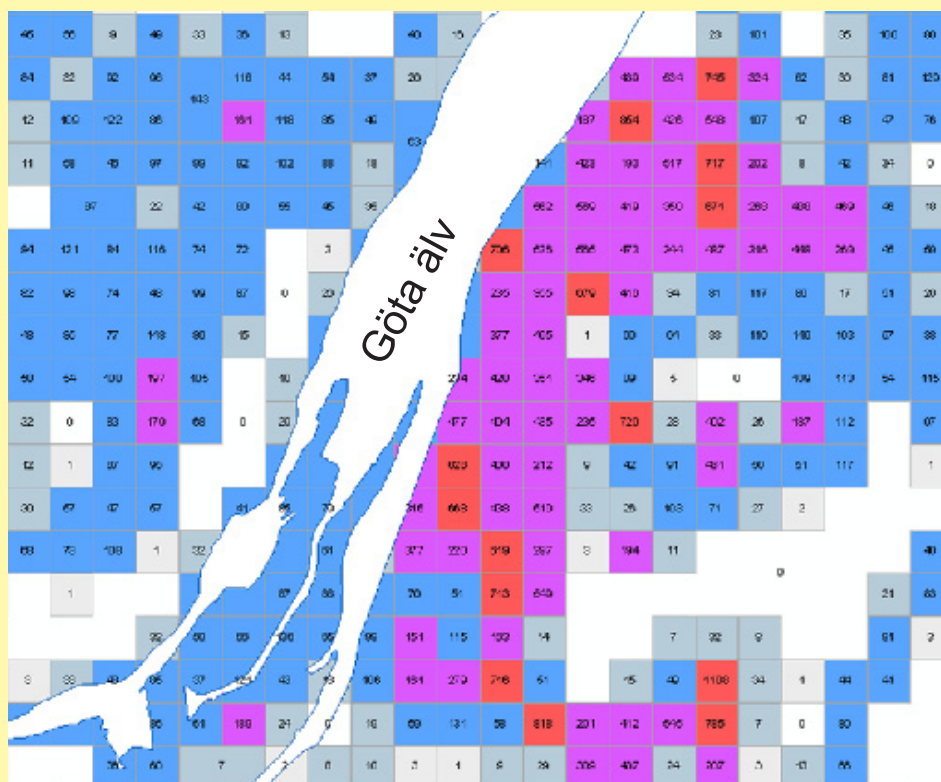




STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT  
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE



## Modifering av metodiker använda inom Göta älvutredningen

Varia 638

Hjördis Löfroth  
Karin Lundström  
David Schälén  
Helen Åhnberg  
Linda Blied  
Stefan Falemo

LINKÖPING 2012

<b>Varia</b>	Statens geotekniska institut (SGI) 581 93 Linköping
Beställning	SGI – Informationstjänsten Tel: 013-20 18 04 Fax: 013-20 19 14 info@swedgeo.se www.swedgeo.se
ISSN	1100-6692
ISRN	SGI-VARIA-12/638-SE
Dnr SGI	1.1-1204-0297, 1.1-1204-0270, 1.1-1205-0317 1.1-1204-0289, 1.1-1204-0303, 1.1-1205-0363 1.1-1204-0290, 1.1-1204-0271
Uppdragsnr SGI	14821, 14809, 14837, 14816, 14825, 14854, 14820, 14810



**STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT**  
**SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE**

# Varia 638

## **Modifiering av metodiker använda inom Göta älvutredningen**

Hjördis Löfroth  
Karin Lundström  
David Schälin  
Helen Åhnberg  
Linda Blied  
Stefan Falemo

## FÖRORD

Regeringen gav i ett regleringsbrev 2011 (M2011/3932/S) SGI i uppdrag att nyttiggöra material från Göta älvuppdraget (2009-2011) och utföra ras- och skredkarteringar. Tiden för slutredovisning av uppdraget sattes till den 31/12 2012. Denna delrapport är en del i redovisningen av regeringsuppdraget.

Under arbetet med Göta älvutredningen (GÄU) tog SGI fram flera nya metoder. Syftet då var att möjliggöra och optimera arbetet med utredningen. Målgruppen var de handläggare vid SGI som arbetade i utredningen samt de konsulter som utförde fältundersökningarna längs älven.

Flera av metoderna är användbara i andra sammanhang, till exempel för geotekniska utredningar i andra delar av landet eller för riskanalyser för andra typer av naturolyckor. Under 2012 så har de metoder som togs fram i Göta älvutredningen därför modifierats och anpassats för andra tillämpningsområden. Målgruppen är nu geotekniska konsulter över hela landet, beställare och granskare av geotekniska utredningar, handläggare vid kommuner och länsstyrelser, forskare och andra aktörer som utför konsekvens- och riskbedömningar. Inledningsvis gjordes också en inventering av målgruppens behov av metodikerna.

I denna delrapport beskrivs modifierade metodiker för:

- bedömning av skjuvhållfasthet under vattendrag,
- kartering av kvicklera
- hantering av kvicklera
- erosionsanalys
- konsekvensanalys
- riskanalys

Arbetet med att identifiera målgruppens behov har genomförts av Karin Lundström och Linda Blied, SGI, och redovisas i kapitel 3 av denna rapport. Beskrivning av metodiken för bedömning av skjuvhållfastheten under vattendrag har gjorts av David Schälin, SGI, och redovisas i kapitel 4 av denna rapport. Kapitlet har granskats av Rolf Larsson, SGI. Modifiering av metodiken för kartering av kvicklera har genomförts av Hjördis Löfroth och David Schälin, SGI, och redovisas i kapitel 5. Även detta kapitel har granskats av Rolf Larsson, SGI. Arbetet med modifiering av metodiken för hantering av kvicklera har genomförts av Helen Åhnberg, Rolf Larsson, Per-Evert Bengtsson, Karin Lundström och Hjördis Löfroth, SGI, och beskrivs i kapitel 6. Kapitlet har granskats inom gruppen. Arbetet med anpassning av metodiken för erosionsanalys har genomförts av Linda Blied, SGI, och metodiken beskrivs i kapitel 7. Kapitlet har granskats av Bengt Rydell, SGI. Beskrivning av hur metodiken för konsekvensanalys skulle kunna anpassas för såväl andra områden som för översvämning har gjorts av Stefan Falemo, Ramona Bergman, Thomas Rihm, Pascal Suer och Stefan Turesson, SGI. Metodiken beskrivs i kapitel 8 och granskning har genomförts av Marius Tremblay, SGI. Beskrivning av metodiken för riskanalys har genomförts av Karin Lundström och Victoria Svahn, SGI, och beskrivs i kapitel 9. Även detta kapitel har granskats av Marius Tremblay, SGI. De olika uppdragen har samordnats av Hjördis Löfroth, SGI.

Linköping 2012

Författarna

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING.....	6
1 BAKGRUND OCH SYFTE .....	7
2 IDENTIFIERING AV MÅLGRUPPERS BEHOV INFÖR NYTTJANDE AV METODER FRAMTAGNA INOM GÄU .....	7
2.1 Bakgrund .....	7
2.2 Syfte och mål.....	7
2.3 Genomförande.....	8
2.4 Resultat.....	8
3 MODELL FÖR BEDÖMNING AV SKJUVHÅLLFASTHETEN UNDER BOTTEN I VATTENDRAG ....	13
3.1 Bakgrund .....	13
3.2 Syfte och mål.....	13
3.3 Beskrivning av metodik.....	13
4 METODIK FÖR KARTERING AV KVICKLERA .....	21
4.1 Bakgrund .....	21
4.2 Syfte och mål.....	21
4.3 Beskrivning av metodik.....	22
4.4 Behov av fortsatt utveckling .....	26
5 METODIK FÖR HANTERING AV KVICKLERA .....	27
5.1 Bakgrund .....	27
5.2 Syfte och mål.....	31
5.3 Beskrivning av metodik.....	31
5.4 Behov av fortsatt utveckling .....	34
6 METODIK FÖR EROSIONSANALYS.....	35
6.1 Bakgrund och genomförande .....	35
6.2 Arbetsgång .....	36
6.3 Morfologiska förhållanden .....	37
6.4 Hydrologiska förhållanden .....	40
6.5 Erosion.....	42
6.6 Antropogen påverkan .....	45
6.7 Bestämning av erosionens omfattning .....	47
6.8 Redovisning av erosionsförhållanden .....	54
6.9 Underlagsmaterial och undersökningar för erosionsbedömning.....	54
7 METODIK FÖR KONSEKVENSANALYS.....	64
7.1 Bakgrund .....	64
7.2 Syfte och mål.....	64
7.3 Beskrivning av metodik.....	65
7.4 Behov av fortsatt utveckling .....	92
8 METODIK FÖR RISKANALYS .....	96
8.1 Bakgrund .....	96
8.2 Syfte och mål.....	96
8.3 Beskrivning av anpassad metodik .....	97
8.4 Behov av fortsatt utveckling .....	99
REFERENSER .....	101

## Bilagor

1. Personer som har bidragit med svar till frågor om framtagna metodiker
2. Beskrivning av svar från telefonintervjuer
3. En vägledning till Excel-program för utvärdering av kvicklera från CPT med registrerat totalt nedrivningsmotstånd samt trycksöndering Tr

## SAMMANFATTNING

SGI tog fram flera nya metoder under arbetet med Göta älvutredningen (GÄU). Syftet då var att möjliggöra och optimera arbetet med utredningen. Målgruppen var de handläggare vid SGI som arbetade i utredningen samt de konsulter som utförde fältundersökningarna längs älven.

