

PM Geoteknik

Lilla Edets Kommun

Västra älvstranden, fördjupad utredning

Mellersta delområdet

Slutrapport

Göteborg 2015-05-18

Västra älvstranden, fördjupad utredning

Mellersta delområdet

PM Geoteknik

Datum	2015-05-18
Uppdragsnummer	61461253085-03
Utgåva/Status	Slutrapport

Britt-Marie Henningsson
Uppdragsledare

T Kristensson, M Dreifaldt
Handläggare

Carl Olof Modin
Granskare

Ramboll Sverige AB
Skeppsgatan 5
211 11 Malmö

Telefon 010-615 60 00
Fax 010-615 20 00
www.ramboll.se

Unr 61461253085-03 Organisationsnummer 556133-0506

Innehållsförteckning

1.	Objekt och uppdrag	1
2.	Denna handling	2
2.1	Underlag för utredningen	2
3.	Områdesbeskrivning	3
3.1	Topografi	3
3.2	Geologi	3
3.3	Befintliga konstruktioner och bebyggelse	5
3.4	Geotekniska förhållanden, översiktligt	5
3.5	Hydrogeologiska förhållanden, översiktligt	6
4.	Beräkningsförutsättningar och resultat	7
4.1	Jordparametrar	7
4.2	Laster	8
4.3	Erforderlig säkerhetsfaktor	8
4.4	Beräkningsprogram	9
4.5	Portrycksprognos	9
4.6	Områdesindelning och val av sektioner	9
4.7	Sektion 31/625	9
4.8	Sektion 31/745	11
4.9	Sektion 31/825	12
4.10	Sektion 31/920	14
4.11	Sektion 32/110	16
4.12	Resultat	18
5.	Slutsatser och rekommendationer	19

Bilagor

Valda jordparametrar	Bilaga 1
Valda porvattentryck	Bilaga 2
Gynnsamma och ogynnsamma förutsättningar	Bilaga 3
Beräkningsrapporter, befintlig situation	Bilaga 4
Beräkningsrapporter, föreslagna åtgärder	Bilaga 5
Kvicklereutvärdering från CPT	Bilaga 6
Bedömd utbredning av skred	Bilaga 7
Bedömd utbredning åtgärdsförslag	Bilaga 8

Västra älvstranden, fördjupad utredning PM Geoteknik

1. Objekt och uppdrag

Ramböll Sverige AB har på uppdrag av Lilla Edet kommun utfört en fördjupad stabilitetsutredning längs Göta älvs västra älvstrand i Lilla Edet. Det studerade området sträcker sig från Strömsbäcken i norr och cirka 2 km söderut, se *Figur 1*. Stabilitetsutredningen är uppdelad på tre delområden: norra-, mellersta- och södra delområdet.

Denna handling redovisar stabilitetsutredningen för det mellersta delområdet. Det mellersta delområdet sträcker sig, längs Göta Älvs västra strand i Lilla Edet, från Ljungskilevägen i norr till Sundöregatan i söder, se *Figur 1*.



Figur 1. Översiktskarta över det studerade området längs västra älvstranden, Lilla Edet, samt röda markeringar som visar indelning av delområden.

Statens geotekniska institut hade under 2009-2011 ett regeringsuppdrag att utföra en skredriskutredning längs Göta älv dalen. Denna utredning visade att stora delar av älv dalen hade otillfredsställande stabilitetsförhållanden. En fördjupad stabilitetsutredning har därför utförts i det aktuella området då större delen av det aktuella området klassats som ett område med medel till hög skredrisk i Göta älv utredningen.

I uppdraget ingår att utföra geotekniska undersökningar, beräkna släntstabiliteten och översiktligt föreslå åtgärder för det områden som inte uppnår erforderlig säkerhet mot skred.

2. Denna handling

Denna handling utgör en redovisning av den fördjupade stabilitetsutredning som utförts. Utredningen följer Svensk standard SS-EN 1997-1:2005 (Eurokod 7) och dess nationella tillämpningsdokument; IEG Rapport 4:2010 som är en vägledning för tillämpning av Skredkommissionens rapporter 3:95 och 2:96 (delar av).

Redovisning av den geotekniska undersökningen och uppmätta värden redovisas i en separat Markteknisk Undersökningsrapport (MUR).

2.1 Underlag för utredningen

- [1] Markteknisk undersökningsrapport (MUR), upprättad av Ramböll Sverige AB, daterad 2015-05-18.
- [2] Västra älvstranden, Lilla Edet, Geotekniskt PM, Stabilitetsutredning, Upprättat av Tyrens, daterat 2012-03-30, internt uppdragsnummer: 230913.
- [3] Göta älvutredningen, GÄU-delrapport 28, Metodbeskrivning sannolikhet för skred: Kvantitativ modell.
- [4] Skredkommissionens rapport 3:95, Anvisningar för släntstabilitetsutredningar.
- [5] IEG Rapport 4:2010, Tillståndsbedömning/klassificering av naturliga slänter och slänter med befintlig bebyggelse och anläggningar.
- [6] Göta älvutredningen, GÄU-delrapport 29, Kartering av kvicklereförekomst för skredanalyser inom Göta älvutredningen.
- [7] Göta älvutredningen, GÄU-delrapport 32, Hantering av kvicklereförekomst vid stabilitetsbedömning för Göta älv.
- [8] SGI Information 3, Skjuvhållfasthet – Utvärdering i kohesionsjord.
- [9] TK Geo 11, Trafikverkets tekniska krav för geokonstruktioner. Trafikverket.
- [10] Väg 167 Ljungskile – Lilla Edet, delen genom Lilla Edet, Bygghandling, Byggnadsteknisk beskrivning. Grund-förstärkningsarbeten, upprättad av Statens Geotekniska Institut, daterad 1982-07-30, Dnr. 2-327/79.
- [11] Västra Älvstranden fördjupad utredning, Södra delområdet, PM Geoteknik. Upprättat av Ramböll Sverige AB, daterad 2013-12-09.
- [12] Västra Älvstranden fördjupad utredning, Norra delområdet, PM Geoteknik. Upprättat av Ramböll Sverige AB, daterad 2013-12-10.

3. Områdesbeskrivning

Området karakteriseras av lerslänter ner mot Göta älv och området består i huvudsak av mindre skogspartier närmast älven följt av bostadsområden nära släntkrön. I området finns Ströms sluss samt en bro över älven.

Marken i området utgörs till stora delar av lös lera som på flera platser inom området klassas som kvicklera.

Nedan beskrivs topografin, geologin, översiktliga geotekniska- och hydrogeologiska förhållanden för det mellersta delområdet. Mer detaljerad geoteknisk beskrivning för respektive sektion ges i kapitel 4.

I denna rapport hänvisas vid flertalet tillfällen till sektionsnumreringar. Dessa utgår från älvens längdmätning och redovisas tillsammans med resultaten i Bilaga 7.

