

# Skredrisker i Göta älvdalen i ett förändrat klimat



## Slutrapport Del 1 - Samhällskonsekvenser

**Göta älvutredningen 2009-2011**  
Slutrapport del 1

Beställning

Statens geotekniska institut (SGI)  
581 93 Linköping

SGI Informationstjänsten  
Tel: 013-20 18 04  
Fax: 013-20 19 14  
E-post: [info@swedgeo.se](mailto:info@swedgeo.se)

Rapporten finns som PDF på vår  
webbplats: [www.swedgeo.se](http://www.swedgeo.se)

Dnr SGI

6.1-1203-0204

Uppdragsnr SGI

14534

Layout

Kreativ Kraft och Elin Sjöstedt

Tryckeri

AJ E-print AB

Foto omslag

© Eka Chemicals (övre bilden)  
© SGI (nedre bilder)



**Statens geotekniska institut**

---

Swedish Geotechnical Institute

## Skredrisker i Göta älvdalen i ett förändrat klimat

Slutrapport

Del 1 - Samhällskonsekvenser



## Förord

Regeringen gav i ett särskilt regleringsbrev 2008 (M2008/4694/A) ett uppdrag till Statens geotekniska institut (SGI) att utföra en kartering av riskerna för skred längs hela Göta älv med anledning av ett förändrat klimat med ökade flöden i älven. Utredningen har utförts under åren 2009-2011. Tiden för slutredovisning har genom regeringsbeslut (2011-11-17) förlängts till den 30 mars 2012.

Uppdraget har inneburit en samlad riskanalys med beräkningar av sannolikheten för skred och värdering av de konsekvenser som skred kan ge upphov till. Genom att identifiera olika riskområden har en bedömning gjorts av var geotekniska förstärkningsåtgärder kan vara nödvändiga. En översiktlig kostnadsbedömning av de geotekniska delarna av förstärkningsåtgärderna har utförts för områden med höga skredrisker. Vidare presenteras en samlad bedömning av de geotekniska förutsättningarna för ökade flöden i Göta älv.

Utredningen har utförts i huvudsak av medarbetare på SGI. Arbetet har letts av SGI:s ledningsgrupp under ledning av generaldirektör Birgitta Boström. Arbetet har organiserats som ett huvuduppdrag för projektledning samt ett stort antal deluppdrag för metodutveckling och utredning. Till sitt stöd har SGI nyttjat ett antal myndigheter och forskningsinstitutioner, bland annat Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI), Sveriges geologiska undersökning (SGU), Chalmers tekniska högskola, Lunds universitet, Universitetet i Stuttgart, Norges geotekniska institutt (NGI), Vattenfall, Sjöfartsverket och Trafikverket. Samtliga kommuner inom Göta älv dalen samt Länsstyrelsen i Västra Götalands län har också medverkat i arbetet i olika skeden. Slutligen har SGI anlitat resurser från ett stort antal konsulter, främst från Göteborgsregionen, för genomförande av utredningsarbetet.

Utredningens resultat och slutsatser presenteras i en slutrapport, *Skredrisker i Göta älv dalen i ett förändrat klimat*. Rapporten består av tre delar:

*Slutrapport Del 1 – Samhällskonsekvenser*, som innefattar en sammanfattning av uppdraget, skredrisker och konsekvenser för samhället, kostnader för åtgärder samt utredningens förslag till fortsatta aktiviteter. Del 1 vänder sig främst till dem som behöver en samlad beskrivning av de skredrisker som finns i älv dalen, hur dessa kan påverka samhället och vilka åtgärder som behöver vidtas.

*Slutrapport Del 2 – Kartläggning*, som innefattar en beskrivning av utredningens metodik, inventeringar, undersökningar, beräkningar och analyser. Målgruppen för Del 2 är de som vill fördjupa sig i utredningens genomförande och få mer detaljerade fakta om olika förhållanden i älven som underlag för planering och anpassning till ett förändrat klimat.

*Slutrapport Del 3 – Kartor*, som innefattar en redovisning av skredriskerna i kartform för olika delar av Göta älv. Del 3 beskriver var skredriskerna förekommer längs älven och vilka områden som berörs. Kartorna innehåller även en klassning av klimatpåverkan längs älven.

Utöver slutrapporten har det detaljerade arbetet med inventering, metodutveckling och analyser redovisats i 34 delrapporter som överlämnades till regeringen 2011-12-21. Rapporterna finns förtecknade i Bilaga och är tillgängliga på SGI:s webbplats: [www.swedgeo.se](http://www.swedgeo.se)

Redaktörer för *Slutrapport Del 1* har varit Bo Lind, Yvonne Rogbeck och Marius Tremblay. Flera medarbetare har bidragit med synpunkter, bland annat Carina Hultén, Elvin Ottosson, Bengt Rydell och Victoria Svahn. Språkgranskning har utförts av Per Samuelson och Anders Salomonson.

Linköping i mars 2012

Bo Lind  
Tf. generaldirektör



## Innehållsförteckning

Göta älvutredningens huvudförslag .....	7
<b>1 Uppdraget.....</b>	<b>9</b>
1.1 Regeringsuppdrag .....	9
1.2 Bakgrund.....	9
1.3 Uppdragets omfattning och avgränsning.....	10
1.4 Uppdragets genomförande .....	11
1.5 Organisation och arbetssätt.....	12
<b>2 Göta älv dalen – en översikt .....</b>	<b>15</b>
2.1 Göta älv dalen – natur och kulturbygd.....	15
2.2 Bebyggelse och viktiga samhällsfunktioner .....	15
2.3 Kommunikationsled – sjöfart, väg och järnväg .....	15
2.4 Geologiska och geotekniska förhållanden .....	16
2.5 Topografiska förhållanden .....	18
2.6 Göta älv dalen i digital form .....	19
<b>3 Klimatförändringar .....</b>	<b>22</b>
3.1 Temperatur och nederbörd i ett framtida klimat .....	22
3.2 Förändrade flöden i Göta älv.....	23
3.3 Havsnivåer i dagens och framtida klimat .....	23
<b>4 Metodik för skredriskanalys i Göta älvutredningen .....</b>	<b>25</b>
4.1 Vad är skredrisk? .....	25
4.2 Kartläggning av den geotekniska säkerheten mot skred .....	25
4.3 Bedömning av konsekvenserna av skred.....	26
4.4 Sammanställning av skredrisker .....	26
4.5 Redovisning av skredrisker på kartor .....	27
<b>5 Skredrisker i Göta älv dalen .....</b>	<b>28</b>
5.1 Utmaningar i ett förändrat klimat.....	28
5.2 Bebyggelse och infrastruktur .....	28
5.3 Sjöfart .....	28
5.4 Miljöpåverkan.....	29
5.5 Områden med skredrisker i dagens och framtida klimat.....	29
<b>6 Åtgärder och kostnader .....</b>	<b>31</b>
6.1 Behov av förstärkningsåtgärder.....	31
6.2 Tekniska principlösningar och kostnadsuppskattning.....	31
<b>7 Slutsatser och förslag .....</b>	<b>34</b>
7.1 Anpassa Göta älv för ökade flöden .....	34
7.2 Delegation för klimatanpassning i Göta älv dalen .....	35
7.3 Vidareutveckling av planerings- och beslutsunderlag.....	35
<b>Bilaga: Göta älvutredningen, GÄU – Delrapporter .....</b>	<b>37</b>





## Göta älvutredningens huvudförslag

Utredningen har visat att det inom Göta älvdalen finns många områden med hög skredrisk för dagens förhållanden och att riskerna kommer att öka i ett förändrat klimat. Klimatförändringen innebär att omkring 25 % av de kartlagda områdena kommer att få en högre risknivå fram till år 2100, om inga åtgärder vidtas.

Skred kan påverka många värden längs med Göta älv, däribland bebyggelse och viktiga samhällsfunktioner som vägar, järnvägar, farleder, vattenverk och elförsörjning. Till detta kommer en lång rad andra mänskliga och samhälleliga konsekvenser.

Mot bakgrund av de stora mänskliga, ekonomiska och miljömässiga värden som berörs längs Göta älv är det utredningens slutsats att det är nödvändigt och geotekniskt möjligt att vidta åtgärder så att tappningen i älven kan ökas, samtidigt som skredriskerna minskas.

Åtgärderna bör sättas in för att minska sannolikheten för skred i dagens situation, vilket samtidigt förebygger risker vid framtida ökade flöden. I första hand bör åtgärder vidtas inom prioriterade områden med hög sannolikhet för skred nära älven. Kostnaden för åtgärder i dessa områden bedöms till mellan 4 och 5 miljarder kronor för dagens flöden och mellan 5 och 6 miljarder kronor vid ökade flöden i ett framtida klimat.

### SGI föreslår att:

1. Åtgärder vidtas för att anpassa Göta älvdalen för ökade flöden
2. En delegation för klimatanpassning av Göta älvdalen tillsätts

### 1. Anpassa Göta älvdalen för ökade flöden

**Dagens risknivåer bör minskas genom geotekniska åtgärder i prioriterade områden.** Åtgärderna blir effektiva både för att möta klimatförändringen och för att minska skredrisker i dagens situation.

Det finns ett behov av att **förbättra och förstärka erosionsskydden** längs med älvens stränder. Dessutom föreslås en särskild övervakning av erosion inom områden med hög skredrisk under dagens förhållanden samt inom områden med stor klimatpåverkan.

**De geotekniska förstärkningsarbetena bör samordnas med den fysiska planeringen.** Omfattande stabilitetsförbättrande åtgärder kommer att kräva särskilda bestämmelser i detaljplan för flera områden. Tillåtelse enligt miljödom fordras sannolikt för de flesta av aktiviteterna. För att hantera detta på ett tids- och resursbesparande sätt föreslås att de stabilitetsförbättrande åtgärderna planeras och prioriteras övergripande för hela älven.

## 2. En delegation för klimatanpassning

SGI föreslår att **en delegation tillsätts för att arbeta med hållbar klimatanpassning i Göta älvdalen**. Syftet med delegationen är att samordna, planera och genomföra åtgärder som minskar skredrisken för befintlig bebyggelse och infrastruktur samt förebygger riskerna för ny bebyggelse för dagens och framtida klimat. Delegationen bör bestå av representanter från olika berörda samhällsintressen. En kärna av fasta ledamöter behövs för kontinuitet och överblick och vi föreslår också att delegationen får en politisk förankring. Delegationen bör förfoga över ett särskilt statligt anslag, avsett för konkreta anpassningsåtgärder i Göta älvdalen.

# 1 Uppdraget

## 1.1 Regeringsuppdrag

Regeringen gav i ett särskilt regleringsbrev 2008 (M2008/4694/A) ett uppdrag till SGI att utföra en kartering av riskerna för skred längs hela Göta älv med anledning av ett förändrat klimat med ökade flöden i älven. Utredningen har utförts under åren 2009-2011. Tiden för slutredovisning har genom regeringsbeslut (2011-11-17) förlängts till den 30 mars 2012.

I regleringsbrevet gavs följande anvisningar för uppdraget:

*”För att kunna möta kommande klimatförändringar och hantera ökade flöden genom Göta älv krävs förbättrad kunskap om stabilitetsförhållandena längs hela Göta älv. Anslagsposten används för att förbättra och ta fram skredanalyser och stabilitetskarteringar längs Göta älv.”*

SGI har genomfört uppdraget genom att:

- Genomföra och presentera en samlad analys av skredriskerna längs Göta älv samt delar av Nordre älv. Analysen har innefattat insamling av data, beräkningar av sannolikheten för skred och värdering av de konsekvenser som skred kan ge upphov till. Riskerna omfattar förhållanden som gäller för dagens klimat och de som kan förväntas gälla år 2100.
- Utföra metodutveckling för att effektivisera och förbättra tidigare framtagna metoder för skredriskanalyser.
- Bedöma var geotekniska förstärkningsåtgärder kan vara nödvändiga samt översiktligt bedöma kostnaderna för dessa.

Nya och utvecklade metoder har tagits fram för att förbättra skredriskanalyser och stabilitetsberäkningar, förbättra kunskapen om erosionsprocesserna längs Göta älv, bedöma effekten av klimatförändringar på grundvattenförhållanden, utveckla metodik för kartläggning och hantering av högsensitiv lera (kvicklera) samt konsekvensbedömning. Utredningen har genomförts i samverkan med andra myndigheter, forskningsinstitutioner och nationella och internationella organisationer. Arbetet har inneburit den mest omfattande kartläggningen av skredrisker som utförts i Sverige.

## 1.2 Bakgrund

Den pågående globala klimatförändringen påverkar förutsättningarna för bebyggelse och infrastruktur. Klimat- och sårbarhetsutredningen lyfte i sitt slutbetänkande fram att riskerna för översvämningar, ras, skred och erosion kommer att öka på många håll i Sverige och att insatser för förebyggande åtgärder är nödvändiga. I utredningens delbetänkande som behandlar risker för Mälaren, Hjälmarens och Vänern pekas på behovet av ökad tappning genom Göta älv till följd av ökad tillrinning till Vänern. I ett tidigare regeringsuppdrag har SGI, i en handlingsplan för att förutse och förebygga naturolyckor i Sverige vid förändrat klimat, redovisat att den ökade tappningen kan leda till ökad erosion och därmed ökad skredrisk längs älven. I handlingsplanen framgår också att klimatförändringarna leder till förändrade grundvattenförhållanden i jordlagren längs älven, vilket i sin tur leder till att stabiliteten för slänterna längs Göta älv kan försämrast.