Flera av metoderna är användbara i andra sammanhang, till exempel för geotekniska utredningar i andra delar av landet eller för riskanalyser för andra typer av naturolyckor. Under 2012 så har de metoder som togs fram i Göta älvutredningen därför modifierats och anpassats för andra tillämpningsområden. Målgruppen är nu geotekniska konsulter över hela landet, beställare och granskare av geotekniska utredningar, handläggare vid kommuner och länsstyrelser, forskare och andra aktörer som utför konsekvens- och riskbedömningar.

I Göta älvutredningen användes en metodik för att uppskatta hållfastheten i älven baserad på empiri och lerans belastningshistoria utifrån undersökningar gjorda på land. I denna rapport beskrivs metodiken som en generell metod. Syftet är att öka kvaliteten på de bestämningar av hållfasthet som görs i anslutning till vattendrag och ändå kunna hålla nere kostnaderna för borrhning och provtagning. Målgruppen är geotekniska konsulter samt externa granskare av geotekniska undersökningar.

Vidare utvecklades inom Göta älvutredningen en metodik för kartering av kvicklera med CPT- och trycksondering. Metoden verifierades mot traditionellt utförd provtagning och laboratorieanalys för bestämning av kvicklera inom två delområden längs Göta älv. Metodiken har nu verifierats för samtliga 10 delområden längs Göta älv. En analys har också gjorts som visar att metoden kan användas för att identifiera områden där extremt kvick lera kan finnas.

Likaså tog SGI fram en metodik för hantering av kvicklera under själva Göta älvutredningen. Flera olika konsulter var inblandade i fältundersökningarna och det var viktigt att hanteringen skedde på ett likartat sätt i alla delområdena. Metodiken har nu översatts till allmänna riktlinjer för hantering av kvicklera vid stabilitetsutredningar för att kunna nyttjas även i andra delar av Sverige. Målgruppen för riktlinjerna är geotekniska konsulter, beställare samt externa granskare av geotekniska undersökningar.

Som en del av skredriskanalysen inom Göta älvutredningen utfördes en bedömning av sannolikheten för skred. I den använda metodiken beräknas sannolikheten att ett stabilitetsbrott inträffar i de studerade slänterna baserat delvis på konventionella stabilitetsberäkningar och delvis på statistisk analys av ingående parametrar. För att kunna använda sig av sannolikhetstänkandet i kommande skredriskanalyser behöver metodiken förenklas och anpassas till sämre tillgängligt underlag, vilket inte får ske på bekostnad av resultatets tillförlitlighet och användbarhet. Ett sådant arbete pågår, men redovisas inte i denna rapport.

Konsekvenser av skred kan uppstå inom ett flertal konsekvensområden och utfallet beror till stor del av vilka värden som finns i det område som drabbas. I Göta älvutredningen genomfördes konsekvensbedömning för konsekvensområdena: Liv, Bebyggelse, Väg, Järnväg, Sjöfart, Naturmiljö, Kulturarv, Förorenade områden och miljöfarlig verksamhet, VA, Energi och ledningsnät samt Näringsliv. Det arbete som redovisas i denna rapport är att det för varje konsekvensområde har säkerställts att metodiken för konsekvensanalys är väl beskriven, så att utomstående kan tillgodogöra sig och använda metodiken. Det har undersökts hur metodiken för olika konsekvensområden behöver anpassas för att kunna tillämpas för skredriskanalys i andra geografiska områden samt för

konsekvensanalys av översvänningshotade områden. Dessutom har behoven av anpassning av metodiken prioriterats. Till sist beskrivs hur det sammanlagda värdet av konsekvenserna av ett skred mot älven bestämdes i Göta älvutredningen.

## **1 BAKGRUND OCH SYFTE**

För att möta ett förändrat klimat och hantera ökade flöden genom Göta älv fick Statens geotekniska institut (SGI) i uppdrag av regeringen att under en treårsperiod (2009-2011) genomföra en kartläggning av stabiliteten och skredriskerna i Göta älv dalen. Göta älvutredningen (GÄU) resulterade i en förbättrad kunskap om Göta älv men också i en utveckling av metodik för bl.a. stabilitetsberäkningar, skred- och erosionsanalyser och konsekvensbedömning.

Enligt SGI:s regleringsbrev för 2012 ska SGI:s anslag för klimatanpassning användas till att nyttiggöra material från Göta älvutredningen. Detta inkluderar till exempel att tillgängliggöra och anpassa data, att ytterligare analysera den stora mängden insamlade data, att modifiera och anpassa metodiken så att den kan nyttiggöras för branschen samt att överföra kunskapen till brukarna.

Det är viktigt att de metodiker som utvecklats inom GÄU kommer till nytta genom kunskapsöverföring till branschen. Metodiken för konsekvensanalys bör integreras i det arbete med klimat- och sårbarhetsanalyser som länsstyrelser och kommuner gör. Metodikerna för hantering och kartering av kvicklera behöver kommuniceras och spridas till bland annat konsultbranschen genom vägledningar och kurser. Samtliga metodiker kan således nyttjas för andra områden och av andra användare, men för det krävs först en modifiering och anpassning till respektive användare och användningsområde.

I denna rapport beskrivs flertalet av de metodiker som använts i Göta älvutredningen och som modifierats för att komma till bäst nytta. Målgruppen i ett första skede är SGI och andra myndigheter, därefter även kommuner, länsstyrelser, forskare samt branschen inom geoteknik och fysisk planering i Sverige

## **2 IDENTIFIERING AV MÅLGRUPPERS BEHOV INFÖR NYTTJANDE AV METODER FRAMTAGNA INOM GÄU**

### **2.1 Bakgrund**

Inom Göta älvutredningen utvecklades och anpassades metoder för bland annat hantering och kartering av kvicklera, sannolikhetsberäkning, konsekvensbedömning och riskvärdering. Dessa metoder har SGI bedömt som viktiga att tillgängliggöra och anpassa så att andra myndigheter och branschen i övrigt ska kunna nyttja dem. För detta krävs att de tänkta användarna identifieras och att deras behov kartläggs, vilket har utförts inom SGI:s tilldelade klimatanslag.

### **2.2 Syfte och mål**

Det aktuella deluppdraget syftar till att identifiera organisationer (exempelvis myndigheter, geotekniska konsulter/entreprenörer, högskolor och andra inom den geotekniska branschen) som kan ha behov av att känna till och/eller använda de inom Göta älvutredningen framtagna och vidareutvecklade metoderna. Dessutom syftar uppdraget till att

kartlägga vilka behov av anpassning/modifiering som föreligger för att metoderna ska vara användbara för dessa aktörer.

De metoder som använts inom Göta älvutredningen och som här studerats är:

- Kartering av kvicklera
- Hantering av kvicklera
- Skredsannolikhet
- Skjuvhållfasthet under vattendrag
- Konsekvensanalys
- Riskanalys

### 2.3 Genomförande

Uppdraget har genomförts i 3 steg. I *steg 1* utfördes en identifiering av vilka organisationer som kan ha nytta av metoderna. Arbeta utfördes genom diskussioner inom SGI. I *steg 2* undersöktes organisationernas syfte med användningen av metoderna och vilka behov av anpassning/modifiering av metoder som de efterfrågade. Detta steg utfördes främst genom telefonsamtal med de i steg 1 identifierade organisationerna. Slutligen genomfördes *steg 3* där de behov till anpassning/modifiering som framkommit vid steg 2 förmedlades till de som inom SGI arbetar med anpassningen/modifiering av metoderna.

### 2.4 Resultat

För varje metod, se avsnitt 2.2, identifierades först ett antal organisationer som bedömdes kunna känna till och ha behov av aktuell metod och som dessutom bedömdes kunna lämna intressanta uppgifter om deras erfarenheter av aktuella och liknande metoder. Av de identifierade organisationerna valde SGI ut fyra kommuner, nio myndigheter (varav fem länsstyrelser), tre konsulter, två entreprenörer, ett försäkringsbolag och tre universitet. Inom varje organisation identifierades minst en kontaktperson. För flera av kommunerna och myndigheterna identifierades två kontaktpersoner som representerade olika enheter inom organisationen.

