från provning av stabiliserade prover visar att nästan samtliga bindemedel och inblandningsmängder, efter 90 dagar, påvisar ett hållfasthetstillväxt som förväntas uppnå gränsvärdet $c_{u,crit} = 140$ kPa (UCS 280 kPa). Undantaget är bindemedel med lika mängd kalk och cement (50/50) med en låg inblandningsmängd på 70kg/m³. För vissa bindemedel och inblandningsmängder med större mängd cement uppnås en 2 till 3 gånger högre hållfasthet jämfört med kravet. Det finns således goda förutsättningar att uppfylla kraven även med låga bindemedelsmängder och på så sätt minska klimatpåverkan som planerad markförstärkning genererar.

7.3. Provpelare

För att verifiera att resultaten från utförda laboratorieförsök överensstämmer med hållfasthet i pelare i fält rekommenderas att provpelare utförs. Provpelarna utförs i nära anslutning till ytor där planerad förstärkning ska utföras. Slutligt val av bindemedel och bindemedelsmängd i planerade provpelare kommer att ske i det fortsatta projekteringsarbetet mot bakgrund av då gällande regelverk och eventuell dispens för bindemedel såsom Multicem och låga bindemedelsmängder att utföras.

8 Hydrologiska och hydrogeologiska förhållanden

Följande text är hämtad från "PM Hydrogeologi Systemhandling", dokumentnummer S.14+TK.T.A00-UHA.T.102.

Göta älv är Sveriges största vattendrag, omfattande ett avrinningsområde på ca 50 000 km² och med en medelvattenföring på ca 557 m³/s enligt SMHI:s vattenwebb (statistisk 1991–2020). Älven rinner genom en dalgång som sträcker sig från Väneren vid Vänersborg genom Trollhättan, Lilla Edet, Kungälv och Göteborg för att därefter mynna ut i Kattegatt. Nivån i Väneren och Göta älv är reglerad. Nivån i Göta älv vid befintlig sluss i Lilla Edet ligger kring ca +7,1 uppströms slussläget, respektive kring ca +0,8 nedströms slussläget baserat på uppmätta medelytvattennivåer i Göta älv.

Ett mindre vattendrag, Strömsbäcken, mynnar ut i Göta älv ca 500 m norr om befintlig sluss.

Vid Lilla Edet är enligt SMHI:s vattenwebb en gräns för delavrinningsområde för ytvatten i öst-västlig riktning belägen i höjd med befintligt slussläge, vilket innebär att slussområdet är beläget inom två delavrinningsområden. Norr om ytvattendelaren finns delavrinningsområdet "Vid mätstation Lilla Edets krv" ID: 645220–128332 och delavrinningsområdet söder om ytvattendelaren kallas "Ovan 640285–126702 i Göta älvs vattendragsyta" ID: 644952–128308.

Vid planerad sluss väster om Göta älv förekommer rörligt grundvatten i ett undre grundvattenmagasin i morän samt i det kristallina bergets sprickor. Grundvattenmagasinet har inte kontakt med atmosfären på grund av det tätare lerlagret, utan utgör ett slutet grundvattenmagasin. I ett slutet grundvattenmagasin saknar magasinet en fri grundvattenyta, utan är i stället en tryckyta. I de områden där moränen inte överlagras av ett tätande lager, såsom områden där moränen eller berget går i dagen, råder i stället en fri grundvattenyta där atmosfärstrycket och vattentrycket är lika stora. Här är grundvattenmagasinet ett öppet grundvattenmagasin.

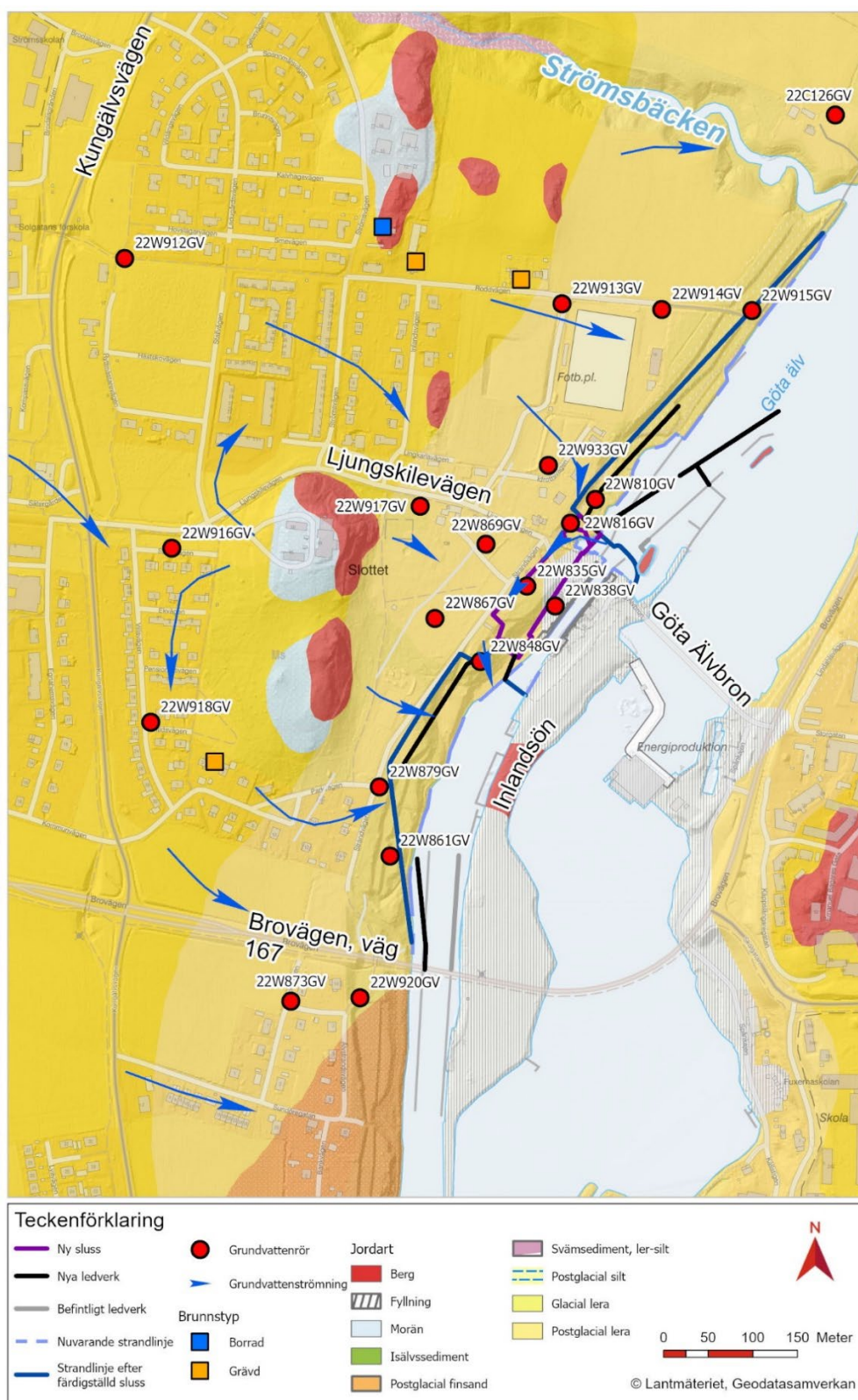
I ett mindre område närmast slussen bedöms det kunna förekomma ett lokalt övre grundvattenmagasin i fyllnadsjorden.

Enligt utförda undersökningar bedöms grundvattentrycknivåerna i morän och berg vid läge för ny sluss huvudsakligen styras av ytvattennivåerna i Göta älv och påverkas tydligt av förändringar i vattennivå inne i befintlig sluss.

Utförda grundvattennivåmätningar visar på att den storskaliga grundvattenströmningen generellt är riktad mot Göta älv, dvs från väst mot öst, se Figur 21. De två bergplintarna vid Ströms slott och strax söder om slottet utgör lokala grundvattendelare för det storskaliga strömningsmönstret.

Grundvattengradienten i direkt anslutning till Göta älv följer nivåerna i älven, dvs högre grundvattentrycknivåer påträffas uppströms än nedströms befintlig sluss. Göta älv påverkar således grundvattnets strömningsbild lokalt i området. Strax norr om den befintliga slussens fångdamm bedöms strömningsriktningen gå västerut från Göta älv till undre magasin i morän och möjligen till övre magasin i fyllningsmaterialet intill slussen. Grundvattenströmningen bedöms följa älvens flödesriktning längs slusskonstruktionen, för att nedströms slussen strömma ut i Göta älv igen.

Vid en grundvattensänkning kommer förändringen av grundvattentrycknivån enbart ske väster om Göta älv. Detta beror på att Göta älv utgör en omfattande hydraulisk gräns med en relativt konstant vattentrycknivå som hindrar vidare utbredning av grundvattentrycksänkning österut.



Figur 21: Lägen för grundvattenrör i jord och privata brunnar där nivåmätningar utförs. Blå pilar illustrerar bedömd strömningsriktning för grundvatten i undre magasin (morän). Göta älvs strömningsriktning går från nordnordost till söder i figuren.

8.1. Vattennivån i Göta älv

Göta älv är ett reglerat vattendrag och de vattendomar som finns för kraftproduktionen i älven styr vattennivåerna uppströms slussen i Lilla Edet. Nedströms kraftstationen styr i stället havets nivå och tappningen nivån i älven. För de lägsta flödena finns det förutom vattendomen även överenskommelser avseende ett minsta flöde med nedströmsliggande kommuner som tar sitt dricksvatten från älven. I synnerhet Göteborgs stad som är beroende av ett flöde förbi vattenintaget vid Alelyckan för att undvika saltvatteninträngning från havet.

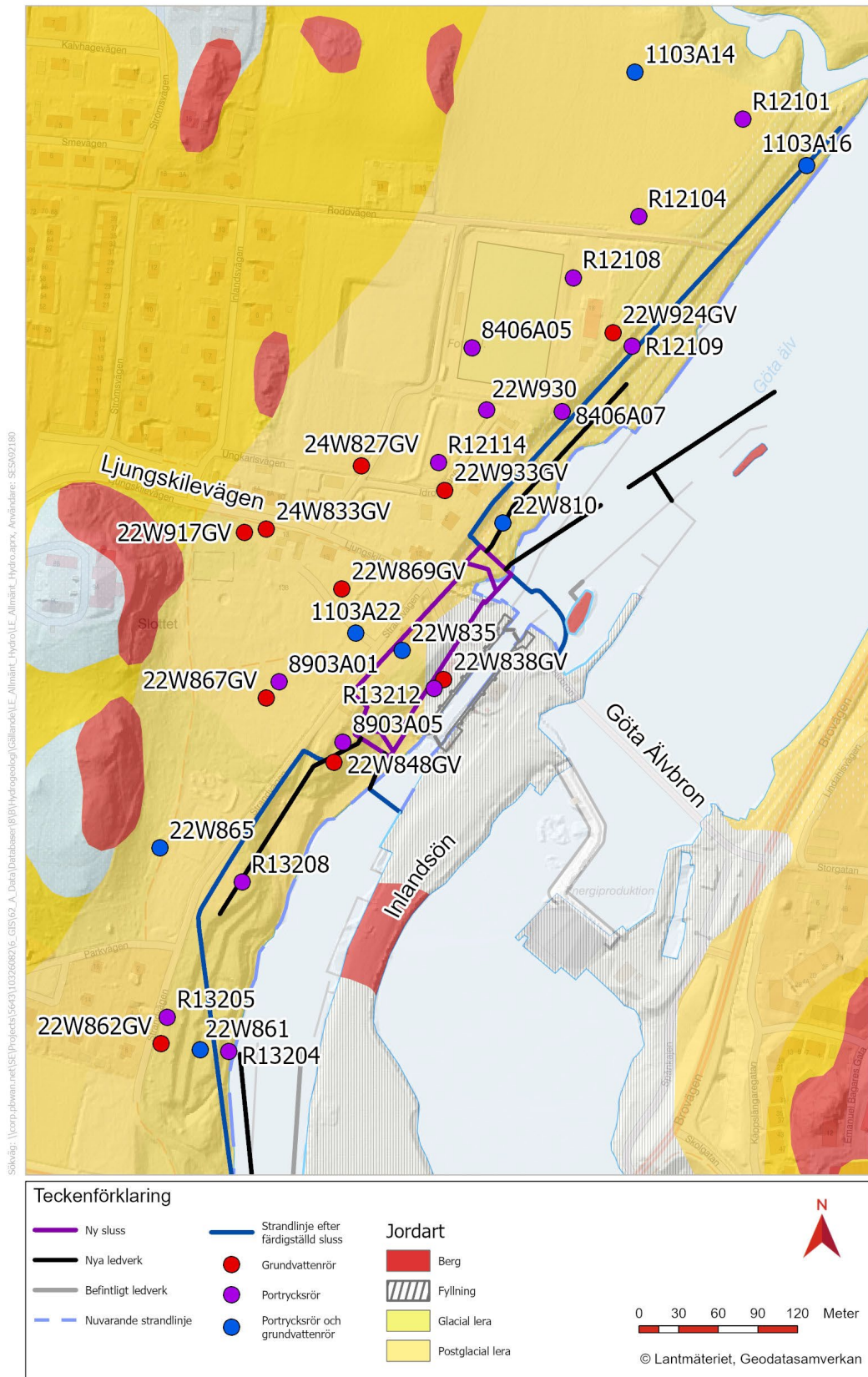
Dimensionerande vattenstånd i Trollhätte kanal redovisas i ”PM Hydrologiska förhållanden längs Trollhätte kanal”, dokument nr. S.14+TK.A.A00-VEG.T.001. Dimensionerande vattenstånd i Trollhätte kanal i Lilla Edet redovisas i Tabell 9.

Tabell 9: Dimensionerande vattenstånd i Trollhätte kanal (RH2000).

Område	Dimensionerande vattenstånd		
	MLW	LVY	HVY
Lilla Edet, uppströms	+6,94	+6,53	+7,58
Lilla Edet, nedströms	+0,09	+0,03	+2,28

8.2. Grundvattenyta och portryck

Portrycksförhållandet inom området har utvärderats utifrån mätningar angivna i arkivmaterial från tidigare utförda utredningar, samt nu installerade portrycksmätare i läge för beräkningssektioner. Se Figur 22 för placering av använda stationer. Sammanställning av portrycksprofiler med median, maximal och minsta uppmätta värdet från respektive punkt redovisas i Bilaga 1. En hydrogeologisk modell har tagits fram för att simulera grundvattentrycknivåer i undre grundvattenmagasin (morän) under anläggningsskede och driftskede. Denna modellering och resultat redovisas i ”PM Hydrogeologi Systemhandling”, dokumentnummer S.14+TK.T.A00-UHA.T.102.



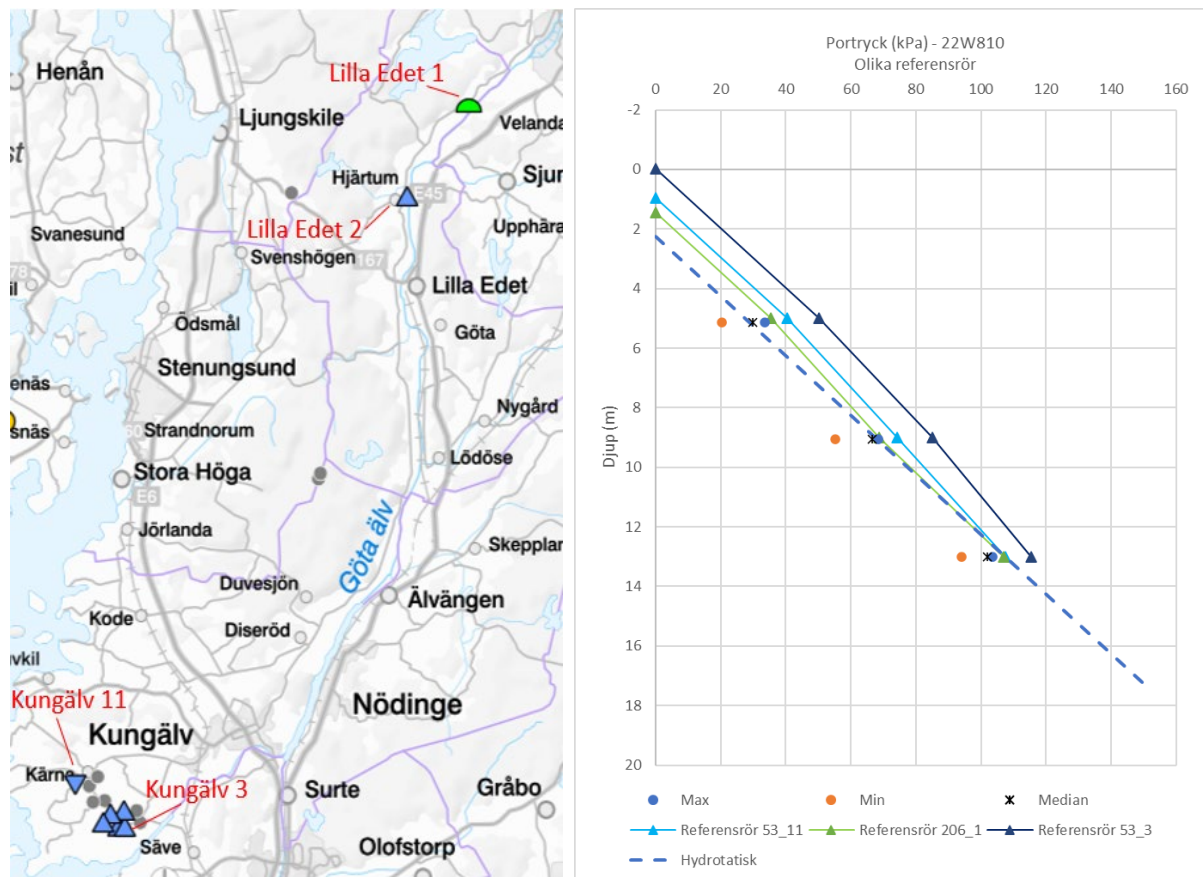
Figur 22: Sammanställning av portrycks- och grundvattenstationer som använts för stabilitetsberäkningar.

8.2.1. Prognostisering

För samtliga punkter med grundvattenrör och portrycksmätare som har en mätserie som omfattar minst 6 mätningar under 3 månaders period har en portrycksprognostisering utförts.

Prognostiseringen utförs i enlighet med SGI Vägledning 8 [28]. Referensrör har valts från SGU:s grundvattennät baserat på geografiskt läge samt geologiska förhållanden. Aktuella referensrör redovisas i Figur 23 där referensrör 206_1 (Lilla Edet 1) och 53_11 (Kungälv 11) har valts. Referensrör 206_1 ligger närmast projektet geografiskt men har endast mätningar från 2020. För att komplettera detta referensrör har 53_11 valts som har liknande geologi och mätvärden från 1971. Referensrör 206_2 (Lilla Edet 2) och 53_3 (Kungälv 3) valdes bort på grund av avvikande mätvärden samt större skillnader i geologiska förhållanden. Jämförelse av portrycksprognostisering mellan referensrör 53_11, 206_1 och 53_3 redovisas i Figur 23 och Bilaga 1. Prognos av högsta dimensionerande vattentrycksnivån utförs med hänsyn till en återkomsttid på 100 år.

Portrycksprognostisering med hänsyn till olika referensrör i respektive punkt redovisas i Bilaga 1.



Figur 23: Referensrör från SGU:s grundvattennät och jämförelse av prognos med olika referensrör.

9 Beräkningsförutsättningar stabilitetsanalys

9.1. Allmänt

Samtliga beräkningar, både för befintliga och planerade förhållanden, har utförts med partialsäkerhetsmetoden. Vid bedömning av krav gällande säkerhetsklass har förekomsten av kvicklera och att byggnadsverkets är en samhällsviktig infrastruktur varit styrande vid valet. Beräkningar har utförts med både odränerad och kombinerad analys, där även ett prognostiserat högt porttryck med en återkomsttid på 100 år har medtagits. Där geometriska förändringar (avschaktning) inte har varit tillräckliga för att uppnå rekommenderad säkerhet har bindemedelsstabiliserade pelare i skivor valts som metod för att ytterligare höja säkerheten.

9.2. Erforderlig säkerhetsfaktor

I enlighet med ”PM Projekteringsförutsättningar Geoteknik” dokument nr. S.14+TK.A.A00-AAB.T.001 gäller säkerhetsfaktorer enligt Tabell 10 för respektive beräkningsmetod. Stabilitetsförhållanden i Lilla Edet behöver uppfylla säkerhetsklass 3.

Tabell 10: Erforderlig säkerhetsfaktor enligt TRVINFRA-00230.

Säkerhetsklass	Partialkoefficientmetoden	Totalsäkerhetsmetoden	
		Odränerad - F_c	Kombinerad/ dränerad F_{cf}
SK1	0,9	1,35	1,20
SK2	1,0	1,50	1,30
SK3	1,1	1,65	1,40

9.3. Beräkningsförutsättningar

9.3.1. Partialkoefficientmetoden

Vid stabilitetsberäkningar med partialkoefficientmetoden bestäms relevanta dimensionerande parametervärden enligt IEG 6:2008 ”Slänter och bankar” där:

Dimensionerande värden, $X_d = \frac{1}{\gamma_m} \cdot X_k$

Karakteristiska värden, $X_k = \eta \cdot \bar{X}$

Där

γ_m = fast partialkoefficient

η = omräkningsfaktor

\bar{X} = valt värde från sammanställning av härledda värden

Partialkoefficienter för aktuella jordparametrar enligt TRVINFRA-00230 redovisas i Tabell 11.

Tabell 11: Partialkoefficienter för jordparametrar enligt TRVINFRA-00230.

Jordparameter	Partialkoefficienter
Tunghet, γ_k	$\gamma_\gamma = 1,0$
Odränerad skjuvhållfasthet, c_{uk}	$\gamma_{cu} = 1,5$
Dränerad skjuvhållfasthet, c'_k	$\gamma_{c'} = 1,3$
Inre friktionsvinkel, φ'_k	$\gamma_\varphi = 1,3$

Val av η -faktorer utförs för varje geotekniskt delområde enligt IEG 6:2008.

För materialegenskaper på kohesionsjord i Lilla Edet och dess geotekniska delområden baseras valt värde på i huvudsak direkta skjuvförsök med vägledning av empiri. Vald η -faktor för kohesionsjord för samtliga delområden ansätts således till 1,0.

Materialegenskaper i friktionsjord baseras på fältundersökningar och har därefter utvärderats i enlighet med ekvationer och tabellvärden beskriva i TRVINFRA-00230. Vald η -faktorer för friktionsjord för samtliga delområden ansätts således till 1,0.

9.3.2. Materialelegenskaper

Grafer med erhållet resultat från fält- och laboratorieundersökningar med valt värde för respektive jordparameter och delområde är sammanställt i Bilaga 2. För jordegenskaper som ej erhållits från fält- och laboratorieundersökningar har värden valts utifrån rekommendationer i TRVINFRA-00230 Bilaga A.

Alla lerlager i delområde 1 – 6 bedöms ha anisotropa egenskaper. Vidare beskrivning och valda värden redovisas i Kapitel 9.3.3.

För långtidsfall och således driftskede för justerad farled ansätts en avlastningsfaktor på valt värde för de områden där stor avschaktning sker till följd av anläggning av ny farled, se vidare beskrivning i Kapitel 9.3.4.

Vid modellering i Geostudio SLOPE/W har olika materialmodeller använts med hänsyn till typ av jord och typ av analys. För friktionsmaterial används materialmodellen Mohr-Coulomb. För kohesionsjordar (lera och torrskorpelera) används $S=f(\text{datum})$ i odränerad analys och Combined, $S=f(\text{datum})$ i kombinerad analys.

9.3.3. Anisotropi

Vid beräkning av stabilitetsförhållanden har hänsyn tagits till anisotropi både för befintliga förhållanden och för utformningen av den nya farleden. Grundläggande princip för anisotropins innebörd för en lera och hur hänsyn tas till effekten beskrivs i Kapitel 6.6. Utvärderad anisotropifunktion som används i Geostudio SLOPE/W baseras på resultat från avancerade laboratorieundersökningar (triaxialförsök) som redovisas i Bilaga 3.

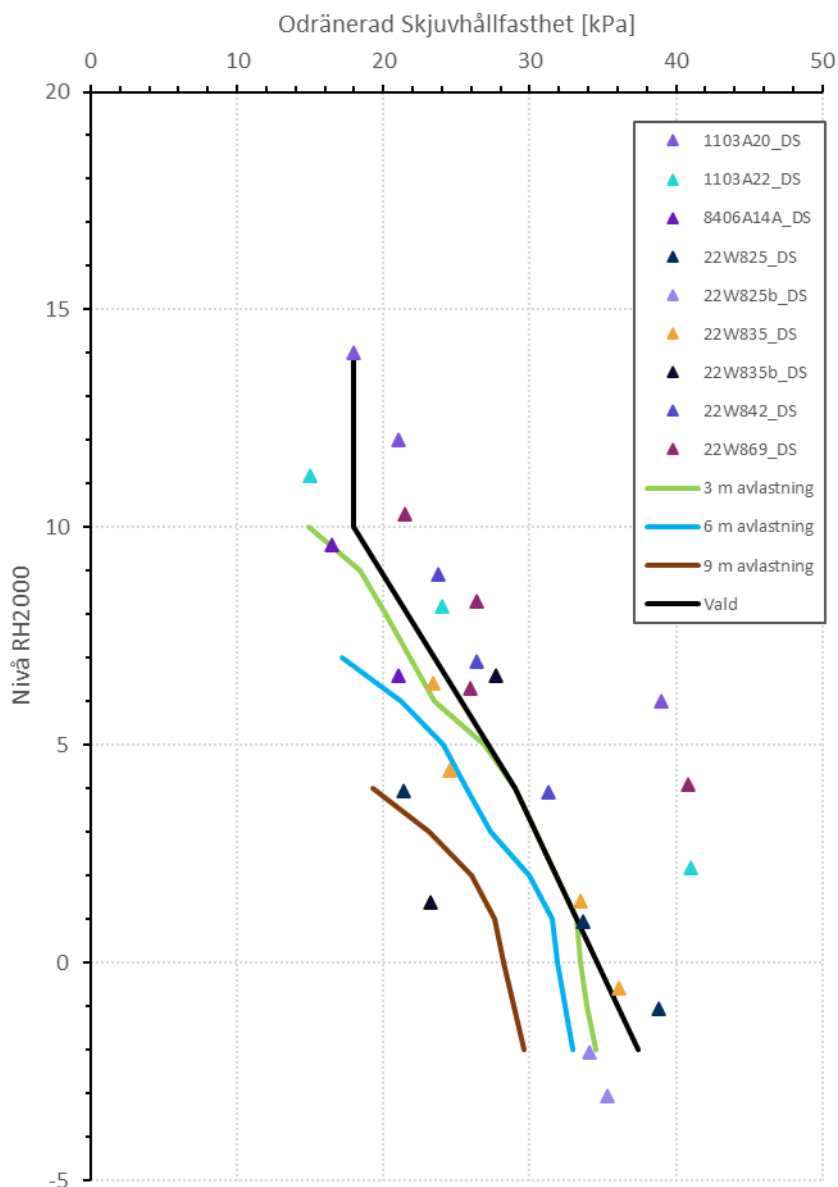
9.3.4. Avlastning

Vid beräkning av nya förhållanden har hänsyn tagits till att materialegenskaperna i lerans hållfasthet förändras som följd av den stora avlastning som sker i området. Avlastningens storlek beror på intrånget i befintlig slänt och hur stora massor av lera schaktas bort ovan den kvarvarande leran som utgör den nya slänten ned mot farled. Förändrade egenskaper på jordparametrarna berör således endast områden där mer än 2 m jordmättighet schaktas bort.