Göta älv är ett av landets största vattendrag och älvdalen karaktäriseras av ett varierande landskap som har formats genom naturliga erosions- och skredprocesser. Årli-

gen inträffar ett flertal skred av olika storlek längs älven och området tillhör ett av de mest skredfrekventa i landet. De främsta orsakerna till den höga skredfrekvensen i Göta älvdalen är den geologiska uppbyggnaden med mäktiga och lösa lerlager som en gång avsattes i marin miljö, det varierande flödet i älven som orsakar kraftig erosion samt påverkan från samhällets utbyggnad och verksamheter. Älven är en viktig transportled som gett förutsättningar för etablering av hamnar, industrier, bebyggelse och infrastruktur. Etableringarna innebär att konsekvenserna av skred i älvdalen på flera platser blir stora då bebyggelse, industri, vägar, järnvägar, sjöfart, förorenade markområden och vattenintag kan påverkas.

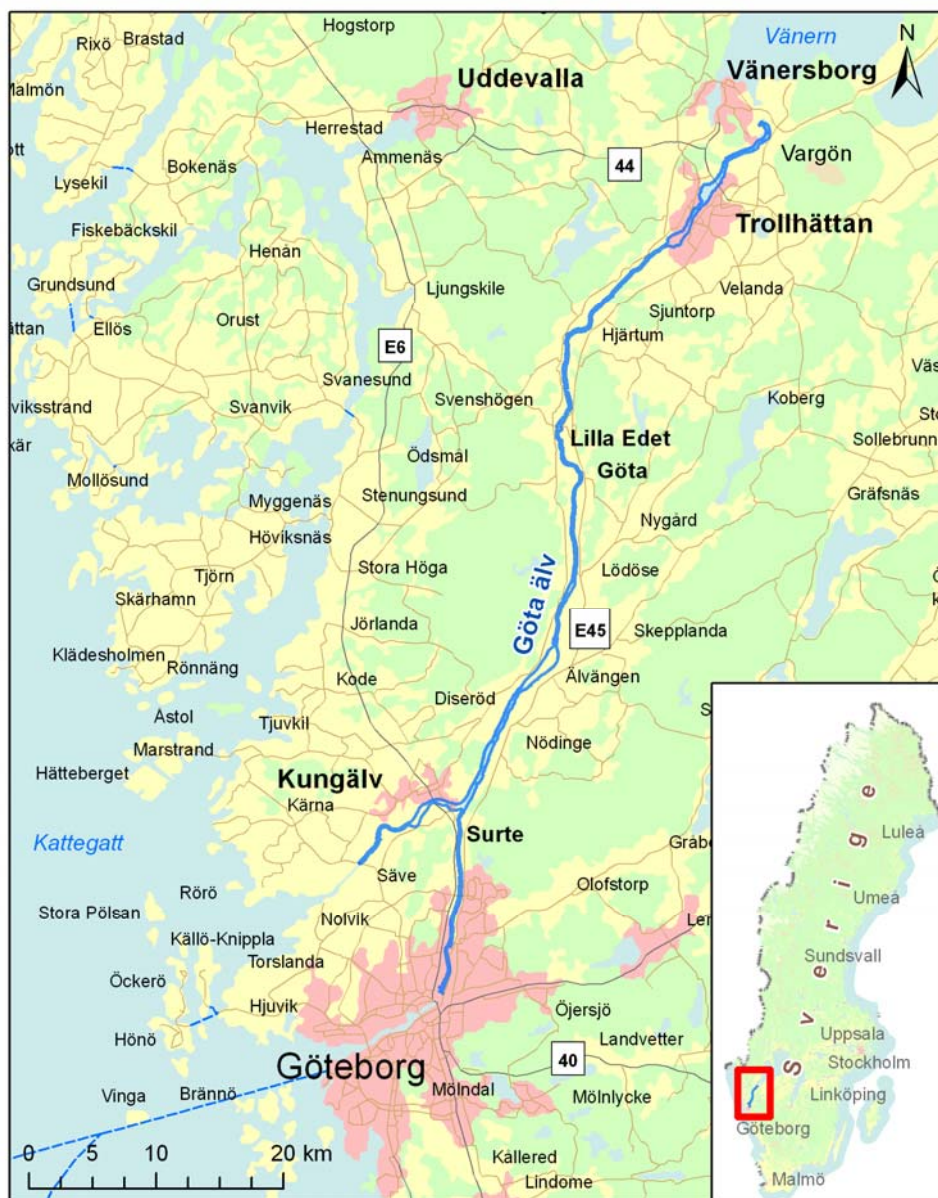
Den typ av skred som sker i Göta älvdalen är i huvudsak skred i finkornig jord av lera och silt. Typiskt för skreden är att de ofta sker plötsligt utan tydligt synliga föregående varningstecken. Ibland kan dock markrörelser och marksprickor uppträda som indikationer på förestående skred. Vid skred kommer jorden i hastig rörelse och bryts upp. Beroende på skredets karaktär bryts jordmassorna, som till en början är sammanhängande, upp i stora flak eller sjok och kan bli mer eller mindre flytande och röra sig långa sträckor. Skred sker både över och under älvens vattenyta.

Klimatförändringar innebär att risken för naturolyckor ökar. För att begränsa skadeverkningarna och möta de nya förutsättningar som ett förändrat klimat innebär är det nödvändigt att arbeta såväl med att identifiera risker och skydda utsatta områden och befintliga strukturer som att höja kvaliteten i planeringen för framtida bebyggelse och infrastruktur med hänsyn till den nya situationen.

### **1.3 Uppdragets omfattning och avgränsning**

Utredningsområdet sträcker sig från kraftverket vid Vargön i Vänersborg till Marieholmsbron i Göteborg samt området längs Nordre älv till Kornhalls färjeläge i Kungälv kommun, se Figur 1-1. Totalt innebär detta en sträcka på cirka 100 km motsvarande 200 km strandlinje. Utredningsområdets bredd avgränsas till de delar som kan beröras av primära och sekundära skred i anslutning till Göta älv. Utredningar av biflöden begränsas till sträckor i älvens närområde eller där skred kan påverka Göta älvs avbördningsförmåga.

Göteborgs Stad har parallellt med SGI:s kartläggning arbetat med detaljerade stabilitetsutredningar inom det stadsbebyggda området i Göteborgs kommun. SGI och Göteborgs Stad har under arbetets gång haft ett nära samarbete med ömsesidigt utbyte av material och information och genom ett samarbetsavtal har resultat från stabilitetsutredningarna i Göteborg använts också i SGI:s skredriskartering



**Figur 1-1**  
Utredningsområde -  
Göta älvutredningen.  
© SGI, Lantmäteriet

### 1.4 Uppdragets genomförande

#### Skredriskanalys

De geologiska förhållandena i Göta älv dalen är mycket varierande liksom älvens och sidoområdenas topografi. Markens stabilitet och sannolikheten för skred varierar därför kraftigt även inom korta avstånd. För att erhålla en rättvisande bild av skredriskerna krävs därför god kännedom om markförhållandena och markens geotekniska förutsättningar och även god kännedom om hotade värden och de konsekvenser som skred kan medföra.

Uppdraget har inneburit en samlad riskanalys med beräkningar av sannolikheten för skred och värdering av de konsekvenser som skred kan ge upphov till. Genom att identifiera olika riskområden har en bedömning gjorts av var geotekniska stabilitetsförbättrande åtgärder kan vara nödvändiga. En översiktlig kostnadsbedömning av de geotekniska delarna av förstärkningsåtgärderna, utifrån beprövade metoder, har utförts för områden med hög sannolikhet för skred. Slutligen presenteras en samlad bedömning av de geotekniska förutsättningarna för ökade flöden i Göta älv.



## Utvecklingsarbete

Vid planeringen av uppdraget framkom behov av metodutveckling och kunskapsförbättring för såväl kartläggning av ingående parametrar som analys av underlaget för riskbedömning. SGI har därför tidigt i utredningen inkluderat metodutveckling för att effektivisera och förbättra efterföljande arbete, se avsnitt 1.5.

Det utvecklingsarbete som knutits till uppdraget har varit behovsstyrt och gett ett direkt stöd i utredningsarbetet. Mycket av arbetet har dessutom som följeffekt gett värdefull kunskap också för andra tillämpningar och andra områden.

## Dialog och samverkan

Bred samverkan och dialog med omvärlden har varit en central del av uppdraget under hela utredningstiden. Till utredningen har därför knutits en intressentgrupp bestående av representanter från Sjöfartsverket, Trafikverket, Vattenfall, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), Sveriges geologiska undersökning (SGU), Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI), Länsstyrelsen i Västra Götalands län samt kommunerna längs älven.

Under hela uppdraget har utbyte av information, dialog och samråd skett med Länsstyrelsen i Västra Götaland och kommunerna längs Göta älvdalen - Vänersborg, Trollhättan, Lilla Edet, Ale, Kungälv och Göteborg. Nära samarbete och kontakter har även upprätthållits med Sjöfartsverket och Vattenfall, vars verksamheter är direkt kopplade till älven. Dessutom har en särskild dialog förts med Trafikverket med anledning av pågående investeringar för E45 och Norge-Vänerbanan samt med Göteborgs Stad i syfte att samordna stabilitetsutredningarna längs Göta älv inom Göteborgs kommun.

Externa experter har deltagit i olika utvecklingsarbeten och externa expertgrupper har även engagerats för granskning av framtagna analysmetoder.

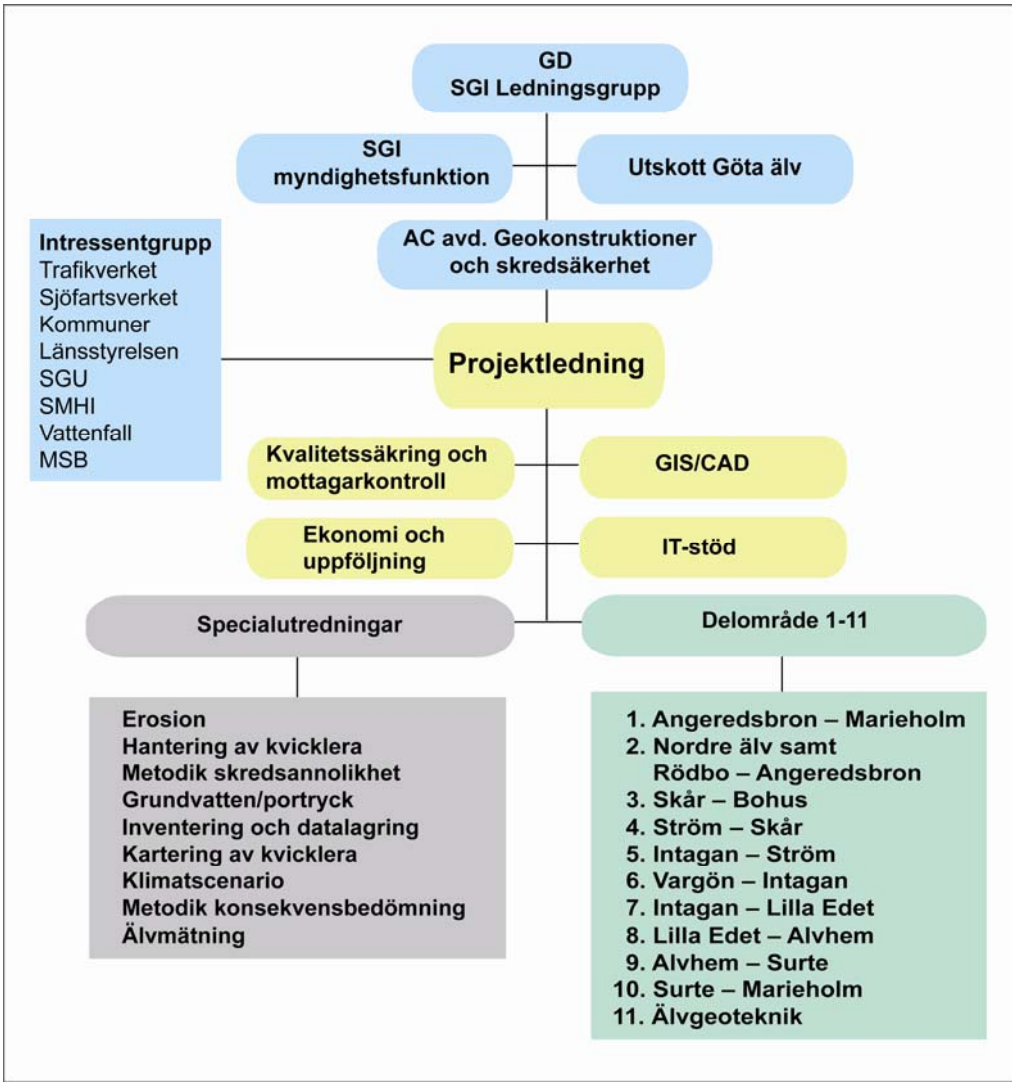
## 1.5 Organisation och arbetssätt

Utredningen har övergripande letts av SGI:s ledningsgrupp samt ett särskilt ledningsutskott, båda under ledning av institutets generaldirektör. En projektledningsgrupp under ledning av huvuduppdragsledare Marius Tremblay har svarat för den operativa styrningen av utredningen.