3.1 Topografi

Området sluttar generellt svagt ner mot älven. Närmast älven övergår den svaga lutningen till en brantare slänt med varierande antal terrasseringar. I mitten av området finns dock ett högre berg beläget med en topp på nivå +29.

Markytans nivå längst västerut i delområdet ligger på nivå +20-25 m och sluttar sedan svagt ner mot älven. Släntkrönet längs sträckan ligger på nivåer mellan +12-14 m.

Längst norrut i området intill Ströms sluss ligger släntkrönet på nivå +13 och släntfot innan slussen på nivå +8,5, slänten har en lutning på ca 1:2,3.

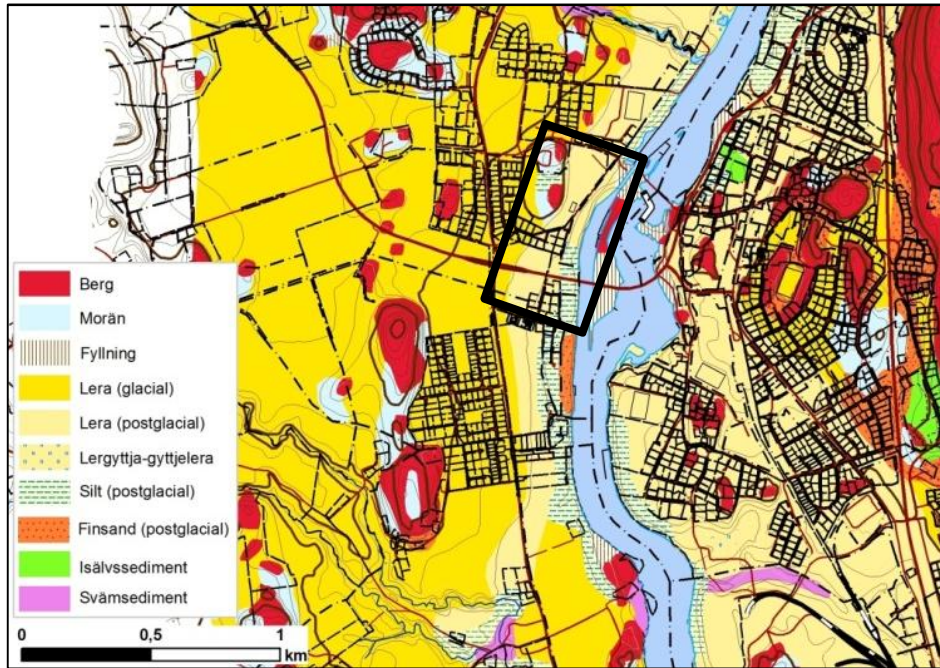
Strax söder om Ströms sluss är släntlutningen fortsatt ca 1:2,3 men brantaste delen av slänten är här något kortare och flackas av redan kring nivå +11.

I höjd med korsningen mellan Parkvägen och Strandvägen påbörjas en terrassering av slänten som sträcker sig söderut mot bron över älven och fortsätter sedan söder om denna ner till Sundöregatan. Terrasseringen sker först i två steg för att längre söderut övergå till tre steg. Släntkrönet ligger längs denna sträcka kring +12,5 m och terrasseringarna ligger ungefär på nivåerna +9 m, +7 m och +3,5 m. Älvens botten ligger på nivå -7 till -8 m. De brantare partierna mellan terrasseringarna har en släntlutning på mellan ungefär 1:1,5 till 1:2,5.

3.2 Geologi

Göta älvdalens geologi utgörs av berghöjder som delvis täcks av tunna moränlager och som övergår i lertäckta lågområden som sluttar i etapper mot älven. Denna geologi har skapats under de sista 14 000 åren i och med att inlandsisen drog sig tillbaka. Under tillbakadragandet bildades de moräner som idag överlagras berggrunden under leran med varierande mäktighet.

SGU:s jordartskarta visar att stora delar av området utgörs av lera, både glacial och postglacial, samt inslag av postglacial silt närmast älvstranden, se Figur 2 (den svarta ramen i figuren visar ungefärligt läge för aktuellt utredningsområde).



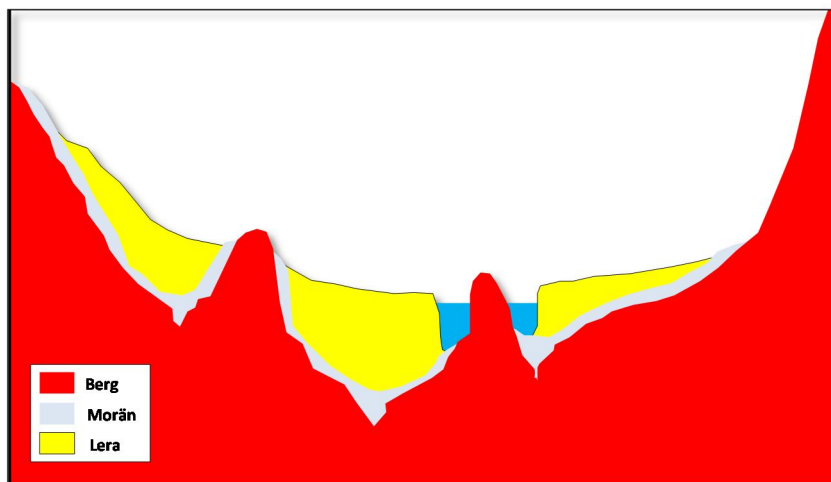
Figur 2 SGUs Jordartskarta över området.

Under perioden då större delar av området täcktes av hav avsattes lera över stora områden. Allt eftersom landet höjde sig ur havet eroderades äldre sediment av havet då allt större områden hamnade ovanför havsnivån. Detta märks på de renspolade bergområdena och på förekomsten av svålsediment i form av finsand ovanför lera och morän främst utmed bergsidor öster om älven. Även efter att isen dragit sig längre från området och stora delar av höjdområdena höjt sig ur havet avsattes postglacial lera i de lugnare vattnen i den smala havsvik som fanns kvar.

Under i princip hela perioden då lera avsattes fanns ett språngskikt i havet där det tyngre, salta, havsvattnet låg närmast botten medan det lättare smältvattnet från glaciärerna låg i ytan. Detta skapade förutsättningarna för avsättning av lera med salt inlagrat i strukturen som sedan kunde omvandlas till kvicklera då saltet löstes ut av sött grundvatten.

I Figur 3 visas en konceptuell modell av geologin i området. Höjdområdena öster och väster om dalgången domineras av berg i dagen. På västra älvstranden dyker också berg upp genom leran som öar i ett nord- sydliga stråk. Även ön i älven utgörs av berg. Berget överlagras av morän av begränsad mäktighet. Moränen går i dagen i randområdena där berget går i dagen. Direkt väster om älven i höjd med

ön återfinns ett betydligt mäktigare friktionslager av okänt ursprung men som skulle kunna vara någon form av fluvialt sediment.



Figur 3 Konceptuell modell av geologin inom området.