Ny odränerad skjuvhållfasthet för den avlastade leran bygger på det empiriska sambandet beskrivet i Kapitel 6.4:

$$c_u = a \cdot \sigma'_v \cdot OCR^b \quad \text{eller} \quad c_u = a \cdot \sigma'_c \cdot OCR^{b-1}$$

För respektive delområde har spänningssituationen för noll avlastning tagits fram och ett empiriskt värde på odränerad skjuvhållfasthet har beräknats. Därefter har olika spänningssituationer tagits fram beroende på vilken magnitud på avlastning det förekommer i respektive delområde och sektion. Från de olika spänningssituationerna har en specifik empirisk odränerad skjuvhållfasthet erhållits. Den procentuella skillnaden mellan nollscenariot och specifikt avlastningsscenario har sedan tagits fram. Den procentuella skillnaden har applicerats på den valda skjuvhållfasthetsprofilen inom respektive sektionen/delområdet för att få fram en ny avlastad profil på hållfastheten i leran. I Figur 24 redovisas ett exempel på nya hållfasthetsvärden för sektion 1/240 där justerad farled innebär en avlastning med 3, 6 och 9 m. För respektive sektion redovisas i Bilaga 4 en ny hållfasthetsprofil samt indata till beräkningar som tagits fram beroende på avlastningens storlek inom sektionen.



Figur 24: Exempel på nya skjuvhållfasthetsprofiler i leran efter avlastning i sektion 1/240.

Avlastningen modelleras i Geostudio SLOPE/W med hjälp av SHANSEP-modellen för kombinerad analys och Spatial Mohr Coloumb-modellen för odränerad analys.

9.3.5. Laster

Karakteristiska ytlaster som används vid stabilitetsberäkningar är i enlighet med ”PM Projekteringsförutsättningar Geoteknik” dokument nr. S14+TK.A.A00-AAB.T.001 och redovisas i Tabell 12. Laster läggs endast in i stabilitetsberäkningar där de förkommer på pådrivande sidan i släntens geometri.

Tabell 12: Karakteristiska ytlaster vid stabilitetsberäkning enligt partialkoefficientmetoden.

Karakteristisk ytlast	Storlek	Enhet	Typ av last
Trafiklast vägar och gator	15	kN/m ²	Variabel
Trafiklast GC-väg	5	kN/m ²	Variabel
Oförutsedd last inom obelastad mark (avser tillåten markhöjning om 0,5 m inom detaljplan)	10	kN/m ²	Permanent
Parkmiljö	2	kN/m ²	Variabel
Byggnad (överslag)*	10	kPa/våningsplan	Permanent

*I fall där byggnadens vikt är av betydelse inhämtas verifierade laster från konstruktör.

9.3.6. Grundvattennivå och portryck

I området är portrycksstationer installerade och mätningar utförda under minst 3 månader. Utöver portrycksmätare har flertalet grundvattenrör installerats i det undre grundvattenmagasinet för att möjliggöra en hydrogeologisk modellering av området. En prognostisering som nyttjar mätningar från både portrycksmätare och grundvattenrör har utförts i aktuella beräkningssektioner. Prognostisering av högsta dimensionerande grundvattentrycksnivån utförs med hänsyn till en återkomsttid på 100 år. Använda referensrör för prognostisering beskrivs i Kapitel 8.2.1. Vid beräkning används högsta dimensionerande grundvattentryck erhållen från prognostisering, se Bilaga 1. Vid en erhållen trycknivå som är över markytan väljs en trycknivå vid markytan. Trycknivå i underkant lerlager har bestämts utifrån hydrogeologisk modellering av grundvattentrycksnivån i moränen i driftskede. Resultatet från denna modellering har tillsammans med prognostiserade trycknivåer i övre profilen av lerlagret applicerats i stabilitetsanalyserna.

Inom älvmrådet har CPT-sonderingar utförts med utjämningsförsök för att mäta portrycket i jordlagren under älven. Två utjämningsförsök har utförts norr om slussen och två söder om slussen. Enligt utförda mätningar har värden erhållits som visar på en hydrostatisk tryckfördelning under älven. Vid modellering används således en hydrostatisk tryckfördelningen under älven i samtliga beräkningssektioner.

I odränerad analys används en "piezometric line" där uppmätt nolltrycksnivå definieras och därefter är tryckökningen hydrostatisk (10 kPa/m djup). I kombinerad analys ansätts en "spatial function" där portrycksförhållandet modelleras genom att definiera de erhållna prognostiserade maxvärden i läge för portrycksmätare och grundvattenrör. Sammanställning av mätvärden, prognostisering samt valt värde på grundvattentryck i övre lerprofilen vid beräkning för respektive punkt redovisas i Bilaga 1.

Utförda grundvattenmätningar och grundvattenmodelleringar visar på en generell grundvattenströmning mot älven. Det medför att de grundvattengradienter som förekommer i jorden lutar mot Göta älv.

9.3.7. Dimensionerande vattennivåer

Dimensionerande vattennivåer i Lilla Edet redovisas i ”PM Hydrologiska förhållanden längs Trollhätte kanal”, dokument nr. S.14+TK.A.A00-VEG.T.001. Vid stabilitetsberäkningar används lägsta lågvattennivå vid odränerad analys och medellågvattennivå vid kombinerad analys.

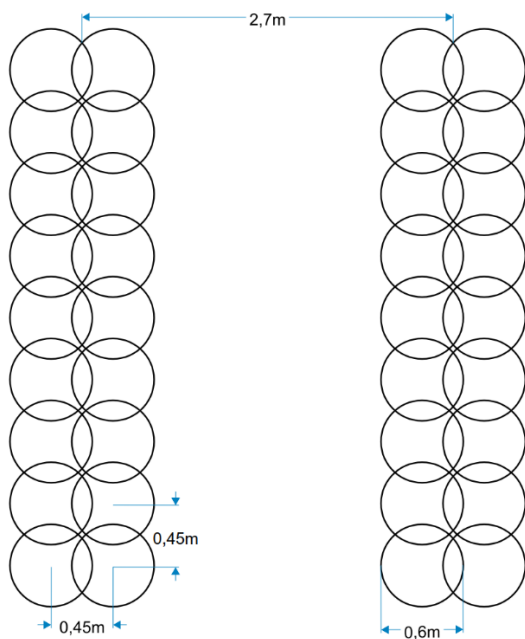
Tabell 13: Dimensionerande vattennivåer i Lilla Edet.

Område	MLW (kombinerad)	LW (odränerad)
Lilla Edet, uppströms	+6,94	+6,53
Lilla Edet, nedströms	+0,09	+0,03

9.3.8. Bindemedelsstabiliserad jord

För att tillgodose Trafikverkets krav i TRVINFRA-00230 avseende kontinuitet och vidhäftning mellan inblandningspelare i skivor under 8 meter djup krävs det dubbla pelarrader vid installation av skivor. Se Figur 25 nedan. För att bibehålla en vald täckningsgrad på 36 % har avståndet mellan skivorna anpassats och installeras med ett c/c-avstånd på 2,7 meter. Detta ger ett utrymme mellan skivorna som uppgår till 1,8 meter, vilket ligger inom kravet på maximal bredd, 2,0 meter för skärningsslänter.

Stabilitetsberäkning med bindemedelsstabiliserad jord beräknas i Geostudio SLOPE/W med hjälp av materialmodell (Compound function). Denna funktion tillåter olika hållfasthetsfunktioner beroende på vinkel på glidytan. Hållfasthetsfunktionerna i sin tur baseras på effektivspänning i respektive lamell. Den slutliga hållfasthetsfunktionen som beräkningsprogrammet räknar med baseras på lerans skjuvhållfasthet, inblandningspelarnas hållfasthet, maximalt 100 kPa, och den täckningsgraden som används. En ny hållfasthetsfunktion krävs således för varje plats där djupstabilisering krävs. I Bilaga 5 redovisas de erhållna hållfasthetsfunktioner vid djupstabilisering i de sektioner där stabilitetsförbättrande åtgärder krävs.



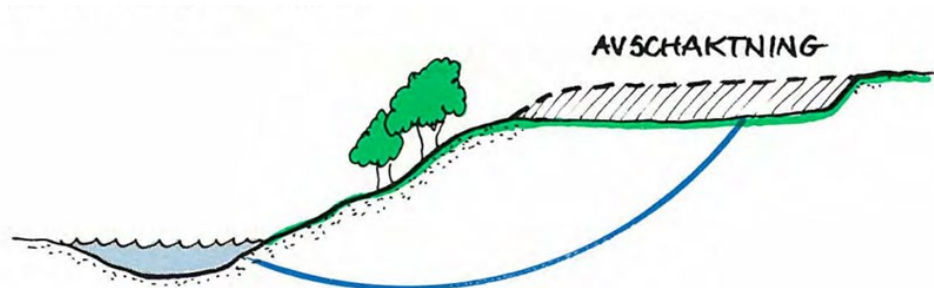
Figur 25: Typskiss över pelarmönster med en 36 % täckningsgrad.

9.4. Val av stabilitetsförbättrande åtgärder

Den vanligaste förstärkningsåtgärden är att disponera om jordmassorna i slänten, t.ex. genom avschaktning i släntens övre del och stödfyllning/tryckbank vid släntens fot. En annan tänkbar åtgärd är att förbättra hållfastheten eller införande av stabiliserande element i slänten.

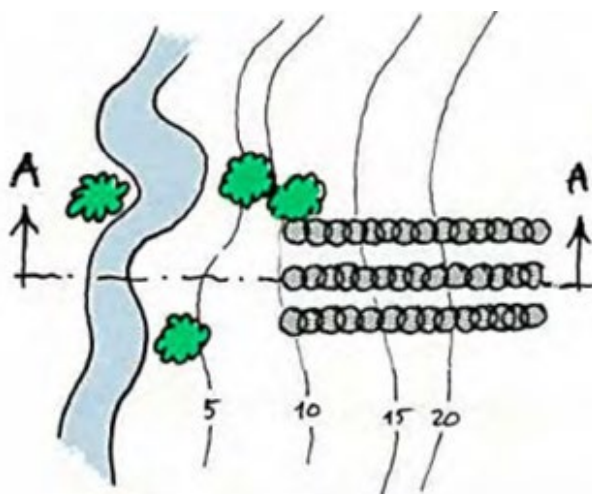
En omDispositionering av jordmassorna är dock normalt - inte minst av ekonomiska skäl - ett förstahandsalternativ och övriga åtgärder är andrahandsåtgärder, som får tillgripas om det första alternativet av någon anledning inte kan genomföras, eller är olämpligt. I många fall kan det bli aktuellt med en kombination av olika åtgärder. (Skredkommissionens rapport 2:96)

För att skapa en robust lösning i syfte att höja säkerheten har i huvudsak tre olika åtgärdsalternativ (avschaktning, stödfyllning/tryckbank och jordförbättring med inblandningspelare) studerats både enskilt och i kombination, vilket är i linje med beskrivning ovan. Med en robust lösning menas att den över tid inte regelbundet kräver underhåll och utgörs av material som inte bryts ner. Detta medför att lösningar som omfattar konstruktionselement i stål (sponter) har valts bort som lösning då dessa inte uppfyller detta krav.



Figur 26: Principskiss för avschaktning som stabilitetsförbättrande metod (Skredkommissionen rapport 5:95)

Tidigt kunde stödfyllning som metod avfärdas då fyllning i vatten är i konflikt med farleden och fartygstrafiken, varvid lösningar utarbetats där stödfyllning inte medtagits som åtgärd. Kvarstående åtgärdsalternativ som har studerats är avschaktning och jordförbättring med inblandningspelare. Dessa är beprövade metoder och har erfarenhetsmässigt visat sig vara både kostnadseffektiva och genomförbara på platser som är jämförbara med Lilla Edet.



Figur 27: Principskiss för utförande av inblandningspelare i skivor (Skredkommissionen rapport 5:95)

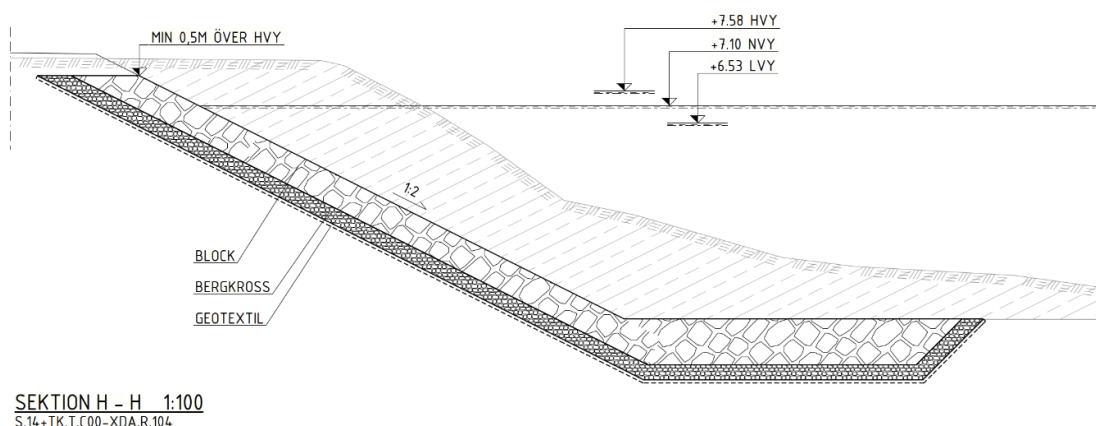
Utgångspunkter för bedömning av ny släntgeometri har varit avschaktning som lösning. Anledningen till detta är att metoden är utförandemässigt förutsägbar och medför att arbetsskedet kan kontrolleras på ett systematiskt sätt. Med inblandningspelare är detta mer komplicerat och det krävs mer omfattande kontrollprogram för att verifiera att säkerheten upprätthålls. Således har inblandningspelare främst nyttjats för att höja stabiliteten från säkerhetsklass 2 till 3 inom områden med förekomst av kvicklera där enbart avschaktning på grund av geometriska begränsningar inte har varit tillräcklig för att omhänderta höjda krav. Detta tillvägagångssätt medför att totalstabiliteten i mindre utsträckning är beroende av de förbättrande egenskaper som inblandningspelare ger och säkerheten som helhet vilar på en robust släntutformning.

9.5. Erosionsskydd

För att säkerställa att stabiliteten inte förändras över tid på grund av naturlig erosion, slussning av fartyg och fartygsgenererad erosion kommer ett erosionsskydd att anläggas längs hela västra älvstranden och i anslutning till nya ledverk. Störst påverkan förväntas i anslutning till slussen där erosion är föranledd av de propellervattenströmmar och returvattenströmmar som fartygen skapar när de tar sig in respektive ut ur slussen. Dessutom skapar strömmarna från in- och utloppskanalerna förutsättningar för erosion. Propeller- och returvattenströmmarna har beräknats för ett framtida största fartyg, med ett maximalt djupgående på 5,4 meter. Med ett farledsdjup på 6,3 meter, innebär det att farledsbotten i det dimensionerande fallet är belägen 0,9 m under fartyget.

På de sträckor med en botten av morän eller lera utformas erosionsskyddet med stora block ovanpå ett eller flera lager av finare krossmaterial på botten av kanalen, vilket ger en total tjocklek av cirka 1,5 meter. Ett alternativ till erosionsskydd av stora block är en uppbyggnad med betong eller en betongmadrass, i form av filterpunktsmadrass som placeras ovan ett avjämningslager av finare krossmaterial. Erosionsskyddet avslutas med en bred släntfot som sträcker sig ut 5–10 m ut från släntfot. Erosionsskyddets överyta ska följa erforderligt farledsdjup. I skvalpzonen upptill kan erosionsskyddet av miljömässiga och estetiska skäl komma att utföras av stenmaterial med en mindre stenstorlek.

I de slänter som inte har väntelägen framför kan även mindre block nyttjas och totala tjockleken blir i sådant fall mindre, totalt cirka 1 meter. Erosionsskyddets fot och dess utformning på botten är likartad längs hela den nya farledsträckningen, se Figur 28.



Figur 28: Principskiss för erosionsskydd med stenmassor.

9.6. Släntstabilitet i ett förändrat klimat

I ett förändrat klimat kommer det bli vanligare med perioder med både högre och lägre flöden i Göta älv jämfört med idag. SMHI har gjort beräkningar av vattennivåer nedströms Lilla Edet i syfte att klarlägga dimensionerande nivåer för ett flertal flöden i älven och vattennivåer i havet. Från geoteknisk säkerhetssynvinkel är det de låga nivåerna som är av intresse och som påverkar stabilitetsförhållandena. I SMHI:s rapport (SMHI, 2024)¹ har några ytterligheter i nivåer beräknats, lägsta lågvatten som sammanfaller med minimitappning 170 m³/s i älven (LLW/min tapp) alternativt en tappning på 100 m³/s (LLW/LQ100).

Tabell 14: Framräknade ytterligheter för vattennivåer i Lilla Edet i dagens klimat.

Scenarier (Havets nivå/tappning i Göta älv)	Vattennivå [m] RH2000
LLW/min tapp	-0,84
LLW/LQ100	-0,99

För att klarlägga hur dessa extremnivåer påverkar stabiliteten nedströms slussen i Lilla Edet har en känslighetsanalys i odränerad analys utförts i sektion 1/440, där påverkan från geoteknisk synvinkel bedöms vara störst. Beräkningar i kombinerad analys har inte utförts då detta inte är ett långtidsförhållande.

Beräkningen visar att säkerhetsfaktorn i odränerad analys minskar från $F_{EN} = 1,08$ till 1,05, vilket innebär att säkerheten bibehålls på en hög nivå, även när ytterligheter avseende havsnivån och flödet inträffar samtidigt.

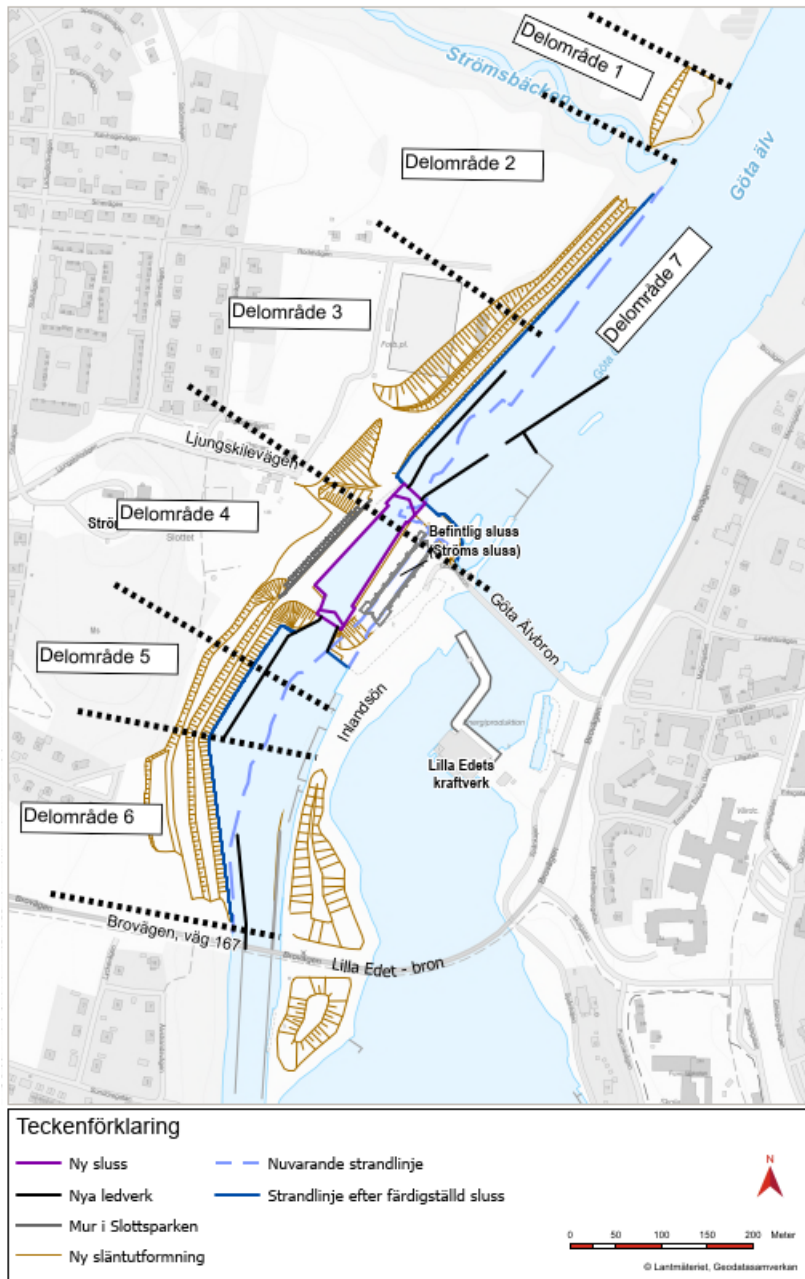
¹ SMHI. (2024) Beräkningar av vattennivåer nedströms Lilla Edet, Rapport nr 2024-29

10 Stabilitetsberäkningar och resultat

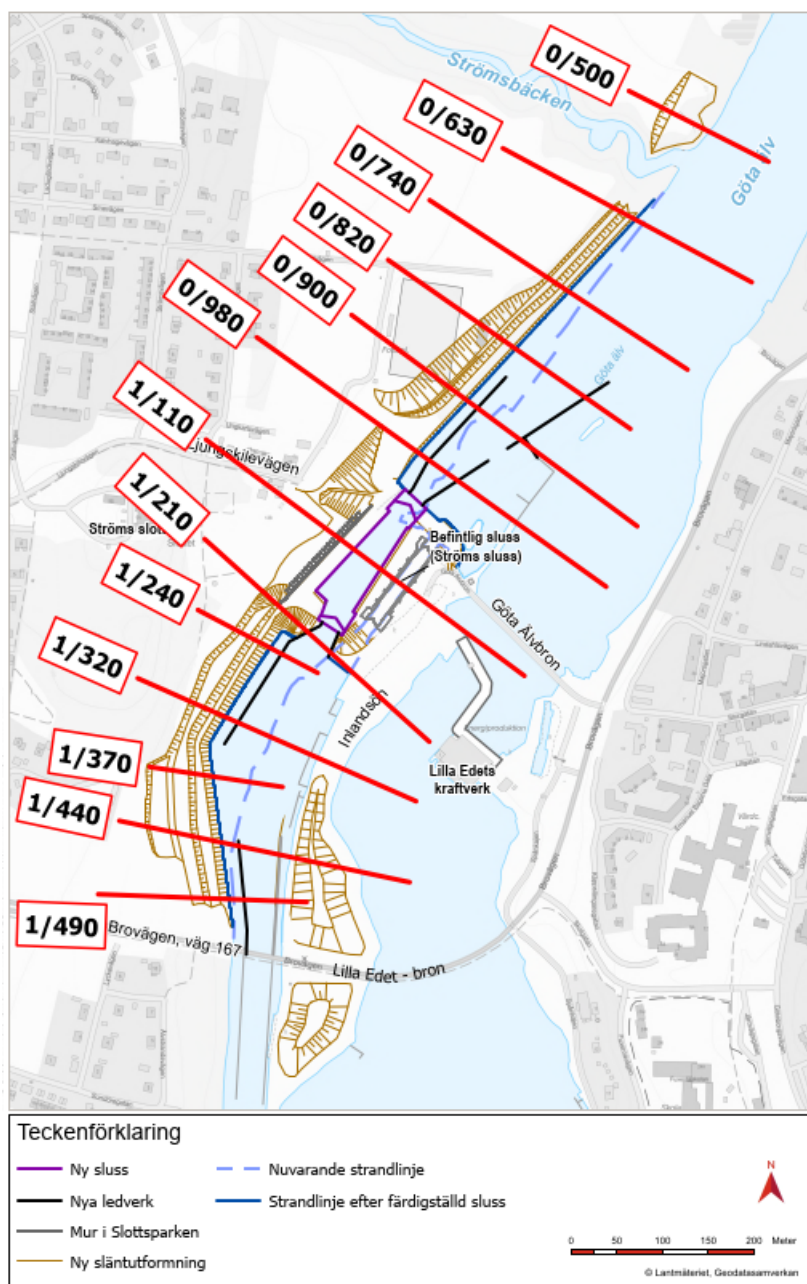
10.1. Områdesindelning och val av sektioner

För området vid Ströms sluss i Lilla Edet har stabiliteten kontrollerats i totalt 13 representativa sektioner. 10 sektioner är huvudsektioner i vilka geotekniska undersökningar har utförts med en normal omfattning på ca 2 punkter med portryck eller grundvattenmätare och även punkter med resultat från avancerade laboratorieförsök.

Sektion 1/210, 1/370 och 1/490 har lagts till för att täta upp områden med varierande geometri eller geologi. I dessa sektioner har portrycksprofiler valts utifrån omkringliggande sektioner med mätningar. Sektionerna är jämnt fördelade längs ny farledssträckning i Göta Älv och ny sluss. Delområden redovisas i Figur 29 och sektionsläget redovisas i Figur 30. För kontroller under anläggningsskedet upprättas ett separat geotekniskt PM som belyser stabilitetsfrågor för tillfälliga anläggningar och schaktarbeten.



Figur 29: Delområden 1 till 7.



Figur 30: Beräkningssektioner.

10.1.1. Utformning och geometri

Beräkningssektioner för befintlig slänt har genererats utifrån framtagen terrängmodell över området. Terrängmodellen baseras på erhållna höjddata samt mätningar. För stabilitetsberäkningar som har till syfte att visa säkerheten för planerade förhållanden har ny farledsutformning och slussplacering varit utgångspunkten. Från kraven på farledsutformning och placering av ledverk har övergången mellan farledsbotten och släntfot bestämts. Ovanliggande slänter och avschaktningssplan har i sin tur tagits fram för att erhålla en säkerhetsfaktor som uppfyller ställda krav enligt Trafikverkets normer. Geometrin för planerad farled inklusive slänter och avschaktningssplan har därefter justerats med hänsyn till farledens körbarhet och landskapsgestaltning. I denna rapport redovisas stabilitetsförhållanden med befintlig geometri och med geometrier efter färdigställd sluss, justerad farled och återställda omkringliggande ytor.