Uppdraget delades upp i ett huvuduppdrag för övergripande frågor, projektledning och administration, samt ett antal deluppdrag för specifika aktiviteter, som datainventering, metodutveckling, utredningar och analyser. Till sin hjälp har utredningen haft interna stödfunktioner inom ekonomi, CAD/GIS och IT. Figur 1-2 presenterar ett organisationsschema för Göta älvutredningen.

Utrednings- och utvecklingsarbetet har bedrivits i nio olika specialutredningar som framförallt syftat till metodikutveckling, inventering av tidigare utredningar och analys av klimatförändringar. Ett stort antal medarbetare vid SGI liksom hos externa aktörer har medverkat i utvecklingsarbetet, vilket framgår av delrapporterna i Bilagan. För närmare beskrivning av de förhållanden som redovisas i denna Slutrapport Del 1 hänvisas till delrapporterna samt Slutrapport Del 2 och Del 3.

I uppdraget utfördes inledningsvis ett förberedande arbete rörande hantering av digitala data. Bland annat utvecklades ett webb-baserat karttittskåp för Göta älvdalen och cirka 18 000 geotekniska undersökningspunkter som tidigare utförts i området insamlades och strukturerades för att nyttjas som underlag för utredningen.

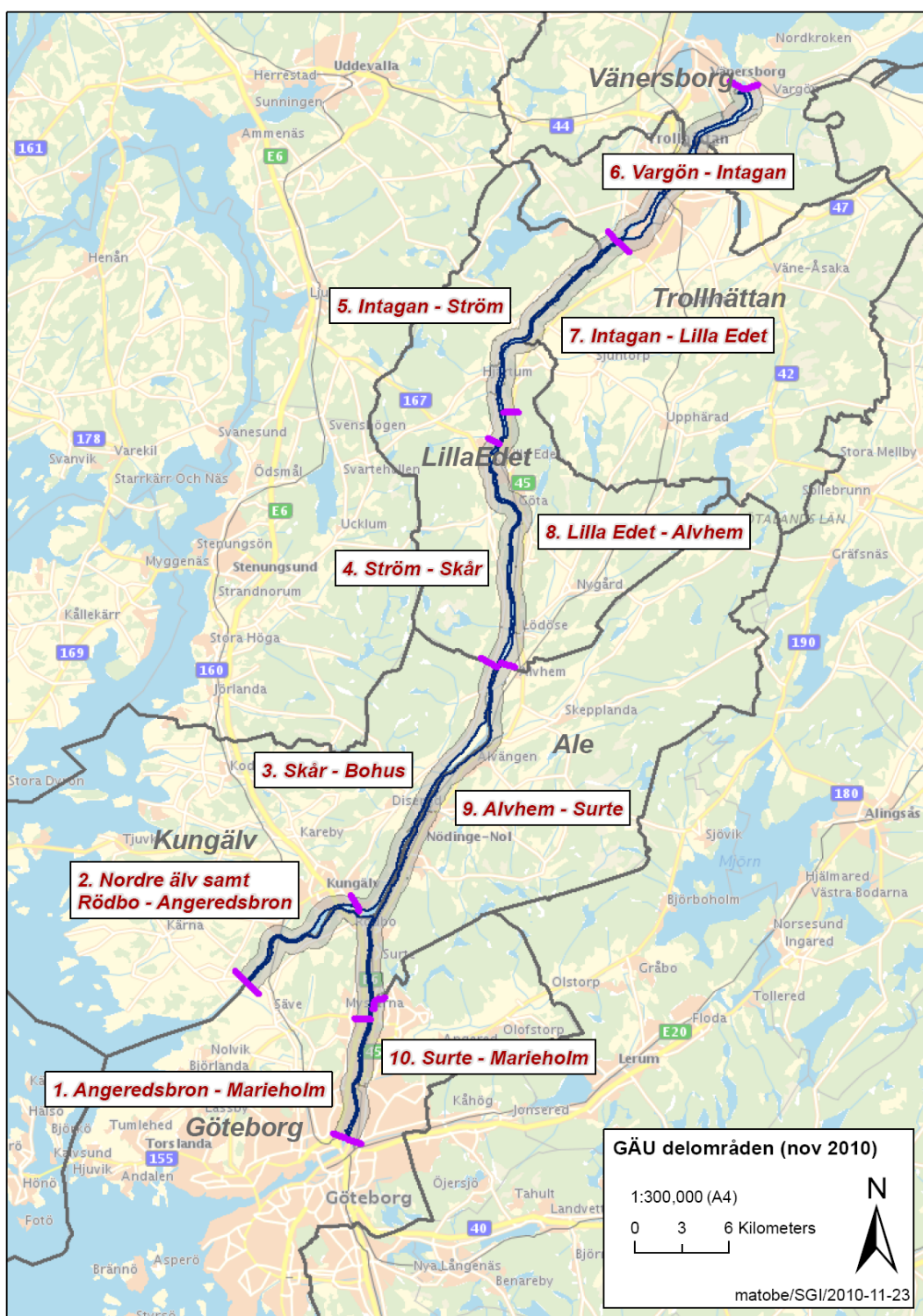


*Figur 1-2  
Organisationsschema för Göta älvutredningen*

Undersökningsområdet har delats in i tio geografiska delområden på land och ett område i älven, se Figur 1-3. Indelningen gjordes mot bakgrund av lämplig terrängavgränsning och lämplig storlek för respektive område.

Geotekniska undersökningar i fält och på laboratorium har utförts inom samtliga delområden innefattande bland annat sondering och provtagning i enskilda punkter och i sektioner tvärs älven. Utifrån erhållna data har analys av släntstabiliteten utförts i cirka 240 sektioner (100-400 m långa), mestadels orienterade vinkelrätt mot älven. Uppdraget har innefattat bearbetning av en stor mängd geotekniska fältdata och beräkningar. Omkring 2 500 geotekniska fältundersökningar (sondering, provtagning etc.) har utförts. Dessutom har mer än 4 000 jord- och sedimentprover undersökts med cirka 20 000 laborieförsök.

En särskild grupp för granskning och kvalitetssäkring av arbeten utförda av SGI:s egen personal eller av externa konsulter har upprättats som en mottagarkontroll. Granskningen har följt uppställda instruktioner och efter granskning av rapporterna har dessa korrigerats och resultaten förts vidare in i utredningen.



**Figur 1-3**  
Geografiska  
delområden längs  
Göta älvdalen.  
Bakgrundskarta  
© SGI och  
Lantmäteriet



## 2 Göta älvdalen – en översikt

Göta älv och dess dalgång utgör ett centralt kommunikationsstråk i Västsverige och en viktig del i regionen. Göta älv är ett av Sveriges vattenrikaste vattendrag och avrinningsområdet är också landets största. Älven avvattnar en tiondel av Sveriges yta och har en medelvattenföring på  $550 \text{ m}^3/\text{s}$ , vilket också gör den till en av de stora floderna i Europa. Göta älv utgör enda utloppet från Vänern, Sveriges största och Europas tredje största sjö. På grund av Vänerns stora volym är omsättningstiden för Vänerns vatten relativt lång, 8-9 år och flödestiden för vattnet genom Göta älv är mellan 1,5 och 5 dygn, beroende på vattennivå och tappning.

### 2.1 Göta älvdalen – natur och kulturbygd

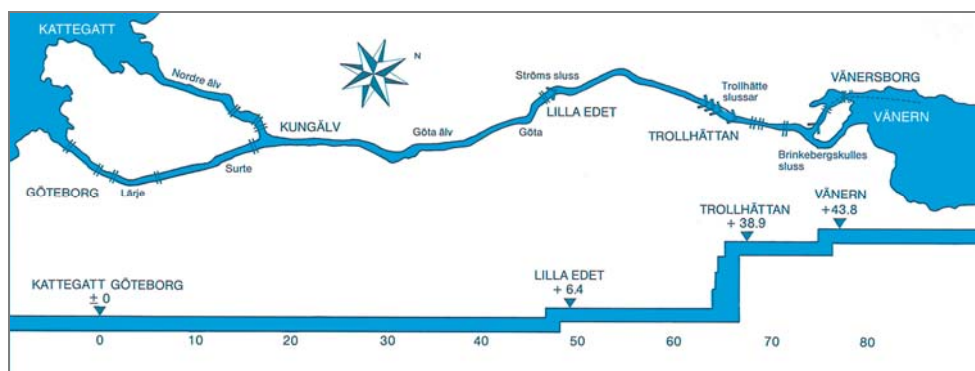
Göta älvs dalgång och stränder utgör riksintresse för natur- och friluftsliv med flera ekologiskt känsliga områden. Strandängarna uppvisar stor biologisk mångfald. Göta älv är mycket fiskrik och Göta och Nordre älvar är viktiga vandringsstråk för bland annat lax och havsöring. Göta älvs dalgång utgör också en av Sveriges äldsta kulturbygder med en 1 000-årig historia där Lödöse länge var Sveriges port mot väster.

### 2.2 Bebyggelse och viktiga samhällsfunktioner

Göta älv rinner idag genom sex kommuner; Vänersborg, Trollhättan, Lilla Edet, Ale, Kungälv samt Göteborg. Drygt 11 000 fastigheter är registrerade inom utredningsområdet nära älven, varav ett flertal stora industrier. Det finns över 600 specialfastigheter som inkluderar bland annat skolbyggnader, vårdbyggnader eller bad- eller sportanläggningar. Göta älvs sträckning från Vänern till utloppet i Göteborg är 93 km och den totala fallhöjden 44 m. Kraftstationer och slussar finns vid Vargön, Trollhättan och Lilla Edet, se Figur 2-1. Även ett 20-tal registrerade avloppsreningsanläggningar ligger nära älven och älven är också en viktig sötvattenresurs och vattentäkt för cirka 700 000 personer.

### 2.3 Kommunikationsled – sjöfart, väg och järnväg

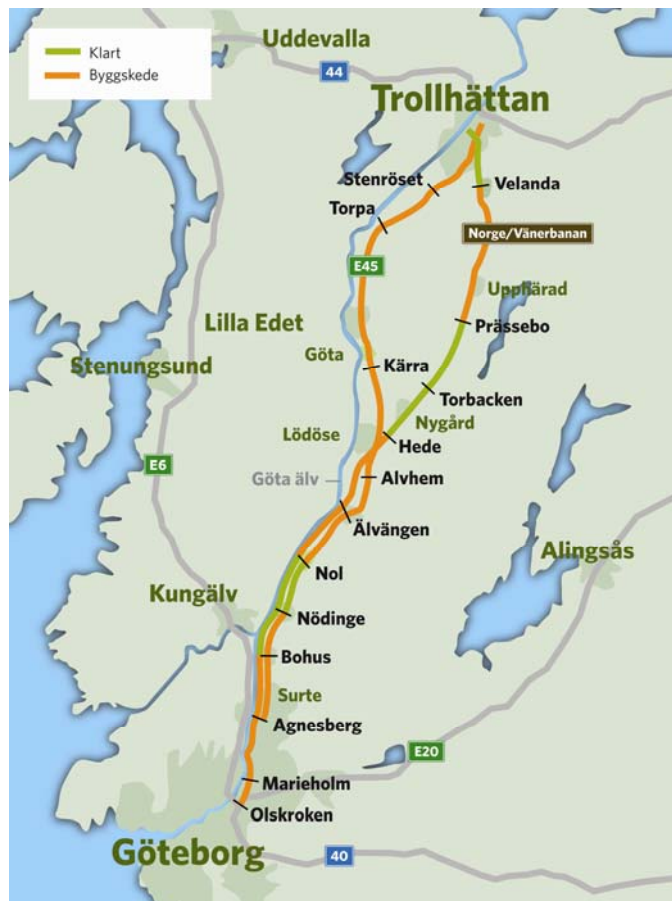
Sjöfartstrafik har pågått på Göta älv under långa tider och i dag transporteras ca 2,4 miljoner ton gods per år på älven, vilket innebär att omkring 1 600 lastfartyg trafikerar Göta älv varje år. Under sommarsäsongen passerar dessutom omkring 4 000 fritidsbåtar.



**Figur 2-1**  
Göta älv – en vattenväg  
Kartbild: Sjöfartsverket

Inom Göta älvdalen mellan Göteborg och Vänersborg finns också transportleder på land av stor betydelse för områdets utveckling. E6 sträcker sig mellan Göteborg och Kungälv på älvens västra sida samt korsar Nordre älv inom utredningsområdet. På östra sidan finns E45 och Norge-Vänerbanan i direkt anslutning till älven inom sträckan Göteborg-Alvhem. Flera passager över älven förekommer också inom utredningsområdet för både väg och järnväg. Utöver dessa huvudtransportleder finns ett stort antal mindre vägar som berörs av utredningen.

År 2004 påbörjades utbyggnaden av väg och järnväg längs Göta älv i projektet BanaVäg i Väst som planeras färdigställas under 2012. I Figur 2-2 kan den framtida sträckningen av väg och järnväg ses. Järnvägen byggs ut till dubbelspår och E45 till fyrfilig motorväg mellan Göteborg och Trollhättan. På sträckan mellan Göteborg och Älvängen går väg och järnväg mer eller mindre parallellt med och nära älven. I den norra delen mellan Älvängen och Trollhättan viker järnvägen av längre österut. Antalet persontåg tros öka från dagens 38 per dygn till 168 per dygn år 2020 och godstågen tros öka från 26 till 44 per dygn.