Som underlag för telefonintervjuerna iordningställdes ett frågeformulär. Frågorna för samtliga metoder följde samma mall och såg huvudsakligen ut som i exemplet nedan, där XX byts ut mot respektive metod.

1. Vilken roll har, som du ser det, din organisation när det gäller XX?
2. Använder er organisation (eller beställer ni av någon annan) någon metod för bedömning av XX?

*Om ja:*

- a. I vilket syfte och sammanhang?
- b. Vilka metoder används då (beskriv eller hänvisa till beskrivning av metoden)?



- c. Fungerar den på ett tillfredsställande sätt? Behövs modifiering/ny metod? Varför?

*Om nej:*

- d. Ser ni något behov av en sådan metod? I vilka uppdrag/sammanhang?  
e. Vilka krav har ni i så fall på en sådan metod?

### 3. Är ni bekant med Göta älvutredningen?

*Om ja:*

- a. Känner ni till någon av metoderna framtagna inom GÄU?

*Om ja:*

- b. Vad är ert allmänna intryck av metoderna framtagna inom GÄU?  
c. Ser ni några behov av anpassning/modifiering av metoderna framtagna inom GÄU?  
d. Önskar ni någon hjälp med att komma igång med användningen av metoderna från GÄU?

Försök gjordes att kontakta samtliga 40 identifierade kontaktpersoner via telefon. Svar erhöles från 28 av dessa personer, se Bilaga 1, företrädesvis via telefonintervjuer men för ett mindre antal erhöles svar istället via e-post. Kontakterna togs under augusti och september 2012. Antal svar för respektive metod framgår av Tabell 2-1.

En sammanfattande beskrivning av svaren från telefonintervjuerna presenteras i avsnitten 2.4.1 till 2.4.5 uppdelat för respektive metod. Samtliga svar framgår av Bilaga 2.

*Tabell 2-1. Redovisning av antal svarande. Siffran inom parentes redogör för det totala antalet organisationer som försökte kontaktas. Observera att samma person kan ha svarat på flera områden samt att två eller flera personer kan ha svarat för samma organisation – därför kan det totala antalet tillfrågade/svar inte utläsas i denna tabell.*

	Kommuner	Myndigheter	Universitet	Konsulter	Entreprenörer	Försäkringsbolag
<b>Konsekvens- och riskanalys</b>	3 (4)	7 (8)	-	1 (3)	-	<b>1 (1)</b>
<b>Kvicklera</b>	-	1 (2)	1 (3)	2 (3)	1 (2)	-
<b>Sannolikhet för skred</b>	-	1 (2)	1 (3)	2 (2)	1 (2)	-
<b>Skjuvhållfasthet under vattendrag</b>	-	1 (2)	0 (3)	2 (3)	1 (2)	-
<b>Erosionsförhållanden</b>	-	<b>3 (4)</b>	<b>0 (3)</b>	<b>1 (2)</b>	-	-

#### 2.4.1 Konsekvens- och riskanalys

Följande slutsatser grundar sig på svar från 12 personer.

De kommuner som svarade i denna undersökning var Karlstad, Göteborg samt Sollefteå och samtliga dessa kommuner har själva problem med naturolyckor i form av ras och skred. Kommunens ansvar för detta kommer in vid översikts- och detaljplanering men

också i deras egenskap av stor markägare. Medan stadsbyggnadskontoret i Göteborg själva just har genomfört en stor skredriskkartering inom kommunen utgår bedömningarna i Sollefteå kommun främst från översiktliga stabilitetskarteringar.

Av de myndigheter som kontaktades var 3 länsstyrelser (Västra Götaland, Värmlands samt Stockholms län) och övriga var MSB (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap), Trafikverket och Boverket. Länsstyrelserna och Boverket uppgav att de tillhandahåller information samt granskar kommunernas detalj- och översiktsplaner och på så sätt har en roll vad det gäller konsekvens- och riskbedömning men att de inte arbetar med det aktivt själva. Trafikverket har ett stort ansvar för sin egen infrastruktur och hanterar detta utifrån sina egna normer och regler.

De som arbetar aktivt med dessa frågor är nöjda med sina metoder men det framkom önskemål om en metod som:

- Är mer konsekvent och enkel att följa, exempelvis i form av en lathund
- Ger en fortsatt utveckling för kostnad och samhällskonsekvenser
- Är tydligare vad det gäller framtida klimatförändringar

Samtliga tillfrågade kände till Göta älvutredningen men endast 4 (inom myndigheter och försäkringsbranschen) kände till den utvecklade metoden så pass väl att de kunde kommentera den. De generella åsikterna var att det är ett bra jobb som är utfört och att metodutvecklingen är på rätt spår (det vill säga att bedöma konsekvenser utifrån flera aspekter) men man påpekte också vissa brister och menade att:

- Metoden bör utvecklas vidare för att man ska kunna beakta sekundära effekter och mjukare parametrar
- Presentationen av resultatet bör bli mer användarvänlig för beslutsfattare och politiker
- Det är viktigt att faktorer som intensitet, omfattning och varaktighet kan värderas.
- Gränserna i den använda riskmatrisen kan ifrågasättas och missförstås.

Från såväl MSB som kommuner önskar man ett bättre myndighetsstöd från SGI till berörda kommuner eftersom de själva ofta saknar geoteknisk kompetens.

#### **2.4.2 Kartering och hantering av kvicklera**

Följande sammanställning grundar sig på svar från 5 personer.

Samtliga svarande är verksamma inom Göteborgsområdet och arbetar aktivt med kvicklera. En av de svarande, Göteborgs universitet, utvecklar för närvarande en metod för kartläggning av kvicklera som baseras på modellering i GIS-miljö men för tillämpat bruk krävs det en vidareutveckling av metoden.

Trafikverket måste ta hänsyn till kvicklera där det finns i anslutning till deras anläggningar, de båda konsulterna (Tyréns och BohusGeo) måste ta hänsyn till det i så gott som alla stabilitetsutredningar och entreprenören (Skanska) vid nybyggnation. Den senare ägnar sig dock bara åt hantering av kvicklera – ej kartering.

De metoder som används för kartering baseras på kolvprovtagning med efterföljande rutinanalys men också totaltrycksondering. För bedömning utgår man från Trafikverkets TK Geo, SGI:s riktlinjer och till viss del också utifrån norska erfarenheter.

Samtliga tillfrågade kände till Göta älvutredningen (flertalet av dem har också själva varit engagerade i den i olika skeden) och fyra av dem hade synpunkter på de framtagna metoderna, även om man menade att vissa delar av dem fanns redan innan utredningen. Det framkom att de traditionella fältundersökningarnas ställning bör vara fortsatt stark och att framtagna metoder på sin höjd kan ge en indikation om förekomsten av kvicklera. Vidareutvecklingen har varit bra men det kvarstår problem kring gränsdragning av kvicklerans utbredning och nyttan med den nya provtagningsmetoden (blockprovtagaren).

Vidare framkom synpunkter om att:

- De Excelark som konsulterna fick fylla i vid arbete med kvicklera inom Göta älvutredningen var omständliga och arbetet borde förenklas. Det bästa vore en koppling till t ex GeoSuite.
- Det vore bra med en strategi eller standard om hur olika metoder bäst kombineras.
- Modellering av skredutbredning skulle kunna täppa till vissa luckor.

Det krävs också vidare diskussioner mellan SGI och Trafikverket om skillnader mellan de respektive metoder som man använder.

En workshop för att få ta del av och få tillfälle till att diskutera metodikerna önskas.

#### **2.4.3 Sannolikhet för skred**

Följande sammanställning grundar sig på svar från 5 personer.

På dessa frågor svarade en myndighet (Trafikverket), två konsulter (BohusGeo och SWECO), ett universitet (CTH) och en entreprenör (Skanska) och de är samtliga verksamma på västkusten. De metoder som man använder sig av idag baseras på Skredkommissionens rapporter, europeisk standard samt ett traditionellt betraktande av säkerhetsfaktorn. SWECO har dock utfört sannolikhetsberäkningar med Monte Carlo simulering i SLOPE och använt Punktskattningsmetoden.

Samtliga tillfrågade är väl förtrogna med Göta älvutredningen. Det var dock endast en person som var förtrogen med metoden och menade att utredningens sätt att betrakta skredsannolikheten är intressant. En konsult menade att det är svårt att få beställare att betala för sannolikhetsberäkningar och att det, i och med IEG:s tillägg till Skredkommissionens rapport, inte längre behövs en framtagning av sannolikhet för att bestämma erforderlig förstärkningsnivå.