3.3 Befintliga konstruktioner och bebyggelse

I mellersta delområdet finns två bostadsområden längs Strandvägen. Bostäderna ligger cirka 70 m från älvkant kring sektion 31/900 samt 32/100. I norr vid Ströms sluss finns även ett hus alldeles intill slussen.

Längst norrut i delområdet ligger Ströms sluss som sträcker sig ca 100 m längs älven. Alldeles söder om slussen går en spont längs västra älvstranden. Sponten är slagen till 2 m djup under fast botten eller till stopp i morän och sträcker sig ca 80 m längs älvstranden. Mellan de båda nämnda bostadsområdena, i sektion 32/035 går en bro över älven. Under bron finns träkonstruktioner som används för att styra fartyg rätt i älven.

Från cirka 31/775 till cirka 31/825 finns en 100 meter lång stödmur. Denna stödmur bedöms att vara i medelmåttigt till dåligt skick.

Längs hela älvstranden finns det erosionsskydd utlagt i form av sprängsten. Vid okulär besiktning bedöms erosionsskyddet ha god kvalitet ovan vattenytan. Ingen besiktning har gjorts under vattenytan. Erosionsskyddets lägen har inte mätts in och jämförts med det ursprungliga läget.

3.4 Geotekniska förhållanden, översiktligt

Marken närmast Göta älv utgörs i mellersta delområdet av cirka 10-15 meter siltig lera som underlagras av friktionsjord. Inom stora delar av området överlagras leran av ett tunnare lager av torrskorpelera, dock ej vid terrasseringarna där avschaktning troligtvis utförts. Kring slussen och med älvkant finns friktionsjorden yttligare och minskar mäktigheten på leran.

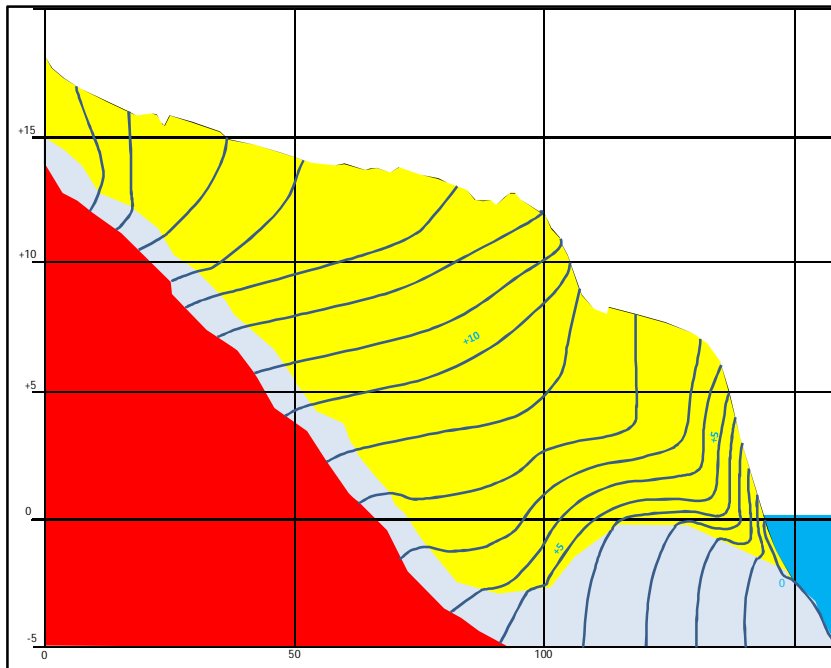
Sammanställning av lerans egenskaper redovisas i MUR [1]. I mellersta delområdet varierar lerans tunghet mellan cirka 1,50 – 1,70 t/m³ ner till nivå +4, därefter varierar den mer med flera undersökningar som visar högre tungheter. Den naturliga vattenkvoten för leran har uppmätts till mellan 22-87%. Konflytgränsen i leran är uppmätt till 30-85% inom området och den odränerade skjuvhållfastheten varierar mellan cirka 10-50 kPa. Lerans konsolideringsförhållande varierar inom området från normalkonsoliderad till svagt överkonsoliderad men även överkonsoliderad med ställvis OCR>2. För detaljerad redovisning av utvärderade samt valda jordparametrar, se Bilaga 1 samt Tabell 1-5 där respektive sektionens valda jordparametrar redovisas.

Utvärdering av totalmatningstryck från CPT-sonderingar och rutinanalyser av ostörda jordprov visar att det finns högsensitiv till kvick lera över stora delar av området. Undersökningarna är alltså inte entydiga men då utvärdering av totalmatningstryck från CPT-sonderingar visar på kvicklera spritt över hela området bör hela området klassas som kvickt. Denna tolkning stöds av att kvicklera är utbredd i områdena både norr och söder om detta delområde.

3.5 Hydrogeologiska förhållanden, översiktligt

Portrycket i leran styrs av de hydrauliska gränser som omger leran. För västra älvstranden utgörs dessa gränser i princip av trycknivån i det övre magasinet, trycknivån i det undre magasinet samt älvnivån. Portrycket ställer in sig mot det rådande trycket i dessa gränser enligt ett komplext samband där reaktionstider och anisotropi i den hydrauliska konduktiviteten hos leran påverkar. Exakt hur portrycket ser ut och varierar inom ett område är i princip omöjligt att förutsäga i detalj och skulle kräva mycket omfattande mätningar. Det går dock att komma långt genom att bygga upp en konceptuell modell där de olika hydrauliska gränserna identifieras och rimliga värden antas. I Figur 4 visas ett exempel där en enkel konceptuell modell upprättats baserat på verklig topografi och tillgängliga grundvattennivå- och portrycksmätningar samt älvnivån. I beräkningarna har den konceptuella modellen justerats med uppmätta och prognostiserade värden som beskrivs noggrannare i kapitel 4.

I mellersta delområdet är lermäktigheten betydligt mindre till största delen. Detta gör att trycknivån i det undre magasinet kommer att påverka till mycket större del. Resultatet blir att portrycket avtar relativt kraftigt mot djupet eftersom trycknivån i det undre magasinet i princip sammanfaller med älvens nivå närmast älven på grund av den direkta hydrauliska kontakten mellan älven och magasinet. Trycket i det undre magasinet ökar sedan gradvis med ökat avstånd från älven. Inom detta område kommer lokala variationer i topografi, och då inte minst i bergets topografi under leran, att få stort genomslag på portrycksfördelningen och skillnaderna kan bli stora på relativt litet avstånd. För att få detaljerad kunskap skulle det krävas här omfattande kartläggning av bergytan och mätningar av trycknivåer i det undre magasinet. Detta är med största sannolikhet ej nödvändigt eftersom bilden, oavsett variationerna, entydigt visar på sjunkande portryck mot djupet eftersom kontakten med älven är god.



Figur 4 Konceptuell modell för portrycksfördelning i en sektion i det mellersta området.

Lägsta lågvattenstånd (LLW) väljs till $-0,02$ (RH2000) för Lilla Edet nedre, enligt Gäu 28 [3]. Vidare är årligt medellågvattenstånd (MLW) $0,03$ och högsta årliga lågvattenstånd (HLW) $0,06$.