**Figur 2-2**  
Pågående och planerad  
väg- och järnvägsutbyggnad i Göta älvdalen.  
Kartbild: Trafikerket

## 2.4 Geologiska och geotekniska förhållanden

Göta älv rinner i en dalgång som till största delen sammanfaller med en markerad förkastningszon som sträcker sig från Vänerbäckenet och förbi Göteborg. Berggrunden utgörs av gnejser och dalgångens utformning är starkt beroende av berggrundens spricksystem. I höjd med Lilla Edet ändrar dalgången riktning, från nordöst-sydväst norr om Lilla Edet till nord-syd söder om Lilla Edet.

Den dominerande jordarten i dalgången är lera och lerans mäktighet är mycket stor, på sina ställen över 100 meter. De största samlade jorddjupen finns i höjd med Dössebacka, där berggrundsytan bedöms återfinnas på ett djup av drygt 200 m under markytan. Jorddjupen är dock mycket varierande längs älven och norr om Lilla Edet när berget på flera ställen ända upp till älvens botten. Lerjorden har skapat speciella geotekniska förhållanden längs älv dalen och landskapet har i stor utsträckning formats genom erosionspåverkan och skredprocesser.

Göta älv dalen har den högsta frekvensen av skred i Sverige. I SGI:s skreddatabas finns ett 60-tal skred och jordrörelser registrerade längs Göta älv, där de flesta av skreden inträffat på sträckan mellan Lilla Edet och Trollhättan. De flesta större skred som inträffat i Göta älv dalen har skett i kvicklera, en typ av lera som vid störning förlorar sin hållfasthet, se nedan.

Från geoteknisk synpunkt är lerans hållfasthet, grundvattennivå, portryck (det vill säga – trycket av vattnet i jorden) viktiga parametrar för att beräkna riskerna för skred. Nedan beskrivs några av de väsentligaste geotekniska begreppen.

### Lerans egenskaper och grundvattenförhållanden

Leran är i de övre delarna av dalgången lös till halvfast och från Lilla Edet och söderut i allmänhet något lösare. Leran är överkonsoliderad norr om Lilla Edet och normalkonsoliderad söder om Lilla Edet, vilket innebär att leran norr om Lilla Edet i viss utsträckning kan belastas utan att sättningar uppkommer. Skikt av silt och sand i lerlagren är vanligt förekommande.

Den uppspruckna berggrunden längs dalgången har gett upphov till stora nivåskillnader, som på sina ställen uppgår till mellan 200 och 300 meter. Detta påverkar bland annat grundvattenförhållandena. Grundvattennivån i de ytliga jordlagren, den så kallade nolltrycksnivån, återfinns vanligen någonstans mellan markytan och till omkring två meters djup. Infiltration av nederbörd på höjdpartierna och grundvattenströmning från dessa längs underliggande morän, isälvsavlagringar och inbäddade grövre sediment i de ofta mäktiga lerlagren, ger förutsättningar för höga grundvattentryck i lerlagren i angränsande dalgångar. När tryckhöjden i grundvattnet i underliggande lager av grövre jord ligger över markytan, råder artesiskt vattentryck. Höga grundvattentryck och portryck försämrar lerans hållfasthet.

### Högsensitiv lera/kvicklera och skredutbredning

En av parametrarna som används för att karaktärisera lera är sensitivitet, som är ett mått på hur känslig lera är för störningar. Om en lera klassas som högsensitiv betyder det att den förlorar sin hållfasthet vid omrörning (till exempel vid skred) och blir mycket lös. Vid extrema fall kan leran vid omrörning bli som en flytande massa utan kvarvarande struktur och styrka och klassas därmed som kvicklera. Ett initialt skred i kvicklera innebär att en mothållande kraft för bakomvarande lerslänt försvinner varpå ytterligare skred utlöses. På så sätt kan skred i kvicklera successivt gripa sig bakåt och beröra stora områden.

Kvicklera medför således en risk för att ett mindre, lokalt skred kan sprida sig och bli mycket omfattande. En sådan händelse innebär att sekundära konsekvenser utöver förluster och skador på land kan uppstå. Exempel på sekundära effekter som kan inträffa är störning av sjöfarten, dämning av Göta älv (eller dess biflöden) och flodvågor av olika magnitud beroende på skredmassornas volym.

För bedömning av skredutbredning i lera används en metod där utsträckningen bakåt beror av slänthöjden och sensitiviteten inom den jordvolym som berörs av ett initialskred.

Huvuddelen av kända skred med stor utbredning i Göta älv dalen har inträffat i lera med hög sensitivitet, i de flesta fall kvicklera. Skred i kvicklera kan få mycket stor utbredning och skredhändelserna är plötsliga och dramatiska. Skredet som drabbade Surte 1950 varade i 2-3 minuter och under den tiden gled lermassorna iväg och flyttade husen inom skredområdet 50-150 m ner mot Göta älv, se Figur 2-3. Skredmassorna blockerade älven och förhindrade sjöfarten.



**Figur 2-3**  
Surteskredet 1950.  
Foto: SGI

Ytterligare ett exempel från Göta älv dalen är Götaskredet 1957, där är en 130 m lång spricka i marken först upptäcktes och efter cirka 3 timmar inträffade skredet, som snabbt utökades längs älven och inåt land. På några minuter utvecklades skredet till att omfatta cirka 1,5 km längs älven och områden cirka 200-300 m in från älvstranden. Fartygstrafiken i Göta älv stoppades under en månads tid.

Inom ramen för utredningen har särskild uppmärksamhet ägnats åt att identifiera och kartlägga förekomsten av kvicklera. Kvicklera och högsensitiv lera förekommer längs i stort sett hela älven, men den största förekomsten finns norr om Lilla Edet. Söder därom är leran i huvudsak mellansensitiv men kvicklera förekommer lokalt.

## 2.5 Topografiska förhållanden

Dalgången präglas av stora höjdskillnader där omkringliggande bergshöjder ofta når mer än hundra meter över dalgångens markyta. De stora jorddjupen, på sina ställen över 100 meter, är vanliga på sträckan mellan Lilla Edet och Göteborg och ger en djup och skarpt nedskuren dalgång. I norra delen har det bildats branta och höga strandbrinkar, medan det i södra delen finns branta undervattenslänter och omgivande flacka översvåmningsområden.

Under den senaste istiden var hela Skandinavien nedisat och belastningen från landisen tryckte ned den skandinaviska berggrunden. Efter istiden, när den tunga lasten från landisen lättade, höjdes lerområdena ur havet. Detta är en process som fortfarande pågår och landhöjningen i Göta älv dalen är idag 1-3 mm per år.

## Ändring av släntgeometrin genom erosion

Slänters lutning över och under vattenytan är avgörande för släntens stabilitet. På land påverkas lutningen främst av avrinnande nederbörd och markanvändningen. Under vatten är det främst erosion som förändrar slänternas lutning.

Erosion är en ständigt pågående process och det är nödvändigt att ta hänsyn till de långsiktiga förändringarna. En kontinuerlig förändring av älvens bottenivåer har konstaterats där såväl erosion som sedimentation förekommer längs älven. Undervattensslänter mot älvens djupfåra undermineras successivt genom erosion så att undervattensskred uppkommer och utvecklas vidare mot land. Områden med erosionsbenägen botten finns på flera platser längs älven, både längs med bebyggelse och där väg och järnväg löper relativt nära älven. Erosionsskydd finns längs större delen av älven och motverkar stranderosion, men saknas ofta på slänter under vattenytan. Skador på erosionsskydden har noterats på några ställen, framförallt i de södra delarna av utredningsområdet.

Erosion från vågor och strömmande vatten har format mycket av den landskapsbild som idag framträder i Göta älv. Erosionen påverkar slänternas topografi och för att kartlägga stabilitetsförhållandena och skredriskerna i älv dalen är kunskap om erosionsförhållandena en viktig förutsättning. I utredningen har mätningar och beräkningar därför gjorts för att få en uppfattning om erosionens omfattning i dagens klimat och vid framtida ökade flöden.

## 2.6 Göta älv dalen i digital form

### Tittskåp Göta älv

I Göta älvutredningen har ett stort antal externa underlagsdata samlats in och utnyttjats, exempelvis geologiska förhållanden, fastighetsvärden, befolkningsstatistik, infrastruktur och förekomst av riskobjekt. Under utredningens gång har dessutom en stor mängd nya data och resultat framtagits. För att hantera den stora mängden data används ett geografiskt informationssystem (GIS). En GIS-plattform etablerades tillsammans med ett antal webbaserade GIS-applikationer, med möjlighet att på ett lätt-hanterligt sätt ta del av insamlad och bearbetad data.

Den enskilt viktigaste GIS-applikationen är det så kallade ”Tittskåp – Göta älv”. Det innehåller närmare hundra lager och hundratusentals geografiska objekt. Exempel på användbara och lättillgängliga presentationer i tittskåpet är redovisningen av geotekniska fältundersökningar i plan, uppdaterad terrängmodell, geologisk karta, skredärr längs älven, med mera. I Figur 2-4 och 2-5 visas exempel på några presentationer av olika data i Tittskåp – Göta älv.

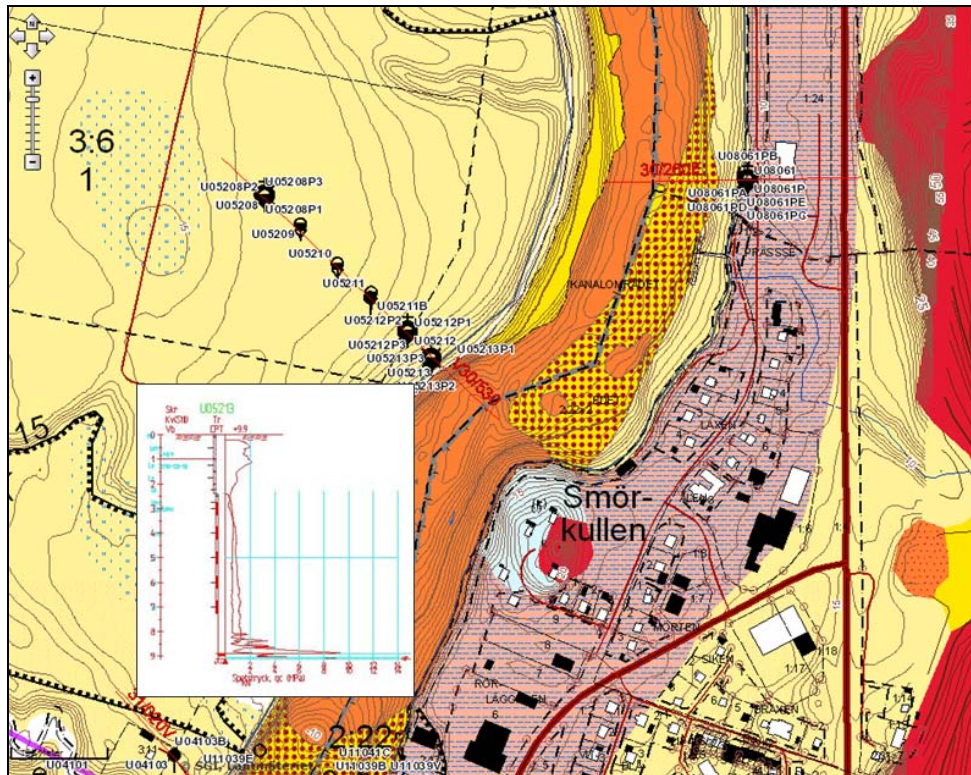
Tittskåpet har under utredningstiden varit ett mycket värdefullt verktyg för dataanalys. Vidare har de framtagna redigerbara GIS-applikationerna använts för hantering av utredningsresultat såsom redovisning av beräknade säkerhetsfaktorer mot stabilitetsbrott, förekomst av områden med kvicklera samt digitaliserad ytrepresentation av framtagna skredrisker.



**Figur 2-4**  
Exempel från Tittskåp Göta älv. Presentation på fastighetskartan av undersökningssektioner, borrhål och höjdkonturlinjer. Bakgrundskarta © SGI, Lantmäteriet.