10.2. Delområde 1 – 0/450–0/600 (Torna dal)

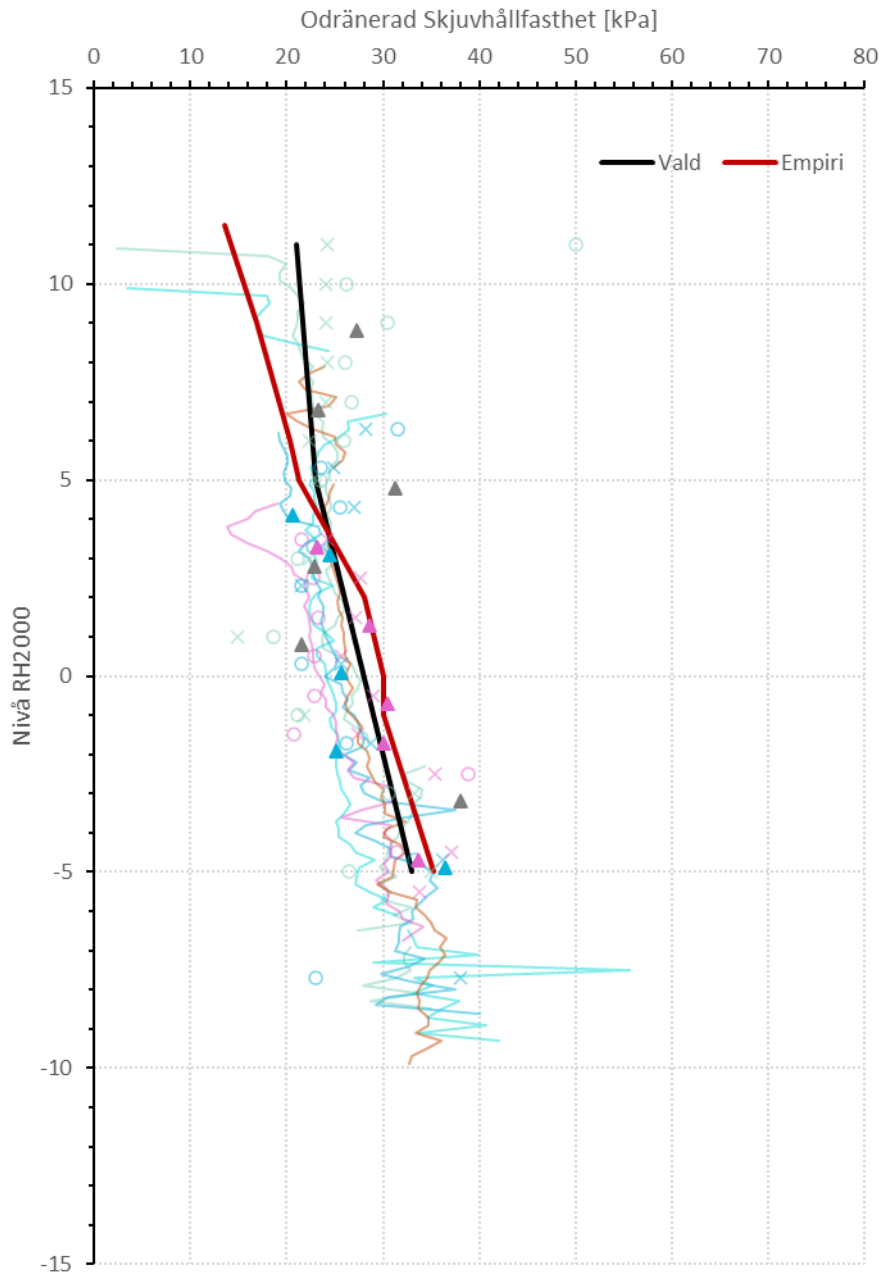
10.2.1. Materialparametrar

Geotekniska parametrar för delområde Torna dal redovisas i Bilaga 2. Uppmätt naturlig vattenkvot varierar mellan 18 och 88% och uppmätt konflytgräns i leran varierar mellan 30 och 77%. Både den naturliga vattenkvoten och konflytgränsen har en ökande trend ned till +5, därefter har vattenkvoten ett konstant värde ned till nivå -1 innan den avtar mot djupet. Konflytgränsen har en avtagande trend efter nivå +5.

Utvärderat värden på densitet i leran varierar mellan 1,5 och 1,9 t/m³. Odränerad skjuvhållfasthet i leran har utvärderats, där den övre delen av lerprofilen har en hållfasthet på 21 kPa, därefter ökar det mot djupet upp emot värden på 35 kPa. Utvärderad odränerad skjuvhållfasthet redovisas i Figur 31 nedan.

Leran klassas som högsensitiv då sensitiviteten varierar mellan 9 och 259. Omrörd skjuvhållfasthet som är mindre än 0,4 kPa i kombination med sensitivitet över 50 förekommer i upptagna prover på leran, vilket medför att leran klassificeras som kvicklera. Kwickleran förekommer i mitten av lerprofilen från ca +3 ned till underliggande sandskikt.

Leran är överkonsoliderad i hela profilen då överkonsolideringsgraden OCR varierar mellan 1,5 och värden upp emot 6.



Figur 31: Vald odränerad skjuvhållfasthet (korrigerad) delområde 0/450-0/600 (Torna dal).

Tabell 15: Valda värden på jordparametrar Delområde 1 - 0/450-0/600 (Torna dal).

Delområde 1					
Jordlager	Egenskaper	Enhet	Valt värde X	Karakteristiska värden X_k	Dimensionerande värden X_d
Torrskorpelera	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	16	16	16
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	16	16	16
	Hållfasthet	$c_u = \text{kPa}$	21	21	14
		$c' = \text{kPa}$	$0,1 \cdot c_u$	$0,1 \cdot c_u$	$0,1 \cdot c_u$
		$\varphi' = ^\circ$	30	30	23,9
Lera 1 +11 till +5	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	16	16	16
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	16	16	16
	Hållfasthet	$c_u = \text{kPa}$	$21 + 0,3z$ z=0 vid +11	$21 + 0,3z$ z=0 vid +11	$14 + 0,2z$ z=0 vid +11
		$c' = \text{kPa}$	7,1	7,1	5,5
		$\varphi' = ^\circ$	30	30	23,9
Lera 2 +5 till -1	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	15,5	15,5	15,5
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	15,5	15,5	15,5
	Hållfasthet	$c_u = \text{kPa}$	$23 + 1z$ z=0 vid +5	$23 + 1z$ z=0 vid +5	$15,3 + 0,7z$ z=0 vid +5
		$c' = \text{kPa}$	7,1	7,1	5,5
		$\varphi' = ^\circ$	30	30	23,9
Lera 3 -1 till uk lera	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	16,5	16,5	16,5
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	16,5	16,5	16,5
	Hållfasthet	$c_u = \text{kPa}$	$23 + 1z$ z=0 vid +5	$23 + 1z$ z=0 vid +5	$15,3 + 0,7z$ z=0 vid +5
		$c' = \text{kPa}$	7,1	7,1	5,5
		$\varphi' = ^\circ$	30	30	23,9
Sand	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	18	18	18
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	18	18	18
	Hållfasthet	$\varphi' = ^\circ$	38	38	31
Bottenmorän	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	18	18	18
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	20	20	20
	Hållfasthet	$\varphi' = ^\circ$	40	40	32,8

10.2.2. Sektion 0/500

Sektion 0/500 ligger norr om Strömsbäcken vid området Torna dal. Detta område kommer inte att påverkas av planerad anläggning till följd av att inget extra intrång krävs i befintlig slänt vid byggnation av ny farled. Vidare uppfylls inte säkerhetskraven för befintlig bebyggelse och anläggning och det anses inte rimligt att ett angränsande område i anslutningen till den nya anläggningar har en bristande säkerhet. Inom området kommer eventuellt byggvägar anläggas vilket medför att nybyggnadskrav för säkerhetsklass 3 måste uppfyllas ($F_{EN} \geq 1,1$).

10.2.2.1. Val av jordparametrar

Jordlagerföljd i sektionen utgörs överst av en torrskorpelera, med mäktighet ca 1–2 m, på en lera med mäktighet upp emot 20 m. Lerlagret vilar på en morän ovan berg som ligger på nivå -10. I området närmare älven förekommer ett lokalt sandskikt med en mäktighet på ca 1,5 m i lerlagret. Kvicklera förekommer inom området från ca nivå +3 ned till sandskiktet. Jordparametrar för sektion 0/500 baseras på delområde 1 längst norrut som sträcker sig mellan km 0/500–0/600 (Torna dal) samt delområde 7 för älvmrådet. Valda geotekniska parametrar redovisas i diagramform i Bilaga 2.

10.2.2.2. Val av laster

För befintliga förhållanden i sektion 0/500 har laster från befintliga byggnader (10 kN/m^2) och vägar med trafiklast (15 kN/m^2) medtagits. För planerade förhållanden har en utbredd karakteristisk ytlast på 10 kN/m^2 påförts marken inom landområdet för att representera en oförutsedd markhöjning på ca 0,5 m som kan utföras utan beviljat marklov. Fastigheten Ryk 3:11 är inlöst och ägs nu av Sjöfartsverket. Befintlig byggnad, tillfartsväg och bro kommer att rivas.

10.2.2.3. Val av porvattentryck

I sektion 0/500 återfinns 2st installerade portrycksstationer samt två grundvattenrör. Mätningar har i dessa stationer utförts under minst 3 månaders tid. Vid beräkning används högsta dimensionerande vattentryck erhållen från portrycksprognostisering, se Bilaga 1.

- Portrycksstation 22C127 är placerad intill Göta Älv och portrycksmätare har installerats på djupen 6 och 12 m. Ett grundvattenrör är installerat på 17 m djup i samma punkt. Mätningar visar på en hydrostatisk tryckökning vilket innebär en ökning med 10 kPa/m från ett djup 1,4 m under markytan. Mätningar av trycknivåerna i jorden sammanfaller väl med en hydrostatisk trycknivå som motsvarar älvens medelvattenyta. Portrycksprognostisering av högsta dimensionerande vattentrycksnivån med en 100 års återkomsttid medför att nolltrycksnivån ökar med 0,5 m.
- Portrycksstation 22C126 är placerad inom fastigheten Ryk 3:11 ca 70 m från Göta Älv och har portrycksmätare på 5, 10 och 15 m djup. Ett grundvattenrör är installerat till 20 m djup i samma punkt. Mätningar visar på en hydrostatisk tryckökning ned till ca 10 m djup med en nolltrycksnivå som motsvarar en grundvattenyta 0,2 m under markytan. Från 10 m djup och ner till underliggande morän minskar portrycksökningen till ca 5 kPa/m , dvs lägre än hydrostatisk. Detta antas bero på att bottenmoränen är i direktkontakt med älven, vilket gör att trycket under leran styrs av älvens nivå och således ger upphov till en dränerad portrycksprofil i nederdelen av leran. Grundvattenröret är installerat i bottenmoränen och visar på en nolltrycksnivå på +8,5 vilket är ca 1,5 m över älvnivån och 1,8 meter under markytan. Portrycksprognostisering av högsta dimensionerande vattentrycksnivån medför att nolltrycksnivån ökar upp till över markytan.

10.2.2.4. Beräkningsresultat befintliga förhållanden

Sammanställning av resultat från utförda stabilitetsberäkningar för befintliga förhållanden i Geostudio SLOPE/W redovisas i Tabell 16 och Bilaga 6.

Tabell 16: Resultat stabilitetsberäkning för befintliga förhållanden i sektion 0/500.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})
Odränerad	Befintliga förhållanden	Trafiklast 10 kPa Byggnad 10 kPa	0,94
Kombinerad	Befintliga förhållanden	Byggnad 10 kPa	1,00

10.2.2.5. Beräkningsresultat justerad farled (0/500)

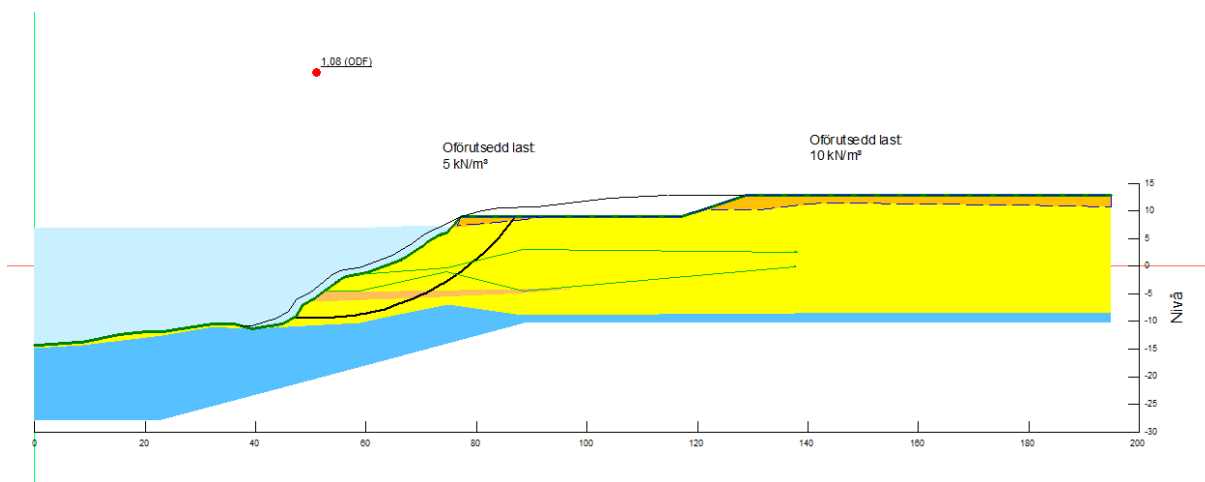
Vid anläggning av justerad farled sker inget intrång i slänten i sektion 0/500. Sektionen är placerad i nära anslutning till ny farledssträckning och har noterats ha låg säkerhet för befintliga förhållanden. Området avses även användas till en eventuell byggväg vid anläggning av justerad farled och behöver således säkras med hänsyn till det. En ny slantgeometri med ett avschaktningsplan har tagits fram för att höja säkerheten mot stabilitetsbrott och möjliggöra en anläggning av byggväg.

Erhållet resultat vid stabilitetsberäkningar med hänsyn till stabilitetsförbättrande avschaktningsplan för nya förhållanden i området redovisas i Tabell 17 och Bilaga 7 där samtliga säkerhetsfaktorer ska uppfylla $F_{EN} \geq 1,1$. Stabilitetsanalysen visar att kraven på säkerhetsfaktor i sektion 0/500 uppfylls med ett avschaktningsplan ned till nivå +9. Avschaktningsplanets bredd är ca 40 m. Avschaktningsplanets omfattning har tagits fram med hänsyn till att en framtida erosion av undervattensslänten kan ske med 1,5 m. Inga vidare stabilitetsförbättrande åtgärder krävs. Stabilitetsanalyser har utförts med hänsyn till förhöjt portryck enligt framtida klimatpåverkan.

Tabell 17: Resultat stabilitetsberäkning för justerad farled i sektion 0/500.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})	Krav
Odränerad	Ny farled	10 kPa – utbredd last	1,25	$F_{EN} \geq 1,1$
Kombinerad	Ny farled	10 kPa – utbredd last	1,08	$F_{EN} \geq 1,1$

Geometri av sektion 0/500 och typ av kritiska glidytor som förekommer inom sektionen illustreras i Figur 32.



Figur 32: Illustration av geometri och glidyta i sektion 0/500.

10.3. Delområde 2 – 0/600–0/800 (Norr 1)

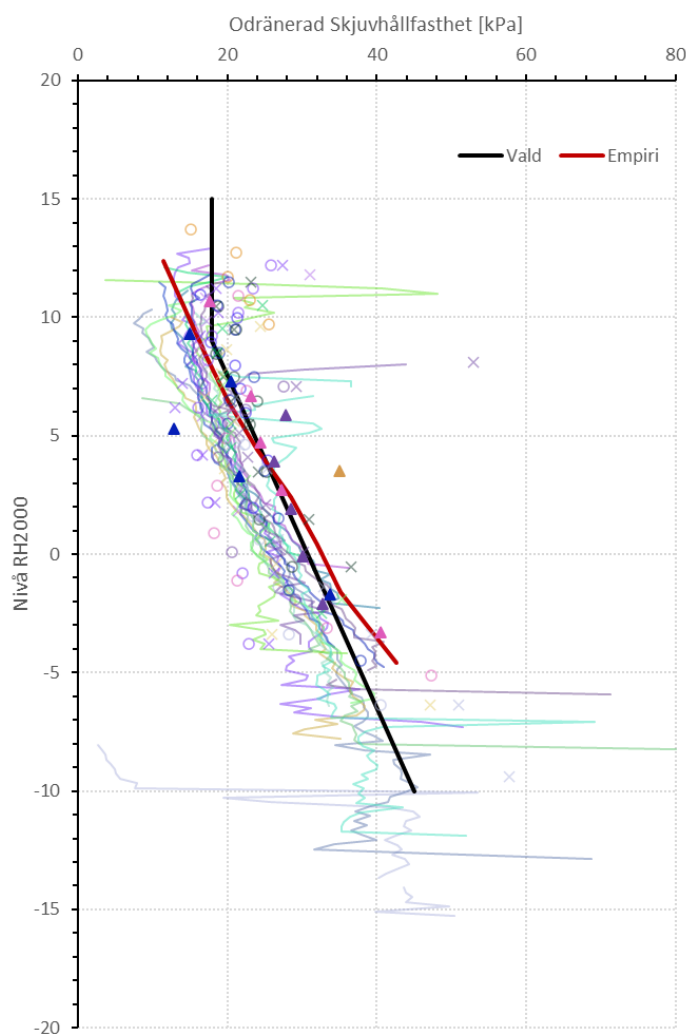
10.3.1. Materialparametrar

Geotekniska parametrar för delområde 2 (Norr 1) redovisas i Bilaga 2. Den naturliga vattenkvoten varierar mellan 17 och 87% och uppmätt konflytgräns i leran varierar mellan 36 och 82%. Både vattenkvot och konflytgräns ökar mot djupet ned till ca nivå +5, därefter avtar dessa mot djupet.

Densiteten i leran varierar mellan ca 1,5 och 1,75 t/m³, enligt uppmätta värden. Övervägande del av uppmätta värden är runt 1,6 t/m³. Odränerad skjuvhållfasthet i leran har utvärderats enligt Figur 33. Hållfastheten i övre delen av lerlagret har ett värde på 18 kPa som därefter ökar med djupet och uppgår till 45 kPa i övergången till underliggande friktionsjord.

Sensitiviteten varierar mellan 4 och 306, vilket innebär att leran varierar från låg- till högsensitiv. Lera med en omrörd skjuvhållfasthet som är mindre än 0,4 kPa förekommer, vilket medför att leran klassificeras som kvicklera. Enligt upptagna kolprovtagningar förekommer kvickleran från ca +6 ned till underliggande bottenmorän.

Lerans överkonsolideringsgrad (OCR) går från att vara överkonsoliderad i övre delen av lerprofilen med ett OCR på ca 1,7 till att bli normalkonsoliderad i nedre delen av profilen med ett OCR mindre än 1,5.



Figur 33: Vald odränerad skjuvhållfasthet (korrigerad) delområde 2 0/600–0/800 (Norr 1).

Tabell 18: Valda värden på jordparametrar Delområde 2 - 0/600–0/800 (Norr 1).

Delområde 2					
Jordlager	Egenskaper	Enhet	Valt värde X	Karakteristiska värden X_k	Dimensionerande värden X_d
Torrskorpelera	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	16	16	16
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	16	16	16
	Hållfasthet	$c_u = \text{kPa}$	18	18	12
		$c' = \text{kPa}$	$0,1 \cdot c_u$	$0,1 \cdot c_u$	$0,1 \cdot c_u$
		$\varphi' = ^\circ$	30	30	23,9
Lera 1 +15 till +9	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	16	16	16
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	16	16	16
	Hållfasthet	$c_u = \text{kPa}$	18	18	12
		$c' = \text{kPa}$	7,1	7,1	5,5
		$\varphi' = ^\circ$	30	30	23,9
Lera 2 +9 till +7	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	16	16	16
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	16	16	16
	Hållfasthet	$c_u = \text{kPa}$	$18 + 1,4z$ $z=0 \text{ vid } +9$	$18 + 1,4z$ $z=0 \text{ vid } +9$	$12 + 0,9z$ $z=0 \text{ vid } +9$
		$c' = \text{kPa}$	7,1	7,1	5,5
		$\varphi' = ^\circ$	30	30	23,9
Lera 3 +7 till +0	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	15,7	15,7	15,7
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	15,7	15,7	15,7
	Hållfasthet	$c_u = \text{kPa}$	$18 + 1,4z$ $z=0 \text{ vid } +9$	$18 + 1,4z$ $z=0 \text{ vid } +9$	$12 + 0,9z$ $z=0 \text{ vid } +9$
		$c' = \text{kPa}$	7,1	7,1	5,5
		$\varphi' = ^\circ$	30	30	23,9
Lera 4 +0 till uk lera	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	16	16	16
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	16	16	16
	Hållfasthet	$c_u = \text{kPa}$	$18 + 1,4z$ $z=0 \text{ vid } +9$	$18 + 1,4z$ $z=0 \text{ vid } +9$	$12 + 0,9z$ $z=0 \text{ vid } +9$
		$c' = \text{kPa}$	7,1	7,1	5,5
		$\varphi' = ^\circ$	30	30	23,9
Bottenmorän	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	18	18	18
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	20	20	20
	Hållfasthet	$\varphi' = ^\circ$	40	40	32,8

10.3.2. Sektion 0/630

Sektion 0/630 ligger norr om slussområdet precis söder om Strömsbäcken. Vid anläggning av justerad farled innebär det att dagens farled förflyttas ca 10 m västerut, vilket medför intrång i befintlig slänt. Den nya farledssträckningen innebär en förändrad utformning av både slänter och avschaktningsplan i kombination med förstärkningsåtgärder med inblandningspelare för att uppfylla rekommenderad säkerhet för säkerhetsklass 3 ($F_{EN} \geq 1,1$).

10.3.2.1. Val av jordparametrar

I sektionen består den övre delen av jordlagerprofilen av en torrskorpelera med en mäktighet på ca 1–1,7 m som vilar på ett ca 12–25 m mäktigt lager av lera. Under leran finns en friktionsjord/bottenmorän. Kvikklera förekommer inom området från ca nivå +3 ner till underliggande friktionsjord. Jordparametrar för sektion 0/630 baseras på undersökningar som ligger inom delområdet 2 som sträcker sig mellan km 0/600–0/800 (Norr 1). Valda geotekniska parametrar redovisas i Tabell 18 och i diagramform i Bilaga 2.

10.3.2.2. Val av laster

För befintliga förhållanden förekommer endast en trafiklast på vägen (15 kN/m²). För planerade förhållanden har en utbredd karakteristisk ytlast på 10 kN/m² påförts marken inom landområdet för att representera en oförutsedd markhöjning på ca 0,5 m som kan utföras utan beviljat marklov.

10.3.2.3. Val av porvattentryck

I sektion 0/630 återfinns 2 st installerade portrycksstationer samt ett grundvattenrör där mätningar har utförts under minst 3 månaders tid. Vid beräkning används högsta dimensionerande vattentryck erhållet från portrycksprognostisering vid beräkning, se Bilaga 1.

- Portrycksstation 1103A16 är placerad intill Göta Älv och har portrycksmätare på djup 3, 7, 12 och 18 m. Ett grundvattenrör är även installerat på djup 21,5 m i samma punkt. Enligt mätningarna utförda i installerade portrycksmätare är det en hydrostatisk tryckökning med en nolltrycksnivå på 1 m under markytan ned till djup 12 m. Från djup 12 m är tryckökningen något mindre än hydrostatisk. Installerad grundvattenrör har en nolltrycksnivå på 6 m under markytan. Portrycksprognostisering av högsta dimensionerande vattentrycksnivån medför att nolltrycksnivån ökar med 0,8 m i hela jordprofilen.
- Portrycksstation R12101 är belägen på släntröns ca 70 m från Göta Älv och har portrycksmätare installerade på djup 3, 7 och 13 meters djup. Enligt utförda mätningar är portrycksökningen hydrostatisk de översta 3 metrarna med en nolltrycksnivå 0,9 m under markytan. Därefter är tryckökningen något under hydrostatisk ned till 7 meters djup för att sedan avta ytterligare till en tryckökning på 6,6 kPa/m. Den avtagande trenden på portrycksökningen bedöms bero på att underliggande morän är i direkt kontakt med älven. Det gör att trycket under leran styrs av älvens nivå och en dränerad portrycksprofil uppstår i nederdelen av lerprofilen. Portrycksprognostisering av högsta dimensionerande vattentrycksnivån medför att nolltrycksnivån ökar med 0,6 m i hela jordprofilen.

10.3.2.4. Beräkningsresultat befintliga förhållanden

Sammanställning av resultat från utförda stabilitetsberäkningar för befintliga förhållanden i Geostudio SLOPE/W redovisas i Tabell 19 och Bilaga 6.

Tabell 19: Resultat stabilitetsberäkning för befintliga förhållanden i sektion 0/630.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})
Odränerad	Befintliga förhållanden	Trafiklast 10 kPa	1,31
Kombinerad	Befintliga förhållanden	-	1,29

10.3.2.5. Beräkningsresultat justerad farled (0/630)

I sektion 0/630 omfattar justerad farled att älvens strandkant förflyttas 10 m in i slänten. Slänten som utformas till följd av nya förhållanden har en geometri som är anpassad att bidra till gynnsamma stabilitetsförhållanden. Erhållet resultat vid stabilitetsberäkningar med hänsyn till nya förhållanden redovisas i Tabell 20 och Bilaga 7 där samtliga säkerhetsfaktorer ska uppfylla $F_{EN} \geq 1,1$.

Stabilitetsanalysen visar att krav på säkerhetsfaktor i sektion 0/630 inte uppfylls med enbart en gynnsam släntutformning vilket innebär att stabilitetsförbättrande åtgärder erfordras.

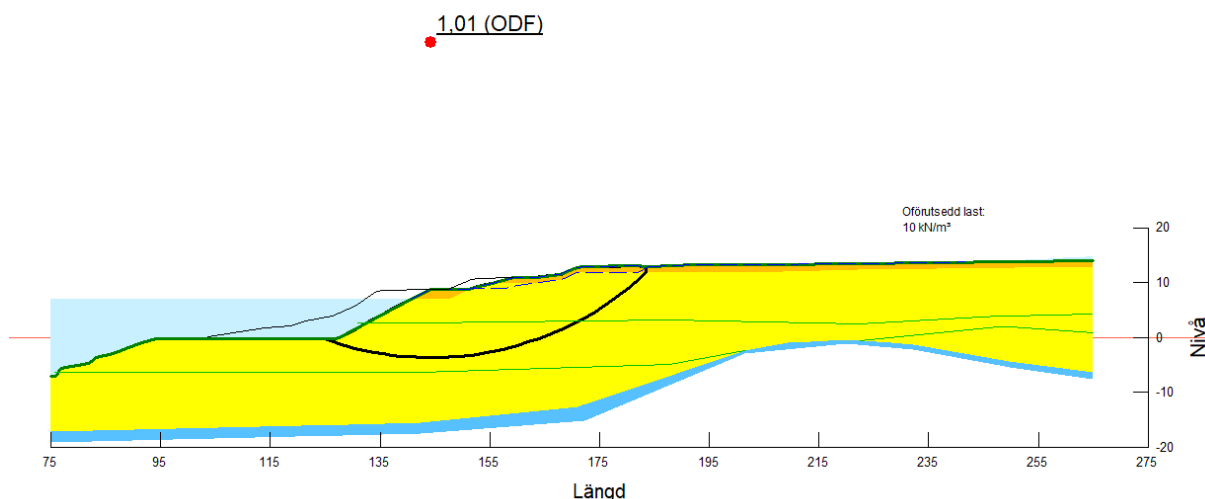
Stabilitetsanalyser har utförts med hänsyn till förhöjt portryck enligt framtida klimatpåverkan.

Samtliga beräkningar har utförts med hänsyn till att en övermuddring på 0,5 m kan ske vid anläggning av ny farled.

Tabell 20: Resultat stabilitetsberäkning justerad farled i sektion 0/630.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})	Krav
Odränerad	Ny farled	10 kPa – utbredd last	1,03	$F_{EN} \geq 1,1$
Kombinerad	Ny farled	10 kPa – utbredd last	1,01	$F_{EN} \geq 1,1$

Geometri av sektion 0/630 och typ av kritiska glidytor som förekommer inom sektionen illustreras i Figur 34.



Figur 34: Illustration av geometri och glidyta i sektion 0/630.