Norr om slussen har den dimensionerande vattennivå i älven valts till $+6,55$ (RH2000), enligt Gäu 28 [3], vilket är sänkingsgränsen enligt vattendom. Detta beaktas för val av porvattentryck i de sektioner som är närmast slussen då slussens lägsta lågvatten variationsvis styrs av vattennivån norr respektive söder om slussen. Vidare är årligt medellågvattenstånd (MLW) $6,81$ och högsta årliga lågvattenstånd (HLW) $6,96$ norr om slussen.

4. Beräkningsförutsättningar och resultat

4.1 Jordparametrar

De utvärderade jordparametrarna som används i beräkningarna är valda utifrån de härledda värden som redovisas i MUR [1]. Utöver de härledda värden som ses i MUR [1] har även empiriska relationer beaktats vid val av jordparametrar, som ses i Bilaga 1 samt Tabell 1-5. Empiriska relationer för odränerad skjuvhållfasthet vid direkt skjuvning har utvärderats för leran i de undersökningspunkter där CRS-försök utförts, utvärderingen har skett i enlighet med SGI Information 3, sida 13 [8].

Vid val av odränerad skjuvhållfasthet i respektive sektion har direkta skjuvförsök värderats tyngst och kolvar och vingar har värderats lågt på > 25 meters djup under markytan. Orealistiska mätresultat har bortsetts ifrån. Vidare har även sonderingar och provtagningar från närliggande sektioner beaktats vid valet av värderade medelvärden.

Vid val av konflytgräns samt densitet har ett värderande medelvärde valts utifrån de kolvprovtagningar som utförts och undersökts i laboratorium, även borrhull från närliggande sektioner har beaktats.

I de kombinerade beräkningarna har den dränerade hållfastheten i kohesionsjord uppskattats empiriskt enligt Skredkommissionens rapport 3:95 [4] där: $\Phi' = 30^\circ$ och $c' = 0,1 \cdot \tau_{fu}$.

Alla valda jordparametrar som använts i beräkningar redovisas i Bilaga 1 samt i Tabell 1-5 under respektive sektionsavschnitt nedan.

4.2 Laster

En byggnadsinventering har genomförts i området där kontroll av antal våningsplan samt källarplan har skett. Laster har modellerats utifrån anvisningar enligt IEG Rapport 4:2010 [5].

Laster från byggnader har generellt modellerats med en utbredd last om 10 kPa per våningsplan. Laster har även justerats med hänsyn till om byggnaden har en källarvåning, reducering med 20 kPa.

Trafiklast från de lokalvägar som finns inom det undersökta området har modellerats med en utbredd last om 13 kPa, vilket gäller för dimensioneringssituationer där kritisk brottyta är lång. Trafiklasterna är ej modellerade i de kombinerade analyserna då påverkan från dessa enligt TK Geo 11 [9] är försumbara vid ett dränerat skred.

Alla modellerade laster har valts konservativt för att ta hänsyn till oförutsedda mindre laster i framtiden. Valda laster för respektive sektion redovisas under respektive sektionsavschnitt.

4.3 Erforderlig säkerhetsfaktor

Riktvärden på erforderliga totalsäkerhetsfaktorer för en fördjupad stabilitetsutredning där aktuellt område klassas som "Befintlig bebyggelse och anläggning" är enligt Skredkommissionens rapport 3:95 samt IEG Rapport 4:2010:

Odränerad analys: $F_c \geq 1,4 - 1,3$
Kombinerad analys: $F_{Komb} \geq 1,3 - 1,2$

För att slänten ska klassas som stabil krävs att både den odränerade- samt kombinerade analysen uppfyller ovanstående krav. Val av säkerhetsfaktor som

ska uppfyllas inom spannet bestäms för respektive sektion och baseras på en bedömning av gynnsamma och ogynnsamma förhållanden. Dessa förhållanden finns uppräknade i Skredkommissionens rapport 3:95 samt IEG Rapport 4:2010.

Val av erforderliga säkerhetsfaktorer för respektive sektion i denna utredning presenteras och motiveras senare i rapporten, i separata avsnitt för varje sektion.

4.4 Beräkningsprogram

Stabilitetsberäkningarna har utförts med programvaran GeoStudio 2007 - Slope/W version 7.19. Odränerade- och kombinerade analyser har utförts med metoden Morgenstern & Price och sökmetoden som använts för att hitta glidytor är "Grid and Radius".

4.5 Portrycksprognos

Portrycksprognos har utförts enligt skredkommissionen [4], för 100-årsvärden. Prognosen var tänkt att göras utifrån två olika av SGUs referensrör, rör 54_9 och 53_11. Prognostiseringarna visade dock att referensrör 54_9 ger helt orimliga värden då de visar på prognostiserade värden på cirka 1,5 till >2 meter över de uppmätta värdena. Därför har prognostiseringar utifrån detta referensrör inte fullföljts eller redovisats.

Referensrör 53_11 sitter i Kungälv, vilket är längre bort än önskvärt för prognoserna. Det kan dock anses att det ändå är ett av de bättre rören för prognoser i området, då fluktuationsmönstret i referensröret och prognosrör följer varandra i stora drag. Röret sitter på 4,4 meters djup i en sluten akvifer med ett litet magasin. Rörspetsen är placerad i morän täckt av lera.

4.6 Områdesindelning och val av sektioner

Mellersta delområdet har delats in i flera mindre områden som representeras av olika beräkningssektioner. Läget av dessa redovisas i plan tillsammans med resultatet i Bilaga 7. Läget av beräkningssektionerna har valts dels beroende på vart släntgeometrin är som mest ogynnsam, och vart primärskred skulle påverka bostäder och anläggningar, men också utifrån att sektionerna ska vara representativa för hela området. De platser som haft mest ogynnsam geometri har valts från den skannade markmodell som beställdes av Lilla Edets kommun under hösten 2011. Då denna markmodell inte uppfyller kraven på noggrannhet i de områden som har kraftig vegetation, har valda sektioner mätts in med hjälp av terrester mätning och fritt etablerade stationer från GPS.

4.7 Sektion 31/625

4.7.1 Erforderliga säkerhetsfaktorer

Inför val av erforderliga säkerhetsfaktorer har släntens gynnsamma och ogynnsamma förutsättningar studerats och sammanställts i Bilaga 3. Sammanfattningsvis finns det risk för människoliv och stor ekonomisk skada om ett skred skulle uppstå. Ett stort antal undersökningar har utförts i sektionen med en liten spridning i bestämda hållfasthetsegenskaper. Släntens geometri är väl

kartlagd och det finns inga tecken på rörelser i slänten. Sektionen ligger i ett område där kvicklera förekommer.