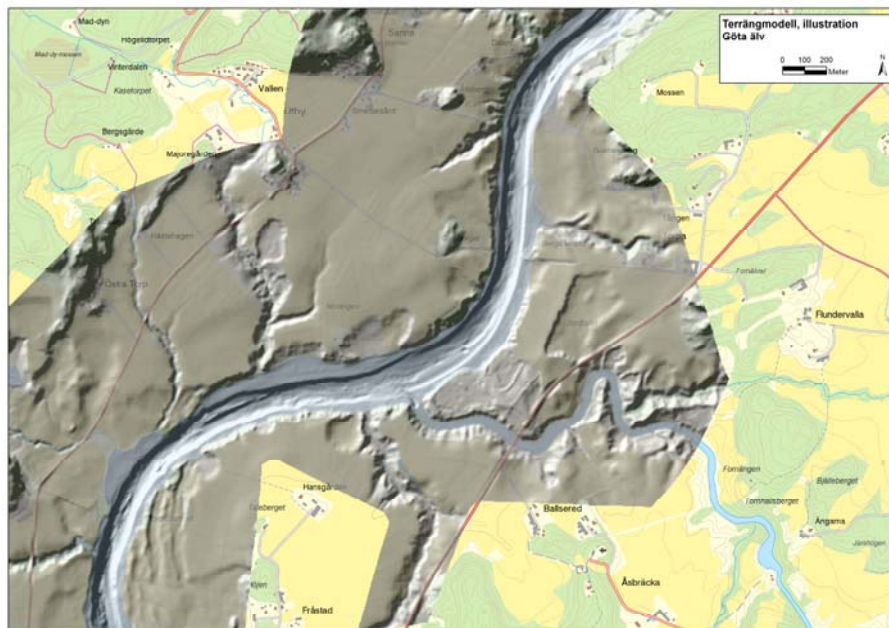
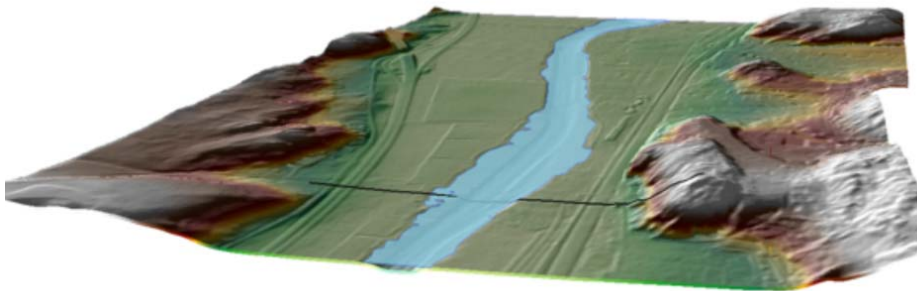


**Figur 2-5**  
Presentation av jordartskarta inklusive jordartsgeologi i älven, höjdkurvor med en meters ekvidistans, undersökningssektioner samt borrhål och sonderingsdiagram (diagram från GeoSuite). Bakgrundskarta © SGI, Lantmäteriet



## Terrängmodell

Alla skredriskanalyser måste grunda sig på en korrekt modell av terrängen och för Göta älvs del också av älvfårans topografi. I Göta älvtredningen har etablerats en terrängmodell över hela utredningsområdet baserad på en tidigare utförd laserskanning på land kompletterad med en multibeam-ekolodning i älven. Terrängmodellen har bland annat legat till grund för beräkning av erosionen samt för stabilitetsberäkningar i specifika sektioner. I Figur 2-6 visas illustrationer av den framtagna terrängmodellen.



**Figur 2-6**  
Illustration av terrängmodell Göta älv i 3D (överst) samt i plan.

### 3 Klimatförändringar

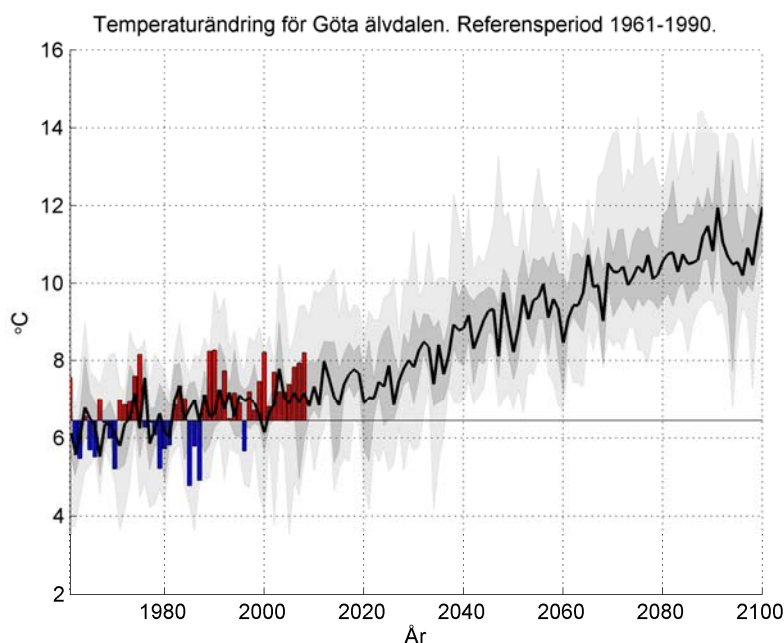
#### 3.1 Temperatur och nederbörd i ett framtida klimat

Utifrån 16 olika klimatscenarier om framtida utsläpp av växthusgaser har en analys utförts av klimatets utveckling i Göta älvdalen. De hydrologiska och meteorologiska förhållandena för dagens och framtida klimat beskrivs baserat på regionala scenarier och redovisas i Göta älvtredningens Delrapport 27.

Figur 3-1 visar den beräknade utvecklingen av årsmedeltemperaturen i Göta älvdalen. Av figuren framgår att årsmedeltemperaturen förväntas öka med 4-5°C vid seklets slut, jämfört med dagens förhållanden. Ökningen förväntas bli störst under vintern och minst under sommaren.

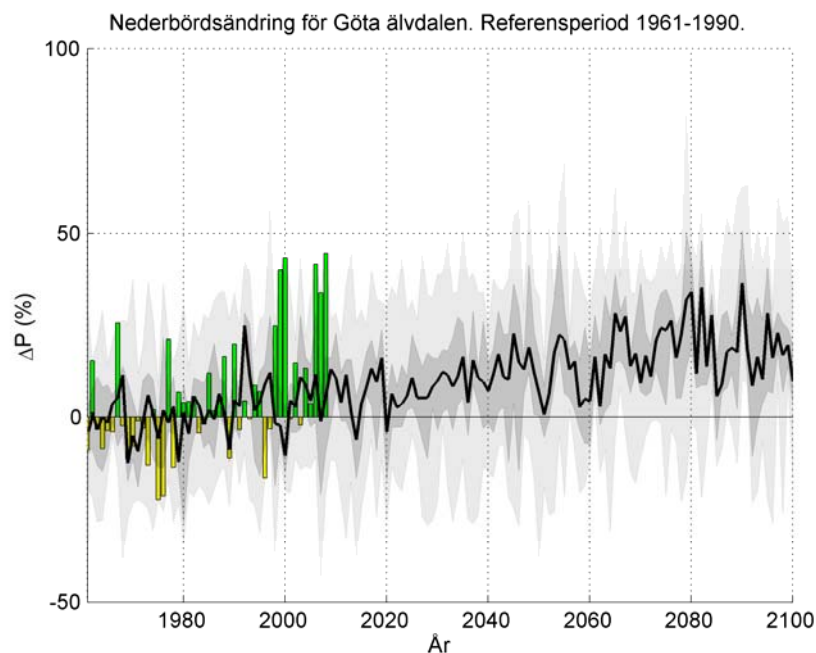
**Figur 3-1.**

Den framtida beräknade temperaturutvecklingen i Göta älvdalen för hela året samt observationer för samma område (blå och röda staplar). De olika skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75 %-percentilen, medianvärdet (svart linje), 25 %-percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Referensperiodens medelvärde (1961-1990) visas med en horisontell linje. (Efter Bergström et al., Göta älvtredningen Delrapport 27)



**Figur 3-2**

Den framtida beräknade nederbördsutvecklingen i Göta älvdalen för hela året. I figuren finns även observationer för samma område (gula och gröna staplar). De olika skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75 %-percentilen, medianvärdet (svart linje), 25 %-percentilen och minimivärdet av årsnederbörden från samtliga klimatberäkningar. (Efter Bergström et al., Göta älvtredningen Delrapport 27)

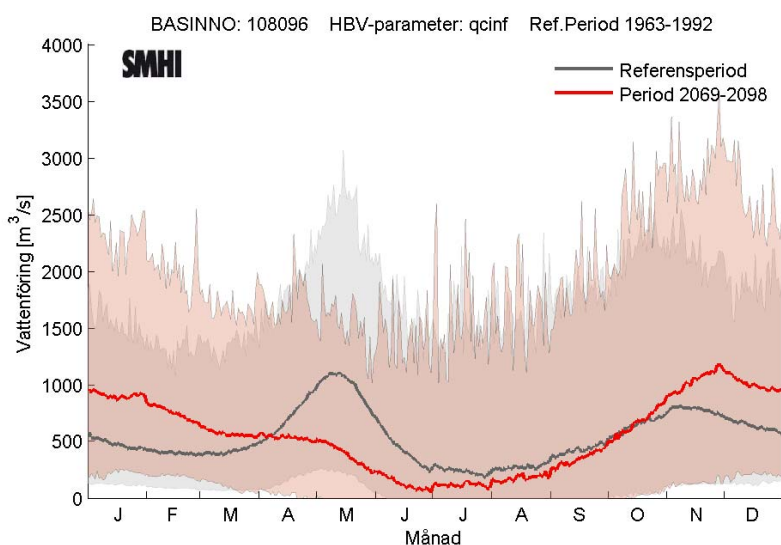




När det gäller framtidens extrema klimathändelser finns stora osäkerheter i bedömningarna, men den extrema dygnsnederbörden bedöms öka med 10 % till mitten av seklet och med 20 % till 2100 för regn med en återkomsttid av 100 år.

### 3.2 Förändrade flöden i Göta älv

Framtida vattenflöden i Göta älv beror av tillrinningen till Vänern. De förväntade klimatförändringarna innebär att tillrinningen kan komma att öka under vinter och höst samt minska under sommaren. Av Figur 3-3 framgår att klimatförändringarna även kommer att leda till en förändrad årsrytm i den framtida tillrinningen. Detta innebär också att vattenflödena i Göta älv förändras i framtiden så att högre flöden förekommer under längre perioder. Vilka flöden som kommer att avledas beror slutligen på valda tappningsstrategier.



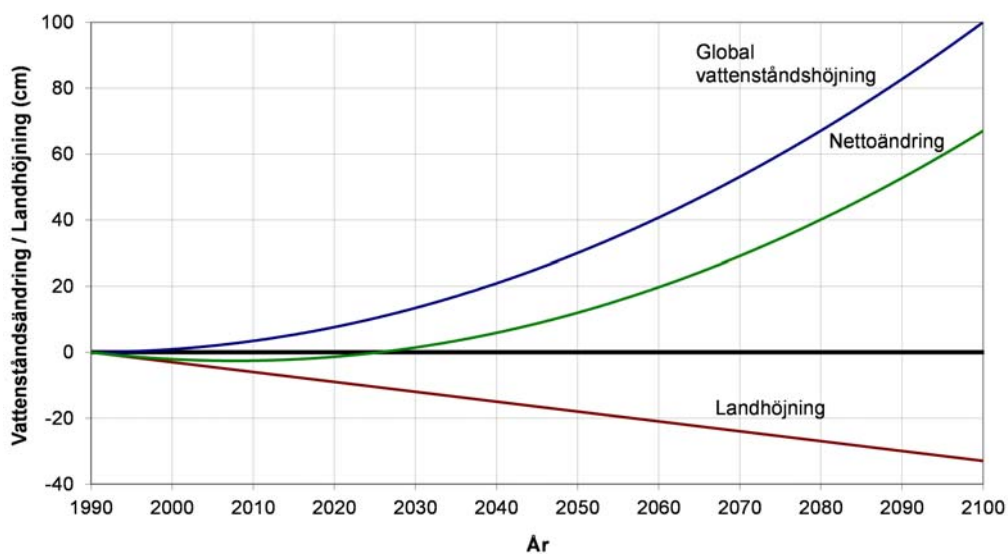
**Figur 3-3**  
Förändring av tillrinningens årsrytm till Vänern för perioden 2069-2098 i relation till referensperioden 1963-1992. Det grå skuggade området omfattar referensperiodens variationsbredd (75 % -percentilerna av maxvärdena respektive 25 % -percentilerna av minvärdena) och det rosa området avser motsvarande för klimatscenerierna. De heldragna linjerna representerar respektive medelvärde. (Efter Bergström et al., Göta älvutredningen Delrapport 27)

Baserade på de ändrade tillrinningarna har tappningsberäkningar genomförts i stort sett enligt den tappningsstrategi från Vänern som tillämpas sedan hösten 2008. Beräkningarna visar tydligt att såväl höga som låga tappningar från Vänern kommer att bli vanligare om klimatet utvecklas så som det beskrivs av framtidsscenerierna.

### 3.3 Havsnivåer i dagens och framtida klimat

Bedömningarna av havets nivåförändringar varierar avsevärt mellan olika vetenskapliga sammanställningar. Dessutom är de regionala skillnaderna stora. Den bedömning som gjorts i klimatanalysen är att den globala havsnivån ökar med cirka 0,3 m till år 2050 och omkring 1,0 m till år 2100 räknat från referensåret 1990. Detta innebär för Göteborg, med kompensation för landhöjningen, en nettoutveckling av havets nivå enligt diagrammet i Figur 3-4.

## Göteborg



**Figur 3-4**  
Havsnivåns förändring i Göteborg fram till år 2100 vid en global havsnivåhöjning med 0,3 m till år 2050 respektive 1,0 m år 2100. (Efter Bergström et al., Göta älvtredningen Delrapport 27)

Beträffande kortvariga extrema vattenstånd så är dessa oftast kopplade till stormar. Befintliga regionala klimatscenarier för Sverige ger inte någon entydig bild av hur dessa utvecklas. Det finns för närvarande inget underlag för rekommendationer om hur hänsyn ska tas till ändrad stormintensitet eller stormfrekvens och därmed sammanhängande höga vattennivåer i ett framtida klimat i Göteborgsområdet.

## 4 Metodik för skredriskanalys i Göta älvutredningen

Det viktigaste resultatet från Göta älvutredningen är redovisning av områden med skredrisker i dagens och i ett framtida klimat. I detta kapitel ges en beskrivning av väsentliga begrepp och använd metodik.