10.3.2.6. Resultat stabilitetsförbättrande åtgärder

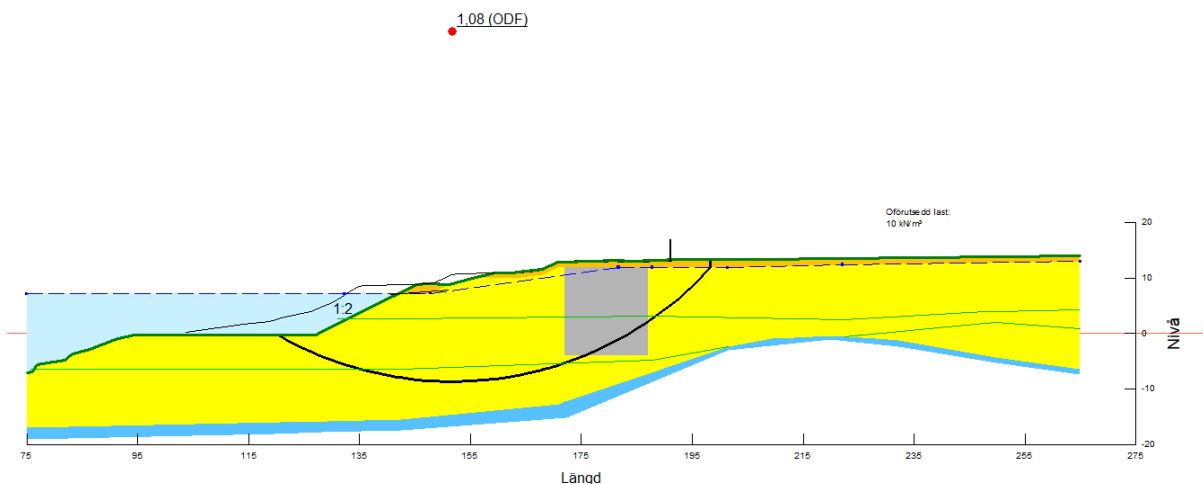
Släntutformningen vid justerad farled har utformats med avschaktningsplan för att bidra till mer gynnsamma stabilitetsförhållanden. För att undvika ytterligare intrång i fastigheter i befintlig slänt, och för att höja säkerheten på glidytor som ej uppfyller kraven, krävs ytterligare stabilitetsförbättrande åtgärder. Som stabilitetsåtgärd har djupstabilisering i form av inblandningspelare beräknats. Pelarna installeras i dubbla skivor med c-c avstånd 2,7 m. Det innebär en täckningsgrad på ca 36 %. Använd hållfasthetsfunktion för djupstabilisering redovisas i Bilaga 5. Erhållet resultat redovisas i Tabell 21 och Bilaga 7. Inblandningspelarnas placering är placerad med stor del i aktivzonen av glidytan för att få ut mest effekt av åtgärdsmetoden. För att erhålla redovisat resultat krävs ett block som är 15 m i bredd och installeras till ett djup på 17 m under markytan.

Installation av inblandningspelare kommer endast påverka markens användning under byggtiden. Efter installation av pelare inom området kan marken återställas till den ytbeskaffenheten som förekommer idag.

Tabell 21: Resultat stabilitetsberäkning med stabilitetsförbättrande åtgärd i sektion 0/630.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})	Krav
Odränerad	Ny farled, Inblandningspelare	10 kPa – utbredd last	1,08	$F_{EN} \geq 1,1$
Kombinerad	Ny farled, Inblandningspelare	10 kPa – utbredd last	1,08	$F_{EN} \geq 1,1$

Geometri av sektion 0/630 och typ av kritiska glidytor som förekommer inom sektionen illustreras i Figur 35.



Figur 35: Illustration av geometri med Inblandningspelare och glidyta i sektion 0/630.

10.3.3. Sektion 0/740

Sektion 0/740 ligger norr om befintlig väntkaj. Vid byggnation av ny sluss innebär det att farleden flyttas så den gör intrång i befintlig slänt. I sektion 0/740 är intrånget ca 20 m för ny strandkant jämfört med tidigare strandkant. I befintlig slänt och i intilliggande markområden kommer även ytterligare intrång att ske pga ny släntutformning med avschaktningsplan och inblandningspelare för att uppfylla ställda stabilitetskrav.

10.3.3.1. Val av jordparametrar

Jordlagerföljden i sektion 0/740 representeras av en torrskorpelera med en mäktighet som varierar mellan ca 0,5–1,5 m. Under torrskorpan finns en lera med mäktighet på ca 17–20 m som vilar på en morän. Intill älven går en mindre väg som består av ca 1 m fyllnadsjord. Kvikklera förekommer inom området från ca nivå +2. Jordparametrar för sektion 0/740 baseras på delområdet som sträcker sig mellan km 0/600–0/800 (Norr 1). Valda geotekniska parametrar redovisas i Tabell 18 och i diagramform i Bilaga 2.

10.3.3.2. Val av laster

I stabilitetsanalyser för befintliga förhållanden används en last på 15 kN/m² för att representera en trafiklast på vägen och en last på 5 kN/m² i övergången mellan vägen och gångstigen. I planerade förhållanden appliceras en utbredd karakteristisk ytlast på 10 kN/m² inom landområdet. Ytlasten representerar en oförutsedd markhöjning om 0,5 m som tillåts utan beviljat marklov.

10.3.3.3. Val av porvattentryck

I sektion 0/740 finns en portrycksstation med mätningar utförda under en period på minst 3 månader. Högsta dimensionerande vattentryck erhållen från portrycksprognostisering används vid beräkning. Val av portryck finns sammanställt i Bilaga 1.

- Portrycksstation R12104 är placerad på släntkrön ca 85 m från Göta Älv och består av portrycksmätare på 3 nivåer. Mätarna sitter på djup 3, 7 och 14 m. Enligt utförda mätningar är portrycksökningen hydrostatisk ned till 3 meters djup med en nolltrycksnivå på 0,5 m under markytan. Därefter är trycknivån lägre än hydrostatiskt ned till 7 m innan den avtar ytterligare till att vara ca 8 kPa/m ner till underliggande friktionsjord. Portrycksprognostiseringen av högsta dimensionerande vattentrycknivå medför att nolltrycksnivån ökar med 0,5 m. Det medför att prognostiserad nolltrycksnivå ligger i markytan.

Ingen portrycksstation finns installerad vid släntfot. Inom detta område visar kringliggande sektioner att portrycksökningen i anslutning till älven är hydrostatisk, vilket även antas för denna sektion.

10.3.3.4. Beräkningsresultat befintliga förhållanden

Sammanställning av resultat från utförda stabilitetsberäkningar för befintliga förhållanden i Geostudio SLOPE/W redovisas i Tabell 22 och Bilaga 6.

Tabell 22: Resultat stabilitetsberäkning för befintliga förhållanden i sektion 0/740.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})
Odränerad	Befintliga förhållanden	Trafiklast 10 kPa	1,18
Kombinerad	Befintliga förhållanden	-	1,27

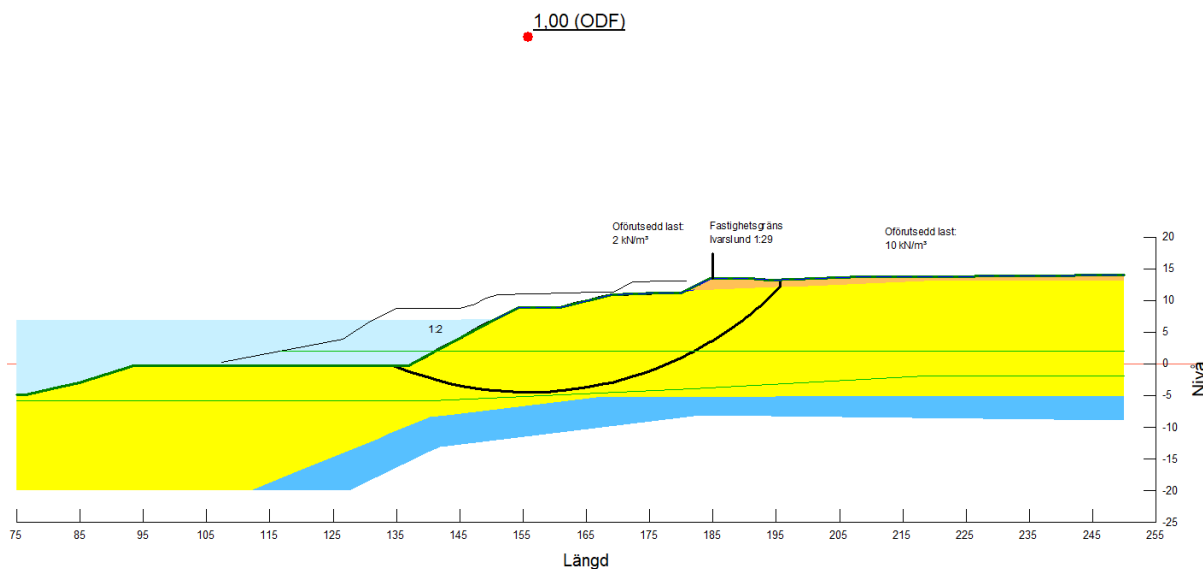
10.3.3.5. Beräkningsresultat justerad farled (0/740)

I sektion 0/740 förflyttas älvens strandkant 20 m in i befintlig slänt vid anläggning av ny farled. En släntutformning med avlastningsplan har tagits fram för att skapa gynnsamma förutsättningar för stabilitetsförhållanden. Släntutformningen är även framtagen för att undvika att påverka fastighet Ivarslund 1:29 med avschaktningssplan. Erhållet resultat vid stabilitetsberäkningar med hänsyn till nya förhållanden redovisas i Tabell 23 och Bilaga 7 där samtliga säkerhetsfaktorer ska uppfylla krav $F_{EN} \geq 1,1$. Enligt erhållet resultat kan inte stabilitetskraven uppfyllas med enbart en gynnsam släntutformning och samtidigt undvika Ivarslund 1:29. För att uppfylla ställda stabilitetskrav i området erfordras ytterligare stabilitetsåtgärder. Stabilitetsanalyser har utförts med hänsyn till förhöjt portryck enligt framtida klimatpåverkan. Samtliga beräkningar har utförts med hänsyn till att en övermuddring på 0,5 m kan ske vid anläggning av ny farled.

Tabell 23: Resultat stabilitetsberäkning för justerad farled i 0/740.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})	Krav
Odränerad	Ny farled	10 kPa – utbredd last	0,99	$F_{EN} \geq 1,1$
Kombinerad	Ny farled	10 kPa – utbredd last	1,00	$F_{EN} \geq 1,1$

Geometri av sektion 0/740 och typ av kritiska glidytor som förekommer inom sektionen illustreras i Figur 36.



Figur 36: Illustration av geometri och glidyta i sektion 0/740.

10.3.3.6. Resultat stabilitetsförbättrande åtgärder

Stabilitetsförbättrande åtgärder krävs utöver den gynnsamma släntutformningen i sektion 0/740. Vid vidare analys har djupstabilisering i form av inblandningspelare beräknats. Pelarna installeras i dubbla skivor med ett c-c avstånd på 2,7 m. Det innebär en täckningsgrad på ca 36%. Använd hållfasthetsfunktion för djupstabilisering redovisas i Bilaga 5. Blocket med inblandningspelare placeras med stor del i aktivzonen av de kritiska glidyterna för att få ut störst effekt av åtgärdsmetoden. Erhållet resultat med en gynnsam släntgeometri samt inblandningspelare redovisas i Tabell 24 och Bilaga 7. Glidyterna med lägst säkerhet mot brott som redovisas i Tabell 23 har aktivzonen

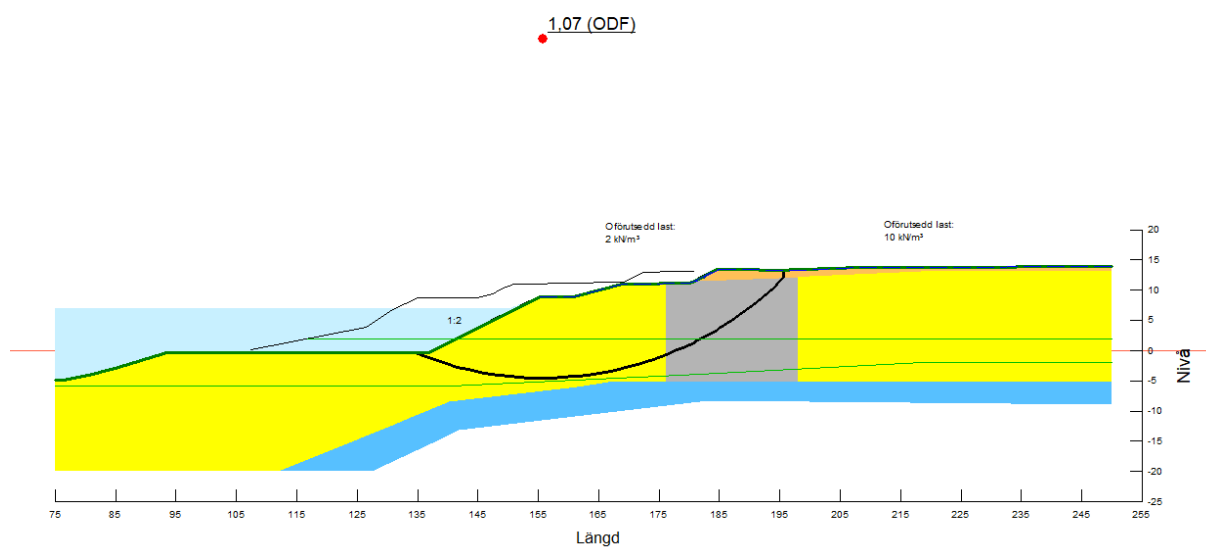
inom fastighet Ivarslund 1:29, vilket gör att intrång av åtgärdsmetoden krävs inom fastigheten. Pelarblockets totala bredd är 20 m, varav 13 m gör intrång på fastigheten. Pelarna installeras till fast botten vilket omfattar en pelarlängd på ca 17 m. För att uppfylla ställda krav krävs även att området vid släntröner endast belastas med max 2 kPa vilket motsvarar daglig verksamhet (gräsklippning/förekomst av människor).

Installation av inblandningspelare kommer endast påverka markens användning under byggtiden. Efter installation av inblandningspelare inom området kan marken återställas till den ytbeskaffenheten som förekommer idag.

Tabell 24: Resultat stabilitetsberäkning med stabilitetsförbättrande åtgärd i sektion 0/740.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})	Krav
Odränerad	Justerad farled - Inblandningspelare	10 kPa – utbredd last	1,07	$F_{EN} \geq 1,1$
Kombinerad	Justerad farled – Inblandningspelare	10 kPa – utbredd last	1,07	$F_{EN} \geq 1,1$

Geometri av sektion 0/740 med Inblandningspelare och typ av kritiska glidytor som förekommer inom sektionen illustreras i Figur 37.



Figur 37: Illustration av geometri med Inblandningspelare och glidyta i sektion 0/740.

10.4. Delområde 3 – 0/800–1/100 (Norr 2)

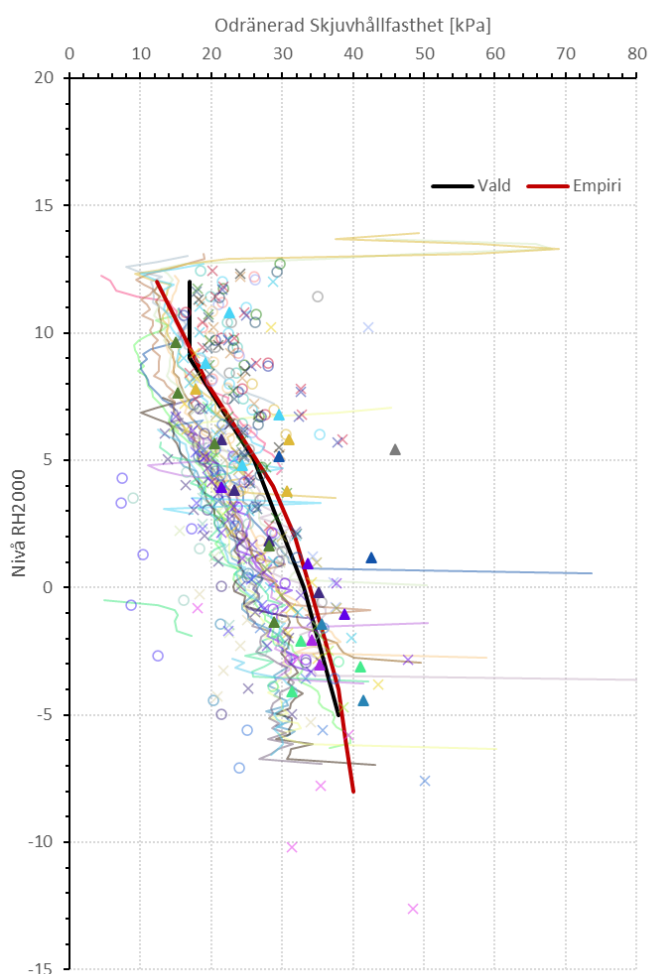
10.4.1. Materialparametrar

Geotekniska parametrar för delområde 3 (Norr 2) redovisas i Bilaga 2. Den naturliga vattenkvoten varierar mellan 13 och 88% och uppmätt konflytgränsen varierar mellan 19 och 75%. Såväl vattenkvot som konflytgräns ökar mot djupet ned till ca nivå +5, därefter avtar den mot djupet.

Uppmätta värden på densitet i leran varierar mellan ca 1,5 och 1,93 t/m³. Övervägande del av uppmätta värden är runt 1,6 t/m³. Uppmätt odränerad skjuvhållfasthet har ett värde på 17 kPa i övre delen av lerlagret och ökar därefter mot djupet upp emot värden på 40 kPa. Utvärderad odränerad skjuvhållfasthet redovisas i Figur 38.

Sensitiviteten varierar mellan 8 och 262, vilket innebär att leran är låg- till högsensitiv. Lera med en omrörd skjuvhållfasthet som är mindre än 0,4 kPa förekommer, vilket medför att leran klassificeras som kvicklera på dessa nivåer. Kvickleran är belägen i den nedre delen av lerprofilen från nivå ca +4 ned till underliggande bottenmoränen.

Leran är överkonsoliderad i stora delar av lerprofilen med en konsolideringsgrad (OCR) som överstiger 1,5 och är som högst 3,3. På djupet (ca 6 m djup) övergår leran till att bli normal- till svagt överkonsoliderad, dvs. att OCR minskar till under 1,5.



Figur 38: Vald odränerad skjuvhållfasthet (korrigerad) delområde 0/800–0/1100 (Norr 2).

Tabell 25: Valda värden på jordparametrar Delområde 3 - 0/800–1/100 (Norr 2).

Delområde 3					
Jordlager	Egenskaper	Enhet	Valt värde X	Karakteristiska värden X_k	Dimensionerande värden X_d
Torrskorpelera	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	16	16	16
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	16	16	16
	Hållfasthet	$c_u = \text{kPa}$	17	17	11,3
		$c' = \text{kPa}$	$0,1 \cdot c_u$	$0,1 \cdot c_u$	$0,1 \cdot c_u$
		$\varphi' = ^\circ$	30	30	23,9
Lera 1 +14 till +9	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	16	16	16
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	16	16	16
	Hållfasthet	$c_u = \text{kPa}$	17	17	11,3
		$c' = \text{kPa}$	7,1	7,1	5,5
		$\varphi' = ^\circ$	30	30	23,9
Lera 2 +9 till +5	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	16	16	16
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	16	16	16
	Hållfasthet	$c_u = \text{kPa}$	$17 + 2,3z$ z=0 vid +9	$17 + 2,3z$ z=0 vid +9	$11,3 + 1,5z$ z=0 vid +9
		$c' = \text{kPa}$	7,1	7,1	5,5
		$\varphi' = ^\circ$	30	30	23,9
Lera 3 +5 till +0	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	15,7	15,7	15,7
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	15,7	15,7	15,7
	Hållfasthet	$c_u = \text{kPa}$	$26 + 1,4z$ z=0 vid +5	$26 + 1,4z$ z=0 vid +5	$17,3 + 0,9z$ z=0 vid +5
		$c' = \text{kPa}$	7,1	7,1	5,5
		$\varphi' = ^\circ$	30	30	23,9
Lera 4 +0 till uk lera	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	16,5	16,5	16,5
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	16,5	16,5	16,5
	Hållfasthet	$c_u = \text{kPa}$	$33 + 1z$ z=0 vid +0	$33 + 1z$ z=0 vid +0	$22 + 0,7z$ z=0 vid +0
		$c' = \text{kPa}$	7,1	7,1	5,5
		$\varphi' = ^\circ$	30	30	23,9
Bottenmorän	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	18	18	18
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	20	20	20
	Hållfasthet	$\varphi' = ^\circ$	40	40	32,8

10.4.2. Sektion 0/820

Sektion 0/820 är placerad mitt för befintlig väntkaj samt fotbollsplan och omfattar således flertalet befintliga konstruktioner. Byggnation av ny sluss och farled innebär en förflyttning av farleden på ca 35 m i jämförelse med tidigare strandkant. Det tillkommer dessutom ytterligare intrång i befintlig slänt för att åstadkomma en stabil geometri och uppfylla stabilitetskraven med hjälp av slänter och avschaktningsplan. Vid älvkant ligger det idag en väntkaj som består av en spont med krönbalk som är bakfylld.

10.4.2.1. Val av jordparametrar

Sektion 0/820 har en jordlagerföljd bestående av torrskorpelera på lera som underlagras av en morän på berg. Mäktigheten på torrskorpelera är ca 1 m och leran har en mäktighet på ca 15 m. Jorddjupet minskar i riktning mot farleden. I den undre delen av jordprofilen, upp till nivå ca +4, förekommer det kvicklera som sträcker sig från släntröner och västerut. Jordparametrar för sektion 0/820 baseras på sonderingar och försök i delområde 3 som sträcker sig mellan km 0/800 – 1/100 (Norr 2). Valda geotekniska parametrar redovisas i Tabell 25 och i diagramform i Bilaga 2.

10.4.2.2. Val av laster

I beräkningar utförda för befintliga förhållanden läggs laster in från fotbollsverksamheten inom området (klubbhus). Klubbhuset är ett enplanshus vilket motsvarar en last på 10 kN/m². För planerade förhållanden har en oförutsedd ytlast om 10 kN/m² pålagts marken inom området. Denna ytlast representerar en oförutsedd markhöjning om 0,5 m som tilläts utan beviljat marklov.

10.4.2.3. Val av porvattentryck

Portrycksfördelningen i sektion 0/820 baseras på mätningar från 2st portrycksstationer samt ett GV-rör. Mätningar har utförts under minst 3 månader. Vid stabilitetsberäkningar används högsta dimensionerande vattentryck erhållen från portrycksprognostisering, se Bilaga 1.

- Portrycksstation R12109 är placerad i ett av de befintliga nedre avschaktningsplanen ca 40 m från kajkanten. Stationen har portrycksmätare på djup 3 och 7 m. Utifrån mätningarna har en övre hydrostatisk portrycksprofil valts ned till 3 m djup med en nolltrycksnivå på 1,8 m under markytan. Därefter visar mätningarna en förändrad portrycksprofil med en lägre än hydrostatisk tryckökningen per meter som motsvarar 8,6 kPa/m mot djupet. Vid en portrycksprognostisering av dimensionerande maxvärden ökar nolltrycksnivån med ca 1,2 m i den övre delen av jordprofilen som inte styrs av nivån i den underliggande moränen.
- Ett grundvattenrör är installerat på släntröner ca 97 m från befintlig väntkaj. Filterspetsen sitter 14 m under markytan och mätningar visar på en tryckökning som motsvarar en nolltrycksnivå 4,8 m under markytan. Den lågt belägna nolltrycksnivån bedöms bero på att det är direktkontakt mellan moränen och älven vilket medför att trycknivån i moränlagret styrs av älvens trycknivå och således ger en dränerade portrycksprofil i det ovanliggande lerlagret.
- Portrycksstation R12108 är belägen på släntröner ca 105 m från befintlig väntkaj. Portrycksmätare är installerade på djup 7 och 12 m. En hydrostatisk tryckökning antas ned till grundaste belägna portrycksmätaren vilket ger en nolltrycksnivå på 0,9 m under markytan. Därefter ses en avtagande trend mot djupet där tryckökningen endast är ca 7 kPa/m djup. Prognostisering av dimensionerande maxvärde visar på en tryckökning. Det innebär att nolltrycksnivån ökar med ca 0,5 m i den övre delen av jordprofilen som inte styrs av nivån i den underliggande moränen.

10.4.2.4. Beräkningsresultat befintliga förhållanden

Sammanställning av resultat från utförda stabilitetsberäkningar för befintliga förhållanden i Geostudio SLOPE/W redovisas i Tabell 26 och Bilaga 6.

Tabell 26: Resultat stabilitetsberäkning för befintliga förhållanden i sektion 0/820.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})
Odränerad	Befintliga förhållanden	Byggnad 10 kPa	1,52
Kombinerad	Befintliga förhållanden	Byggnad 10 kPa	1,52

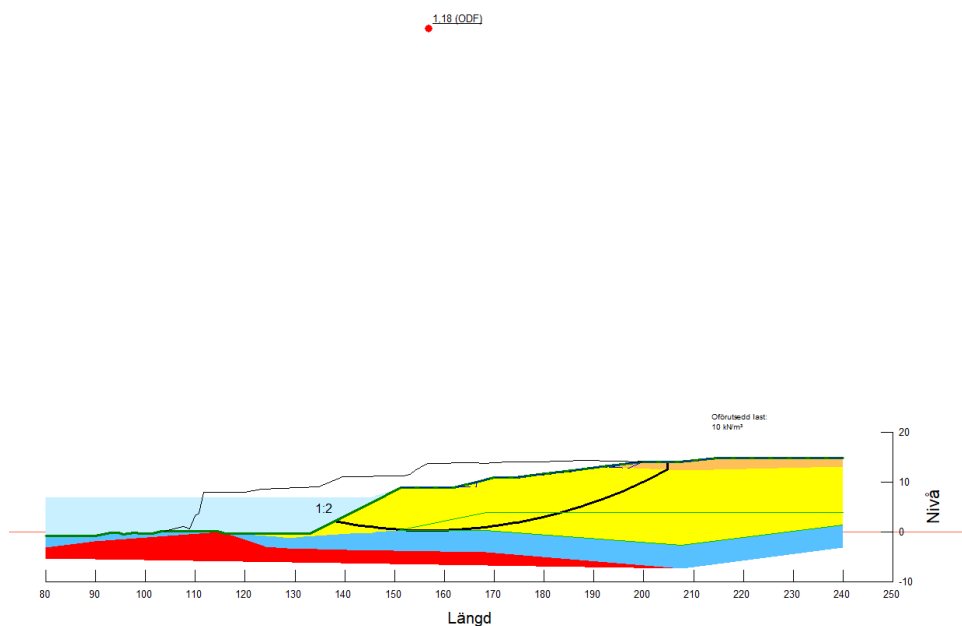
10.4.2.5. Beräkningsresultat justerad farled (0/820)

Sektion 0/820 är placerad i höjd med dagens fotbollsplaner. Justerad farled innebär att Göta älvs strandkant gör intrång ca 35 m i befintlig slänt i jämförelse med dagens strandkant. Beräknad geometri är framtagen med hänsyn till geotekniska förutsättningar och de landskapsformande aspekter som krävstills. Geometrin, ur ett geotekniskt perspektiv, är framtagen med hjälp av att med avschaktningsplan och släntlutningar skapa gynnsamma förutsättningar för god stabilitet. Erhållet resultat vid stabilitetsberäkningar med hänsyn till nya förhållanden redovisas i Tabell 27 och Bilaga 7 där samtliga säkerhetsfaktorer ska uppfylla krav $F_{EN} \geq 1,1$. Stabilitetsanalysen visar att säkerhetsfaktorn i sektion 0/820 uppfylls med en gynnsam släntutformning. Inga ytterligare åtgärder erfordras. Dock innebär släntutformningen att fotbollsplan och tillhörande klubbhus behöver flyttas. Stabilitetsanalyser har utförts med hänsyn till förhöjt portryck enligt framtida klimatpåverkan. Samtliga beräkningar har utförts med hänsyn till att en övermuddring på 0,5 m kan ske vid anläggning av ny farled.