Mot bakgrund av Bilaga 3 har erforderliga säkerhetsfaktorer för sektion 31/625 valts till:

Odränerad analys $F_C \geq 1,35$
 Kombinerad analys $F_{Komb} \geq 1,25$

4.7.2 Val av geotekniska parametrar

Resultat från geotekniska undersökningar som utförts i området samt laboratorieanalyser ligger till grund för valet av jordens geotekniska egenskaper. Valda geotekniska parametrarna för sektion 31/625 redovisas i Tabell 1 nedan. Utvärderad skjuvhållfasthet samt densitet redovisas mer utförligt i diagramform i Bilaga 1, där det även framgår vilka undersökningar som beaktats vid valet.

Tabell 1. Valda materialparametrar för sektion 31/625.

Jordlager	Nivå/Djup (m)	Odränerad skjuvhållfasthet (kPa + kPa/m)	Friktions vinkel (°)	Tunghet (kN/m ³)
Torrskorpelera	Ök. my. till varierande	30	-	18
Lera 1	Uk. Torrskorpelera till +9	18	-	15,5
Lera 2	Ca +9 till +3	$18 + 2,33 \cdot z_1$	-	15,5
Lera 3	Ca +3 till bottenmorän	$32 + 0,83 \cdot z_2$	-	18
Bottenmorän	Uk. Lera 3 till berg	-	38	20
Överbyggnad	Vägen	-	41	19

$z_1 = 0$ vid nivå +9

$z_2 = 0$ vid nivå +3

4.7.3 Val av laster

På den nedre platån vid slussen ligger ett tvåvåningshus. Lasten från detta hus är gynnsam och räknas därför inte med i stabilitetsanalysen. Huset cirka 15 meter bakom släntkrönet har en och en halv våning samt källare, vilket gör att huset inte tillför någon extra last i området. Även då det är olämpligt att påföra ytterligare last på släntkrönet modelleras en last på 5 kPa ända ut på släntkrönet (observera att en last 5 kPa motsvarar en mycket liten fyllning).

Vidare går strandvägen genom området. Trafiklasten på Strandvägen väljs till 13 kPa enligt TK Geo11 [9] då de kritiska glidytorerna är långa. Denna last medräknas ej i den kombinerade analysen.

Nordväst om strandvägen finns två parkeringsytor som modelleras med en last om 5 kPa. Även sydost om vägen finns det ytor skulle kunna användas som parkering och modelleras med 5 kPa.

4.7.4 Val av porvattentryck

I punkt R13212, som utförts intill slussen, har en portrycksmätare och ett grundvattenrör avlästs sju gånger under tre månader. Stationen visar på en portrycksökning som är mindre än hydrostatisk. Dimensionerande porvattentryck har valts till prognostiserade värden.

Punkt 1103A22 har portrycksmätare på tre nivåer och ett grundvattenrör. Stationen har lästs av fem gånger under tre månader vilket egentligen är för få mätningar och för kort tidsperiod för att göra en prognos på högsta portryck. En prognos har ändå gjorts för att ge riktvärden. Den sista av de fem mätningarna visar ett betydligt högre värde än de övriga mätningarna i tre av de fyra nivåer som mäts. Portrycket ökar något mindre än hydrostatiskt ner till sju meter under markytan. På djupen 13,1 och 13,5 meter under markytan har portrycket minskats jämfört med trycket på sju meters djup. Detta tyder på att porvattnet dräneras av till älvens nivå i närheten av bottenmoränen. 100-års prognostisering av porvattentrycket ger ett portryck motsvarande fri grundvattenyta över markytan. Detta är orimligt då det finns goda möjligheter till avrinning. Därför sätts det dimensionerade portrycket till hydrostatiskt från markytan ner till tre meter under markytan. Under tre meters djup sätts det dimensionerade portrycket till det dimensionerande 100-års värdet. Portryckssänkningen på djupen 13,1 och 13,5 meter under markytan modelleras dock inte i beräkningsprogrammet om inte det krävs för att uppnå erforderlig säkerhet mot skred i den kombinerade analysen. Minskningen av trycket sker troligtvis i närheten av det lager av friktionsmaterial som hittats på cirka 11 meters djup. Mellan 7 och 13,1 meters djup finns dock inga mätningar, därför har en ökning av trycket antagits ner till 10 meters djup.

4.8 Sektion 31/745

4.8.1 Erforderliga säkerhetsfaktorer

Inför val av erforderliga säkerhetsfaktorer har släntens gynnsamma och ogynnsamma förutsättningar studerats och sammanställts i Bilaga 3. Sammanfattningsvis finns det viss risk för människoliv om ett skred skulle uppstå. Ett stort antal undersökningar har utförts i sektionen med en liten spridning i bestämda hållfasthetsegenskaper. Släntens geometri är väl kartlagd och det finns inga tecken på rörelser i slänten. Sektionen ligger i ett område där kvicklera förekommer. Känslighetsanalys har utförts med avseende på porvattentryck.

Mot bakgrund av Bilaga 3 har erforderliga säkerhetsfaktorer för sektion 31/745 valts till:

Odränerad analys	$F_C \geq 1,35$
Kombinerad analys	$F_{Komb} \geq 1,25$

Det bör poängteras att sektionen i sig inte uppfyller kravet på antal CPT-sonderingar för en fördjupad utredning. Detta kompenseras dock av det stora

antalet vingförsök och kolvprovtagning i sektionen samt av det stora antalet sonderingar i närområdet.

4.8.2 Val av geotekniska parametrar

Resultat från geotekniska undersökningar som utförts i området samt laboratorieanalyser ligger till grund för valet av jordens geotekniska egenskaper. Valda geotekniska parametrarna för sektion 31/745 redovisas i Tabell 2 nedan. Utvärderad skjuvhållfasthet samt densitet redovisas mer utförligt i diagramform i Bilaga 1, där det även framgår vilka undersökningar som beaktats vid valet.

Tabell 2. Valda materialparametrar för sektion 31/745

Jordlager	Nivå/Djup (m)	Odränerad skjuvhållfasthet (kPa + kPa/m)	Friktions vinkel (°)	Tunghet (kN/m ³)
Torrskorpelera	Ök. my. till varierande	30	-	18
Lera 1	Uk. Torrskorpelera till +9	18	-	16
Lera 2	Ca +9 till +5	$18 + 2,5 \cdot z_1$	-	15,5
Lera 3	Ca +5 till till bottenmorän	$28 + 1,6 \cdot z_2$	-	18
Bottenmorän/Fyllning	Variерande	-	38	20

$z_1 = 0$ vid nivå +9

$z_2 = 0$ vid nivå +5

4.8.3 Val av laster

Strandvägen går genom området. Trafiklasten på Strandvägen väljs till 13 kPa enligt TK Geo11 [9] då de kritiska glidytorerna är långa. Denna last medräknas ej i den kombinerade analysen.

I området som representeras av beräkningssektionen finns ett mindre garage med en våning, direkt öster om Strandvägen. Detta är relativt långt upp i glidytan, därför modelleras inte en full last på 10 kPa (för ett våningsplan), i stället används en reducerad last på 5 kPa i beräkningen.