#### **2.4.4 Skjuvhållfasthet under vattendrag**

Följande sammanställning grundar sig på svar från 4 personer.

Av de tillfrågade är samtliga verksamma på västkusten och man bedömer skjuvhållfasthetsfördelning under vattendrag i samband med utredningar i och nära vattendrag. De metoder som man använder är fältundersökningar, såväl som på land som från flotte, och i form av CPT, vinge och kolv med tillhörande laborationsanalyser. De metoder som används anser man vara väl beprövade och fungerande.

Samtliga känner till Göta älvutredningen och den metod som använts för uppskattning av skjuvhållfasthet där men man påpekar att det saknas bra metoder för att modellera parametrar i övergångszonen mellan land och vatten.

#### **2.4.5 Bedömning av erosionsförhållanden**

Följande sammanställning grundar sig på svar från 4 personer.

De tillfrågade, tre myndigheter och en konsult, bedömer alla erosionsförhållanden men i ganska olika sammanhang. SMHI gör bedömningar runt konstruktioner, MSB handlägger stadsbidrag för kommuner, Sjöfartsverket är delägare av erosionsskydd längs Göta älv och SWECO handlägger, i egenskap av konsult, nybyggnation och underhåll av broar, hamnar och erosionsskydd.

Medan SMHI tillämpar hydrauliska modeller för beräkning av strömmar och skjuvspänningar utgår de övriga från olika metoder angivna i exempelvis kurskompendier eller låter SGI göra bedömningen.

Man känner till Göta älvutredningen men menar att de framtagna metoderna har sina brister i och med att:

- De är för grova
- De är för kostsamma för användarna, till exempel kommuner

För att komma vidare tror SMHI att man måste koncentrera sig på uppskattningen/mätningen av den kritiska skjuvspänningen.

### 3 MODELL FÖR BEDÖMNING AV SKJUVHÅLLFASTHETEN UNDER BOTTEN I VATTENDRAG

#### 3.1 Bakgrund

Vid stabilitetsberäkningar är det viktigt att ha kännedom om vilken hållfasthet som råder i jorden och dess ökning mot djupet. Av praktiska skäl är hållfastheten under ett vattendrag problematisk att undersöka. Av den anledningen användes det i Göta älvutredningen en metodik för att uppskatta hållfastheten i älven baserad på empiri och lerans belastningshistoria. Spänningen i jorden påverkar hållfastheten och en hel del forskning har ägnats åt att undersöka hur avlastning till följd av erosion påverkar hållfastheten. Förhållanden och spänningar i slänter och i överkonsoliderad jord skiljer sig från de förhållanden som råder i normalkonsoliderad jord under en horisontell markyta (Larsson & Åhnberg, 2003). Nära släntkrön är överkonsolideringen i jord något förhöjd till följd av att grundvattenytan ligger på en lägre nivå nära krönet. Detta medför att jorden nära krönet är konsoliderad för en något högre vertikal effektivspänning. I sin tur är den horisontella spänningen något lägre vid krönet eftersom jorden i en riktning inte har något mothåll mot horisontella spänningar.

Spänningsförhållandet i en slänt förändras gradvis mot förhållandet som råder vid släntfot. Nere vid släntfoten är vertikalspänningen låg och överkonsolideringen förhållandevis hög, vilket är ett resultat av att jorden har avlastats. Horisontalspänningarna är också relativt höga eftersom de till stor del kvarstår vid avlastning. Det horisontella jordtrycket ökar också som en följd av att jorden ovanför släntkrönet överför en del av sina spänningar till jorden nere vid släntfoten. Detta är en bidragande orsak till att skillnaden i spänningsförhållanden mellan normal och överkonsoliderad jord förstärks i en slänt (Larsson & Åhnberg, 2003).

Den vanligaste modellen för att utvärdera hur odränerad skjuvhållfasthet varierar med överkonsolideringsgrad och förkonsolideringstryck beskrivs av följande ekvationer (t.ex. Ladd & Foott, 1974).

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

#### 3.2 Syfte och mål

Uppdragets syfte är att beskriva den metodik som användes i Göta älvutredningen som en generell metod. Andemeningen med metodiken är att användaren utgår från platsspecifik information och utifrån den skapar en geologisk modell. Projektets syfte är att beskriva den metodik som användes i Göta älvutredningen så att den blir tillgänglig och tydlig för en användare. Läsaren ska med stöd av texten också kunna skapa sig en egen modell för att uppskatta hållfastheten under ett vattendrag.

#### 3.3 Beskrivning av metodik

En beräkningsrutin har utvecklats, vilken har utgått från metodiken att uppskatta hållfastheten under ett vattendrag med kända och antagna värden på förkonsolideringstryck, konflytgräns,  $a$  och  $b$  faktorer samt överkonsolideringsgrad. Dessa, tillsammans med en platsspecifik belastningshistoria och geologisk modell, ger förutsättningar för att utföra en uppskattning av hållfastheten under ett vattendrag.

Metodiken resulterar i en modell för hållfasthetens variation nedanför släntkrön och under ett vattendrag. Syftet med modellen är också att ge användaren ett stöd när data från provningar och in situ försök i olika punkter sammanställs och utvärderas.

### 3.3.1 Materialparametrar

För att använda metodiken behövs en viss förståelse för de parametrar som ingår i de ekvationer som beskrivs i kapitel 3.1. Ekvationerna är ett uttryck för lerans skjuvhållfasthet och beskriver kopplingen mellan denna och lerans förkonsolideringstryck och överkonsolideringsgrad. För att använda sambanden och göra en uppskattning av skjuvhållfastheten används samma indata som vanligtvis bestäms vid geotekniska stabilitetsutredningar. Detta medför att det inte krävs några extra undersökningar för använda metodiken

#### 3.3.1.1 Empiriska faktorerna $a$ och $b$

Den odränerade skjuvhållfastheten har en stark koppling till belastningsriktningen och delas vanligtvis in i aktiv, passiv och direkt skjuvning. Vid stabilitetsberäkningar är det vanligen skjuvhållfastheten vid direkt skjuvning som är indata i beräkningen och denna brukar också kallas medelskjuvhållfasthet. Faktorn  $a$  har vid aktiv skjuvning ett värde på 0,33 och medelvärdet vid direkt skjuvning ligger vid 0,22. Värdet för  $a$  vid passiv skjuvning är lägre än för direkt skjuvning och ligger kring 0,18 som ett medelvärde. Faktorn  $a$  beror på såväl jordtyp och belastningsfall till skillnad från  $b$  som är konstant och inte ändrar sig vid skjuvning i olika riktningar. Faktorn  $a$  är konstant vid aktiv skjuvning men varierar med konflytgränser vid både direkt och passiv skjuvning. Både kon- och vingförsök är kalibrerade för att bestämma en medelskjuvhållfasthet motsvarande direkt skjuvning, se även SGI Information 3 Mer detaljerat uppskattas faktorn  $a$  ur

Aktiv skjuvning	Direkt skjuvning	Passiv skjuvning
$a \approx 0,33$	$a \approx 0,125 + 0,205w_L/1,17$	$a \approx 0,055 + 0,275w_L/1,17$

Vid provning av organiska jordar har det visat sig att faktorn  $a$  vid aktiv skjuvning kan gå upp till 0,5. Ökningen observeras först när den organiska halten överstiger 2 %. Faktorn  $a$  ökar sedan gradvis tills halten når upp till 6 % och blir därefter konstant. För både direkt och passiv skjuvning sker också en förändring av  $a$  faktorn då jorden innehåller organiskt material. Här börjar effekten också märkas vid en halt av 2 % men faktorn  $a$  blir inte konstant med ett värde på 0,4 förrän den organiska halten uppgår till minst 20 % (Larsson, 1990). För  $b$  faktorn har provning med triaxial- och direkta skjuvförsök visat att den normalt ligger mellan 0,75 och 0,85. Vanligtvis antas värdet 0,8 för faktorn  $b$ .