Tabell 27: Resultat stabilitetsberäkning justerad farled i 0/820.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})	Krav
Odränerad	Ny farled	10 kPa – utbredd last	1,18	$F_{EN} \geq 1,1$
Kombinerad	Ny farled	10 kPa – utbredd last	1,18	$F_{EN} \geq 1,1$

Geometri av sektion 0/820 och typ av kritiska glidytor som förekommer inom sektionen illustreras i Figur 39.



Figur 39: Illustration av geometri och glidyta i sektion 0/820.

10.4.3. Sektion 0/900

Sektion 0/900 är beläget söder om befintlig väntkaj i höjd med den nedre delen av fotbollsplanen. Vid byggnation av ny sluss innebär det en förflyttning av farled. Intrång i befintlig slänt är ca 27 m för ny strandkant i jämförelse med befintlig kant. Tilläggande intrång i befintlig slänt tillkommer i form av slänter och avschaktningsplan för att uppfylla stabilitetskrav.

10.4.3.1. Val av jordparametrar

Jordlagerföljden består likt i sektion 0/820 överst av en torrskorpelera ovan lera, vilket vilar på morän och berg. Torrskorpelera förekommer endast i slänten och har en mäktighet på ca 1–2 m. Lerans mäktighet är ca 10 - 12 m och avtar i riktning mot älven. Kvikklera förekomma i lerlagrets undre delar upp till nivå +1,5. Den är en del av sammanhängande kvicklerelins som sträcker sig från 0/900 ner till 1/100. Jordparametrar för sektion 0/900 baseras på delområde 3 som sträcker sig mellan km 0/800 – 1/100 (Norr 2). Valda geotekniska parametrar redovisas i Tabell 25 och i diagramform i Bilaga 2.

10.4.3.2. Val av laster

För befintliga förhållanden har likt tidigare sektioner laster från fotbollsverksamheten medtagits i beräkningarna. För planerade förhållanden har en oförutsedd last på 10 kN/m² medtagits. Denna ytlast representerar en oförutsedd markhöjning om 0,5 m som tillåts utan beviljat marklov.

10.4.3.3. Val av porvattentryck

I sektion 0/900 finns en portrycksstation där mätningar har utförts under minst 3 månader. Utöver det finns 2st äldre portrycksstationer där endast en mätning utförts under år 1984. Utifrån dessa mätningar har ingen portrycksprognos utförts, utan i stället nyttjas som referensvärden vid modellering och verifiering av portrycksprognostiseringen. Valda värden redovisas i Bilaga 1.

- Portrycksstation 22W930 är placerad på släntkrön ca 100 m från Göta Älv och har mätare på djupen 2 och 6 m. Portrycksmätaren på 2 m djup visar en trycknivå som motsvarar en nolltrycksnivå som ligger i markytan med ett hydrostatiskt portryck. Därefter visar mätningarna en förändrad portrycksprofil med en lägre än hydrostatisk tryckökningen per meter ner till djup 6 m, som motsvarar 7 kPa/m. Portrycksprognostisering av maxvärdet innebär att nolltrycksnivån ökar med 1 m, vilket innebär en nivå över befintlig markyta. Detta anses inte rimligt varvid en prognostiserad nolltrycksnivå i markytan i stället har valts. Portrycket mot djupet väljs dock till det prognostiserade värdet vilket innebär en ökning med ca 1 mvp mot befintligt uppmätt värde i den resterade delen av jordprofilen.
- Portrycksstation 8406A07 är installerad i slänten ca 50 m från Göta Älv. Endast ett mätvärde finns från år 1984 för mätare på djup 3, 6 och 12 m. Nolltrycksnivå ligger på ca 1,1 m under markytan utifrån hydrostatisk tryckfördelning från mätaren på 3 m djup. Därefter är ökningen mellan 7,5 – 8 kPa/m djup, vilket är lägre än hydrostatiskt. Ingen portrycksprognostisering har utfört i denna punkt på grund av fåtalet mätningar. Vid beräkning används dock mätvärdena med ett tillägg på 1 mvp enligt prognostiseringen i 22W930.
- Portrycksstation 8406A05 återfinns på släntkrön ca 140 m från Göta Älv. Mätningar i denna punkt har utförts vid ett tillfälle år 1984 på djupen 3, 6 och 10 m. Enligt mätvärden ligger nolltrycksnivån 0,7 m under markytan med en hydrostatisk tryckökning ned till djup 3 m. Därefter avtar tryckökningen något till 8,5 kPa/m djup för att sedan minska ytterligare till 7 kPa/m ned till nedersta mätaren. Vid beräkning används mätvärdena med ett tillägg på 1 mvp enligt prognostiseringen i 22W930.

10.4.3.4. Beräkningsresultat befintliga förhållanden

Sammanställning av resultat från utförda stabilitetsberäkningar för befintliga förhållanden i Geostudio SLOPE/W redovisas i Tabell 28 och Bilaga 6.

Tabell 28: Resultat stabilitetsberäkning för befintliga förhållanden i sektion 0/900.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})
Odränerad	Befintliga förhållanden	-	0,89
Kombinerad	Befintliga förhållanden	-	1,13

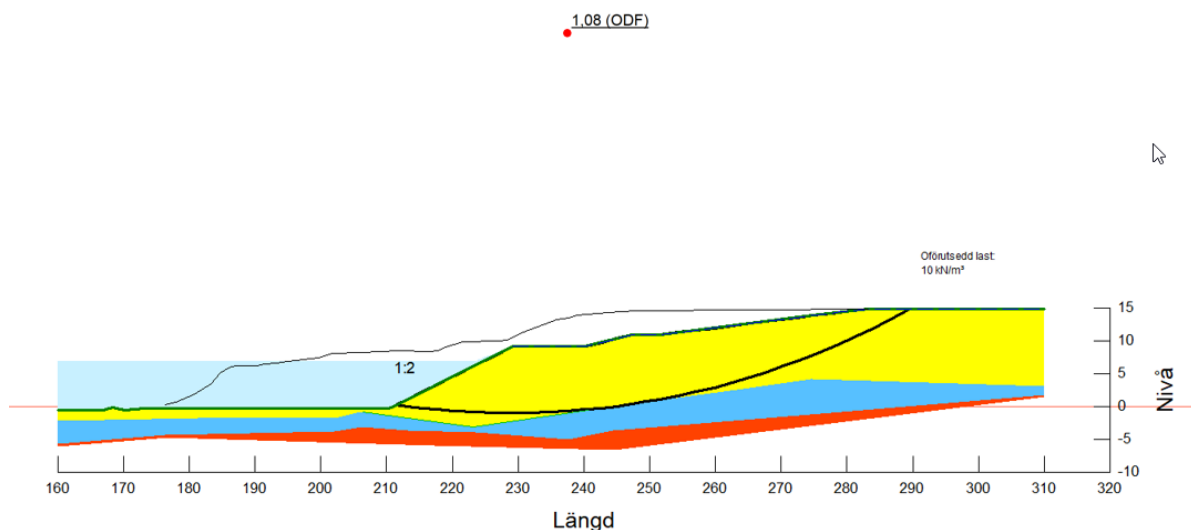
10.4.3.5. Beräkningsresultat justerad farled (0/900)

Anläggning av justerad farled i sektion 0/900 innebär att strandkanten förflyttas 27 m in i befintlig slänt från dagens strandläge. Slanter och avschaktningssplan i sektion 0/900 har tagits fram för att bidra till gynnsamma stabilitetsförhållanden samt uppfylla ställda krav på landskapsutformningen i området. Erhållet resultat vid stabilitetsberäkningar med hänsyn till nya förhållanden redovisas i Tabell 29 och Bilaga 7 där samtliga krav på säkerhetsfaktor ska uppfylla $F_{EN} \geq 1,1$. Stabilitetsanalysen visar att säkerhetsfaktorn i sektion 0/900 uppfylls med en gynnsam släntutformning. Inga vidare stabilitetsåtgärder krävs. Stabilitetsanalyser har utförts med hänsyn till förhöjt porttryck enligt framtida klimatpåverkan. Samtliga beräkningar har utförts med hänsyn till att en övermuddring på 0,5 m kan ske vid anläggning av ny farled. Justerad farled med släntutformningen innebär att fotbollsplan behöver flyttas.

Tabell 29: Resultat stabilitetsberäkning justerad farled i 0/900.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})	Krav
Odränerad	Ny farled	10 kPa – utbredd last	1,09	$F_{EN} \geq 1,1$
Kombinerad	Ny farled	10 kPa – utbredd last	1,08	$F_{EN} \geq 1,1$

Geometri av sektion 0/900 och typ av kritiska glidytor som förekommer inom sektionen illustreras i Figur 40.



Figur 40: Illustration av geometri och glidytor i sektion 0/900.

10.4.4. Sektion 0/980

Sektion 0/980 ligger precis norr om befintligt slusshuvud. Vid byggnation av ny sluss kommer inpassagen till den nya slussen att ske i nära anslutning till denna sektion. Intrånget av justerad farled i jämförelse med dagens strandkant är ca 38 m. Ytterligare intrång, utöver det som krävs för den nya slussanläggningen, kommer att krävas i befintlig mark med hänsyn till ställda stabilitetskrav för att lösa den verksamhet som ska bedrivas i närheten av slussen.

10.4.4.1. Val av jordparametrar

Jordlagerföljden inom sektionen utgörs av torrskorpelera ovan lera som underlagras av morän. Torrskorpeleran har utvecklats de översta ca 1–2 m och mäktigheten på leran är ca 8-18 m. Kvikklera förekommer inom området från nivå +1 ned till underliggande morän. Jordparametrar för sektion 0/980 baseras på delområde 3 som sträcker sig mellan km 0/800 – 1/100 (Norr 2). Valda geotekniska parametrar redovisas i Tabell 25 och i diagramform i Bilaga 2.

10.4.4.2. Val av laster

För befintliga förhållanden har laster för byggnader samt trafiklast för befintlig väg medtagits i stabilitetsberäkningen. Byggnaden antas per våningsplan ha en last på 10 kN/m² och trafiklasten är 15 kN/m². I planerade förhållanden används en oförutsedd last på 10 kN/m² medtagits. Denna ytlast representerar en oförutsedd markhöjning om 0,5 m som tillåts utan beviljat marklov.

10.4.4.3. Val av porvattentryck

I sektion 0/980 har 2 portrycksstationer installerats och mätningar i dessa har utförts under en period på minst 3 månader. Utöver portrycksmätare har även 2 st grundvattenrör installerats i sektionen som används som referenser vid modellering av hydrogeologiska förhållanden och prognostisering. Vid beräkning har dimensionerade maxvärde från portrycksprognostiseringen använts. Sammanställning av valda portryckprofiler vid stabilitetsberäkning i kombinerad- respektive odränerad analys återfinns i Bilaga 1.

- Portrycksstation 22W810 är installerad vid släntfot ca 40 m från älvkanten. Denna station består av mätare på 3 djup samt ett GV-rör. Portrycksmätare sitter på djup 5, 9 och 13 m, samt GV-röret går ned till 17,5 m under markytan. Utförda mätningar visar på en hydrostatisk portrycksprofil i den översta delen av leran ner till den första mätaren på 5 m. Trycket på denna nivå motsvarar en nolltrycksnivå som ligger ca 2,2 m under markytan. Därefter ändras förhållandena och tryckökningen per meter minskar. Ökningen är således lägre än hydrostatiskt, 9 kPa/m, ned till djup 13 m. Mätningar i grundvattenröret installerat i underliggande friktionsjord visar en trycknivå som motsvarar en fri grundvattenyta 3,3 m under markytan. Vid portrycksprognostisering av dimensionerande maxvärde erhålls en tryckökning som medför att nolltrycksnivån ökar med 1,2 m i hela jordprofilen.
- Portryckstation R12114 ligger på släntkrön ca 105 m från älvkanten och portrycksmätarna sitter på 3 resp. 6 meters djup. Enligt utförda mätningar ligger nolltrycksnivån på ca 1,1 m under markytan och med ett hydrostatiskt portryck ned till 3 m. Därefter ändras portrycksförhållanden. Tryckökningen under detta djup är endast 6 kPa/m, vilket antas bero på att portrycket anpassas till en lägre trycknivå i underliggande morän som är i direktkontakt med älvens. Vid prognostisering av dimensionerande maxvärde förväntas nolltrycksnivån öka med 0,9 m i hela jordprofilen.

- Grundvattenrör 22W933 är placerad på släntkrön ca 100 m från älvkanten i nära anslutning till portrycksstation R12114. Utförda mätningar visar att trycknivån på djup 12 m under markytan är ca 67 kPa vilket motsvarar en nolltrycksnivå på 5,2 m under markytan. Prognostiseringen av högsta dimensionerande vattentrycksnivån är jämförbar med punkt R12114.

10.4.4.4. Beräkningsresultat befintliga förhållanden

Sammanställning av resultat från utförda stabilitetsberäkningar för befintliga förhållanden i Geostudio SLOPE/W redovisas i Tabell 30 och Bilaga 6.

Tabell 30: Resultat stabilitetsberäkning för befintliga förhållanden i sektion 0/980.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})
Odränerad	Befintliga förhållanden	Trafiklast 10 kPa Byggnad 10 kPa	1,01
Kombinerad	Befintliga förhållanden	Byggnad 10 kPa	0,97

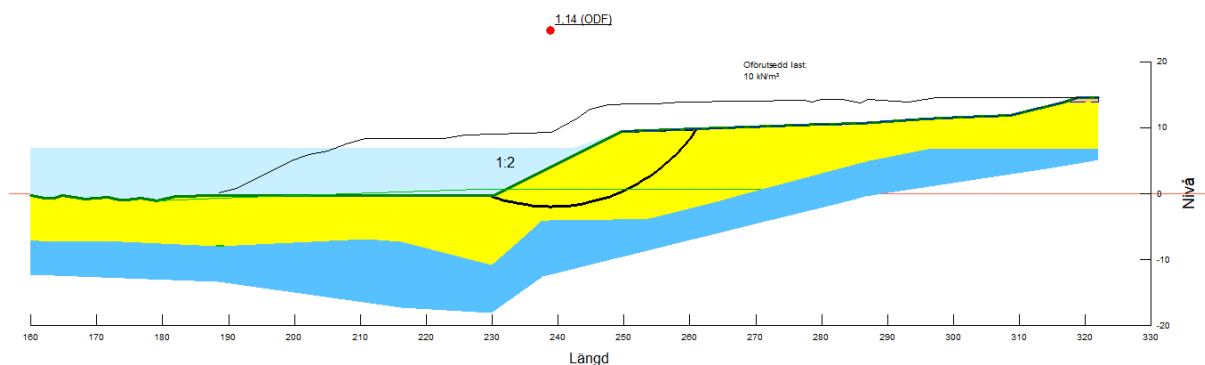
10.4.4.5. Beräkningsresultat justerad farled (0/980)

Sektion 0/980 är placerad norr om infart till ny sluss. Justerad farled innebär att befintlig strandkant förflyttas och gör intrång med 38 m in i befintlig slänt. Släntutformningen i sektion 0/980 har tagits fram för att bidra till gynnsamma stabilitetsförhållanden samt möta de krav som ställs på landskapsutformningen. Erhållet resultat vid stabilitetsberäkningar med hänsyn till nya förhållanden redovisas i Tabell 31 och Bilaga 7 där samtliga säkerhetsfaktorer ska uppfylla krav $F_{EN} \geq 1,1$. Stabilitetsanalysen visar att säkerhetsfaktorn i sektion 0/980 uppfylls med en gynnsam släntutformning. Inga vidare stabilitetsåtgärder krävs. Stabilitetsanalyser har utförts med hänsyn till förhöjt portryck enligt framtida klimatpåverkan. Samtliga beräkningar har utförts med hänsyn till att en övermuddring på 0,5 m kan ske vid anläggning av ny farled. Justerad farled med släntutformningen som krävs för att uppfylla ställda krav innebär att fastigheterna Lilla Edet Ström 2:25, 2:4, 2:6, 2:3 och 2:7 påverkas.

Tabell 31: Resultat stabilitetsberäkning justerad farled i 0/980.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})	Krav
Odränerad	Ny farled	10 kPa – utbredd last	1,15	$F_{EN} \geq 1,1$
Kombinerad	Ny farled	10 kPa – utbredd last	1,14	$F_{EN} \geq 1,1$

Geometri av sektion 0/980 och typ av kritiska glidytor som förekommer inom sektionen illustreras i Figur 41.



Figur 41: Illustration av geometri och glidyta i sektion 0/980.

10.5. Delområde 4 – 1/100–1/250 (Slussen)

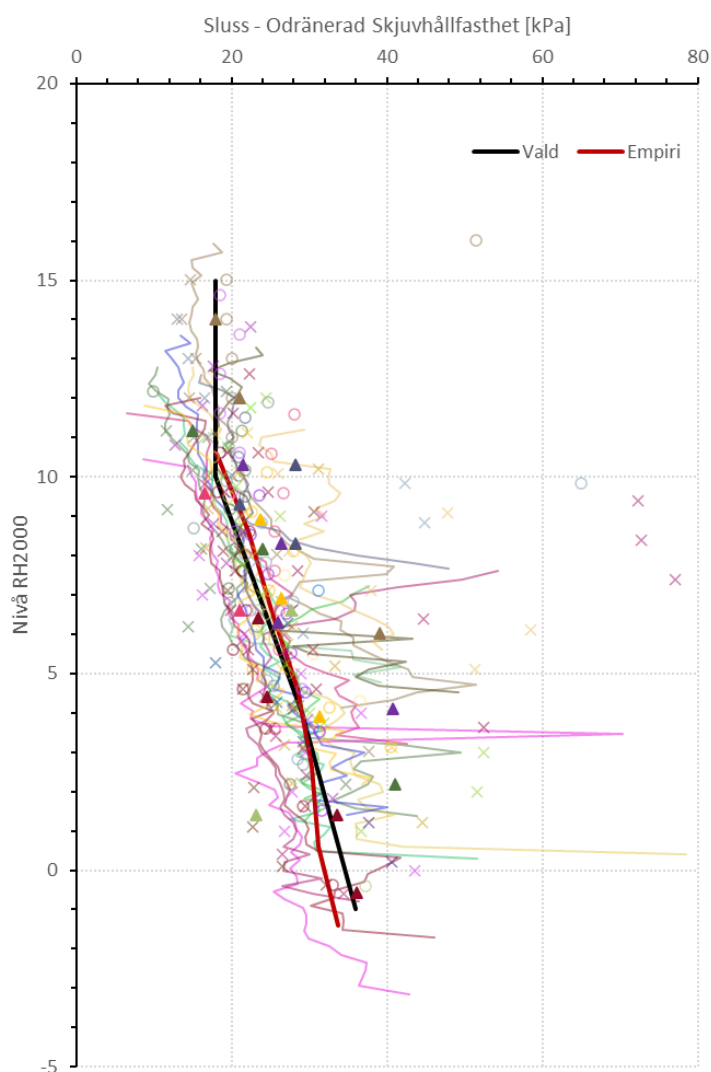
10.5.1. Materialparametrar

Geotekniska parametrar för delområde 4 (Slussen) redovisas i Bilaga 2. Den naturliga vattenkvoten varierar mellan 9 och 92%. Den stora spridningen av vattenkvot beror på att fyllning bestående av friktionsjord förekommer på flertalet nivåer. Uppmätt konflytgräns varierar mellan 30 och 80%. Uppmätt konflytgräns ökar mot djupet ned till ca nivå +10, därefter är den konstant ned till +4 för att i nedre profilen sedan avta mot djupet.

Densiteten i lerlagret varierar mellan 1,45 och 1,95 t/m³ enligt utförda rutinförsök. Odränerad skjuvhållfasthet har utvärderats enligt Figur 42. Utvärderad odränerad skjuvhållfasthet i leran visar på ett värde på 18 kPa i övre delen av lerlagret och ökar därefter mot djupet upp emot 40 kPa.

Sensitiviteten varierar mellan 11 och 52. Leran klassificeras som mellan- eller högsensitiv men inte kvicklera.

Leran är överkonsoliderad i stora delar av lerprofilen med en överkonsolideringsgrad OCR mellan 1,5 och 3,6. Leran övergår till att vara normal- till svagt överkonsoliderad (OCR <1,5) vid ca 10m djup.



Figur 42: Vald odränerad skjuvhållfasthet (korrigerad) delområde 1/100-1/250 (Sluss).

Tabell 32: Valda värden på jordparametrar Delområde 4 - 1/100–1/250 (Slussen).

Delområde 4					
Jordlager	Egenskaper	Enhet	Valt värde X	Karakteristiska värden X_k	Dimensionerande värden X_d
Torrskorpelera	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	16	16	16
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	16	16	16
	Hållfasthet	$c_u = \text{kPa}$	16	16	10,7
		$c' = \text{kPa}$	0,1* c_u	0,1* c_u	0,1* c_u
		$\varphi' = ^\circ$	30	30	23,9
Lera 1 +15 till +10	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	16	16	16
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	16	16	16
	Hållfasthet	$c_u = \text{kPa}$	18	18	12
		$c' = \text{kPa}$	7,1	7,1	5,5
		$\varphi' = ^\circ$	30	30	23,9
Lera 2 +10 till +4	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	15,5	15,5	15,5
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	15,5	15,5	15,5
	Hållfasthet	$c_u = \text{kPa}$	$18 + 1,8z$ z=0 vid +10	$18 + 1,8z$ z=0 vid +10	$12 + 1,2z$ z=0 vid +10
		$c' = \text{kPa}$	7,1	7,1	5,5
		$\varphi' = ^\circ$	30	30	23,9
Lera 3 +4 till uk lera	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	16	16	16
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	16	16	16
	Hållfasthet	$c_u = \text{kPa}$	$29 + 1,4z$ z=0 vid +4	$29 + 1,4z$ z=0 vid +4	$19,3 + 0,9z$ z=0 vid +4
		$c' = \text{kPa}$	7,1	7,1	5,5
		$\varphi' = ^\circ$	30	30	23,9
Bottenmorän	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	18	18	18
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	20	20	20
	Hållfasthet	$\varphi' = ^\circ$	40	40	32,8

10.5.2. Sektion 1/110

Sektion 1/110 är placerad i höjd med befintlig sluss och slussvaktarbostaden. Flertalet befintliga konstruktioner förekommer inom sektionen. Placeringen av ny sluss är bredvid befintlig sluss, vilket innebär ett intrång väster om befintligt slussområde som sträcker sig ca 55 meter västerut. Ytterligare ytor i bakomliggande mark kommer att tas i anspråk för driften av slussen och för att ska skapa slänter som uppfyller ställda stabilitetskrav.

10.5.2.1. Val av jordparametrar

Jordlagerföljden består överst av en utvecklad torrskorpelera med en mäktighet på ca 0,5 – 1,5 m. Torrskorpeleran vilar på en lera med en mäktighet upp emot 15 m. Under leran vinnns en friktionsjord/morän ovan berg. Intill slussen består jordlagerföljden överst av fyllnadsjord bestående av lera, sand och grus. Jorddjupet avtar mot slussen. Jordparametrar för sektion 1/110 baseras på delområde 4 som sträcker sig mellan km 1/100–1/250 (Slussen). Valda geotekniska parametrar redovisas i Tabell 32 och i diagramform i Bilaga 2.

10.5.2.2. Val av laster

Vid befintliga förhållanden har laster använts som representerar befintliga konstruktioner. I sektionen finns två byggnader på ett plan (10 kN/m²). Parallellt med släntkrön går Strandvägen för vilken en trafiklast på 15 kN/m² har medtagits. Intill Strandvägen finns en parkeringsyta i anslutning till Slottsparken där en last på 5 kN/m² ansätts på hela ytan. För planerade förhållanden ansätts även en oförutsedd last på 10 kN/m². Denna ytlast representerar en oförutsedd markhöjning om 0,5 m som tillåts utan beviljat marklov (inom detaljplanerat område).

10.5.2.3. Val av porvattentryck

Valt portryck i sektion 1/110 baseras på 3st portryckstationer samt 4 st grundvattenrör. Mätningar har utförts under en period på minst 3 månaders, med undantag för grundvattenröret i punkt 1103A22 där mätningar endast har utförts under 2 månader. Vid beräkning används högsta dimensionerande vattentryck som erhålls från prognostisering. Valda och uppmätta värden redovisas i Bilaga 1.

- Portrycksstation R13212 är installerad vid slänkfot ca 15 m från Strandvägen och består av portrycksmätare på 3 och 5,5 meters djup. Utförda mätningar visar på en hydrostatisk portrycksprofil i den övre delen av leran ned till 3 meters djup. Trycket på denna nivå motsvarar en nolltrycksnivå på 2,1 m under markytan. Därefter ändras förhållandena och tryckökningen per meter minskar. Mot djupet är tryckökningen lägre än hydrostatisk, 5 kPa/m. Detta antas bero på att trycket anpassas till älvens trycknivå. Dimensionerande maxvärde på trycknivå som erhålls vid prognostisering medför att nolltrycksnivån ökar med 0,5 m.
- Grundvattenrör 22W838GV är placerad nära portrycksstation R13212 ca 15 m från befintlig slussvägg. Filterspetsen sitter på 5 meters djup och uppmätt värde visar på en nolltrycksnivå 3,5 m under markytan. Prognostiserat dimensionerande maxvärde som används vid beräkning gör att nolltrycksnivån ökar med 2,6 m. Variationen i detta grundvattenrör är väldigt stor då en direktkontakt till fyllning och tömning av slussen kan ses i uppmätta värden.
- Portrycksstation och GV-rör för punkt 22W835 ligger på släntkrön ca 50 m från befintlig slussvägg. Portrycksmätare är installerade på djup 4, 8 och 12 m. Filterspetsen för grundvattenröret sitter på djup 16,6 m. Enligt utförda mätningar ligger nolltrycksnivån 1 m under markytan med en hydrostatisk tryckökning ned till 4 meters djup. Därefter ändras förhållandena och tryckökningen per meter minskar. Ökningen är således lägre än hydrostatiskt, 8 kPa/m mellan djup 4 och 8 och mellan 8 och 12 m är ökningen 4,5 kPa/m. Enligt uppmätta värden i grundvattenröret ligger nolltrycksnivån på 9,1 m under markytan. Enligt utförd prognostisering av dimensionerande maxvärden på vattentrycket ökar nolltrycksnivån med 0,9 m.

- Portrycksstation med GV-rör i punkt 1103A22 ligger på släntkrön ca 90 m från befintlig slussvägg. Portrycksstationen består av portrycksmätare på 3, 7 och 13 meters djup och grundvattenröret en halv meter djupare på 13,5 meters djup. Uppmätt portryck i den övre delen av lerprofilen ger att nolltrycksnivå ligger 0,2 m under markytan och att portrycket är hydrostatisk ned till 3 meter. Därefter ändras förhållandena och tryckökningen per meter minskar. Ökningen från 3 till 7 meters djup är endast med 6 kPa/m. Portryckstationen är lokaliserad på nedströmssidan av en damm, som slussen är en del av. Mätaren på 13 m djup visar ingen tryckökning och samma trycknivå på både 7 och 13 m. Detta antas bero på att dammen hindrar vattenströmningen från uppströms- till nedströmssidan och trycket i moränen återspeglar förhållandena i älven nedströms slussen. Uppmätt nolltrycksnivå i GV-röret är 9 m under markytan likt GV-röret i 22W835. Dimensionerande maxvärde erhållen vid prognostisering innebär att nolltrycksnivån ökar till markytan.
- Grundvattenrör 22W869GV ligger i slottsparken ca 115 m från befintlig slussvägg och är installerad till djup 15 m under markytan. Enligt uppmätta värden ligger nolltrycksnivån 9,3 m under marknivån likt övriga grundvattenrör i området nedström dammen. Prognostiserat maxvärde innebär att nolltrycksnivån höjs med 0,8 m.
- Grundvattenrör 22W917GV ligger i slottsparken ca 200 m från befintlig slussvägg och är installerat till djup 13 m. Uppmätta värden visar på en nolltrycksnivå som ligger 10,2 m under markytan vilket är något lägre än övriga grundvattenrör i Slottsparken. Dimensionerande maxvärde på prognostiserat vattentryck innebär att nolltrycksnivån ökar med 2,9 m.