4.8.4 Val av porvattentryck

Punkt 8903A05 och 8903A01 har båda portrycksmätare på tre djup var. Dessa har dock bara lästs av en gång, 1984. Som i resten av området visar mätningarna på att portrycket är hydrostatiskt i den övre delen av lerprofilen för att dräneras av mot djupet. Valda dimensionerande portryck redovisas i Bilaga 2.

4.9 Sektion 31/825

4.9.1 Erforderliga säkerhetsfaktorer

Inför val av erforderliga säkerhetsfaktorer har släntens gynnsamma och ogynnsamma förutsättningar studerats och sammanställts i Bilaga 3.

Sammanfattningsvis är det risk för människoliv vid ett skred, sektionen visar dock inga tecken på rörelser i slänten. Direkta skjuvförsök har utförts i sektionen. Sektionen ligger i ett område där kvicklera förekommer.

Mot bakgrund av Bilaga 3 har erforderliga säkerhetsfaktorer för sektion 31/825 valts till:

Odränerad analys $F_C \geq 1,35$
 Kombinerad analys $F_{Komb} \geq 1,25$

4.9.2 Val av geotekniska parametrar

Resultat från geotekniska undersökningar som utförts i området samt laboratorieanalyser ligger till grund för valet av jordens geotekniska egenskaper. Valda geotekniska parametrarna för sektion 31/825 redovisas i Tabell 3 nedan. Utvärderad skjuvhållfasthet samt densitet redovisas mer utförligt i diagramform i Bilaga 1, där det även framgår vilka undersökningar som beaktats vid valet.

Tabell 3. Valda materialparametrar för sektion 31/825.

Jordlager	Nivå/Djup (m)	Odränerad skjuvhållfasthet (kPa + kPa/m)	Friktions vinkel (°)	Tunghet (kN/m ³)
Torrskorpelera	Ök. my. till varierande	30	-	18
Lera 1	Uk. Torrskorpelera/ök. my. till +5	26	-	16
Lera 2	Ca +5 till +2	$26 + 2,67 \cdot z_1$	-	16,5
Lera 3	Ca +2 till fast botten	$36 + 1,57 \cdot z_2$	-	16,5
Bottenmorän	Uk. Lera 3 till berg	-	38	20

$z_1 = 0$ vid nivå +5

$z_2 = 0$ vid nivå +2

4.9.3 Val av laster

Ovan slänten ligger ett 1,5-plans hus med källare samt två mindre lador, då det finns osäkerheter kring källarens djup samt ladornas användning modelleras hela denna yta med en utbredd last av 10 kPa. Övrig yta kring huset modelleras med en utbredd last av 5 kPa för oförutsedda laster. Trafiklasten på Strandvägen väljs till 13 kPa enligt TK Geo11 [9] då de kritiska glidyterna är långa. I den kombinerade analysen modelleras vägytan med en last av 5 kPa då det bedöms sannolikt att det stundtals står bilar parkerade vid väggkanten eller tillkommer andra oförutsedda laster.

4.9.4 Val av porvattentryck

Punkt R13208 har portrycksmätare på två djup. Dessa har lästs av sju gånger under tre månader. Mätningarna visar att portrycket ökar mindre än hydrostatiskt mot djupet. Dimensionerande porvattentryck har valts till de dimensionerande 100- årsvärdena och redovisas i Bilaga 2.

4.9.5 Bedömning av omgivningspåverkan av bakåtgripande skred
Undersökningarna visar en varierande bild av sensitiviteten i området. Den enda kolven som är utförd och undersökt visar på att leran är mellansensitiv. Två av tre CPT-sonderingar visar på kvicklera i området. Den tredje (icke kvicka) är dock bara driven till tre meters djup.

Val av n-värde saknar dock praktisk betydelse då ett $n = 8$, motsvarande sensitivitet på 35, ger att bakåtgripande skred når ända bak till fastmark. Då CPT-sonderingarna visar på kvicklera ter det olämpligt att välja ett lägre n-värde.

Eventuella bakåtgripande skred bedöms därför kunna sprida sig ända bak till partiet med fastmark.

Sensitiviteter är valda utifrån de värden som redovisas i Bilaga 1. Dessutom har kvicklereutvärderingen från CPT, som redovisas i Bilaga 6, vägts in. Denna utvärdering har gjorts enligt GÄU 29 [6].

4.10 Sektion 31/920

4.10.1 Erforderliga säkerhetsfaktorer

Inför val av erforderliga säkerhetsfaktorer har släntens gynnsamma och ogynnsamma förutsättningar studerats och sammanställts i Bilaga 3. Sammanfattningsvis är det risk för människoliv vid ett skred, sektionen visar dock inga tecken på rörelser i slänten. Direkta skjuvförsök har utförts i sektionen. Sektionen ligger i ett område där kvicklera förekommer.

Mot bakgrund av Bilaga 3 har erforderliga säkerhetsfaktorer för sektion 31/920 valts till:

Odränerad analys	$F_c \geq 1,35$
Kombinerad analys	$F_{Komb} \geq 1,25$

4.10.2 Val av geotekniska parametrar

Resultat från geotekniska undersökningar som utförts i området samt laboratorieanalyser ligger till grund för valet av jordens geotekniska egenskaper. Valda geotekniska parametrarna för sektion 31/920 redovisas i Tabell 4 nedan. Utvärderad skjuvhållfasthet samt densitet redovisas mer utförligt i diagramform i Bilaga 1, där det även framgår vilka undersökningar som beaktats vid valet.

Tabell 4. Valda materialparametrar för sektion 31/920.

Jordlager	Nivå/Djup (m)	Odränerad skjuvhållfasthet (kPa + kPa/m)	Friktions vinkel (°)	Tunghet (kN/m ³)
Torrskorpelera	Ök. my. till varierande	30	-	18
Lera 1	Uk. Torrskorpelera/ök. my. till +7.	17	-	15,5
Lera 2	Ca +7 till +1	$17 + 2,33 \cdot z_1$	-	15,5
Lera 3	Ca +1 till fast botten	$31 + 1,5 \cdot z_2$	-	16
Lera 4	Ca +3 till +1	$26,32 + 1,5 \cdot z_3$	-	15,5
Lera 5	Ca +1 till fast botten	$29,32 + 1,5 \cdot z_2$	-	16
Lera Älv	Ca 1 m mäktig från ök älvbotten	5	-	16
Bottenmorän	Uk. lera 3 till berg	-	38	20

$z_1 = 0$ vid nivå +7

$z_2 = 0$ vid nivå +1

$z_3 = 0$ vid nivå +3

4.10.3 Val av laster

Området väster om Strandvägen består av bostadshus med två våningar samt källare. För att ta hänsyn till parkerade bilar, växthus och dylikt modelleras området med en last av 5 kPa trots att bostadshusen i sig inte tillför några laster. Trafiklasten på Strandvägen väljs till 13 kPa enligt TK Geo11 [9] då de kritiska glidytorerna är långa. I den kombinerade analysen modelleras vägytan med en last av 5 kPa då det bedöms sannolikt att det stundtals står bilar parkerade vid väggkanten eller tillkommer andra oförutsedda laster. Öster om Strandvägen finns två stycken enplans garage. Då dessa är lokaliserade i bakkant för flertalet glidytor om har säkerhetsfaktorer som är i närheten av den erforderliga säkerhetsfaktorn modelleras garagen med en last på 10 kPa. Området mellan Strandvägen och garagen modelleras med en utbredd last av 5 kPa för oförutsedda laster.