#### 3.3.1.2 Överkonsolideringsgrad (OCR) och förkonsolideringstryck $\sigma'_c$

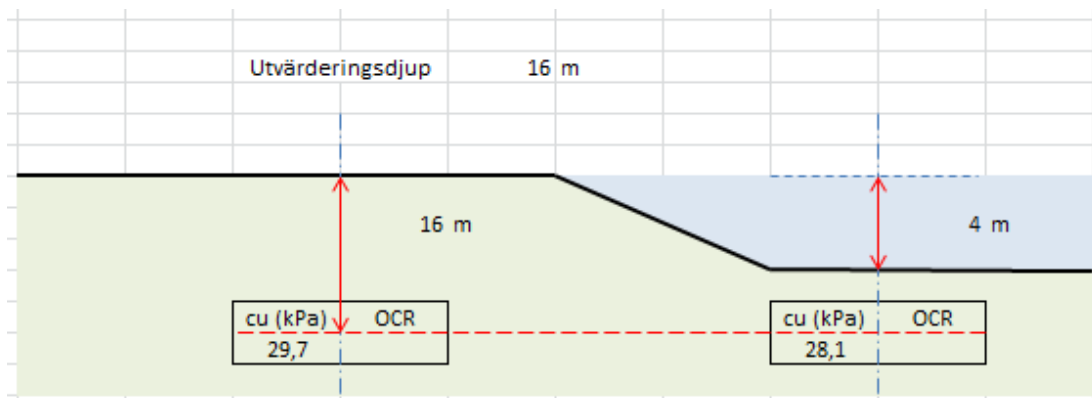
För att bestämma lerans förkonsolideringstryck krävs det att ödometerförsök utförs på ostörda prover. Förkonsolideringstrycket ger ett mått på det maximala effektiva överlagringstryck som leran har blivit utsatt för. Detta värde tillsammans med den vertikala effektivspänningen används för att beräkna överkonsolideringsgraden (OCR). Den vertikala effektivspänningen beräknas med bestämda densiteter och nivån på grundvatteny-

tan. Dessa tre parametrar tillsammans med faktorerna a och b är de indata som behövs för att möjliggöra en uppskattning av skjuvhållfastheten under ett vattendrag.

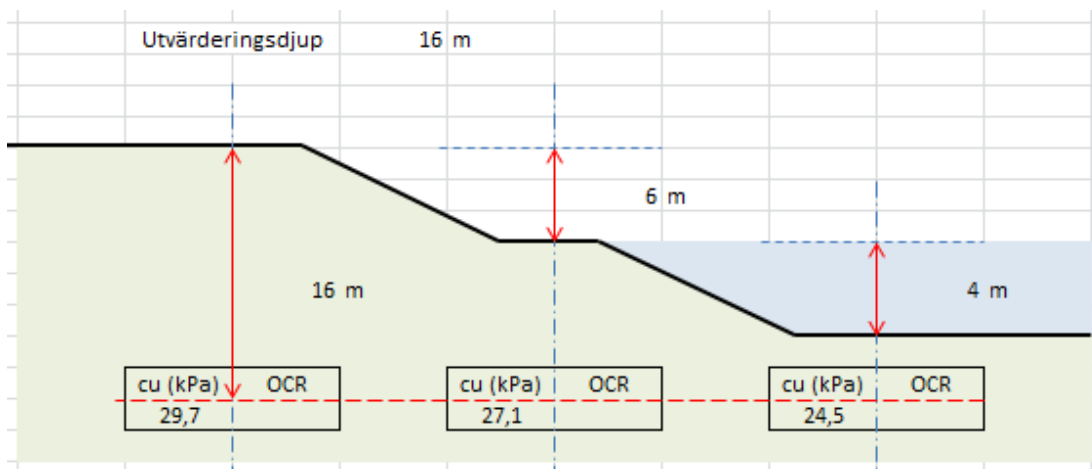
### 3.3.2 Släntform och spänningsplan

Beräkningsrutinen baseras på relationen mellan skjuvhållfastheten, det effektiva överlagringstrycket och överkonsolideringsgraden enligt ekvationerna i kap 3.1. Metodiken utgår från ett antaget horisontellt markplan från vilket vattendraget sedan har eroderat bort material i sin fåra och på så sätt avlastat jorden. Detta medför att vertikalspänningen i jorden under vattendraget är lägre än vid motsvarande nivå på land. En följd effekt blir att (OCR) under ett vattendrag blir högre.

Höjden från släntkrön ner till släntfot samt vattendjupet är data som behövs för att metodiken ska kunna användas för att uppskatta skjuvhållfastheten under ett vattendrag. Formen på slänten har betydelse för vilken beräkningsrutin som bör användas. Göta älvutredningen, (2012) visar att sektionerna tvärs Göta älv kan indelas i 7 st olika släntformer. Här har dessa delats in i två grupper; flacka slänter där antaget ursprungligt markplan är i nivå med vattenytan, se Figur 3-1 och branta slänter där det förekommer en nivåskillnad mellan antaget ursprungligt markplan och vattennivån, se Figur 3-2.



Figur 3-1 Flack slänt där vattenytan är i nivå med antaget ursprungligt markplan



Figur 3-2. Brant slänt där det förekommer en nivåskillnad mellan antaget ursprungligt markplan och vattenytan.

### 3.3.3 Beräkningsrutin baserad på metodiken

Nedan beskrivs hur beräkningsrutinen används och vilka förenklingar som har gjorts. Som indata till beräkningen används värden från provtagning och mätningar gjorda bakom släntkrön. Indata som används är förkonsolideringstryck, densitet, konflytgräns, a och b faktorer samt grundvattennivån vid släntkrön.

Val av släntform styr vilka avlastningar och vattendjup som kommer att antas i olika punkter vid beräkningarna. I kap 3.3.2 beskrivs de 2 modeller som ofta är lämpligast att använda för utvärderingen. Beräkningsrutinen går att använda för de båda modeller som visas i Figur 3-1 och i Figur 3-2, där modellen i Figur 3-2 förutom vattendjupet även behöver höjden mellan släntkrön och slänthot som indata. Metodiken för att uppskatta hållfastheten under ett vattendrag styrs till stora delar av förkonsolideringstrycket, både som ingångsdata och som del i utvärderingen av OCR. Detta medför att pålitligheten i utvärderingen är starkt kopplad till antalet nivåer där värden på förkonsolideringstrycket  $\sigma'_c$  är bestämt. Antalet nivåer där  $\sigma'_c$  är bestämt bör inte understiga 3st för att få en relevant hållfasthetsprofil mot djupet. För varje nivå beräknas vertikal effektivspänning och OCR samt ett värde på a-faktorn. Faktorn a beror på skjuvningsriktning och lerans konflytgräns enligt ekvationerna i kap 3.3.1. Ofta används  $a=0,22$  som ett medelvärde. Vanligtvis antas  $b=0,8$  men värdet kan variera mellan 0,75 och 0,85.

#### 3.3.3.1 Beskrivning av beräkningsstegen

I ett första steg bestäms vilken släntmodell som återspeglar formen på den slänt som ska undersökas. Därefter uppskattas den nivå som ska representera det ursprungliga markplanet i sektionen. Detta markplan, vattenytans nivå och vattendjupet används för att beräkna den avlastning som har påverkat leran under vattendraget.

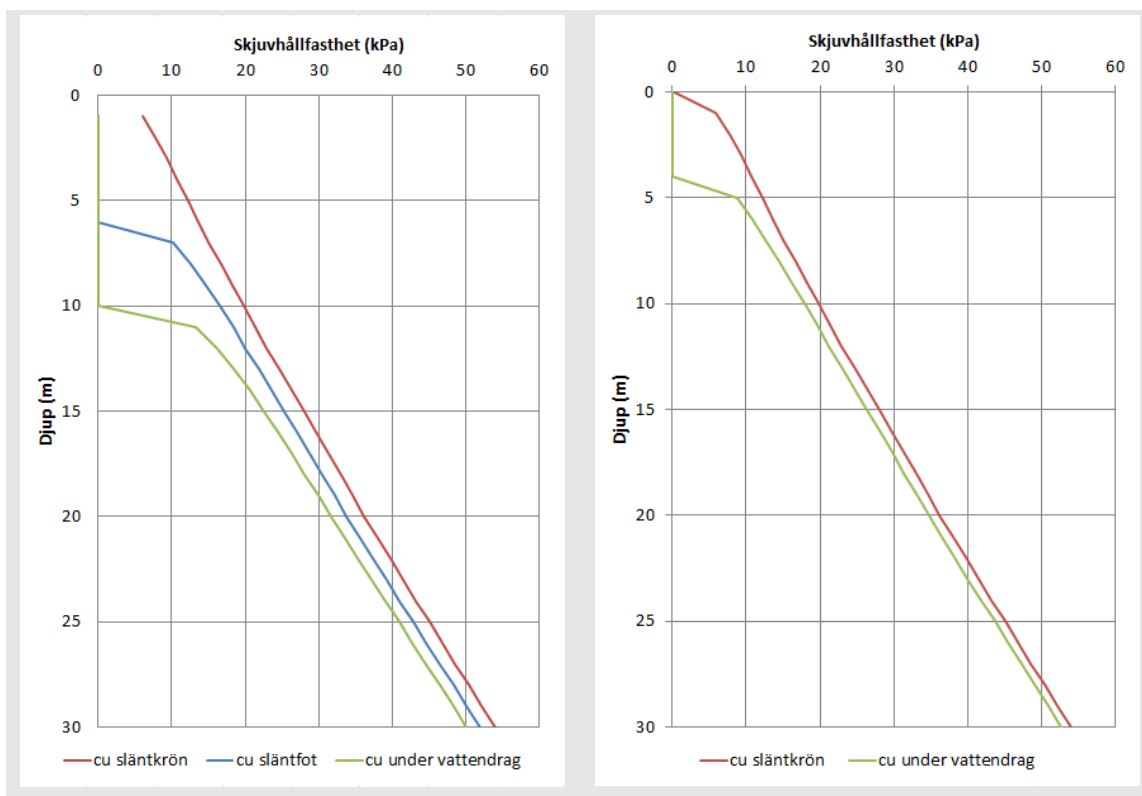
I ett andra steg beräknas med jämna intervaller i jordprofilen värdet på de vertikala effektivspänningarna både bakom släntkrön, i slänten och under vattendraget. Värdet på effektivspänningen används i sin tur för att beräkna överkonsolideringsgraden på nivåer där värden på förkonsolideringstrycket  $\sigma'_c$  finns. Metodiken utgår ifrån att  $\sigma'_c$  är nivårelaterad och att samma  $\sigma'_c$  gäller på samma nivåer bakom släntkrön, under slänten och under vattendraget.