10.5.2.4. Beräkningsresultat befintliga förhållanden

Sammanställning av resultat från utförda stabilitetsberäkningar för befintliga förhållanden i Geostudio SLOPE/W redovisas i Tabell 33 och Bilaga 6.

Tabell 33: Resultat stabilitetsberäkning för befintliga förhållanden i sektion 1/110.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})
Odränerad	Befintliga förhållanden	Trafiklast 10 kPa Byggnad 10 kPa Parkering 5 kPa	1,04
Kombinerad	Befintliga förhållanden	Byggnad 10 kPa	1,03

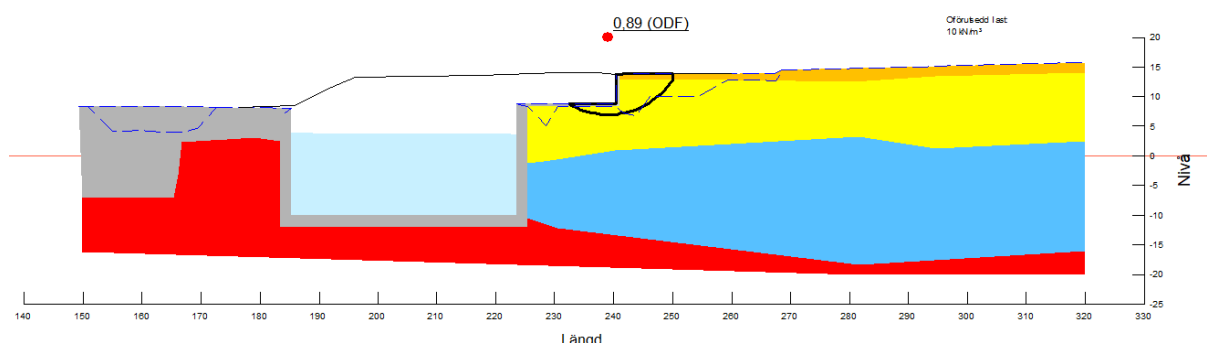
10.5.2.5. Beräkningsresultat justerad farled (1/110)

Sektion 1/110 är belägen mitt för ny sluss och representerar stabiliteten i området för Slottsparken och ned mot slussen. Ny sluss är belägen 55 m väster om gamla slussen vilket innebär ett stort intrång i befintlig slänt. För att spara på ytor i Slottsparken planeras en stödmur anläggas parallellt med slussen. Mellan slussen och stödmuren är en plan yta om ca 17 m för att kunna bedriva slussverksamheten. Alternativ med slänter i stället för stödmurslösningen har också kontrollerats. Erhållet resultat vid stabilitetsberäkningar med hänsyn till nya förhållanden redovisas i Tabell 34 och Bilaga 7, där samtliga säkerhetsfaktorer ska uppfylla krav $F_{EN} \geq 1,1$. Stabilitetsanalysen visar att krav på säkerhetsfaktor i sektion 1/110 inte uppfylls enbart med hjälp av en stödmur för att uppnå beskriven geometri. För att uppnå ställda stabilitetskrav med en stödmur erfordras även vissa stabilitetsförbättrande åtgärder, alternativt att utforma nivåskillnaden med en slänrtlösning. En slänrtlösning innebär dock ett större markintrång i parken än enbart en stödmurslösning. Skillnaden i intrång i parken vid driftskede är ca 20 m. Stabilitetsanalyser har utförts med hänsyn till förhöjt portryck enligt framtida klimatpåverkan.

Tabell 34: Resultat stabilitetsberäkning justerad farled i 1/110.

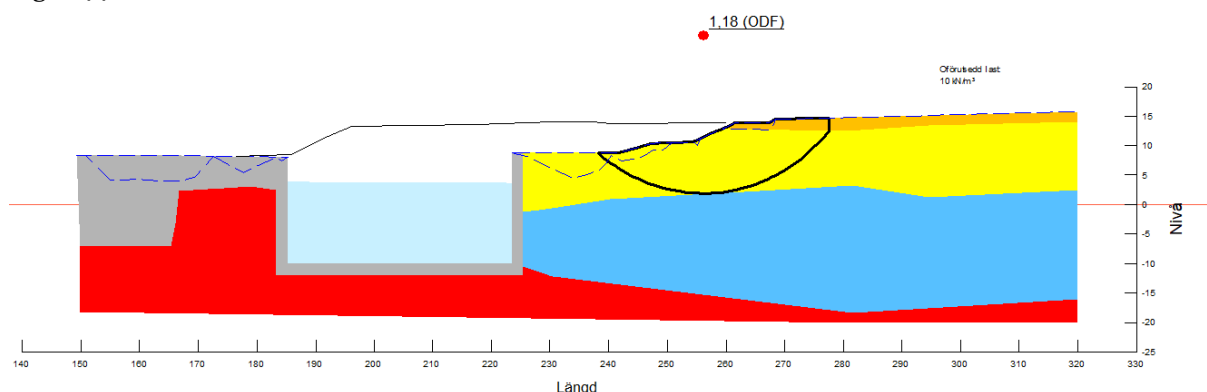
Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})	Krav
Odränerad	Ny farled med stödmurslösning	10 kPa – utbredd last	0,90	$F_{EN} \geq 1,1$
Kombinerad	Ny farled med stödmurslösning	10 kPa – utbredd last	0,89	$F_{EN} \geq 1,1$
Odränerad	Ny farled med släntlösning	10 kPa – utbredd last	1,23	$F_{EN} \geq 1,1$
Kombinerad	Ny farled med släntlösning	10 kPa – utbredd last	1,18	$F_{EN} \geq 1,1$

Geometri av sektion 1/110 och typ av kritiska glidytor som förekommer med stödmurslöningen utan åtgärder inom sektionen illustreras i Figur 43.



Figur 43: Illustration av geometri med stödmur och glidyta i sektion 1/110.

Geometri av sektion 1/110 och typ av kritisk glidyta som förekommer med släntlösningen illustreras i Figur 44.



Figur 44: Illustration av geometri med slänter och glidyta i sektion 1/110.

10.5.2.6. Resultat stabilitetsförbättrande åtgärder

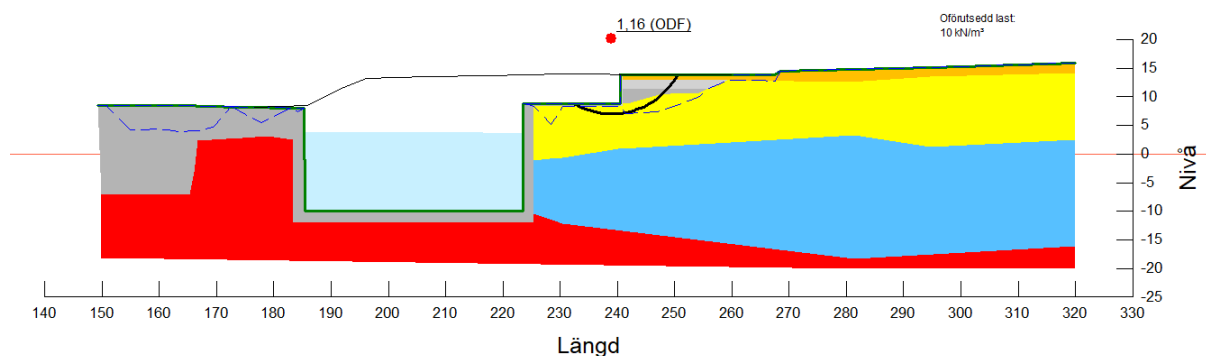
Stabilitetsförbättrande åtgärder krävs i sektion 1/110 med hänsyn till den framtagna geometrin med stödmur. För att förbättra stabiliteten i glidytor illustrerat i Figur 43 krävs en åtgärd i området bakom stödmuren där stor del av den pådrivande lasten finns som bidrar till den ej tillräckliga stabiliteten. Vid anläggning av stödmuren krävs att en yta som sträcker sig ca 20 m bakom stödmuren schaktas bort med en släntlutning på 1:2 för att sedan återfyllas efter färdig mur. Stabilitetsåtgärden som studerats är en avlastning av slänten genom schakt och återfyllnad med lättare massor än dagens lera.

Vid beräkning används en lättfyllning med tunghet 4,5 kN/m³ och en friktionsvinkel på 39°. Erhållet resultat vid stabilitetsberäkningar med stabilitetsåtgärd med lättfyllning redovisas i Tabell 35 och Bilaga 7 där samtliga säkerhetsfaktorer ska uppfylla krav $F_{EN} \geq 1,1$. Mäktigheten som krävs för att uppfylla säkerhetskraven har beräknats genom en iterativprocess. Mäktigheten på lättfyllningen bedöms vara 1,6 m och övrig återfyllnad kan ske med massor som finns att tillgå (tunghet 17 kN/m³).

Tabell 35: Resultat stabilitetsberäkning med stabilitetsförbättrande åtgärd i sektion 1/110.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})	Krav
Odränerad	Justerad farled - Inblandningspelare	10 kPa – utbredd last	1,11	$F_{EN} \geq 1,1$
Kombinerad	Justerad farled – Inblandningspelare	10 kPa – utbredd last	1,16	$F_{EN} \geq 1,1$

Geometri av sektion 1/110 med lättfyllning och typ av kritiska glidytor som förekommer inom sektionen illustreras i Figur 45. Åtgärdsmetoden med återfyllnad av lättfyllning påverkar inte ytbeskaffenheten i Slottsparken efter färdig byggnation. Intrång i parken förekommer endast under byggtid och krävs för att bibehålla god stabilitet i området.



Figur 45: Illustration av geometri med lättfyllning och glidyta i sektion 1/110.

10.5.3. Sektion 1/210

Sektion 1/210 ligger söder om befintlig sluss. Placeringen av den nya slussen innebär en flytt av farleden och ett intrång på ca 47 m i sektion 1/210. Ytterligare ytor i bokomliggande mark kommer att tas i anspråk för att skapa slänter som uppfyller ställda stabilitetskrav.

10.5.3.1. Val av jordparametrar

Jordlagerföljden varierar mellan slänt, släntrön och släntröt. I slänt och släntrön representeras jordlagerföljden av en torrskorpelera på lera som vilar på morän ovan berg. Vid släntröt kommer moränen upp till ytan vilket gör att jordlagerföljden består av morän på berg. Mäktigheten på torrskorpelera inom området är ca 2 m och mäktigheten på lera uppgår till 14 m. Den underliggande moränen har en mäktighet på ca 10 m vid släntröt. Jordparametrar för sektion 1/210 baseras på delområdet som sträcker sig mellan km 1/100-1/250 (Slussen). Valda geotekniska parametrar redovisas i Tabell 32 och i diagramform i Bilaga 2.

10.5.3.2. Val av laster

I befintliga förhållanden förekommer endast en trafiklast (15 kN/m²) på Strandvägen. I planerade förhållanden ansätts generellt en oförutsedd last på 10 kN/m². Denna ylast representerar en oförutsedd markhöjning om 0,5 m som tillåts utan beviljat marklov. Vid sämre stabilitetsförhållanden kan en utbredd last på 2 kN/m² användas för att representera parkmiljö.

10.5.3.3. Val av porvattentryck

I sektion 1/210 baseras valt porvattentryck på 2st portrycksstationer med få mätningar utförda år 1984 samt 2 grundvattenrör med mätningar som utförts under en period på minst 3 månader. Vid beräkning används dimensionerat maxvärde från utförd prognostisering. Sammanställning av uppmätta värden och valt värde redovisas i Bilaga 1.

- Grundvattenrör 22W848GV är placerad i slänten ca 30 m från älvkant och är installerat på 14 m djup. Enligt utförda mätningar ligger nolltrycksnivån i grundvattenröret ca 10 m under markytan. Det överensstämmer väl med älvens medelvattennivå. Vid prognostisering av dimensionerande maxvärde ökar nolltrycksnivån med 1,3 m.
- Portrycksstation 8903A05 är installerad i slänten ca 40 m från älvkant. Portrycksmätare sitter på 3, 6 och 10 m djup under markytan. Endast en mätning har utförts i dessa portrycksmätare under år 1984. Enligt utförda mätningar ligger nolltrycksnivån 2,6 m under markytan med en hydrostatisk tryckökning ned till 3 m djup. På djup 6 m är trycket endast ca 18 kPa vilket medför att ökningen endast är 4,5 kPa/m från 3 till 6 meters djup. I den djupast sittande mätaren är uppmätt värde nära noll (0,5 kPa). Enligt prognostiseringen av dimensionerande maxvärde ökar nolltrycksnivån med 1 m.
- Grundvattenrör 22W867GV är placerad på släntkrön i Slottsparken ca 100 m från älvkanten och är installerat till djup 12 m. Enligt uppmätta värden ligger nolltrycksnivån på 10,9 m under markytan likt övriga grundvattenrör i Slottsparken. Den låga trycknivån antas bero på att moränen är i direktkontakt med älven vilket medför att trycket i jorden anpassas till älvnivån. Enligt prognostiseringen av dimensionerande maxvärde ökar nolltrycksnivån med 0,8 m.
- Portrycksstation 8903A01 ligger på släntkrön i Slottsparken ca 100 m från älvkanten. portrycksmätarna sitter på 6, 10 och 14 m djup och mätningar har utförts vid ett tillfälle 1984. Enligt utförd mätning är portrycket hydrostatisk ned till 10 m djup under markytan med en nolltrycksnivå som på denna nivå ligger 5 m under markytan. Därefter sker ingen förändring av trycket ned till moränen. Utförd portrycksprognostisering med dimensionerande maxvärde visar på att nolltrycksnivån ökar med 1 m.

10.5.3.4. Beräkningsresultat befintliga förhållanden

Sammanställning av resultat från utförda stabilitetsberäkningar för befintliga förhållanden i Geostudio SLOPE/W redovisas i Tabell 36 och Bilaga 6.

Tabell 36: Resultat stabilitetsberäkning för befintliga förhållanden i sektion 1/210.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})
Odränerad	Befintliga förhållanden	Trafiklast 10 kPa	1,10
Kombinerad	Befintliga förhållanden	-	1,10

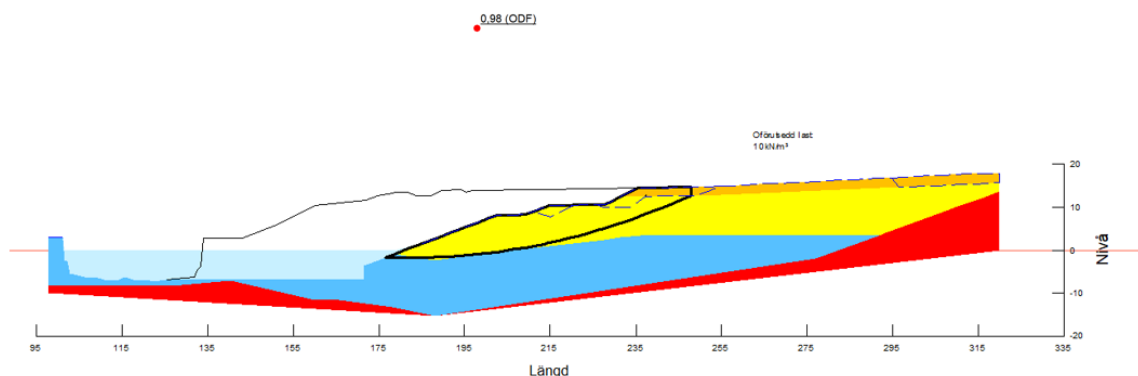
10.5.3.5. Beräkningsresultat justerad farled (1/210)

Sektion 1/210 är belägen vid utseglingen från södra slushuvudet. Vid anläggning av justerad farled innebär det att ny strandkant är belägen 47 m in i befintlig slänt från dagens strandkant. Släntutformningen i sektion 1/210 har tagits fram för att bidra till gynnsamma stabilitetsförhållanden samt möta de krav som ställs på landskapsutformningen. Erhållet resultat vid stabilitetsberäkningar med hänsyn till nya förhållanden redovisas i Tabell 37 och Bilaga 7 där samtliga säkerhetsfaktorer ska uppfylla $F_{EN} \geq 1,1$. Stabilitetsanalysen visar att krav på säkerhetsfaktor i sektion 1/210 inte uppfylls med enbart den gynnsamma geometri som är beskriven. För att uppnå ställda stabilitetskrav erfordras någon form av stabilitetsförbättrande åtgärd. Stabilitetsanalyser har utförts med hänsyn till förhöjt portryck enligt framtida klimatpåverkan. Samtliga beräkningar har utförts med hänsyn till att en övermuddring på 0,5 m kan ske vid anläggning av ny farled.

Tabell 37: Resultat stabilitetsberäkning justerad farled i 1/210.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})	Krav
Odränerad	Ny farled	10 kPa – utbredd last	0,98	$F_{EN} \geq 1,1$
Kombinerad	Ny farled	10 kPa – utbredd last	0,98	$F_{EN} \geq 1,1$

Geometri av sektion 1/210 och typ av kritiska glidytor som förekommer inom sektionen illustreras i Figur 46.



Figur 46: Illustration av geometri och glidytor i sektion 1/210.

10.5.3.6. Resultat stabilitetsförbättrande åtgärder

Stabilitetsåtgärder krävs i sektion 1/210 med hänsyn till den framtagna geometrin. Ett alternativ på åtgärd är att schakta av mer massor och skapa större avschaktningsplan, men det alternativet innebär större intrång i Slottsparken. Fördelaktigt lösningsförslag är att använda sig av djupstabilisering i form av inblandningspelare. Pelarna installeras i dubbla skivor med ett c-c avstånd på 2,7 m, inom släntområdet för att undvika att påverka/intrång i Slottsparken. Det innebär en täckningsgrad på ca 36%. Använd hållfasthetsfunktion för djupstabilisering redovisas i Bilaga 5. Pelarna installeras till fast botten vilket motsvarar en pelarlängd på ca 9 m. Installation av inblandningspelare påverkar endast ytbeskaffenheten under byggtid, efter installation kan ytbeskaffenheten återgå till dagens förhållanden.

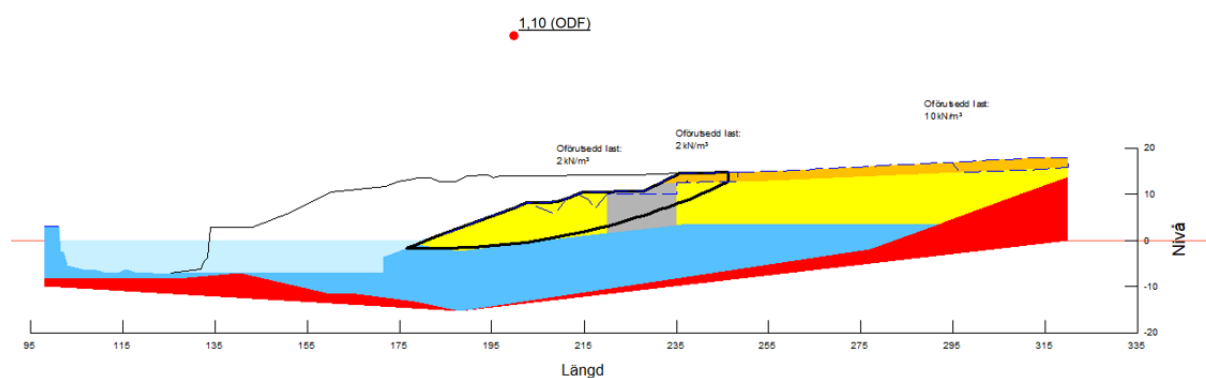
Erhållet resultat vid stabilitetsberäkningar med stabilitetsåtgärd i form av inblandningspelare redovisas i Tabell 38 och Bilaga 7 där samtliga säkerhetsfaktorer ska uppfylla krav $F_{EN} \geq 1,1$. Framtagen lösning med en gynnsam geometri och åtgärd i form av inblandningspelare omfattar även

en belastningsrestriktion i Slottsparken. För att uppfylla ställda krav krävs att området från släntkrön och 20 m väster ut endast belastas med max 2 kPa vilket motsvarar parkverksamhet (gräsklippning/förekomst av människor).

Tabell 38: Resultat stabilitetsberäkning med stabilitetsförbättrande åtgärd i sektion 1/210.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})	Krav
Odränerad	Justerad farled - Inblandningspelare	2 kPa last (20 m på släntkrön) övriga ytor 10 kPa	1,10	$F_{EN} \geq 1,1$
Kombinerad	Justerad farled - Inblandningspelare	2 kPa last (20 m på släntkrön) övriga ytor 10 kPa	1,10	$F_{EN} \geq 1,1$

Geometri av sektion 1/210 med inblandningspelare och typ av kritiska glidytor som förekommer inom sektionen illustreras i Figur 47.



Figur 47: Illustration av geometri med lättfyllning och glidyta i sektion 1/210.

10.5.4. Sektion 1/240

Sektion 1/240 ligger söder om befintlig slussen. Nybyggnation av slussen innebär en flytt av farleden ett intrång i befintlig slänt. Ny strandkant ligger ca 51 m väster om befintlig strandkant och utöver det gör nya slänter och avschaktningsplan ytterligare intrång för att uppfylla stabilitetskraven.

10.5.4.1. Val av jordparametrar

Jordlagerföljden representeras överst av en torrskorpelera på lera som vilar på morän ovan berg. Dessa förhållanden anses gälla för området fram till släntkrön för slänten. Mäktigheten på torrskorpelera är ca 2 m och mäktigheten på lera är ca 10 m. Vid släntfot utgörs jordlagerföljden i huvudsak av torrskorpelera som underlagras av morän på berg. Jordparametrar för sektion 1/240 baseras på delområde 4 som sträcker sig mellan KM 1/100 – 1/250 (Slussen). Valda geotekniska parametrar redovisas i Tabell 32 och i diagramform i Bilaga 2.

10.5.4.2. Val av laster

För befintliga förhållanden används laster som motsvarar trafiklast på Strandvägen (15 kN/m²) samt en last på GC-bana (5 kN/m²) i Slottsparken. I planerade förhållanden används en utbredd oförutsedd last på 10 kN/m². Denna ytlast representerar en oförutsedd markhöjning om 0,5 m som tillåts utan beviljat marklov.

10.5.4.3. Val av porvattentryck

Inga portryckmätare eller grundvattenrör finns installerade i sektion 1/240. Vid modellering baseras portrycksfördelningen i jorden på uppmätta och prognostiserade värden beskrivna i sektion 1/210. Vid odränerad analys ansätts en nolltrycksnivå ca 2 m under markytan. Vid kombinerad analys ansätts en trycknivå som motsvarar en hydrostatisk profil ned till ca 10 djup i slottsparksområdet och till ca djup 5 m i släntområdet. Därefter är portrycket konstant (ingen tryckökning) i en övergångszon för att sedan möta trycknivån i älven och underliggande morän. Enligt utförd portrycksprognos i sektion 1/210 innebär framtida dimensionerande maxvärde att nolltrycksnivån ökar med ca 1 m, vilket ansätts i sektion 1/240.

10.5.4.4. Beräkningsresultat befintliga förhållanden

Sammanställning av resultat från utförda stabilitetsberäkningar för befintliga förhållanden i Geostudio SLOPE/W redovisas i Tabell 39 och Bilaga 6.

Tabell 39: Resultat stabilitetsberäkning för befintliga förhållanden i sektion 1/240.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})
Odränerad	Befintliga förhållanden	Trafiklast 10 kPa	1,18
Kombinerad	Befintliga förhållanden	-	1,22

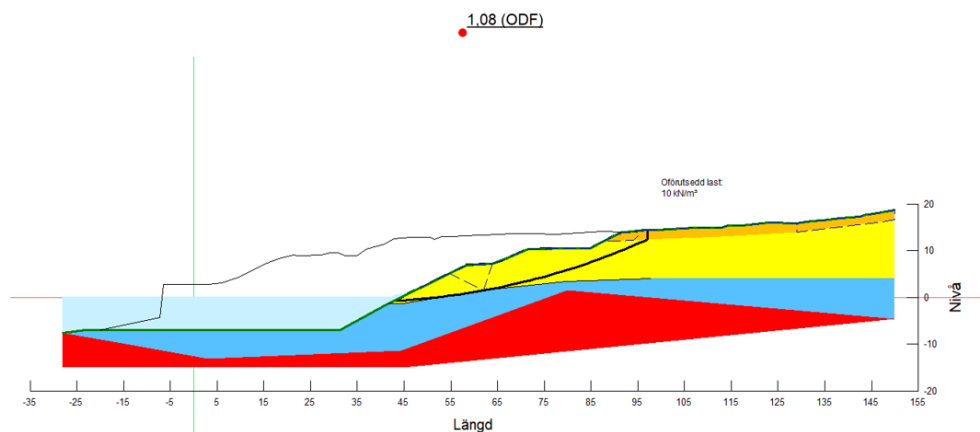
10.5.4.5. Beräkningsresultat justerad farled (1/240)

Justerad farled i sektion 1/240 innebär att ny strandkant är belägen ca 51 m in i befintlig slänt i jämförelse med dagens strandkant. Slänten som utformas till följd av anläggning av justerad farled har en geometri som är anpassad att bidra till gynnsamma stabilitetsförhållanden. Erhållet resultat vid stabilitetsberäkningar med hänsyn till nya förhållanden redovisas i Tabell 40 och Bilaga 7 där samtliga säkerhetsfaktorer ska uppfylla krav $F_{EN} \geq 1,1$. Stabilitetsanalysen visar att krav på säkerhetsfaktor i sektion 1/240 uppfylls med en gynnsam släntutformning. Inga ytterligare stabilitetsåtgärder erfordras. Stabilitetsanalyser har utförts med hänsyn till förhöjt portryck enligt framtida klimatpåverkan. Samtliga beräkningar har utförts med hänsyn till att en övermuddring på 0,5 m kan ske vid anläggning av ny farled.

Tabell 40: Resultat stabilitetsberäkning justerad farled i 1/240.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})	Krav
Odränerad	Ny farled	10 kPa – utbredd last	1,10	$F_{EN} \geq 1,1$
Kombinerad	Ny farled	10 kPa – utbredd last	1,08	$F_{EN} \geq 1,1$

Geometri av sektion 1/240 och typ av kritiska glidytor som förekommer inom sektionen illustreras i Figur 48.



Figur 48: Illustration av geometri och glidyta i sektion 1/240.