4.10.4 Val av porvattentryck

Punkt R13204 har portrycksmätare på 3 olika djup. Porvattentrycket har mätts vid 7 tillfällen under 3 månader. Mätningarna visar att portrycket i princip är hydrostatiskt i ytan med en ökning som är något mindre än den hydrostatiska mot djupet. Dimensionerande porvattentryck väljs till de prognostiserade 100-årsvärdena.

Punkt R13205 har portrycksmätare på 3 djup. Dessa har lästs av sju gånger under tre månader. Mätningarna visar att portrycket i princip är hydrostatiskt i ytan med en ökning som är något mindre än den hydrostatiska ner till cirka åtta meters djup. På 14 meters djup visar mätningarna en tydlig avdränning, mot älvvattennivåer, av portrycket mot djupet. Dimensionerande porvattentryck väljs

till de prognostiserade 100-årsvärdena. Valda porvattentryck redovisas punkt för punkt i Bilaga 2 och för sektioner i Bilaga 4.

4.10.5 Bedömning av omgivningspåverkan av bakåtgripande skred
Området består av sensitiva och mot djupet kvicka till extremt kvicka leror med sensitiviteter över 200. Det finns därför en betydande risk att ett initialt skred, även ett litet, sprider sig både framåt och bakåt genom sekundärskred. Enligt GÄU delrapport 32 [7] måste man räkna med att bakåtgripande skred kan sprida sig genom hela området där kvicklera förekommer. Kolvprovtagningen i punkt 1103A26 som är belägen cirka 360 meter bakom älvstranden (ungefär vid korsningen Brovägen / Kungälvsvägen) bekräftar denna extremt kvicka leran mot djupet. Val av n-värde blir därmed irrelevant. Begränsningarna av bakåtgripande skred består av fastmarkspartier i norr och väster om området som representeras av sektionen. I söder viktas sensitiviteterna för områden söder om sektionen in i bedömningen av bakåtgripande skred. Brovägens bankpålning bör även ha en begränsande effekt av bakåtgripande skred.

Sensitiviteter är valda utifrån de värden som redovisas i Bilaga 1. Dessutom har kvicklereutvärderingen från CPT, som redovisas i Bilaga 6, vägts in. Denna utvärdering har gjorts enligt GÄU 29 [6].

4.10.6 Delen vid bron, väg 167
SGI [10] har, baserat på odränerade och dränerade stabilitetsberäkningar, angett att en avschaktning med en omfattning om 45 meters bredd på var sida om vägens mittlinje skulle ske. Detta skulle ge en säkerhetsfaktor mot skred på 2,0 och 1,5 för odränerad analys respektive dränerad analys. Baserat på höjdkurvorna verkar det som denna avschaktning har gjorts. Vegetationens ålder i slänten tyder också på att en avverkning skett i ungefärlig tidpunkt för när vägen byggdes.

SGI bedömer att avschaktningen skulle leda till att vägen skulle läggas på en, upp till 5 meter hög, bank. För att denna bank inte ska tillföra några laster till slänten har SGI föreskrivit att banken skulle bankpålas närmast brofästet. Vid bankpålningens avslut skulle sättningproblem minskas med en 5 meter lång utspetsning med lättklinkers. Detta, eller motsvarande förstärkningar har sannolikt utförts då en 5 meter hög, oförstärkt, bank inte skulle stå i dessa geotekniska förhållanden. Kraftiga problem med sättningar och stabilitet tydligt skulle märkas i vägytan.

Utifrån bygghandlingen för väg 167 [10] bedöms slänten mot Göta älv ha tillfredställande stabilitet mot skred för en uträkning på 45 meter på båda sidorna av väg 167.

4.11 Sektion 32/110

4.11.1 Erforderliga säkerhetsfaktorer
Inför val av erforderliga säkerhetsfaktorer har släntens gynnsamma och ogynnsamma förutsättningar studerats och sammanställts i Bilaga 3.

Sammanfattningsvis finns det risk för människoliv och stor ekonomisk skada om ett skred skulle uppstå. Området har liten spridning i bestämda hållfasthetsegenskaper. Släntens geometri är väl kartlagd och det finns inga tecken på rörelser i slänten. Sektionen ligger i ett område där kvicklera förekommer.

Mot bakgrund av Bilaga 3 har erforderliga säkerhetsfaktorer för sektion 32/110 valts till:

Odränerad analys $F_C \geq 1,35$
 Kombinerad analys $F_{Komb} \geq 1,25$

4.11.2 Val av geotekniska parametrar
 Resultat från geotekniska undersökningar som utförts i området samt laboratorieanalyser ligger till grund för valet av jordens geotekniska egenskaper. Valda geotekniska parametrarna för sektion 32/110 redovisas i Tabell 5 nedan. Utvärderad skjuvhållfasthet samt densitet redovisas mer utförligt i diagramform i Bilaga 1, där det även framgår vilka undersökningar som beaktats vid valet.

Tabell 5. Valda materialparametrar för sektion 32/110.

Jordlager	Nivå/Djup (m)	Odränerad skjuvhållfasthet (kPa + kPa/m)	Friktions vinkel (°)	Tunghet (kN/m ³)
Erosionsskydd	Varierande	-	45	21
Torrskorpelera	Ök. markyta till ca +11	30	-	18
Lera 1	Ca +11 till +6	18	-	15,5
Lera 2	Ca +6 till +1	$18 + 2,20 \cdot z_1$	-	15,5
Lera 3	Ca +1 till fast botten	$29 + 1,44 \cdot z_2$	-	16,5
Bottenmorän	Uk. Lera 3 till berg	-	38	20

$z_1 = 0$ vid nivå +6

$z_2 = 0$ vid nivå +1

4.11.3 Val av laster
 Lyckevägen som är placerad alldeles ovan slänten modelleras som en utbredd last av 13 kPa i den odränerade analysen enligt TK Geo11 [9]. I den kombinerade analysen modelleras denna yta av en utbredd last av 5 kPa för oförutsägbar last. Första raden med bostadshusen bortom vägen är i huvudsak 1,5-plans hus med källare, detta område modelleras med en utbredd last av 5 kPa som motsvarar oförutsägbar last. Husraden bakom dessa modelleras som en utbredd last av 10 kPa då alla hus här ej har källare.