I det tredje steget beräknas OCR och faktorn a bakom släntkrön och OCR i slänten och under vattendraget.

I ett fjärde steg används ekvationerna i kap 3.1 för att beräkna den empiriskt framtagna skjuvhållfastheten såväl under slänten som vattendraget.

Figur 3-3 och Figur 3-4 visar beräknade hållfastheter för de 2 olika släntformerna och hur formen påverkar utvärderingen. Det finns en tydlig skillnad i utvärderingen om spänningsplanet ligger i nivå med vattenytan eller inte. Digramen visar också att skillnaden mellan den uppskattade skjuvhållfastheten under älven, slänthoten och släntkrönet minskar med djupet.





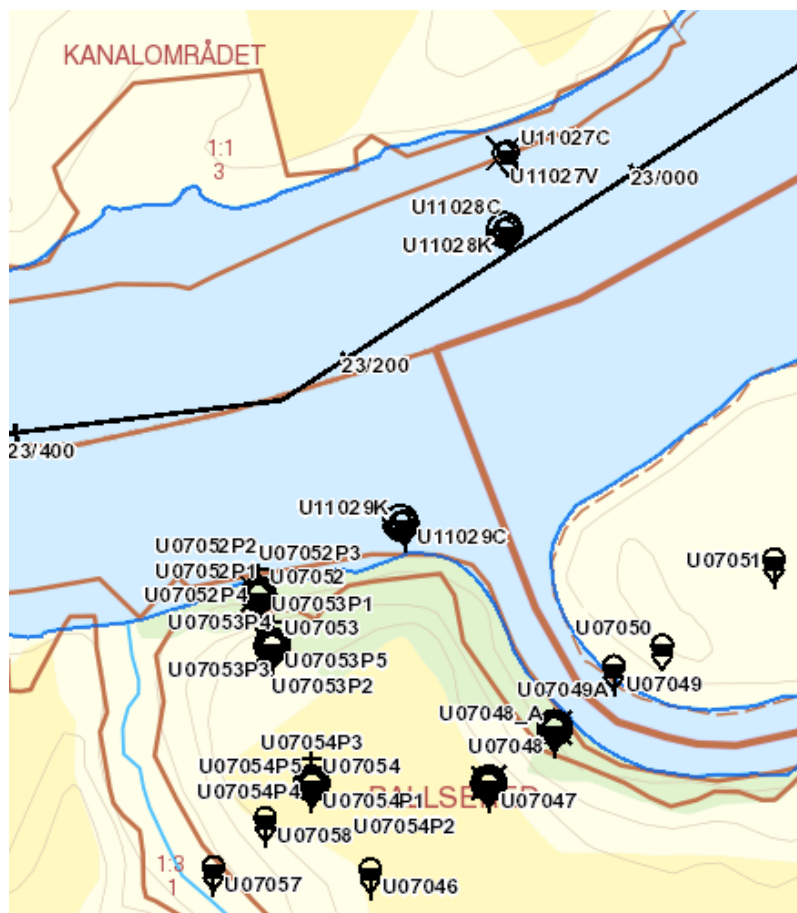
Figur 3-3 (vänster) Beräknad skjuvhållfasthet under vattendrag, släntfot och släntrön för slänthöjden i Figur 3-2 och hur skillnaden mellan dessa minskar med djupet.  
 Figur 3-4 (höger) Beräknad skjuvhållfasthet under vattendrag och släntrön för slänthöjden i Figur 3-1 och hur skillnaden mellan dessa minskar med djupet.

### 3.3.4 Verifiering av modell och metodik

Modellen för hur hållfastheten varierar med effektivt överlagringstryck och överkonsolideringsgrad är väl etablerad sedan mer än 30 år tillbaka, såväl i Sverige som internationellt, t.ex. SGI Information 3 (Larsson et al., 2007) och Jamiolkowski et al. (1985). Applikationen av modellen för att bedöma hållfastheten under eroderade vattendrag utprovades med gott resultat i detaljerade undersökningar i tre lokaler vid olika större vattendrag i Västsverige av Larsson & Åhnberg (2003). Metoden har sedan använts i bl.a. Göta älvutredningen med något mer varierat resultat.

Förutsättningen för modellens användbarhet är att antagandet om erosion från ett ursprungligen horisontellt markplan gäller och att jordlagren under vattendraget till sin sammansättning är identiska med de som råder under släntrönet och har samma förkonsolideringstryck på motsvarande nivåer i sektionen. Är inte dessa villkor uppfyllda gäller inte modellen. Vidare krav är att ursprungliga förkonsolideringstryck har bibehållits. Om materialet i vattendragets botten t.ex. består av rasmassor från ett tidigare skred där jorden förskjutits i förhållande till avsättningsnivån och/eller där förkonsolideringseffekten helt eller delvis gått förlorad gäller inte modellen. Den gäller inte heller om förkonsolideringseffekten ändrats i förhållande till omgivande mark på grund av en större salturlakning under vattendragets botten. I lösa bottensediment som senare eroderats någonstans uppströms och sedan avsatts i den aktuella sektionen gäller modellen givetvis inte heller.

Ett exempel på resultatet av den redovisade metodiken, jämfört med uppmätta data i en sektion i Göta älvutredningen, visas nedan. Sammanställningar från sektion E23300 (Stabilitets PM 07PM001), se Figur 3-5, har använts för att jämföra skjuvhållfastheten beräknad enligt beräkningsrutinen baserad på modellen med uppmätta skjuvhållfasthetsvärden. Data från punkt U07053 har här använts för att uppskatta hållfastheten nere vid släntfot och under älvbotten.

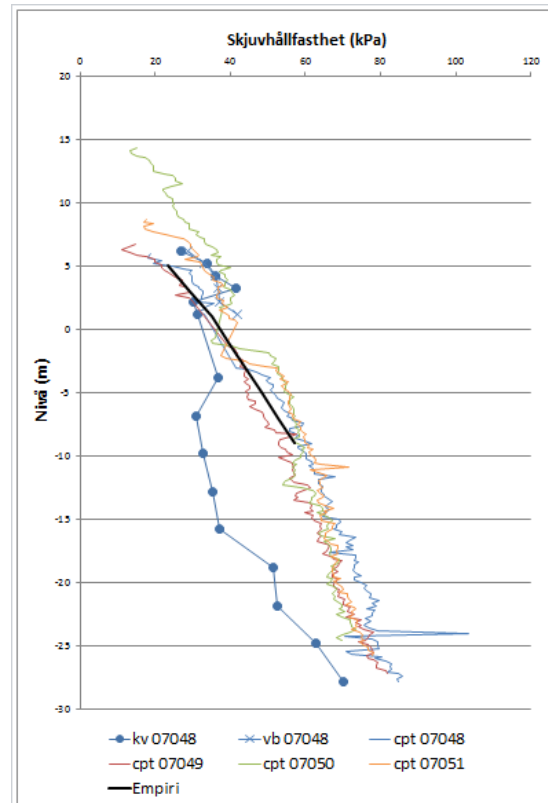
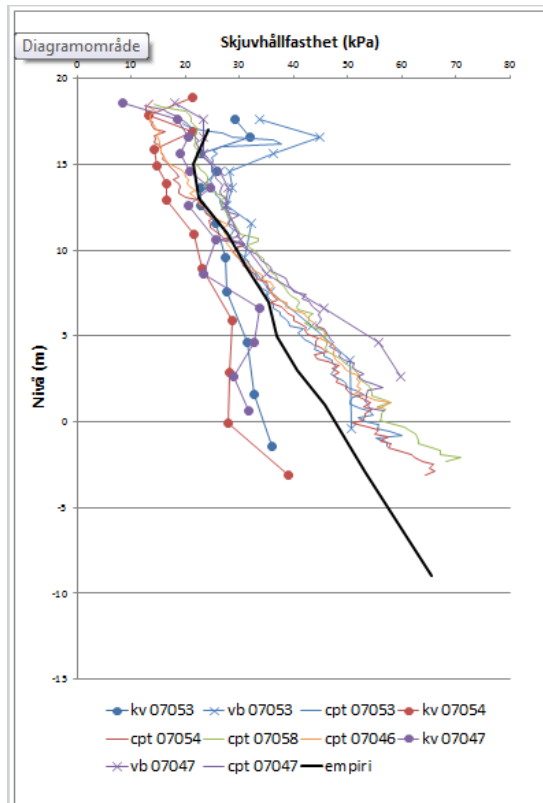


Figur 3-5 Planskiss över området i delområde 7 där sektion E23300 ligger samt närliggande sonderingar som ingår i sammanställningen av sektionens skjuvhållfasthet.