### 4.1 Vad är skredrisk?

Begreppet risk kan definieras som svaret på en kombination av tre frågor:

- **Vad kan hända?** Skred kan orsakas av både naturliga processer (nederbörd, erosion, med mera) och mänsklig påverkan (belastning, schakt etc.). Ett skred har en geografisk avgränsning samt ett snabbt förlopp. En viktig fråga har varit att ta ställning till vilken utbredning som skred kan få i olika lägen längs älven.
- **Hur sannolikt är det att det händer?** Sannolikheten för skred har beräknats med utgångspunkt från kartlagda och uppmätta geotekniska variabler samt den variation som dessa variabler uppvisar. Sannolikheten har beräknats i ett stort antal sektioner som är representativa för sin omgivning.
- **Vad blir konsekvenserna?** Konsekvenserna av ett skred har beräknats som de direkta kostnaderna för de områden med bebyggelse, inklusive människoliv, och samhällsviktiga verksamheter som berörs av skredet, samt indirekta kostnader som till exempel trafikomledning för en väg eller produktionsbortfall för näringslivet.

**Skredrisken** definieras som en kombination av sannolikheten för ett skred och konsekvenserna av skredet. Risken presenteras i tre nivåer: låg, medelhög och hög skredrisk.

### 4.2 Kartläggning av den geotekniska säkerheten mot skred

Säkerhet mot skred, även kallad stabilitet, uttrycks vanligen som förhållandet mellan de mothållande och pådrivande krafterna i en slänt. Detta förhållande kallas säkerhetsfaktor. Den mothållande kraften består främst av jordens hållfasthet men också stabiliserande krafter från till exempel vattenmassan i ett vattendrag eller påförda mothållande krafter i form av jord- och stenfyllning i nedre delen av slänten. De pådrivande krafterna uppkommer av jordens egen tyngd samt de belastningar som finns på marken i form av byggnader, materialupplag eller andra laster. Ett vanligt sätt att öka stabiliteten är att schakta av jordmassor ovan släntkrönet för att minska den pådrivande lasten och fylla på med massor i nedre delen av slänten för att öka den mothållande kraften. Terrängens topografi, till exempel släntens lutning, är en central parameter för släntstabiliteten.

För att erhålla en så god beskrivning av verkligheten som möjligt har den traditionella beräkningen av säkerhetsfaktorer kompletterats med en bedömning av sannolikheten för skred, där hänsyn tas till den osäkerhet som finns i de ingående parametrarna. Stabiliteten analyseras med hjälp av parametrar som ges en variation som beskriver deras osäkerhet. Variationen bestäms i varje enskilt fall med hjälp av erfarenhet från liknande områden samt med statistik från undersökningar och mätningar. Några parametrar ändras med tiden och till följd av klimatets förändring, vilket innebär att beräkningar måste göras både för en nutida och för en framtida situation.

Sannolikheten för skred har delats upp i fem klasser, S1-S5. Gränserna mellan de olika sannolikhetsklasserna har satts utifrån europeiska och svenska byggnormer som allmänt nyttjas för konstruktion av byggnader. Klasserna i Göta älvtredningen har valts så att sannolikhetsklass S5 innebär sämre förhållanden än den sämsta klass som kan accepteras för temporära konstruktioner, medan sannolikhetsklass S1 innebär bättre stabilitet än kraven för vanliga byggnader.

### 4.3 Bedömning av konsekvenserna av skred

Metodiken för bedömning av konsekvenser innefattar ett antal steg där det ingår att:

- identifiera vad eller vilka objekt som kan drabbas inom ett visst avgränsat område,
- bedöma i vilken omfattning som ett skred kan påverka detta objekt,
- göra en monetär bedömning (kostnader) för bebyggelse, människoliv, väg och järnväg, energi- och ledningssystem, VA-system, miljöfarliga verksamheter och förorenade områden samt näringsliv,
- bedöma påverkan på naturmiljö och kulturarv.

Konsekvenserna av ett skred beskrivs huvudsakligen som de direkta kostnaderna för människor, markområden, bebyggelse, infrastruktur, etc. som berörs av skredet. För väg och järnväg ingår också kostnaden för trafikomledning liksom produktionsbortfall för näringslivet. Av stor betydelse är tidsaspekten, det vill säga tiden för att en verksamhet återställs eller nyinstalleras. Samtliga konsekvenser har givits ett ekonomiskt värde. Kostnaderna för sekundära skred som bland annat påverkar sjöfarten har inte inkluderats i beräkningen av konsekvenser.

För vissa förhållanden saknas metoder eller underlag för att göra monetära bedömningar. I utredningen har det inte bedömts möjligt att inkludera monetära värden på natur- och kulturvärden vid värdering av konsekvenser.

Konsekvenser för skred anges som konsekvensklasser K1-K5. Gränserna mellan de olika konsekvensklasserna har satts med hänsyn till tidigare utförda karteringar av skredrisker samt erfarenheterna från tidigare inträffade skred.

Skred i Göta älvdalen kan beröra många människor och viktiga samhällsfunktioner. En uttömmande beskrivning, och framförallt ekonomisk värdering, av samtliga konsekvenser har inte varit möjlig inom Göta älvtredningen. Skred medför för många människor lidande, sorg eller obehag, men detta har inte kunnat bedömas i monetära termer. Riskens förändring i takt med samhällsutvecklingen och de ökade konsekvenser som skred kan komma att få till följd av ny bebyggelse tillkommer längs älven, har i utredningen betraktats som en ”genuin osäkerhet” och har inte specifikt kvantifierats.

### 4.4 Sammanställning av skredrisker

Skredrisken definieras som en kombination av sannolikheten för ett skred och konsekvenserna av skredet. Varje enskilt område inom utredningsgränserna har tilldelats en sannolikhetsklass (S-klass) från *Försumbar sannolikhet för skred* (S1) till *Påtaglig sannolikhet för skred* (S5) samt en konsekvensklass (K-klass) från *Lindriga konsekvenser* (K1) till *Katastrofala konsekvenser* (K5). Varje enskilt område kan därför beskrivas med ett talpar ”S/K” som representerar kombinationen sannolikheter/konsekvenser. Visualisering av denna kombination av sannolikheter och konsekvenser kan presenteras i en matris för olika kombinationer, se Figur 4-1. Skredrisken anges genom tre skredrisknivåer: låg, medelhög och hög skredrisk med motsvarande färger gul, orange och röd.

### Sannolikhetsklasser

S5 (Påtaglig)	Orange	Röd	Röd	Röd	Röd
S4	Orange	Orange	Röd	Röd	Röd
S3	Gul	Orange	Orange	Orange	Orange
S2	Gul	Gul	Gul	Orange	Orange
S1 (Försumbar)	Gul	Gul	Gul	Gul	Gul
	K1 (Lindriga)	K2	K3	K4	K5 (Katastrofala)

**Konsekvensklasser**

	områden med <b>låg</b> skredrisknivå
	områden med <b>medelhög</b> skredrisknivå
	områden med <b>hög</b> skredrisknivå

**Figur 4-1**  
Matris med skredrisknivåer baserad på sannolikhet för skred och dess konsekvenser

#### 4.5 Redovisning av skredrisker på kartor

Skredrisker för olika områden längs Göta älv redovisas i GÄU Slutrapport Del 3 – Kartor. Risken anges i tre skredrisknivåer (låg, medelhög och hög skredrisk) på kartor i skala 1:10 000 över hela utredningsområdet. De presenteras med färgerna gul, orange respektive röd.

På kartorna redovisas även sannolikhet för skred (klass S1-S5) respektive konsekvenser (klass K1-K5) i form av talpar, S/K. Talparen har placerats på representativa platser inom respektive riskområde. Kartorna visar kombinationer av sannolikheten för ett skred och de primära konsekvenserna av ett sådant skred, det vill säga förluster av människoliv och skador på befintliga fastigheter och anläggningar på land.

Vidare framgår också områden där initiala skred bedöms kunna sprida sig genom följskred och få stor utbredning, så kallade kvicklereskred. För att ta hänsyn till eventuella sekundära effekter av skred i Göta älvdalen har områden med högsensitiv lera/kvicklera och hög sannolikhet för skred (sannolikhetsklass S4 eller S5) närmast älven markerats med ett streckat mönster på riskkartorna. Detta indikerar att möjligheten för att ett större skred inträffar är påtaglig i detta område, vilket också medför en större risk (större konsekvenser).

Slutligen anges på kartorna den påverkan som kan förväntas till följd av klimatförändringen. Klimatpåverkan har beräknats som en effekt på sannolikheten för skred och markerats i tre klasser: liten, måttlig och stor påverkan.

## 5 Skredrisker i Göta älvdalen

### 5.1 Utmaningar i ett förändrat klimat

Höga vattenflöden i älven påverkar bebyggelse och infrastruktur dels genom direkt belastning på konstruktioner i vattnet, dels genom erosion och försämrad stabilitet i omgivande slänter. Ökade flöden innebär ökad erosion av hela tvärsnittet inklusive undervattenslänter och det är främst denna erosion och förflyttningen av strandkanten som legat till grund för stabilitetsberäkningarna i ett framtida klimat. Längs sträckorna med den högsta erosionen förändras sannolikheten för skred mest. Erosionen är större i den södra delen av älven och därmed ökar också sannolikheten för skred mest i denna del. Detta sker dock i stor utsträckning inom områden som idag har relativt låg sannolikhet för skred. I den norra delen av älven, norr om Lilla Edet, blir erosionen mindre, men å andra sidan sker detta inom områden som redan idag har hög skredrisk och där även små förändringar kan verka utlösande för skred.

Ökade flöden är en följd av ökad nederbörd i ett framtida klimat, vilket också påverkar grundvattennivån och portrycket i marken. Utredningen har dock visat att den relativt begränsade förändringen av maximala grundvattennivåer och portryck i slänterna som kan förväntas i framtiden med hänsyn till klimatscenerierna, normalt har begränsad påverkan på stabilitetsförhållandena.

### 5.2 Bebyggelse och infrastruktur

Konsekvenser av skred påverkar många värden längs Göta älv däribland bebyggelse och viktiga samhällsfunktioner som transportinfrastruktur, dricksvattenförsörjning och elförsörjning. Dalgången med dess strandängar utgör ett riksintresse för natur- och friluftsliv. Kulturmiljöer och byggnadsminnen förekommer tillsammans med modern bebyggelse, infrastruktur och industrier. Inom området finns också förorenade markområden och sediment. Miljöfarlig verksamhet förekommer på många platser längs hela älven.

Med den i utredningen använda metodiken blir det beräknade ekonomiska värdet av potentiella skador orsakade av skred 144 miljarder kronor, summerat över hela det kartlagda området. Till detta kommer en lång rad andra samhällskonsekvenser som kan ha stor betydelse, men som inte specifikt har kostnadsberäknats i utredningen. En känslighetsanalys över variationen hos olika kostnadsposter har gjorts vilket bland annat visar att tiden för återställning vid ett skred har stor betydelse för kostnaden, när vägar och annan infrastruktur är berörd. Konsekvenserna inom alla områden med hög skredrisk (röda områden) värderas för dagens förhållanden till drygt 7 miljarder kronor och för områden med låg stabilitet med sannolikhetsklass S4 eller S5 för skred (röda och delar av de orangefärgade områdena) uppgår den samlade kostnaden för konsekvenserna till cirka 10 miljarder. Kostnaderna innefattar inte sekundära effekter av stora skred. Förutom de beräknade kostnaderna knutna till skredet medför stora skred även andra samhällskonsekvenser som inte har kostnadsberäknats, men som kan bli mycket stora. Kostnaderna för konsekvenser är fördelade över hela utredningsområdet, men de högsta kostnaderna är i stor utsträckning knutna till tätorter och bebyggda områden, även om höga kostnader för konsekvenser kan finnas också i de mer glest exploaterade delarna längs älven.

### 5.3 Sjöfart

Sjöfarten påverkas direkt av skred i älven. Även mindre skred kan innebära stopp eller störningar för fartygstrafiken. För att återställa farledens djup efter ett skred krävs



ibland muddring. Muddring krävs också för att återställa farledens djup till följd av uppgrundning förorsakad av sedimentation. Idag förekommer muddring främst i de södra delarna av Göta älv, mellan Göteborgs hamn och Lärjeåns utlopp.

Fartygstrafiken påverkar erosionen, men utredningen har visat att när det gäller transporten av eroderat material längs älven är fartygens bidrag sannolikt begränsat. När det gäller erosion i slänterna är fartygens bidrag större och fartygspassagerarna är väsentliga för erosionsangreppen i strandkanten. Fartygens hastighet har här stor betydelse.

#### 5.4 Miljöpåverkan

Det finns omkring 50 registrerade miljöfarliga verksamheter inom Göta älv dalen. Längs Göta älv finns åtta Sevesoklassade anläggningar som hanterar miljöfarliga ämnen i nära anslutning till älven och ytterligare ett tiotal identifierade områden med förorenad mark. Ökad erosion innebär ökad transport av partiklar och ökad turbiditet (grumlighet). Ett skred uppströms ett råvattenintag vid älven kan medföra att intaget behöver stängas på grund av grumling och eventuellt också på grund av att miljöfarliga ämnen nått älven. Inom utredningen bedöms de totala extra kostnaderna i samband med sanering av förorenad mark vid ett skred uppgå till i storleksordningen 20 miljoner kronor per hektar.