4.11.4 Val av porvattentryck
 Inga mätningar av porvattentryck har gjorts i sektionen, dock är närmaste sektioner norr (31/920) och söder (32/225, se PM [11]) om sektionen väl undersökta. Dimensionerande portryck i dessa sektioner är valt till att motsvara

en grundvattenyta på ett djup 0,68 meter under markytan, 7 respektive 13 meter från strandkanten (LLW). Längre upp i sektionen är portryck valt att motsvara en grundvattenyta i markytan (57 respektive 73 meter från strandkanten). Mätningarna i båda angränsande sektionerna visar att porvattentrycket är hydrostatiskt i övre delen av jordprofilen. Mot djupet ökar porvattentrycket mindre än motsvarande hydrostatiskt tryck för att ställa in sig mot trycket i bottenmoränen som har kontakt med älven. I en första ansats sätts portrycket till hydrostatiskt i hela profilen med ett portryck motsvarande grundvattenyta enligt angränsande sektioner. Detta är konservativt, för djupare kombinerade glidytor. Då de glidytor som inte uppnår erforderlig säkerhetsfaktor i den kombinerade analysen är relativt ytliga, är det inte motiverat att studera porvattentrycket noggrannare.

4.11.5 Bedömning av omgivningspåverkan av bakåtgripande skred
Området består av sensitiva och mot djupet kvicka till extremt kvicka leror med sensitiviteter över 200. I den delen av profilen som berörs av ett initialt skred är dock sensitiviteten dock som mest 60 vilket ger $n = 11,5$. Spridningen från ett initialskred i denna sektion blir därmed inte så omfattande men om ett initialt skred sätts i gång norr om denna sektion kan det sprida sig in i området som denna sektion representerar.

Sensitiviteter är valda utifrån de värden som redovisas i Bilaga 1. Dessutom har kvicklereutvärderingen från CPT, som redovisas i Bilaga 6, vägts in. Denna utvärdering har gjorts enligt GÄU 29 [6].

4.12 Resultat

I Tabell 6 går det att se att tre av de beräknade sektionerna (31/825, 31/920 och 32/110) inte uppnår erforderliga säkerhetsfaktorerna för skred. Dessa tre sektioner ligger i den södra delen av delområdet. Det är framför allt i de kombinerade analyserna som beräkningssektionerna inte klarar kraven på säkerhetsfaktorer. Detta beror på det höga portrycket i de övre delarna av jordprofilen. I sektionerna 31/825 och 31/920 har även den branta slänten under vattenytan en stor betydelse.

Tabell 6. Beräknade och erforderliga säkerhetsfaktorer mot skred.

Sektion	F_c	F_{komb}	Krav F_c	Krav F_{komb}
Sektion 31/625	1,72	1,41	1,35	1,25
Sektion 31/745	1,38	1,30	1,35	1,25
Sektion 31/825	1,40	1,08	1,35	1,25
Sektion 31/920	1,27	0,97	1,35	1,25
Sektion 32/110	1,59	1,23	1,35	1,25

I båda områdena som representeras av sektionerna 31/920 och 32/110 finns det extremt kvick lera men det är endast i sektion 31/920 som de glidytor som inte

uppnår erforderlig säkerhetsfaktor när ner till den extremt lösa leran. Detta betyder att ett skred i 31/920 kan få mycket stora effekter, se Bilaga 7.

5. Slutsatser och rekommendationer

I mellersta delområdet uppnår endast två av sektionerna kraven på beräknad säkerhetsfaktor mot skred, det gäller sektion 31/625 vid slussen samt 31/745 alldeles söder om slussen där en spontkonstruktion går längs älven. Övriga tre beräkningssektioner, längre söderut, uppfyller således ej kraven på beräknad säkerhetsfaktor mot skred.

För att uppnå erforderlig säkerhetsfaktor längs älvstranden där stabiliteten är låg föreslås avschaktning- samt tryckbank av varierande grad. Norr om bron, norr om området SGI klassar som stabilt, föreslås en tryckbank i älven samt avschaktning av varierande grad. Söder om bron, söder om området SGI klassar som stabilt, föreslås en tryckbank i slänten. Allra längs söderut föreslås avschaktning enligt sektion 32/255 i PM Geoteknik för södra delområdet [11]. De föreslagna åtgärderna redovisas i plan i Bilaga 8 och i sektion i Bilaga 5.

Två garagebyggnader öster om Strandvägen skulle behöva rivas till följd av avschaktningståtgärden som föreslås. Det rekommenderas även att parkeringsförbud införs på östra sidan av Strandvägen mellan korsningen Strandvägen-Parkvägen i norr och bron över älven i söder.

Tabell 7. Beräknade och erforderliga säkerhetsfaktorer mot skred efter stabilitetshöjande åtgärder.

Sektion	F_c	F_{komb}	Krav F_c	Krav F_{komb}
Sektion 31/825	1,45	1,42	1,35	1,25
Sektion 31/920	1,41	1,27	1,35	1,25
Sektion 32/110	1,72	1,30	1,35	1,25

Innan en mer detaljerad projektering av åtgärdsförslag och kostnadsberäkningar genomförs bör en uppdatering göras av den markmodell som finns tillgänglig idag. De noggranna inmätningar som gjorts för de enskilda sektionerna visar på att höjdkurvorna är inaktuella, vilket försvårar tolkningen av utbredningen av åtgärdsförslagen i plan.

Erosionsskyddet längs älven bör inspekteras då ett bristfälligt erosionsskydd kraftigt kan påverka släntens geometri. Dels bör erosionsskyddets nivåer kontrolleras mot de ursprungliga nivåerna. Detta kan göras med hjälp av de inmätningar som gjorts till detta projekt om de kompletteras med en inmätning av skyddets överkant. Då, oss veterligen, skyddet inte inspekterats under vattenytan bör detta göras av dykare som noterar eventuella håligheter och avvikelser. Efter grundlig inventering av erosionsskyddet genomförts och bristerna åtgärdats bör

erosionsskyddet inspekteras regelbundet. Lämpligt tidsintervall kan vara att skyddet inspekteras visuellt ovan grundvattenytan en gång om året och en mer grundläggande inspektion görs var 5:e år. Bristfälligt erosionsskydd bör åtgärdas utan dröjsmål.

Lasterna har valts så att det ska finnas ett visst utrymme för mindre tillbyggnader utan att en komplett utredning ska behövas. Dessa laster, som benämns oförutsedda laster i rapporten, är 5 kPa stora. En last på 5 kPa motsvarar en 25 cm höjning av markytan utgående ifrån de nivåer som var då denna rapport utgavs. En bedömning av sakkunnig geotekniker bör dock göras innan ytterligare last påförs i området.

All form av markjustering eller nybyggnation som kräver mark- eller bygglov ska uppfylla kraven för nybyggnation enligt IEG Rapport 6: 2008.

Under utredningens gång har flertalet portrycksmätare installerats, dessa sitter kvar i området. Det skulle vara mycket fördelaktigt för eventuella framtida utredningar med långtidsmätningar av portrycket i området. Därför rekommenderas det att de satta mätarna läses av minst en gång i månaden.