#### 3.3.4.1 Jämförelse mellan sonderingsresultat och beräkningsrutin

##### Skjuvhållfasthet vid slänkrön

Värden på konflytgränser, densiteter, porttryck och förkonsolideringstryck från punkten U07053 har matats in i beräkningsmodellen. Resultatet i form av empirisk skjuvhållfasthet har sedan sammanställts tillsammans med skjuvhållfastheter bestämda med vingförsök och CPT-sonderingar utförda bakom slänkrön och fallkonförsök i laboratoriet. Sammanställningen ses i Figur 3-6. Sammanställningen visar att empirin från nivå +17m till +6m i stort följer resultaten från de sonderingar och försök som har utförts i motsvarande punkter. Under nivån +6m visar empirin något lägre värden än CPT-sonderingar och vingförsök, men högre värden än fallkonförsöken.



Figur 3-6 (vänster) Sammanställning av skjuvhållfastheten ovanför släntkrön tillsammans med empirin utvärderad med beräkningsrutinen.

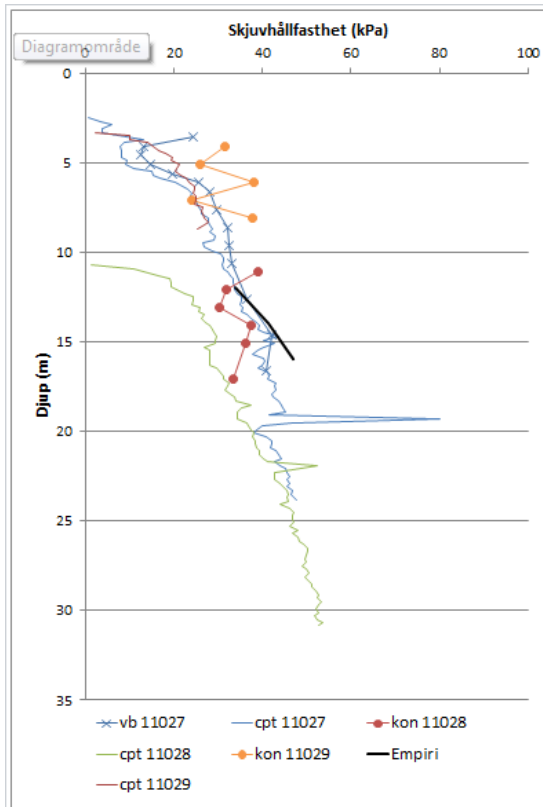
Figur 3-7 (höger) Sammanställning av skjuvhållfastheten nere vid slänkfoten tillsammans med empirin utvärderad med beräkningsrutinen.

#### Skjuvhållfastheten vid slänkfot

Metodikens syfte är att med grunddata från en punkt vid släntkrön kunna uppskatta hållfastheten nere vid slänkfoten och under vattendraget. Figur 3-7 visar en sammanställning av resultat från vingförsök, CPT-sonderingar och fallkonförsök som har utförts i slänkfot i sektionen eller i dess närhet. Sammanställningen i Figur 3-7 visar att empirin i stort följer resultaten från sonderingar och vingförsök medan resultaten från fallkonförsöken är avsevärt lägre.

#### Skjuvhållfastheten under vattendrag

Sammanställningen i Figur 3-8 på nästa sida visar resultat från vingförsök, CPT-sonderingar som har utförts ute i älven nära sektionen och fallkonförsök på prover från samma område. Resultaten visar att skjuvhållfastheten utvärderad med beräkningsrutinen ligger i överkant i förhållande till den från sonderingar och övrig provning. Vid utvärderingen med beräkningsrutinen har modellen använt 10 meters vattendjup. Detta djup motsvarar avlastningen vid sonderingspunkt U11028, Figur 3-5. Sammanställningen visar att CPT-resultaten i punkten U11028 är lägre än skjuvhållfastheten utvärderad med beräkningsrutinen. Dessutom visar empirin på en kraftigare hållfasthetsökning mot djupet.



Figur 3-8 Sammanställning av skjuvhållfastheten under älvbotten tillsammans med empirin utvärderad med beräkningsrutinen.

Jämförelsen mellan resultaten från beräkningsrutinen och de uppmätta data som visas i Figur 3-6, Figur 3-7 och Figur 3-8 visar att utvärdering med denna metodik, om givna förutsättningar är uppfyllda, ger rimliga värden på skjuvhållfastheten under ett vattendrag. För noggrannare bestämmningar krävs dock in-situ provning och främst CPT-sondering. Eventuella laborieförsök på upptagna ostörda prover bör utföras som rekonsoliderade försök i direkt skjuvapparat eller triaxialapparat, beroende på vad som är relevant för det aktuella fallet.

## 4 METODIK FÖR KARTERING AV KVICKLERA

### 4.1 Bakgrund

Kvickleror är leror vilkas struktur faller samman och omvandlas till mer eller mindre trögflytande vätska vid omrörning. Dessa leror bildas genom långsamma geologiska processer. De flesta har bildats i avlagringar avsatta i saltvatten vid den senaste istidens avsmältning. Då isen drog sig tillbaka höjdes landet ur havet och lerornas överytor kom ovanför havsytan. Avlagringarna kunde då utsättas för genomströmning av sötvatten och salthalten sjunka, vilket möjliggjorde bildning av kvickleror.

Det är ofta inte kvicklera i sig som initierar ett skred, men den slutliga omfattningen av inträffade skred beror till stor del av jordens känslighet för störning.

Kvicklera definieras i Sverige som lera med en sensitivitet ( $St$ ) större än 50 och en omrörd, odränerad skjuvhållfasthet ( $\tau_R$ ) mindre än 0,4 kPa.

Kartering av förekomst av kvicklera har hittills huvudsakligen utförts genom upptagning av ostörda prover i fält och bestämning av lerans ostörda och omrörda, odränerade skjuvhållfasthet med fallkonförsök på laboratoriet.

Möjligheten att bedöma förekomst av kvicklera genom att mäta det totala neddrivningsmotståndet vid totaltrycksondering har undersökts av (Möller & Bergdahl, 1982) Motsvarande för CPT-sondering undersöktes av (Rankka, et al., 2004). Det uppmätta neddrivningsmotståndet vid CPT-sonderingen kompletterat med tyngden av stängerna och reducerat med spetskraften motsvarar mantelfriktionen längs stängerna. I de fall lutningen på kurvan för mantelfriktion längs stängerna mot djupet är mindre än lutningen på en kurva motsvarande 1 kPa mantelfriktion, klassas leran preliminärt som kvicklera. En rutin för sammanställning och analys i Excelformat har utvecklats inom Göta älvutredningen för att kunna göra denna jämförelse på ett rationellt sätt för samtliga sonderingar. För att utvärdera träffsäkerheten i denna metod för utvärdering av kvicklera gjordes en jämförelse mellan kvicklera, utvärderad från totaltryck- och CPT-sondering, och kvicklera bestämd med fallkonförsök i laboratoriet för samtliga undersökningspunkter inom delområde 5 och 7 (Löfroth, 2011). Resultaten visar att nästan alla nivåer som utvärderats som kvicklera med fallkonförsöken också klassificerades som kvicklera med de båda sonderingsmetoderna. Såväl CPT-sondering som totaltrycksondering klassificerar vanligen en del ytterligare nivåer som kvicklera, vilka inte är kvicka enligt fallkonförsöken. Klassificering från CPT-sonderingar gav generellt något bättre överensstämmelse med provtagningsresultat än klassificering från trycksonderingar.