10.6. Delområde 5 – 1/250–1/350 (Söder 1)

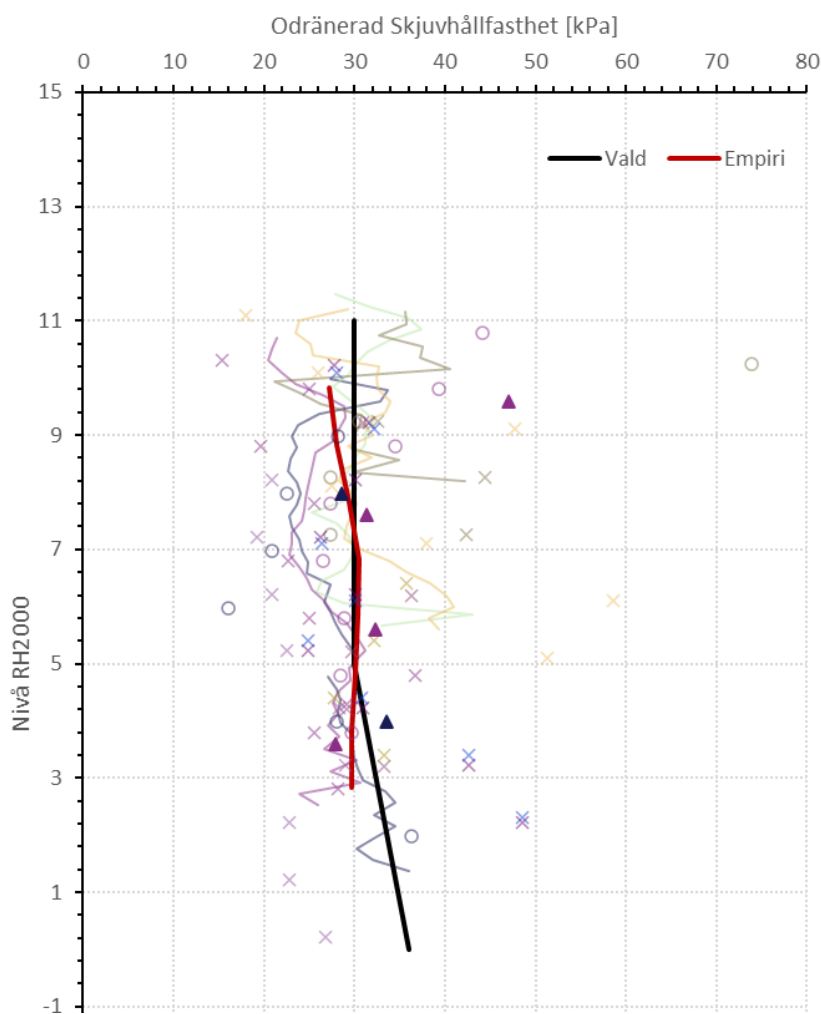
10.6.1. Materialparametrar

Geotekniska parametrar för delområde 5 (Söder 1) redovisas i Bilaga 2. Uppmätt naturlig vattenkvot varierar mellan 12 och 86%. Uppmätt konflytgräns varierar mellan 21 och 77%. Såväl vattenkvot som konflytgräns ökar mot djupet ned till ca nivå +6, därefter är trenden avtagande mot djupet.

Uppmätt värde på densitet varierar mellan ca 1,54 och 1,94 t/m³. I leran har odränerad skjuvhållfasthet utvärderats enligt Tabell 53. Värdet på odränerad skjuvhållfastheten är 30 kPa i övre delen av lerprofilen och ökar därefter mot djupet upp emot 36 kPa.

Leran klassas som mellan- till högsensitiv, men ej kvick, med en sensitivitet som varierar mellan 3 och 31. I ett av de upptagna proverna där jorden klassificerades som lerig silt erhöles en sensitivitet på 81 vilket skulle innebära ett högsensitivt material. Den omrörda skjuvhållfastheten i detta prov var 0,41 vilket medför att det inte klassificeras som kvicklera. Det är sannolikt att jordartsbeteendet, även om gränsvärdet ej underskrider 0,4 kPa i omrörd skjuvhållfasthet, kan likställas med kvicklera.

Utförda CRS-försök visar att leran i den övre delen av lerprofilen är överkonsoliderad med överkonsolideringsgrad (OCR) på ca 2,5. OCR minskar mot djupet och vid ca nivå +7 övergår konsolideringsgraden till att vara normal- till svag överkonsoliderad, OCR < 1,5.



Figur 49: Vald odränerad skjuvhållfasthet (korrigerad) delområde 5 1/250–1/350 (Söder 1).

Tabell 41: Valda värden på jordparametrar Delområde 5 - 1/250–1/350 (Söder 1).

Delområde 5					
Jordlager	Egenskaper	Enhet	Valt värde X	Karakteristiska värden X_k	Dimensionerande värden X_d
Torrskorpelera	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	16,3	16,3	16,3
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	16,3	16,3	16,3
	Hållfasthet	$c_u = \text{kPa}$	30	30	20
		$c' = \text{kPa}$	0,1*cu	0,1*cu	0,1*cu
		$\varphi' = ^\circ$	30	30	23,9
Lera 1 +13 till +5	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	16,3	16,3	16,3
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	16,3	16,3	16,3
	Hållfasthet	$c_u = \text{kPa}$	30	30	20
		$c' = \text{kPa}$	7,1	7,1	5,5
		$\varphi' = ^\circ$	30	30	23,9
Lera 2 +5 till uk lera	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	17,5	17,5	17,5
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	17,5	17,5	17,5
	Hållfasthet	$c_u = \text{kPa}$	$30 + 1,2z$ z=0 vid +5	$30 + 1,2z$ z=0 vid +5	$20 + 0,8z$ z=0 vid +5
		$c' = \text{kPa}$	7,1	7,1	5,5
		$\varphi' = ^\circ$	30	30	23,9
Bottenmorän	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	18	18	18
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	20	20	20
	Hållfasthet	$\varphi' = ^\circ$	40	40	32,8

10.6.2. Sektion 1/320

Sektion 1/320 ligger söder om befintlig sluss i området där det idag förekommer en aktivitetsyta. Sektionen är placerad där farledsutformningen medför ett maximalt intrång i befintlig slänt. Intrånget innebär att ny strandkant hamnar ca 55 m väster om befintlig strandkant. Nya slänter och avschaktningsplan, för att uppfylla stabilitetskrav, medför ytterligare intrång i befintlig slänt.

10.6.2.1. Val av jordparametrar

Jordlagerföljden i sektion 1/320 representeras av en torrskorpelera på lera som vilar på morän och berg. Mäktigheten på torrskorpelera är ca 2 m och lerlagret har en mäktighet på ca 9 m som avtar i riktning mot älven. Jordparametrar för sektion 1/320 baseras på delområde 5 som sträcker sig mellan km 1/250–1/350 (Söder 1). Valda geotekniska parametrar redovisas i Tabell 41 och i diagramform i Bilaga 2.

10.6.2.2. Val av laster

För befintliga förhållanden förekommer endast en last från trafik på Strandvägen. Lasten ansätts till en variabel trafiklast på 15 kN/m². För planerade förhållanden ansätts en utbredd last på 10 kN/m². Denna ytlast representerar en oförutsedd markhöjning om 0,5 m som tillåts utan beviljat marklov.

10.6.2.3. Val av porvattentryck

I sektion 1/320 baseras modelleringen på portrycksvärden från 2 st portrycksstationer med mätningar som utförts under en period på minst 3 månader. Vid beräkning används erhållet portryck från prognostisering av dimensionerande maxvärden. Sammanställning av uppmätta och valda prognostiserade värden redovisas i Bilaga 1.

- Portrycksstation R13208 är installerad på släntkrön ca 35 m från älvkanten. Mätare är installerade på djupen 4 och 7 m under markytan. Utförda mätningar visar en hydrostatisk tryckökning ner till 4 meters djup och en nolltrycksnivå på 3,1 m djup. Därefter förändras förhållandena och tryckökningen per meter minskar. Mot djupet är tryckökningen lägre än hydrostatisk, endast runt 5 kPa/m. Detta bedöms beror på att underliggande morän är i direktkontakt med älven. Vid portrycksprognostisering av dimensionerande maxvärden ökar nolltrycksnivån med 0,2 m.
- Portrycksstation 22W865 är placerad på släntkrön ca 100 m från älvkant. I denna del av slänten är jorddjupet mindre och lermäktiget är enbart 6 meter och leran har stor inblandning av friktionsjord. Mätarna är installerade på 4 och 6 meters djup. Mycket stor variation av mätvärden har erhållits då den grunda mätaren under torra perioder hamnar ovanför grundvattenytan. Medelvärdet visar dock på en nolltrycksnivå runt 2,6 m under markytan med en hydrostatisk tryckökning ned till 4 meters djup. Därefter sker ingen tryckökning mot djupet. På grund av stor variation och ett högt dimensionerande maxvärde innebär det att nolltrycksnivån ökar med 2,2 m vid prognostisering.

10.6.2.4. Beräkningsresultat befintliga förhållanden

Sammanställning av resultat från utförda stabilitetsberäkningar för befintliga förhållanden i Geostudio SLOPE/W redovisas i Tabell 42 och Bilaga 6.

Tabell 42: Resultat stabilitetsberäkning för befintliga förhållanden i sektion 1/320.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})
Odränerad	Befintliga förhållanden	Trafiklast 10 kPa	1,35
Kombinerad	Befintliga förhållanden	-	1,02

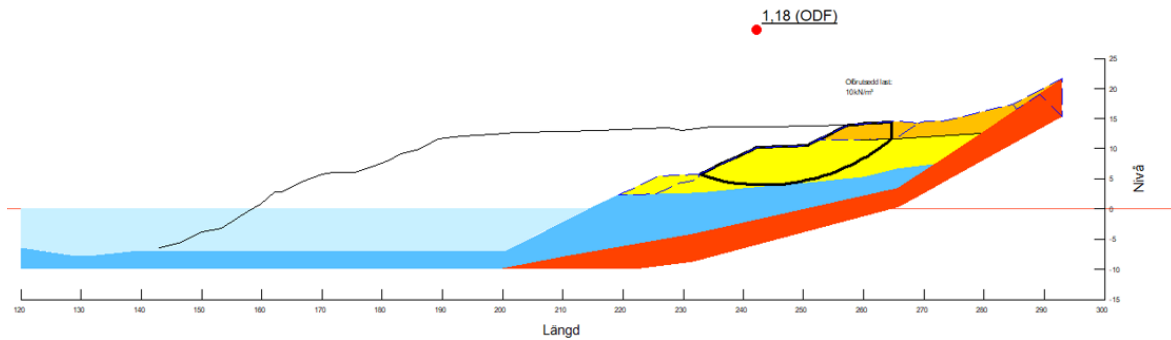
10.6.2.5. Beräkningsresultat justerad farled (1/320)

Sektion 1/320 är belägen i området där stort intrång i befintlig slänt sker med hänsyn till ny farled. Ny strandkant är belägen 55 m in i befintlig slänt i jämförelse med dagens strandkant. Sektionens geometri består av slänter och avschaktningssplan som ska bidra med gynnsamma stabilitetsförhållanden. Erhållet resultat vid stabilitetsberäkningar med hänsyn till nya förhållanden redovisas i Tabell 43 och Bilaga 7 där samtliga säkerhetsfaktorer ska uppfylla krav $F_{EN} \geq 1,1$. Stabilitetsanalysen visar att krav på säkerhetsfaktor i sektion 1/320 uppfylls med en gynnsam släntutformning. Inga ytterligare stabilitetsåtgärder erfordras. Stabilitetsanalyser har utförts med hänsyn till förhöjt portryck enligt framtida klimatpåverkan. Samtliga beräkningar har utförts med hänsyn till att en övermuddring på 0,5 m kan ske vid anläggning av ny farled.

Tabell 43: Resultat stabilitetsberäkning justerad farled i 1/320.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})	Krav
Odränerad	Ny farled	10 kPa – utbredd last	1,18	$F_{EN} \geq 1,1$
Kombinerad	Ny farled	10 kPa – utbredd last	1,18	$F_{EN} \geq 1,1$

Geometri av sektion 1/320 och typ av kritiska glidytor som förekommer inom sektionen illustreras i Figur 50.



Figur 50: Illustration av geometri och glidyta i sektion 1/320.

10.7. Delområde 6 – 1/350–1/550 (Söder 2)

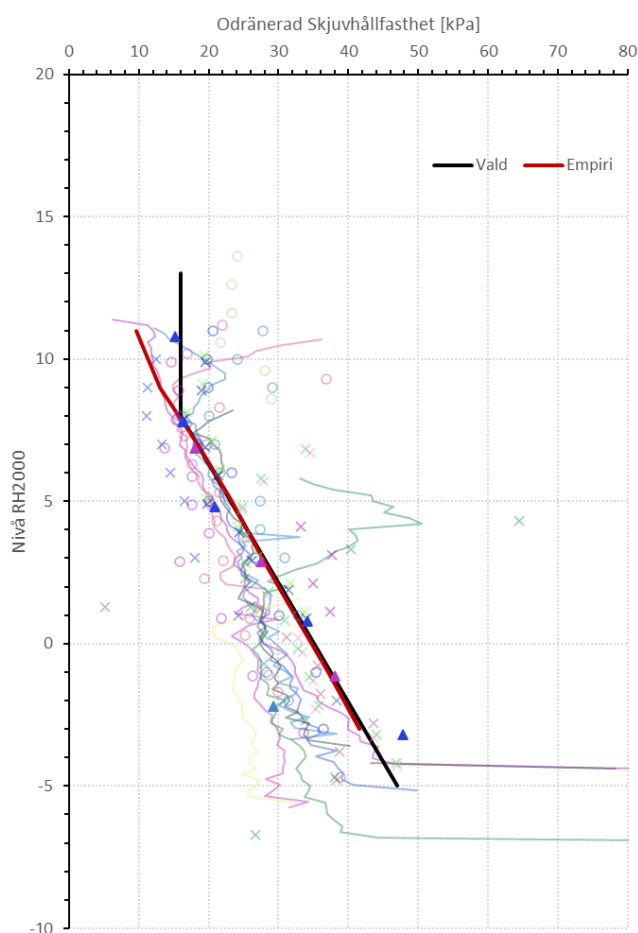
10.7.1. Materialparametrar

Geotekniska parametrar för delområde 6 (Söder 2) redovisas i Bilaga 2. Den utvärderade naturliga vattenkvoten varierar mellan 13 och 82% konflytgränsen i varierar mellan 26 och 74%. Såväl den naturliga vattenkvoten som konflytgränsen ökar mot djupet ned till ca +8, därefter har den en konstant trend ned till nivå +4 för att sedan avta mot djupet.

Uppmätta värden på densitet i lerlagret varierar mellan ca 1,52–1,89 t/m³. Övervägande del av leran har en densitet runt 1,6 t/m³. Den odränerad skjuvhållfastheten i leran är 16 kPa i övre delen av lerprofilen och ökar därefter mot djupet till 47 kPa. Utvärderad odränerad skjuvhållfasthet redovisas i Figur 51.

Sensitiviteten i leran varierar mellan 9 och 358, vilket innebär att den klassas som högsensitiv. Lera med en sensitivitet som överstiger 50 och med en omrörd skjuvhållfasthet lägre än 0,4 förekommer vilket medför att leran klassificeras som kvicklera på dessa nivåer. Kvickleran förekommer i nedre delen av lerprofilen från nivån ca +2 ned till bottenmoränen.

I det aktuella delområdet är leran överkonsoliderad i den övre delen av lerprofilen där CRS-försök visar att överkonsolideringsgrad OCR ligger mellan 1,6 och 2. OCR avtar mot djupet och vid nivå ca +8 övergår OCR till värden mellan 1,2 och 1,4, vilket gör att leran klassificeras som normal- till svagt överkonsoliderad i den djupare delen av jordprofilen.



Figur 51: Vald odränerad skjuvhållfasthet (korrigerad) delområde 1/350–1/550 (Söder 2).

Tabell 44: Valda värden på jordparametrar Delområde 6 - 1/350–1/550 (Söder 2).

Delområde 6					
Jordlager	Egenskaper	Enhet	Valt värde X	Karakteristiska värden X_k	Dimensionerande värden X_d
Torrskorpelera	Tunghet	$\gamma =$ kN/m ³	16,2	16,2	16,2
		$\gamma_m =$ kN/m ³	16,2	16,2	16,2
	Hållfasthet	$c_u =$ kPa	16	16	10,7
		$c' =$ kPa	0,1* c_u	0,1* c_u	0,1* c_u
		$\varphi' =$ °	30	30	23,9
Lera 1 +14 till +8	Tunghet	$\gamma =$ kN/m ³	16,2	16,2	16,2
		$\gamma_m =$ kN/m ³	16,2	16,2	16,2
	Hållfasthet	$c_u =$ kPa	16	16	10,7
		$c' =$ kPa	7,1	7,1	5,5
		$\varphi' =$ °	30	30	23,9
Lera 2 +8 till +4	Tunghet	$\gamma =$ kN/m ³	15,5	15,5	15,5
		$\gamma_m =$ kN/m ³	15,5	15,5	15,5
	Hållfasthet	$c_u =$ kPa	$16 + 2,4z$ z=0 vid +8	$16 + 2,4z$ z=0 vid +8	$10,7 + 1,6z$ z=0 vid +8
		$c' =$ kPa	7,1	7,1	5,5
		$\varphi' =$ °	30	30	23,9
Lera 3 +4 till -1,5	Tunghet	$\gamma =$ kN/m ³	16	16	16
		$\gamma_m =$ kN/m ³	16	16	16
	Hållfasthet	$c_u =$ kPa	$16 + 2,4z$ z=0 vid +8	$16 + 2,4z$ z=0 vid +8	$10,7 + 1,6z$ z=0 vid +8
		$c' =$ kPa	7,1	7,1	5,5
		$\varphi' =$ °	30	30	23,9
Lera 4 -1,5 till uk lera	Tunghet	$\gamma =$ kN/m ³	18	18	18
		$\gamma_m =$ kN/m ³	18	18	18
	Hållfasthet	$c_u =$ kPa	$16 + 2,4z$ z=0 vid +8	$16 + 2,4z$ z=0 vid +8	$10,7 + 1,6z$ z=0 vid +8
		$c' =$ kPa	7,1	7,1	5,5
		$\varphi' =$ °	30	30	23,9
Bottenmorän	Tunghet	$\gamma =$ kN/m ³	18	18	18
		$\gamma_m =$ kN/m ³	20	20	20
	Hållfasthet	$\varphi' =$ °	40	40	32,8

10.7.2. Sektion 1/370

Sektion 1/370 ligger söder om befintlig sluss vid korsningen mellan Strandvägen och Parkvägen. Vid nybyggnation av slussen innebär det att ny strandkant flyttas ca 43 m väster ut jämfört med befintlig strandkant. Förutom intrånget som justerad farled ger upphov till, kommer ytterligare ytor att tas i anspråk för att skapa nya slänter och avschaktningsplan i kombination med förstärkningsåtgärder i befintlig slänt för att uppfylla ställda stabilitetskrav.

10.7.2.1. Val av jordparametrar

Jordlagerföljden utgörs av torrskorpelera på lera som vilar på morän ovan berg. Mäktigheten på torrskorpelera är ca 1–1,5 m och förekommer endast på släntkrön. Mäktigheten på lera uppgår till ca 15 m. Vid släntfot och under älven består överytan av morän och lera sedan tidigare borttagen. Kvicklera förekommer i lerprofilen ovan släntkrön från nivå +0 och ned till moränen. Jordparametrar för sektion 1/370 baseras på delområde 6 som sträcker sig mellan km 1/350–1/550 (Söder 2). Valda geotekniska parametrar redovisas i Tabell 44 och i diagramform i Bilaga 2.

10.7.2.2. Val av laster

För befintliga förhållanden används en trafiklast (15 kN/m²) på Strandvägen och en last på 10 kN/m² före att representera byggnader som står där idag. I planerade förhållanden ansätts en utbredd oförutsedd last på 10 kN/m². Denna ylast representerar en oförutsedd markhöjning om 0,5 m som tillåts utan beviljat marklov.

10.7.2.3. Val av porvattentryck

Inga portrycksmätare eller grundvattenrör finns installerade i sektion 1/370. Vid modellering baseras portrycksfördelningen på erhållna värden i närliggande sektioner. Nolltrycksnivån bedöms ligga på ca 1-1,5 m under markytan och tryckökningen antas vara hydrostatisk ned till 4 m djup. Därefter antas en ökning på 7 kPa/m ned till moränen. I området nära älven antas en hydrostatisk tryckfördelning från älvens nivå. I sektion 1/440 innebär prognostisering av dimensionerande maxvärde att nolltrycksnivån ökar med ca 0,4–1,7 m. Prognostisering antas således ha en nolltryckökning med 1 m. I beräkningar används erhållen prognostiserad trycknivå i närliggande sektion.

10.7.2.4. Beräkningsresultat befintliga förhållanden

Sammanställning av resultat från utförda stabilitetsberäkningar för befintliga förhållanden i Geostudio SLOPE/W redovisas i Tabell 45 och Bilaga 6.

Tabell 45: Resultat stabilitetsberäkning för befintliga förhållanden i sektion 1/370.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})
Odränerad	Befintliga förhållanden	Trafiklast 10 kPa Byggnad 10 kPa	1,19
Kombinerad	Befintliga förhållanden	Byggnad 10 kPa	1,20

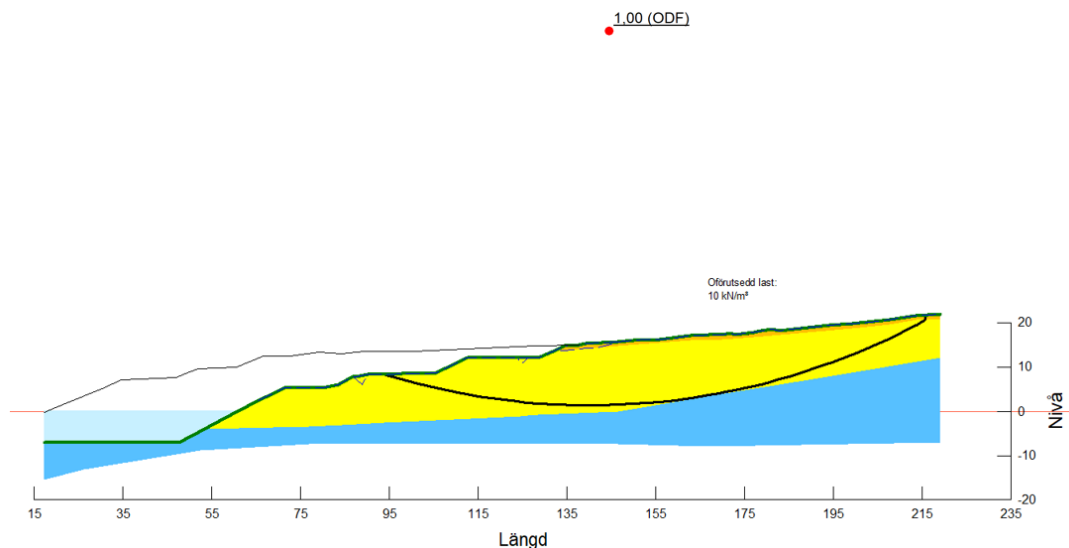
10.7.2.5. Beräkningsresultat justerad farled (1/370)

Strandkant för justerad farled i sektion 1/370 är belägen 43 m in i befintlig slänt i jämförelse med dagens strandkant. Geometrin i beräknad sektion är framtagen med slänter och avschaktningsplan som ska bidra till gynnsamma stabilitetsförhållanden. Erhållet resultat vid stabilitetsberäkningar med hänsyn till nya förhållanden redovisas i Tabell 46 och Bilaga 7 där samtliga säkerhetsfaktorer ska uppfylla krav $F_{EN} \geq 1,1$. Stabilitetsanalysen visar att krav på säkerhetsfaktorn i sektion 1/370 inte uppfylls med enbart en gynnsam geometri. För att uppnå ställda stabilitetskrav krävs någon form av ytterligare stabilitetsförbättrande åtgärd. Stabilitetsanalyser har utförts med hänsyn till förhöjt portryck enligt framtida klimatpåverkan. Samtliga beräkningar har utförts med hänsyn till att en övermuddring på 0,5 m kan ske vid anläggning av ny farled.

Tabell 46: Resultat stabilitetsberäkning justerad farled i 1/370.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})	Krav
Odränerad	Ny farled	10 kPa – utbredd last	1,01	$F_{EN} \geq 1,1$
Kombinerad	Ny farled	10 kPa – utbredd last	1,00	$F_{EN} \geq 1,1$

Geometri av sektion 1/370 och typ av kritiska glidytor som förekommer inom sektionen illustreras i Figur 52.



Figur 52: Illustration av geometri och glidyta i sektion 1/370.

10.7.2.6. Resultat stabilitetsförbättrande åtgärder

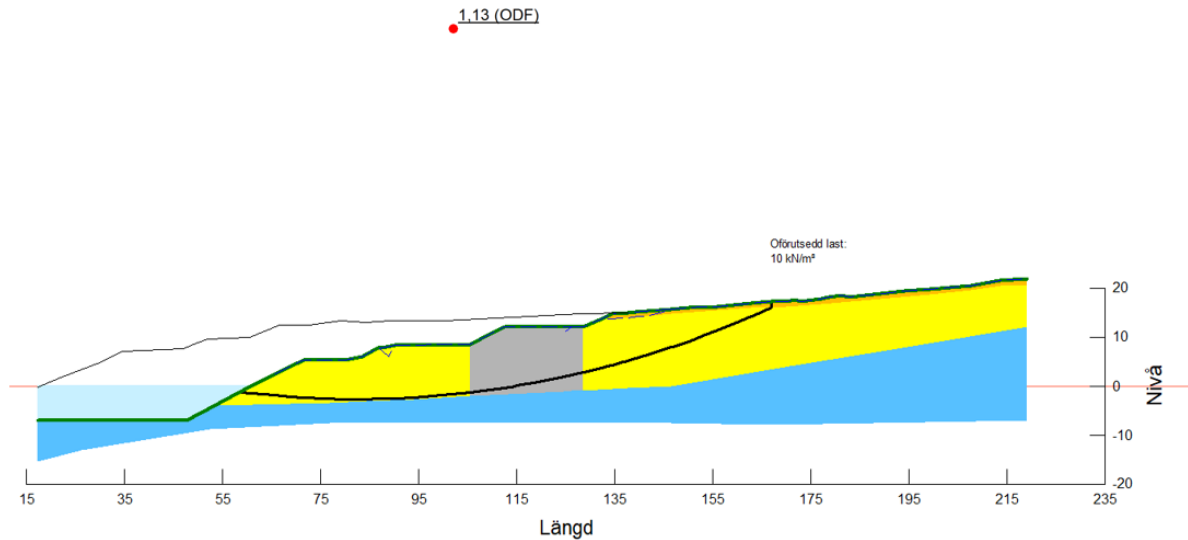
Alternativ på stabilitetsförbättrande åtgärder har utvärderats och för att undvika vidare intrång i befintlig slänt har djupstabilisering i form av installation av inblandningspelare beräknats. Pelarna installeras i dubbla skivor med c-c avstånd 2,7 m. Det innebär en täckningsgrad på ca 36%. Använd hållfasthetsfunktion för djupstabilisering redovisas i Bilaga 5. Pelarna installeras i övre delen av släntområdet för att få ut mest effekt av pelarnas funktion i glidytagens aktiv- och direktzon. Pelarna installeras till fast botten vilket motsvarar en pelarlängd på ca 13 m. Installation av inblandningspelare påverkar endast ytbeskaffenheten under byggtid, efter installation kan ytbeskaffenheten återgå till dagens förhållanden.

Erhållet resultat vid stabilitetsberäkningar med stabilitetsförbättrande åtgärd i form av inblandningspelare redovisas i Tabell 47 och Bilaga 7 där samtliga säkerhetsfaktorer ska uppfylla krav $F_{EN} \geq 1,1$. Framtagen lösning med en gynnsam geometri och åtgärd i form av inblandningspelare uppfyller ställda krav. Justerad farled med släntutformningen som krävs för att uppfylla ställda krav innebär att fastigheterna Lilla Edet Parkudden 1:7 och 1:6 påverkas.