#### 5.5 Områden med skredrisker i dagens och framtida klimat

Kartläggningen visar att det finns många områden med hög risk längs Göta älv och att riskerna ökar i ett förändrat klimat. Klimatförändringen innebär att skredriskerna för flera områden kommer att förändras. Beräkning av klimatförändringens inverkan i 200 geotekniska sektioner resulterade i att 25 % av dessa får en högre risknivå år 2100 jämfört med idag. Områden med hög skredrisk (rödfärgade områden på skredriskkartorna) bedöms komma att öka med cirka 10 % fram till år 2100 i förhållande till idag om inga åtgärder vidtas.

De största områdena med höga skredrisker återfinns i den norra delen av älven. Sträckan från Trollhättan till Ödegårdet söder om Lilla Edet utgör det största sammanhängande området med hög skredrisk. Området präglas av höga branta slänter och djupa branta raviner. I området finns talrika spår efter tidigare skred. Omkring hälften av den omkring 20 km långa sträckan har sannolikhet för skred med den högsta sannolikhetsklassen (S5) och därutöver finns många områden med näst högsta sannolikhetsklassen (S4) i kombination med konsekvensklass K3-K5. Inom denna del finns långa sträckor med högsensitiv lera framförallt på älvens västra sida men även på östra sidan. Stora områden har markerats med förhöjd risk för sekundära effekter med bland annat stor älvpåverkan vid omfattande skred. Klimatpåverkan är i huvudsak låg till måttlig men när påverkan sker inom områden som redan idag har hög sannolikhetsklass för skred, kan detta få allvarliga följder.

Söder om Lilla Edet är erosionen redan idag omfattande och ökar dessutom påtagligt med förändrat klimat, vilket betyder större klimatpåverkan på skredrisken. Detta sker dock längs en sträcka som idag i huvudsak har låg skredrisk, men betyder ändå att risknivån kan öka inom vissa partier. Längs Göta älv söder om Bohus finns flera smala områden med medelhög risk och i vissa smala partier närmast älven även hög risk. Klimatpåverkan är stor inom denna sträcka.

Inom de riskområden som markerats på skredriskkartorna finns några särskilt utsatta avsnitt längs Göta älv, med reservation för att förteckningen nedan inte är heltäckande. Områden med hög risk finns på många platser invid älven och riskerna måste hanteras för varje enskild plats.

**Gäddebacke, Vänersborgs kommun** – På östra sidan älven finns ett område med sannolikhetsklass S4 och hög skredrisk. Inom området finns en skyddsvall som ska skydda bakomliggande områden mot översvämning. Skyddsvallen är klassad som en högkonsekvensdamm (konsekvensklass 1A) enligt riktlinjer från kraftverksbranschen RIDAS.

**Åkerström, Trollhättans kommun** – Område med samlad bebyggelse och högsta sannolikhetsklass för skred (S5). Området har idag hög skredrisk.

**Lilla Edets tätort** – Inom Lilla Edets tätort finns flera områden med hög skredrisk på båda sidor om älven. Inom flera områden inom tätorten är sannolikhetsklassen S5 eller S4 närmast älven och förekomst av kvicklera kan medföra sekundära effekter. Mest utbredd är den höga skredrisken på västra sidan av älven, men förekommer även på östra sidan inom några begränsade områden.

**Gamla pappersbruket, Lilla Edets kommun** – Ett stort område med förekomst av kvicklera och högsta sannolikhetsklass för skred (S5). Området som har markerats med hög skredrisk ligger strax norr om skredområdet för Götaskredet 1957.

**Älvängens industriområde, Ale kommun** – Inom befintligt industriområde förekommer sannolikhetsklass S4 och S5 närmast älven. I området, som också innehåller markföroreningar, har stabilitetsproblemen uppmärksamrats. Området har markerats med hög skredrisk.

**Kärra-Backa, Göteborgs kommun** – Branta undervattensslänter ger försämrad stabilitet och områden med medelhög risk har identifierats längs tämligen långa sträckor av Göta älv ner mot Göteborg. Inom sträckan finns också smala områden närmast älven med hög risk och högsta sannolikhetsklass S5 för skred.

**Nordre älvs norra strandlinje, Kungälv kommun** – Inom två områden närmast älven förekommer sannolikhetsklass S4. Områdena har markerats med hög skredrisk.



## 6 Åtgärder och kostnader

Utredningen visar att skredrisker finns längs Göta älvdalen både i ett kortsiktigt och långsiktigt perspektiv. Det innebär att det är nödvändigt att vidta åtgärder dels för att minska riskerna under dagens förhållanden, dels att ytterligare åtgärder erfordras för att förebygga skredrisker i ett förändrat klimat.

De skredriskområden som redovisas på kartorna i utredningen ger underlag för beslut om åtgärder för att öka stabiliteten i älvdalen. Utredningen har minskat osäkerheterna om var skredrisker finns i utredningsområdet och genom kommunikation med berörda kommuner har flera detaljerade stabilitetsutredningar påbörjats. Utredningen utgör ett konkret underlag för planering för ökade flöden och därmed också klimatanpassning i Göta älvdalen.

Vattenståndet i Vänern och flödena i Göta älv regleras av gällande vattendom. Det framtida klimatet innebär minskad tillrinning under sommaren och ökad tillrinning under höst och vinter. Såväl höga som låga tappningar kommer att bli vanligare. Den framtida vattenhushållningen i Vänern och Göta älv måste lösas genom en avvägning mellan många intressenter. De geotekniska säkerhetsaspekterna är relevanta i huvudsak inom områden som redan idag har hög risknivå eller hög sannolikhetsklass för skred. Det finns emellertid många identifierade områden där skredrisken ökar markant, från låg risk till medelhög risk och från medelhög risk till hög risk, till följd av de klimatförändringar som förväntas inom en 100-årsperiod. I ett kortare perspektiv kommer dock klimatets påverkan på skredriskerna att vara begränsad.

### 6.1 Behov av förstärkningsåtgärder

Skredrisker kan begränsas både genom att minska sannolikheten för skred och genom att mildra konsekvenserna av ett skred. Den senare delen, att minska konsekvenserna, hänger samman med samhällsplanering och samhällsutveckling, med markanvändningen och med hur anläggningar och bebyggelse lokaliseras samt hur befintliga strukturer utnyttjas och utvecklas. I den kommunala och regionala planeringen är detta viktiga aspekter som måste finnas med som en central del i riskhanteringen.

Sannolikheten för skred kan minskas genom stabilitetsförbättrande åtgärder. Det handlar både om att förbättra stabiliteten för befintliga förhållanden och om att motverka att stabiliteten försämras i framtiden.

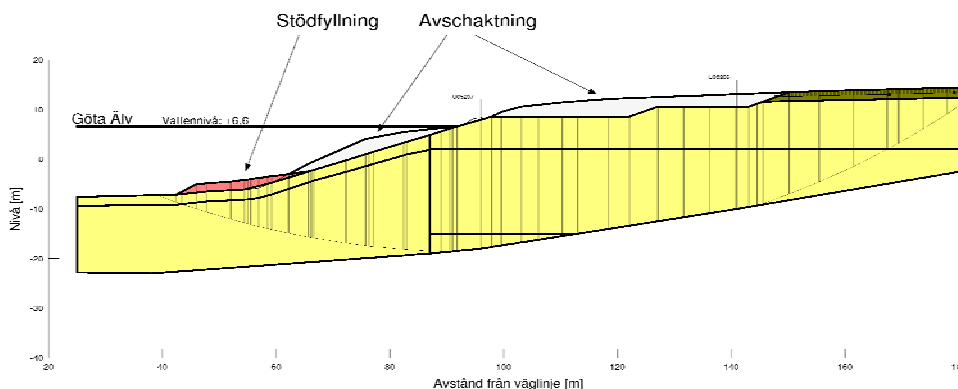
Behovet av stabilitetsförbättrande åtgärder måste vägas mot möjligheten att minska riskerna på annat sätt, till exempel genom att flytta verksamhet eller ändra markanvändningen. I denna utredning har valts att beräkna omfattning och kostnader för stabilitetsförbättrande åtgärder så att stabiliteten förbättras med minst 20 % inom områden där sannolikheten för skred har sannolikhetsklass 4 och 5. Detta innebär stabilitetsförbättrande åtgärder längs cirka 60 km fördelat med 35 km på västra sidan och 25 km på östra sidan av älven.

### 6.2 Tekniska principlösningar och kostnadsuppskattning

Behovet av stabilitetsförbättrande åtgärder har uppskattats och en överslagsmässig bedömning har gjorts av kostnader för dessa åtgärder. Bedömningarna har gjorts baserade på en sammanvägd bild av risknivåer med avseende på skred utmed älven, bedömda erosionsprocesser samt möjliga översvänningsområden med hänsyn till förändringar i klimatet. Bedömning av åtgärdsbehov har utförts dels för ett scenario motsva-

rande dagens situation och tappning genom älven, dels för en framtida maximal tappning motsvarande 1 500 m<sup>3</sup>/s (under del av året).

Behovet av **stabilitetsförbättrande åtgärder** har bedömts baserat på beräkningar av erforderlig avlastning och utflackning av slänterna utmed älven, Figur 6-1. Andra mer kostnadskrävande metoder kan i vissa fall bli nödvändiga av utrymmesskäl eller miljöhänsyn. Utmed vissa delar av stranden, där bebyggelse ligger nära stranden eller där farledsdjupet i älven är begränsat, kommer lösningar i form av till exempel flyttning av byggnader eller industriverksamhet, spontning eller andra åtgärder sannolikt att bli aktuella.



**Figur 6-1**  
Exempel på beräknad sektion med stabilitetsförbättring genom avschaktning och stödfyllning

Behovet av utökad **erosionsskydd** har bedömts och kostnaderna för detta har uppskattats. Behov bedöms finnas av såväl förbättring av befintliga erosionsskydd som utläggning av nya erosionsskydd. Ett ökat flöde och sedimenttransport i älven förväntas medföra ett ökat behov av muddring av älvens södra delar, främst utanför utredningsområdet. Så länge muddringen inte utförs djupare på grund av eventuell framtida ändrad nivå för farledsdjupet i älven, bedöms detta dock inte inverka på stabiliteten utmed Göta älv och någon kostnadsbedömning av muddringsbehov har inte gjorts inom utredningen.

Behovet av **invallning** där översvämningsrisk finns för områden med befintlig bebyggelse eller industrimark har bedömts för vattennivåer i älven vid dagens och framtida flöden. En uppskattning av kostnader för detta har gjorts. Anledningen till att invallningar beaktats i utredningen är att vallar innebär en ökad belastning som kan innebära en försämrad stabilitet. Detta behöver utredas speciellt eller i samband med detaljutredning av övriga behov av stabilitetsförbättrande åtgärder eller av översvämningsrisker. Invallning av områden med lägre konsekvenser, till exempel jordbruksmark i nära anslutning till älven, har inte beaktats i utredningen.

För utförandet av stabilitetsförbättrande åtgärder krävs **utredningar** i form av detaljerade stabilitetsutredningar, projektering av åtgärder och upprättande av bygghandlingar, miljökonsekvensbeskrivningar, tillståndsansökningar med mera.

Det finns behov av fortlöpande **kontroll/övervakning och underhåll** av funktionen hos stabilitetsförbättrande åtgärder. Behov av kontroll och övervakning omfattar också pågående erosionsprocesser. Behovet av åtgärder är stort men har bedömts kunna hållas på de uppskattade nivåerna under förutsättning att status på erosionsskydd, erosionsförlopp och flöden fortlöpande följs upp.

I Tabell 6-1 visas de sammanlagda kostnaderna för stabilitetsförbättrande åtgärder, erosionsskydd, invallningar, utredningar samt årligt underhåll och övervakning av erosionsskydd och erosionsprocesser. Kostnaden redovisas för dagens situation och för en situation med en maximal tappning motsvarande 1 500 m<sup>3</sup>/s. De sammantagna kostnaderna bedöms till mellan 4 och 5 miljarder kronor vid flöden enligt vattendom (maximalt flöde 1 030 m<sup>3</sup>/s) och till mellan 5 och 6 miljarder kronor vid ökade flöden (maximalt 1 500 m<sup>3</sup>/s). Löpande övervakning samt underhåll av erosionsskydd bedöms till en årlig kostnad av 6-7 MSEK/år för dagens förhållanden och 7-9 MSEK/år i framtida klimat. Kostnader för invallning av obebyggda låglänta områden eller för muddring av farleden ingår inte.

Åtgärder	Dagens situation, max tappning 1030 m <sup>3</sup> /s (MSEK)	Framtida förhållanden, max tappning 1500 m <sup>3</sup> /s (MSEK)
Stabilitetsförbättrande åtgärder, erosionsskydd, invallningar	3 600 - 4 300	4 300 - 5 200
Utredningar	400 - 450	450 - 500
<b>Totalt (Mkr)</b>	<b>4 000 - 4 750</b>	<b>4 750 - 5 700</b>
Årligt underhåll	4 - 5	5,5 - 6,5
Årlig övervakning	1,5 - 2	1,5 - 2
<b>Totalt (MSEK/år)</b>	<b>5,5 - 7</b>	<b>7 - 8,5</b>

**Tabell 6-1**  
Totalkostnader för  
de studerade  
scenarierna

## 7 Slutsatser och förslag

Utredningen har visat att det inom Göta älvdalen finns många områden med hög skredrisk för dagens förhållanden och att riskerna kommer att öka i ett förändrat klimat. Klimatförändringen innebär att omkring 25 % av de kartlagda områdena kommer att få en högre risknivå fram till år 2100, jämfört med idag. Omfattningen av områden i den högsta riskklassen bedöms öka med omkring 10 % fram till år 2100, samtidigt som sannolikheten för skred ökar ytterligare inom redan markerade högriskområden om inga åtgärder vidtas.