Tabell 47: Resultat stabilitetsberäkning med stabilitetsförbättrande åtgärd i sektion 1/370.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})	Krav
Odränerad	Justerad farled - Inblandningspelare	10 kPa – utbredd last	1,10	$F_{EN} \geq 1,1$
Kombinerad	Justerad farled – Inblandningspelare	10 kPa – utbredd last	1,13	$F_{EN} \geq 1,1$

Geometri av sektion 1/370 med inblandningspelare och typ av kritiska glidytor som förekommer inom sektionen illustreras i Figur 53.



Figur 53: Illustration av geometri med lättfyllning och glidyta i sektion 1/370.

10.7.3. Sektion 1/440

Sektion 1/440 är placerad söder om befintlig sluss i höjd med villaområdet längs Strandvägen. Vid nybyggnation av slussen innebär det att farleden förflyttas väster ut. Ny strandkant ligger 14 m väster om dagens strandkant. Utöver detta intrång kommer även nya slänter och avschaktningsplan i kombination med förstärkningsåtgärder medföra ett intrång i befintlig slänt för att skapa en geometrisk utformning som uppfyller ställda stabilitetskrav.

10.7.3.1. Val av jordparametrar

Jordlagerföljden består av ett tunt lager torrskorpelera ovan lera med mäktighet på ca 15 m. Lermäktigheten minskar/avtar mot älven. Leran vilar på morän och berg. Närmast älven återfinns moränen ytligt och överlagras således inte av lera. Kvikklera förekommer inom området från nivå +2 och ned till moränen. Jordparametrar för sektion 1/440 baseras på undersökningar inom delområde 6 som sträcker sig mellan km 1/350–1/550 (Söder 2). Valda geotekniska parametrar redovisas i Tabell 44 och i diagramform i Bilaga 2.

10.7.3.2. Val av laster

I befintliga förhållanden ansätts en trafiklast (15 kN/m²) på Strandvägen och en last på 10 kN/m² inom fastigheten för att representera byggnader inom området. För planerade förhållanden används en utbredd oförutsedd last på 10 kN/m². Denna ytlast representerar en oförutsedd markhöjning om 0,5 m som tillåts utan beviljat marklov.

10.7.3.3. Val av porvattentryck

I sektion 1/440 baseras portrycksmodelleringen på 3 st portrycksstationer samt 2 st grundvattenrör. Mätningar har utförts under en tidsperiod på minst 3 månader. En portrycksprognostisering av dimensionerande maxvärde har utförts och används vid beräkning. Uppmätta och valda prognostiserade värden redovisas i Bilaga 1.

- Portrycksstation R13204 är installerad vid släntfot endast några meter från älvkanten. Mätarna sitter på 3 resp. 8 m djup. Utförda mätningar visar på en hydrostatisk portrycksprofil ned till 3 m djup och en nolltrycksnivå 1,8 m under markytan. Därefter förändras förhållandena och tryckökningen per meter minskar. Från 3 till 8 meters djup är tryckökningen ca 8 kPa/m. Enligt prognostisering av dimensionerande maxvärde med en återkomst på 100 år ökar nolltrycksnivån med 0,6 m.
- Portrycksstation 22W861 är placerad i slänten på ett befintligt avschaktningsplan ca 25 m från älvkanten. Punkten omfattar även ett grundvattenrör. Portrycksmätare sitter på 4 och 8 m djup och grundvattenröret går ner till djup 16 m under markytan. Mätningarna visar på en hydrostatisk portrycksprofil ned till djup 4 m och en nolltrycksnivå som ligger 3 m under markytan. Därefter förändras portrycksförhållandena och ökningen minskar till 8 kPa/m genom den resterande delen av lerprofilen. Grundvattenröret har en uppmätt nolltrycksnivå som ligger 5,3 m under markytan. Vid prognostisering av dimensionerande maxvärde erhålls en nolltrycksnivå som är 0,4 m högre än uppmätt nolltrycksnivå.
- Grundvattenrör 22W862GV ligger på släntkrön ca 55 m från älvkant och är installerat på 19 meters djup. Enligt utförda mätningar ligger nolltrycksnivån i grundvattenröret på 2,8 m under markytan. Vid prognostisering av dimensionerande maxvärde ökar nolltrycksnivån med 1,7 m.
- Portrycksstation R13205 är installerad på släntkrön ca 55 m från älvkanten. Portrycksmätare är installerade på 4, 8 och 14 m djup. Enligt utförda mätningar ligger nolltrycksnivån 1,3 m under markytan med en hydrostatisk portrycksprofil i den övre delen av jordprofilen. Därefter förändras portrycksförhållandena och från 4 till 8 m djup är tryckökningen endast 7 kPa/m. Mot djupet avtar ökningen och är i stort sett konstant ned till djup 14 m med en trycknivå på 70 kPa. Vid utförd portrycksprognostisering ökar dimensionerande maxnivå med 0,9 m.

10.7.3.4. Beräkningsresultat befintliga förhållanden

Sammanställning av resultat från utförda stabilitetsberäkningar för befintliga förhållanden i Geostudio SLOPE/W redovisas i Tabell 48 och Bilaga 6.

Tabell 48: Resultat stabilitetsberäkning för befintliga förhållanden i sektion 1/440.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})
Odränerad	Befintliga förhållanden	Trafiklast 10 kPa Byggnad 10 kPa	1,12
Kombinerad	Befintliga förhållanden	Byggnad 10 kPa	1,10

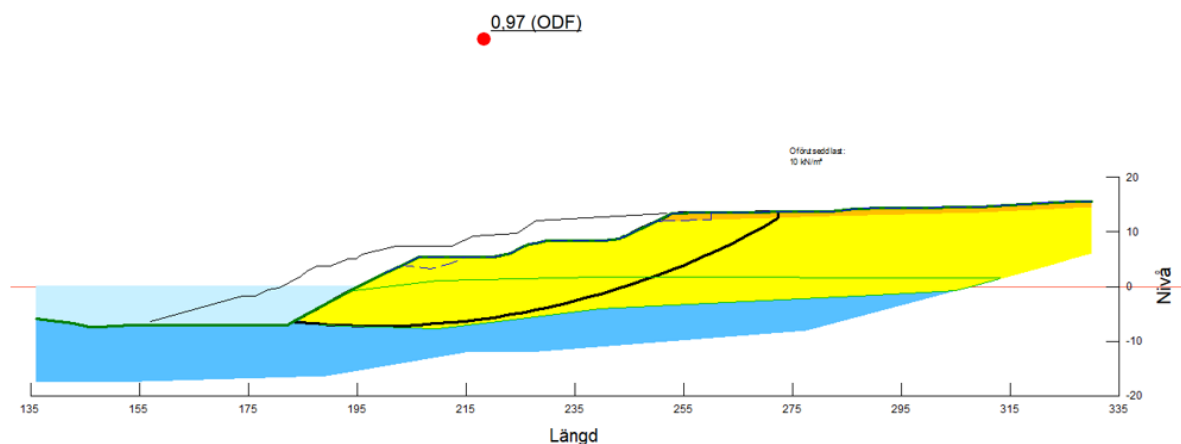
10.7.3.5. Beräkningsresultat justerad farled (1/440)

Sektion 1/440 är belägen i området där justerad farled har börjat svänga tillbaka för att kunna ansluta till underfarten under bron för väg 167. Släntutformning med avschaktningssplan för sektion 1/440 är framtagen för nya förhållanden med justerad farled med hänsyn till att bidra till gynnsamma stabilitetsförhållanden. Intrånget som blir i befintlig slänt till följd av anläggning av justerad farled är att ny strandkant är ca 14 m in i befintlig slänt i jämförelse med dagens strandkant. Erhållet resultat vid stabilitetsanalyser med hänsyn till nya förhållanden redovisas i Tabell 49 och Bilaga 7 där samtliga säkerhetsfaktorer ska uppfylla krav $F_{EN} \geq 1,1$. Stabilitetsanalysen visar att krav på säkerhetsfaktor i sektion 1/440 inte uppfylls med enbart en gynnsam geometri. För att uppnå ställda stabilitetskrav erfordras någon form av stabilitetsförbättrande åtgärd. Stabilitetsanalyser har utförts med hänsyn till förhöjt portryck enligt framtida klimatpåverkan. Samtliga beräkningar har utförts med hänsyn till att en övermuddring på 0,5 m kan ske vid anläggning av ny farled.

Tabell 49: Resultat stabilitetsberäkning justerad farled i 1/440.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})	Krav
Odränerad	Ny farled	10 kPa – utbredd last	0,88	$F_{EN} \geq 1,1$
Kombinerad	Ny farled	10 kPa – utbredd last	0,97	$F_{EN} \geq 1,1$

Geometri av sektion 1/440 och typ av kritiska glidytor som förekommer inom sektionen illustreras i Figur 54.



Figur 54: Illustration av geometri och glidyta i sektion 1/440.

10.7.3.6. Resultat stabilitetsförbättrande åtgärder

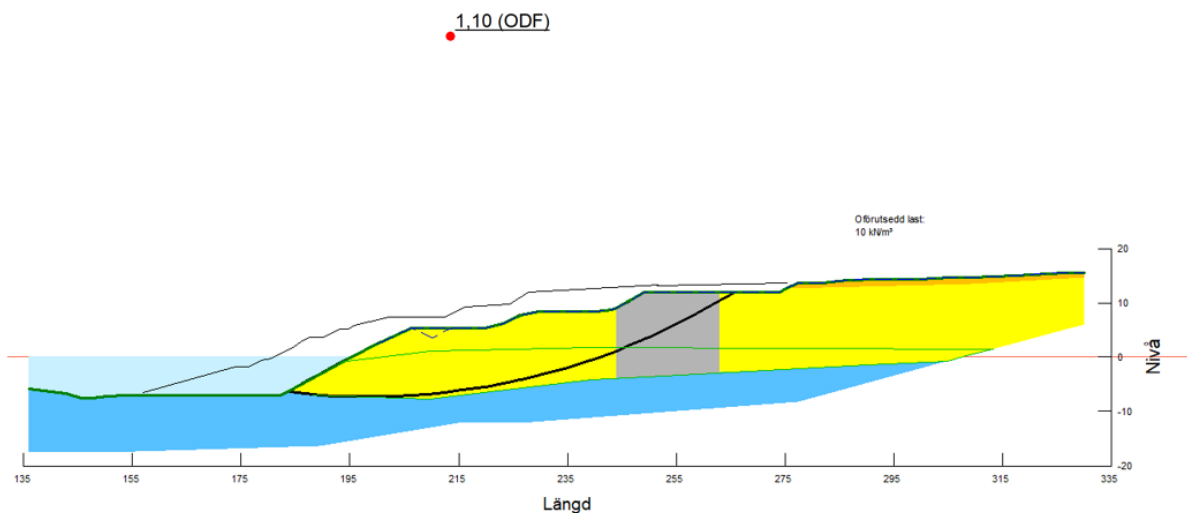
För att uppfylla ställda stabilitetskrav i sektion 1/440 krävs stabilitetsåtgärder utöver en gynnsam släntgeometri. Alternativ på stabilitetsförbättrande åtgärd som studerats är att stabilisera jorden med hjälp av djupstabilisering i form av inblandningspelare. Inblandningspelarna installeras i dubbla skivor med ett c-c avstånd mellan skivorna på 2,7 m. Det innebär en täckningsgrad på ca 36%. Använd hållfasthetsfunktion för inblandningspelare redovisas i Bilaga 5. Pelarna placeras i övre delen av slänten för att få ut mest effekt av åtgärdsmetoden i glidyornas aktiv- och direktzon. Pelarna installeras till fast botten vilket motsvarar en pelarlängd på ca 15 m. Installation av inblandningspelare påverkar endast ytbeskaffenheten under byggtid, efter installation kan ytbeskaffenheten återgå till dagens förhållanden.

Utöver en gynnsam geometri och djupstabilisering med inblandningspelare erfordras ytterligare avschaktning på slänkrön för att uppfylla kraven. Erhållet resultat vid stabilitetsberäkningar med stabilitetsförbättrande åtgärd i form av inblandningspelare och ett extra avschaktningsplan redovisas i Tabell 50 och Bilaga 7. Samtliga säkerhetsfaktorer ska uppfylla krav $F_{EN} \geq 1,1$. Avschaktningen sker ner till nivå +12 och bredden på avschaktningsplanet är ca 21 m. Justerad farled med släntutformningen som krävs för att uppfylla ställda krav innebär att fastigheterna Lilla Edet Parkudden 1:3 – 1:7 påverkas. Framtagen lösning med en gynnsam geometri och åtgärd i form av inblandningspelare uppfyller ställda krav.

Tabell 50: Resultat stabilitetsberäkning med stabilitetsförbättrande åtgärd i sektion 1/440.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})	Krav
Odränerad	Justerad farled - Inblandningspelare	10 kPa – utbredd last	1,08	$F_{EN} \geq 1,1$
Kombinerad	Justerad farled – Inblandningspelare	10 kPa – utbredd last	1,10	$F_{EN} \geq 1,1$

Geometri av sektion 1/440 med stabilitetsförbättrande åtgärder och typ av kritiska glidytor som förekommer inom sektionen illustreras i Figur 55.



Figur 55: Illustration av geometri med inblandningspelare och glidyta i sektion 1/440.

10.7.4. Sektion 1/490

Sektion 1/490 ligger längst söderut i området, precis norr om Lilla Edet bron, i den sista delen av farledenssträckan som ska utökas. I denna sektion innebär breddningen av farleden att strandkanten flyttas 6 m i förhållande till dagens farledsplacering. Utöver dessa tillkommer ytor i befintlig slänt där avschaktningsplan ska anordnas för att ställda stabilitetskrav ska uppfyllas. Vid Lilla Edet bron är justerad farled åter i positionen för befintlig farled.

10.7.4.1. Val av jordparametrar

Förutsättningarna i denna sektion är lik de som antagits för sektion 1/440. Jordlagerföljden representeras av torrskorpelera på lera som vilar på morän ovan berg. Torrskorpeleran förekommer bara i området bakom släntkrön och har där en mäktighet på ca 1,5 m. Lerdjupet inom sektionen uppgår emot 22 m och avtar i riktning mot älven. Under älven utgörs botten av morän och leran är sedan tidigare borttagen vilket gjordes när farleden ursprungligen anlades vid förra sekelskiftet. Jordparametrar för sektion 1/490 baseras på delområdet som sträcker sig mellan km 1/350–1/550 (Söder 2). Valda geotekniska parametrar redovisas i Tabell 44 och i diagramform i Bilaga 2.

10.7.4.2. Val av laster

Befintliga laster inom sektionen representeras endast av en 5 kN/m² på befintlig GC-bana. För planerade förhållanden med justerad farled har en utbredd last på 10 kN/m² använts. Denna ytlast representerar en oförutsedd markhöjning om 0,5 m som tillåts utan beviljat.

10.7.4.3. Val av porvattentryck

I sektion 1/490 finns ett mätvärde från en portrycksmätare. Denna mätning är gjort i punkt 8903A19 som ligger i slänten ca 15 m från älven. Enligt utförd mätning i denna punkt ligger nolltrycksnivån ca 3 m under markytan. Uppmätta värden redovisas i Bilaga 1.

Vid modellering i denna sektion har hänsyn tagits till denna mätning och resultat från portrycksprognostisering och mätning i sektion 1/440 som har liknande förutsättningar. Vid släntkrön antas portrycksfördelningen har ett nolltryck vid 1,3 m under markytan för att sedan öka med hydrostatisk tryckökning ned till djup 4 m. Därefter ändras förhållandena och tryckökningen per meter avtar för att möta trycknivån i moränen, ca 7 kPa/m. Vid släntfot antas en hydrostatisk tryckfördelning med nolltrycknivå vid älvens nivå. Hänsyn till framtida trycknivån tas genom att använda en höjd portryckssituation med 1 m som erhållits i utförd prognostisering av dimensionerande maxvärden i sektion 1/440.

10.7.4.4. Beräkningsresultat befintliga förhållanden

Sammanställning av resultat från utförda stabilitetsberäkningar för befintliga förhållanden i Geostudio SLOPE/W redovisas i Tabell 51 och Bilaga 6.

Tabell 51: Resultat stabilitetsberäkning för befintliga förhållanden i sektion 1/490.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F _{EN})
Odränerad	Befintliga förhållanden	GC-bana 5 kPa	1,44
Kombinerad	Befintliga förhållanden	-	1,33

10.7.4.5. Beräkningsresultat justerad farled (1/490)

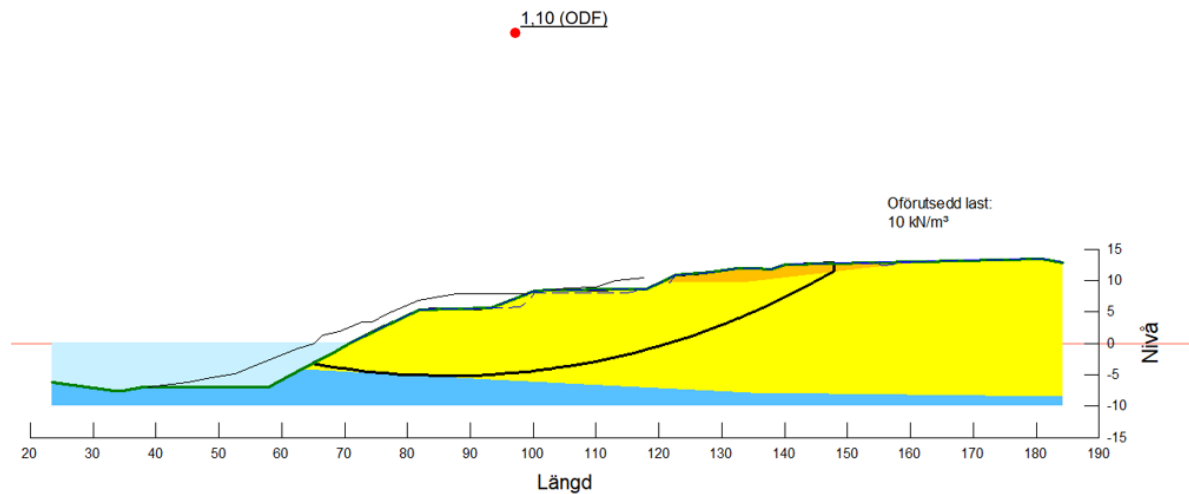
Sektion 1/490 är belägen i södra delen av nytt farledsområde, precis innan bron för väg 167 över Göta älv. Vid anläggning av justerad farled har en släntgeometri med avschaktningsplan tagits fram för att bidra till gynnsamma stabilitetsförhållanden. Ny strandkant för justerad farled är gör intrång med ca 6 m i befintlig slänt i jämförelse med dagens strandkant. Erhållet resultat vid stabilitetsberäkningar med hänsyn till nya förhållanden redovisas i Tabell 52 och Bilaga 7 där samtliga säkerhetsfaktorer ska

uppfylla $F_{EN} \geq 1,1$. Stabilitetsanalysen visar att säkerhetsfaktorn i sektion 1/490 uppfylls med en gynnsam släntutformning. Inga ytterligare stabilitetsåtgärder erfordras. Stabilitetsanalyser har utförts med hänsyn till förhöjt portryck enligt framtida klimatpåverkan. Samtliga beräkningar har utförts med hänsyn till att en övermuddring på 0,5 m kan ske vid anläggning av ny farled.

Tabell 52: Resultat stabilitetsberäkning justerad farled i 1/490.

Analys	Beskrivning	Last	Resultat (F_{EN})	Krav
Odränerad	Ny farled	10 kPa – utbredd last	1,10	$F_{EN} \geq 1,1$
Kombinerad	Ny farled	10 kPa – utbredd last	1,10	$F_{EN} \geq 1,1$

Geometri av sektion 1/490 och typ av kritiska glidytor som förekommer inom sektionen illustreras i Figur 56.



Figur 56: Illustration av geometri och glidyta i sektion 1/490.

10.8. Delområde 7 – 0/500–1/000 (Älv norr)

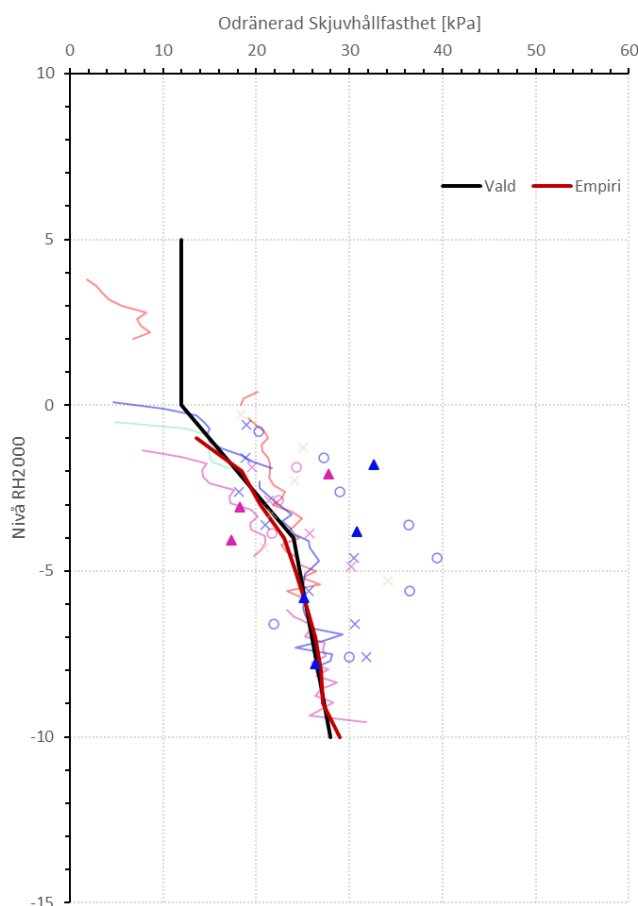
10.8.1. Materialparametrar

Geotekniska parametrar för delområde 7 (Älv norr) redovisas i Bilaga 2. Detta delområde består endast av jord under Göta älv norr om slussen. Utvärderat värden på naturlig vattenkvot i upptagna prover varierar mellan 26 och 73%. Uppmätt konflytgräns varierar mellan 22 och 52%. Både vattenkvoten och konflytgränsen har en ökande trend ned till ca nivå -2, därefter avtar parametrarna mot djupet.

Rutinförsök visar att älvlerans densitet varierar mellan ca 1,57–1,91 t/m³. Utvärderad odränerad skjuvhållfasthet från sonderingar och provning in-situ och i laboratoriet redovisas i Figur 57. Den odränerade skjuvhållfastheten har ett värde på 12 kPa i övre delen av lerlagret och ökar därefter mot djupet upp emot 28 kPa.

Sensitiviteten varierar mellan 48 och 173, vilket medför att leran klassificeras som högsensitiv. I området närmare slussen och vid Torna dal i anslutning till ett sandskikt är den omrörd skjuvhållfasthet lägre än 0,4 kPa i hela jordprofilen. Detta medför att hela lerprofilen från ca +0 (älvbotten) ned till bottenmoränen klassificeras som kvicklera i dessa områden.

Under älven är leran starkt överkonsoliderad med en överkonsolideringsgrad OCR på ca 12 i övre delen av lerprofilen och OCR runt 3 i nedre delen av profilen. Orsaken till den höga överkonsolideringen är den avlastning som muddring/erosion av befintlig farled har givit upphov till.



Figur 57: Vald odränerad skjuvhållfasthet (korrigerad) delområde 7 0/500–1/000 (Älv norr).

Tabell 53: Valda värden på jordparametrar Delområde 7 – 0/500–1/000 (Älv norr).

Delområde 7					
Jordlager	Egenskaper	Enhet	Valt värde X	Karakteristiska värden X_k	Dimensionerande värden X_d
Lera 1 My till +0	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	16,2	16,2	16,2
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	16,2	16,2	16,2
	Hållfasthet	$c_u = \text{kPa}$	12 z=0 vid +5	12 z=0 vid +5	8 z=0 vid +5
		$c' = \text{kPa}$	7,1	7,1	5,5
		$\varphi' = ^\circ$	30	30	23,9
Lera 2 +0 till -4	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	16,2	16,2	16,2
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	16,2	16,2	16,2
	Hållfasthet	$c_u = \text{kPa}$	12 + 3z z=0 vid +0	12 + 3z z=0 vid +0	8 + 2z z=0 vid +0
		$c' = \text{kPa}$	7,1	7,1	5,5
		$\varphi' = ^\circ$	30	30	23,9
Lera 2 -4 till uk lera	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	18,5	18,5	18,5
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	18,5	18,5	18,5
	Hållfasthet	$c_u = \text{kPa}$	24 + 0,7z z=0 vid -4	24 + 0,7z z=0 vid -4	16 + 0,5z z=0 vid -4
		$c' = \text{kPa}$	7,1	7,1	5,5
		$\varphi' = ^\circ$	30	30	23,9
Bottenmorän	Tunghet	$\gamma = \text{kN/m}^3$	18	18	18
		$\gamma_m = \text{kN/m}^3$	20	20	20
	Hållfasthet	$\varphi' = ^\circ$	40	40	32,8

11 Resultat stabilitetsanalyser för befintliga förhållanden

Utförda beräkningar redovisas i Tabell 54 nedan. För befintliga förhållanden uppfyller stabiliteten nyexploateringskravet i huvuddelen av sektionerna, med undantag av rödmarkerade; sektion 0/500 vid Torna dal Ryk samt sektionerna 0/900 och 0/980 strax uppströms slussen. Jämförs dessa i stället mot resultatet från kompletterande beräkningar med totalsäkerhetsmetoden uppfyller samtliga sektioner kraven för befintlig bebyggelse och anläggning ($F_C \geq 1,4-1,3$ och $F_{KOMB} \geq 1,2-1,3$), med undantag för sektion 0/900 som inte uppnår det övre värdet av intervallet. I sektion 0/900 är det dock enbart den korta bakslänten som inte uppfyller kravet och orsaken till detta är att slänten lokalt är brant i kombination med att torrskorpan i beräkningen antas helt uppsprucken, vilket är ett försiktigt antagande och ger ett stort genomslag på beräknad säkerhetsfaktor.

Tabell 54: Resultat stabilitetsberäkningar befintliga förhållanden med partialkoefficient- och totalsäkerhetsmetoden.

Sektion	Partialkoefficientmetoden, krav för nyexploatering enligt IEG 6:2008		Totalsäkerhetsmetoden, krav befintlig bebyggelse och anläggning enligt IEG 4:2010 (Fördjupad utredning)	
	Odränerad ($F_{EN} \geq 1,0$)	Kombinerad ($F_{EN} \geq 1,0$)	Odränerad ($F_C \geq 1,4$)	Kombinerad ($F_{KOMB} \geq 1,3$)
0/500	0,94	0,98	1,40	1,36
0/630	1,31	1,29	1,97	1,92
0/740	1,18	1,27	1,79	1,91
0/820	1,52	1,52	2,26	2,27
0/900	1,13	0,89	1,69	1,23
0/980	1,01	0,97	1,52	1,40
1/110	1,04	1,03	1,56	1,54
1/210	1,10	1,10	1,66	1,65
1/240	1,18	1,22	1,79	1,74
1/320	1,35	1,02	1,81	1,33
1/370	1,19	1,20	1,75	1,78
1/440	1,12	1,10	1,69	1,57
1/490	1,44	1,33	2,07	1,73

12 Slutsats

Med en anpassad släntutformning och installation av inblandningspelare i utrymmeskrävande släntavsnitt uppnås en fullgod stabilitet längs hela farledenssträckan och för området kring slussen. Även området norr om Strömsbäcken (Torna dal) kommer att åtgärdas. Stabiliteten uppfyller rekommenderad säkerhetsnivå för säkerhetsklass 3 ($F_{EN} \geq 1,1$), vilket är den högsta klassen enligt Trafikverkets regelverk.