Mot bakgrund av de stora värden som berörs längs Göta älv är utredningens slutsats att det är nödvändigt och geotekniskt möjligt att vidta åtgärder så att tappningen i Göta älv kan ökas samtidigt som de nuvarande skredriskerna minskas. Åtgärderna bedöms i ett samhällsperspektiv som relevanta i förhållande till de värden som skyddas. SGI:s bedömning är att arbetet med prioriterade områden bör påbörjas omgående. I ett första skede klargörs vilka stabilitetshöjande åtgärder som är nödvändiga för respektive område.

Med utgångspunkt från Göta älvutredningen föreslås följande handlingsplan för klimatanpassning av Göta älvdalen:

### 7.1 Anpassa Göta älv för ökade flöden

SGI föreslår att Göta älv anpassas för ökade flöden samtidigt som dagens risknivåer minskas genom geotekniska åtgärder i prioriterade områden. Följande åtgärder bör ingå i detta anpassningsarbete.

#### Åtgärder för att förbättra stabilitetsförhållandena

Åtgärder för att förbättra stabiliteten bör genomföras i områden med låg beräknad stabilitet närmast älven, sannolikhetsklass S4 och S5, vilket inkluderar samtliga områden med hög skredrisk och därutöver vissa områden med medelhög skredrisk (områden med röd respektive delar av områden med orange färg på skredriskkartorna). SGI anser vidare att åtgärder måste vidtas för att motverka att riskerna ökar till följd av klimatförändringen. Åtgärder bör vidtas för att minska sannolikheten för skred i dagens situation och för att förebygga riskerna vid framtida ökade flöden.

En prioriterad ordningsföljd för åtgärderna bör tas fram och åtgärderna bör genomföras i samverkan mellan berörda myndigheter, fastighetsägare och andra intressenter. SGI ser också att alternativet att flytta vissa verksamheter bör ingå som en möjlig åtgärd.

Geotekniska åtgärder i områden med låg stabilitet kräver god planering och noggranna förberedelser. Markarbeten i områden med låg stabilitet och högsensitiv lera måste föregås av detaljerade utredningar och projektering för att undvika skred vid arbetenas utförande.

#### Förstärk älvens erosionsskydd

Utredningen visar att det finns behov av att förbättra och förstärka befintliga erosionsskydd längs med älvens stränder, över och under vattenytan. Av utredningen framgår att successiv erosion – som ökar med ökat flöde – är den mest kritiska faktorn för framtida skred, vid sidan av mänskliga aktiviteter. Utbyggnad av erosionsskydd bör

föregås av utredningar av nuvarande skydds beskaffenhet och behov av nya skydd, speciellt för slänter under vatten och längs älvens botten. Det är viktigt att planera och utforma skydd mot stranderosion och bottenerosion för att motverka ökade skredrisker. Arbetet kopplas till förutsättningarna för ökad tappning i älven.

Dessutom föreslås att särskilda övervakningsinsatser genomförs av erosionen, både inom områden med hög skredrisk under dagens förhållanden och inom områden med stor klimatpåverkan. Den besiktning som SGI genomför i samverkan med Vattenfall och Sjöfartsverket och den övervakning som genomförs längs älven idag, bör därför kompletteras med övervakning av bottenförhållanden och erosion.

### **En sammanhållen process för ökad släntstabilitet och samhällsutveckling**

De geotekniska förstärkningsarbetena bör genomföras inom ramen för en samordnad planprocess. Omfattande stabilitetsförbättrande åtgärder kommer att kräva särskilda bestämmelser i detaljplan och miljökonsekvensutredningar för flera områden. Tillåtelse enligt miljödom fordras sannolikt för de flesta av aktiviteterna. För att hantera detta på ett tids- och resursbesparande sätt föreslås att de stabilitetsförbättrande åtgärderna planeras och prioriteras övergripande för hela älven.

Inom utredningsområdet finns bebyggelse och infrastruktur i områden nära älven. Verksamheterna berörs av skredrisker men också av andra geotekniskt relaterade risker för skador, till exempel till följd av marksättningar. Åtgärder för att öka säkerheten mot skred kan samtidigt skapa förutsättningar för exploatering av ny bebyggelse och infrastruktur. SGI anser att skredrisksituationen längs älven är sådan att effekterna av klimatförändringen bör motverkas genom väl planerad tappningsstrategi där såväl höga som låga flöden beaktas.

## **7.2 Delegation för klimatanpassning i Göta älvdalen**

För att genomföra en hållbar klimatanpassning i Göta älvdalen föreslår SGI att regeringen tillsätter en delegation med representanter från olika berörda samhällsintressen för att driva och genomföra åtgärder. Syftet med delegationen är att samordnat planera och genomföra åtgärder som minskar skredriskerna för befintlig bebyggelse och förebygger sådana risker för ny bebyggelse och infrastruktur, för dagens och framtida klimat. Inom delegationen kan bland annat klargöras ansvarsförhållanden, planeringsförutsättningar, samordning av investeringar och finansiering av åtgärder.

Delegationen bör utgöras av en kärna av fasta ledamöter för kontinuitet och överblick. Vidare föreslås att delegationen får en politisk förankring eller en tydlig avnämare i det politiska systemet. Delegationen bör förfoga över ett särskilt statligt anslag avsett för konkreta anpassningsåtgärder i Göta älvdalen. Arbetet bör samordnas med klimatanpassningsarbetet inom Vänerregionen.

Inrättande av en delegation för klimatanpassning i Göta älvdalen bör föregås av ett förarbete där sammansättning, arbetsområde, ansvar och mandat för delegationen klargörs. Med den erfarenhet och det kontaktnät som genererats av utredningen har SGI en god grund för att genomföra ett sådant riktat uppdrag från regeringen.

## **7.3 Vidareutveckling av planerings- och beslutsunderlag**

Den omfattande information och de resultat som sammanställts i Göta älvtredningen liksom de verktyg för geografisk information (GIS) som utvecklats bör utnyttjas för planering och byggande i älvdalen. De framtagna skredriskkartorna representerar dagens förhållanden och den påverkan som kan förväntas vid klimatförändringar. Den

GIS-baserade, helt digitala, metodik som byggts upp för datalagring, bearbetning samt redovisning ger förutsättningar för såväl kontinuerlig à jourhållning som ytterligare utveckling med allt högre noggrannhet och täckningsgrad. För à jourhållning och uppdatering krävs enkla och rationella rutiner för datainsamling från kommuner och andra berörda instanser.

Utredningen har visat att det finns behov av ytterligare kunskap om flera frågeställningar kring skredriskanalyser och övervakning, liksom för att öka effektiviteten hos de omfattande geotekniska förstärkningsarbeten och utredningsarbeten som erfordras för att förbättra stabiliteten. Forskning och utveckling behövs också för att förbättra kunskapen om klimatförändringens effekter på geotekniska förhållanden. Exempel på sådana insatser är system för långtidsmätningar av grundvattennivåer och portryck i älvdalen, liksom utveckling av mer avancerade modeller för beskrivning av erosionsprocesser.

I Göta älvutredningen har utvecklats en modell för klimatanpassningsarbete och erfarenheterna bör användas för motsvarande arbete i övriga delar av landet. Den utvecklade metodiken och den genomförda kartläggningen är också relevant för internationell tillämpning.

SGI anser att Göta älvutredningen är ett konkret steg i arbetet med att anpassa samhället till ett förändrat klimat. En grundläggande slutsats är att geoteknisk anpassning för ett framtida förändrat klimat samtidigt ger positiva effekter redan i dagens situation. SGI anser att arbetet med klimatanpassning måste integreras som en viktig del i dagens planering och markbyggnad.

## Bilaga

### Göta älvutredningen, GÄU – Delrapporter

- 1 **Erosionsförhållanden i Göta älv**  
Bengt Rydell, Linda Blied, Håkan Persson, Wilhelm Rankka
- 2 **Fördjupningsstudie om erosion i vattendrag**  
Bengt Rydell, Håkan Persson, Linda Blied, Sofia Åström, Walter Gyllenram
- 3 **Hydrodynamisk modell för Göta älv. Underlag för analys av vattennivåer, ström-  
hastigheter och bottenskjuvspänningar**  
Sofia Åström, Dan Eklund, Sture Lindahl
- 4 **Transport av suspenderat material i Göta älv**  
Gunnel Göransson, Håkan Persson, Karin Lundström
- 5 **Ytgeologisk undersökning med backscatter – Analys för Göta älv och  
Nordre älv**  
Marin Miljöanalys AB
- 6 **Bottenförhållanden i Göta älv**  
Fredrik Klingberg
- 7 **Bedömning av grundvattenförhållanden för slänter längs Göta älv – Allmän väg-  
ledning**  
Håkan Persson, Per-Evert Bengtsson, Karin Lundström, Petter Karlsson
- 8 **Känslighetsanalys för variationer i grundvattennivå och val av maximala  
portryck i slänter längs Göta älv – Exempel från en slänt**  
Håkan Persson
- 9 **Bedömd förändring av maximala grundvattennivåer i Göta älvdalen till följd  
av förändrat klimat**  
Linda Blied, Håkan Persson
- 10 **Studie av portryckens påverkan från nederbörd och vattenståndsvariation  
i tre slänter längs Göta älv**  
Linda Blied
- 11 **Analys av uppmätta portryck i slänterna vid Äsperöd och Åkerström**  
Thomas Rihm
- 12 **Metodik för inventering och värdering av konsekvenser till följd av skred i  
Göta älvdalen**  
Yvonne Andersson-Sköld
- 13 **Metodik konsekvensbedömning – Känslighetsanalys, klassindelning och  
applicering av metodik i hela utredningsområdet**  
Yvonne Andersson-Sköld
- 14 **Metodik konsekvensbedömning – Bebyggelse**  
Stefan Falemo
- 15 **Metodik konsekvensbedömning – Kartläggning, exponering, sårbarhet och  
värdering av liv**  
Stefan Falemo
- 16 **Metodik konsekvensbedömning – Sjöfart**  
Ramona Bergman
- 17 **Metodik konsekvensbedömning – Väg**  
Ramona Bergman
- 18 **Metodik konsekvensbedömning – Järnväg**  
Ramona Bergman

- 19 **Metodik konsekvensbedömning – Miljöfarliga verksamheter och förorenade områden**  
Helena Helgesson, Thomas Rihm
- 20 **Metodik konsekvensbedömning – Naturmiljö**  
Pascal Suer
- 21 **Metodik konsekvensbedömning – Energi och ledningsnät**  
Paul Frogner Kockum
- 22 **Metodik konsekvensbedömning – VA-system**  
Thomas Rihm
- 23 **Metodik konsekvensbedömning – Näringsliv**  
Tonje Grahn
- 24 **Metodik konsekvensbedömning – Kulturarv**  
Tonje Grahn
- 25 **Metodik konsekvensbedömning – Känslighetsanalyser**  
Tonje Grahn
- 26 **Metodik konsekvensbedömning – Bebyggelse och kartläggning, exponering, sårbarhet och värdering av liv – Fallstudie Ale kommun**  
Stefan Falemo
- 27 **Hydrologiska och meteorologiska förhållanden i Göta älvdalen**  
Sten Bergström, Johan Andréasson, Katarina Losjö, Björn Stensen, Lennart Wern
- 28 **Metodbeskrivning sannolikhet för skred: Kvantitativ beräkningsmodell**  
Bo Berggren, Claes Alén, Per-Evert Bengtsson, Stefan Falemo
- 29 **Kartering av kvicklereförekomst för skredriskanalyser inom Göta älvtredningen. Utvärdering av föreslagen metod samt preliminära riktlinjer**  
Hjördis Löfroth
- 30 **Quick clay mapping by resistivity – Surface resistivity, CPTU-R and chemistry to complement other geotechnical sounding and sampling**  
Hjördis Löfroth, Pascal Suer, Torleif Dahlin, Virginie Leroux, David Schälin
- 31 **Inverkan av förändringar i porvattnets kemi, främst salturlakning, på naturlig leras geotekniska egenskaper – Litteraturstudie**  
Rolf Larsson
- 32 **Hantering av kvicklereförekomst vid stabilitetsbedömning för Göta älv – Riktlinjer**  
Helen Åhnberg, Rolf Larsson, Per-Evert Bengtsson, Karin Lundström, Hjördis Löfroth, Marius Tremblay
- 33 **Metodbeskrivning för SGI:s 200 mm diameter ”blockprovtagare” – Ostörd provtagning i finkornig jord**  
Rolf Larsson
- 34 **Sjömätning – Göta älv och Nordre älv**  
Marin Miljöanalys AB







## **Statens geotekniska institut**

Besöksadress: Olaus Magnus väg 35 Postadress: SGI, 581 93 Linköping  
Tel: 013-20 18 00 E-post: [sgi@swedgeo.se](mailto:sgi@swedgeo.se)

Regionkontor Göteborg:  
Hugo Grauers gata 5 B, 412 96 Göteborg Tel: 031-778 65 60

Regionkontor Malmö:  
Adelgatan 19, 211 22 Malmö Tel 040-35 67 70

Regionkontor Stockholm:  
Kornhamnstorg 61, 111 27 Stockholm Tel 08-578 45 500

[www.swedgeo.se](http://www.swedgeo.se)