Sammanfattningsvis visar utförda undersökningar att vid en utvärdering av förekomsten av kvicklera med CPT- och totaltrycksondering överskattas omfattning av denna något, jämfört med vad som faktiskt observeras genom provtagning och fallkonförsök.

### 4.2 Syfte och mål

Inom Göta älvutredningen (GÄU) utvecklades en metodik för kartering av kvicklera med CPT- och trycksondering. Metodiken finns beskriven i delrapport 29: ”Kartering av kvickleroförekomst för skredriskanalyser inom Göta älvutredningen. Utvärdering av föreslagen metod samt preliminära riktlinjer”, (Löfroth, 2011). Målet med uppdraget är att verifiera metoden genom att utöka analysen av sonderingar och provtagning till samtliga delområden längs Göta älv. Borrpunkter där alla tre metoderna är utförda är av

största intresse för denna analys, men även punkter där en av sonderingsmetoderna är utförd kommer att ingå. Analysen utförs på samma sätt som för delområde 5 och 7 där varje provtagningsnivå kontrolleras mot resultaten från sonderingarna. Denna utökning syftar till att verifiera att utvärdering av kvicklera från sonderingar fungerar även för övriga delar av älven, i annat fall kommer metoden att modifieras.

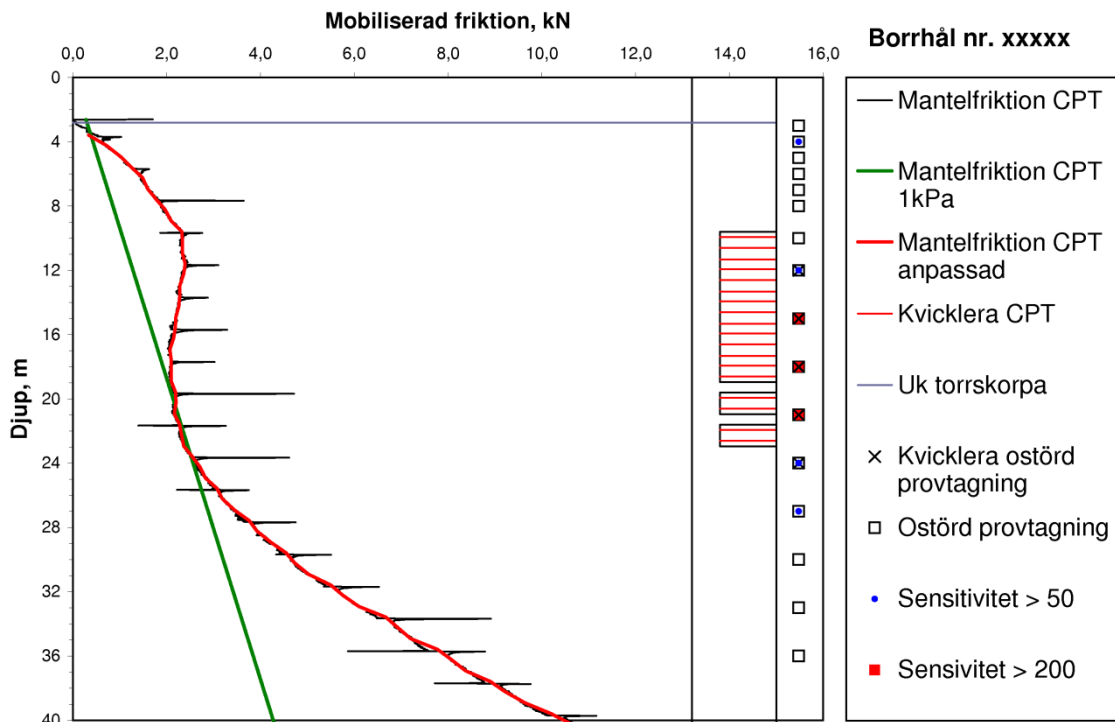
Sonderingarna med kvicklera där sensitiviten överskrider 200 kommer att analyseras för att försöka hitta en kompletterande referenskurva som beskriver det beteendet.

### **4.3 Beskrivning av metodik**

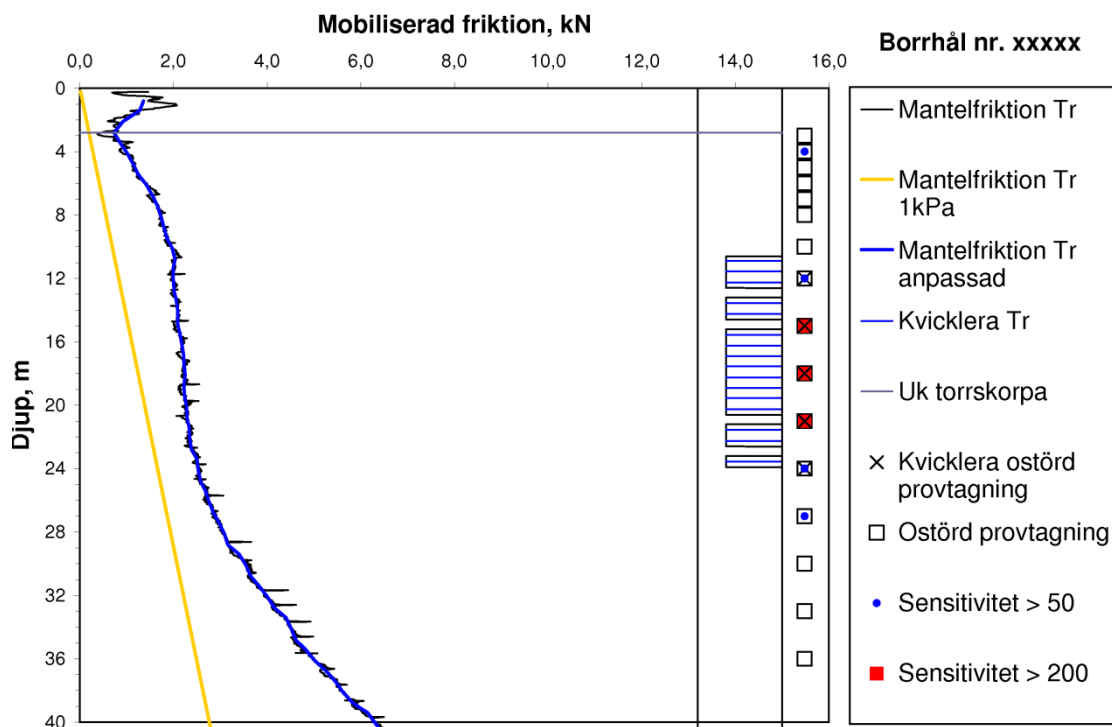
#### **4.3.1 Hur metodiken använts i Göta älvutredningen**

För att kunna bedöma förekomsten av kvicklera behöver det totala neddrivningsmotståndet vid CPT-sondering och totaltrycksondering mätas. Det uppmätta neddrivningsmotståndet, kompletterat med tyngden av stängerna och, för CPT-sonderingen, reducerat med spetskraften, motsvarar mantelfriktionen längs stängerna (i kN). Denna mantelfriktion jämförs sedan med en mantelfriktion av 1 kPa längs med stängerna (Larsson, 2009). I de fall lutningen på kurvan för mantelfriktion längs stängerna mot djupet är mindre än lutningen på kurvan för 1 kPa mantelfriktion, klassas leran preliminärt som kvicklera.

För att kunna göra denna jämförelse på ett rationellt sätt för samtliga sonderingar inom Göta älvuppsdraget utvecklades ett program i Excel. En vägledning för användningen av detta program redovisas i Bilaga 3. Resultatet från en CPT-sondering med utvärderad kvicklera redovisas i Figur 4-1 och resultatet från en trycksondering med utvärderad kvicklera i samma undersökningspunkt redovisas i Figur 4-2. En skraffering till höger i diagrammet visar de delar av profilen som programmet har utvärderat som trolig kvicklera. Även resultat från laboratorieförsök i samma undersökningspunkt kan läggas in. Dessa resultat redovisas längst till höger i diagrammet med olika symboler för sensitivitet >50, sensitivitet >200 och kvicklera. Symbolerna kan också kombineras med varandra, t.ex. för en kvicklera med sensitivitet >50.



Figur 4-1 Utvärdering av kwicklera med CPT-sondering och resultat från ostörd provtagning (Löfroth, 2011).



Figur 4-2 Utvärdering av kwicklera med totaltrycksondering och resultat från ostörd provtagning (Löfroth, 2011).

I båda diagrammen syns ”pikar” med jämna mellanrum. Dessa beror på att när sonderingen stoppas för skarvning av stängerna ”växer dessa fast” i leran. För att inte dessa pikar skall innebära att leran felaktigt tolkas som kwick, har kurvan jämnats ut genom medelvärdesbildning där alla värden över en halv standardavvikelse tas bort. Det är

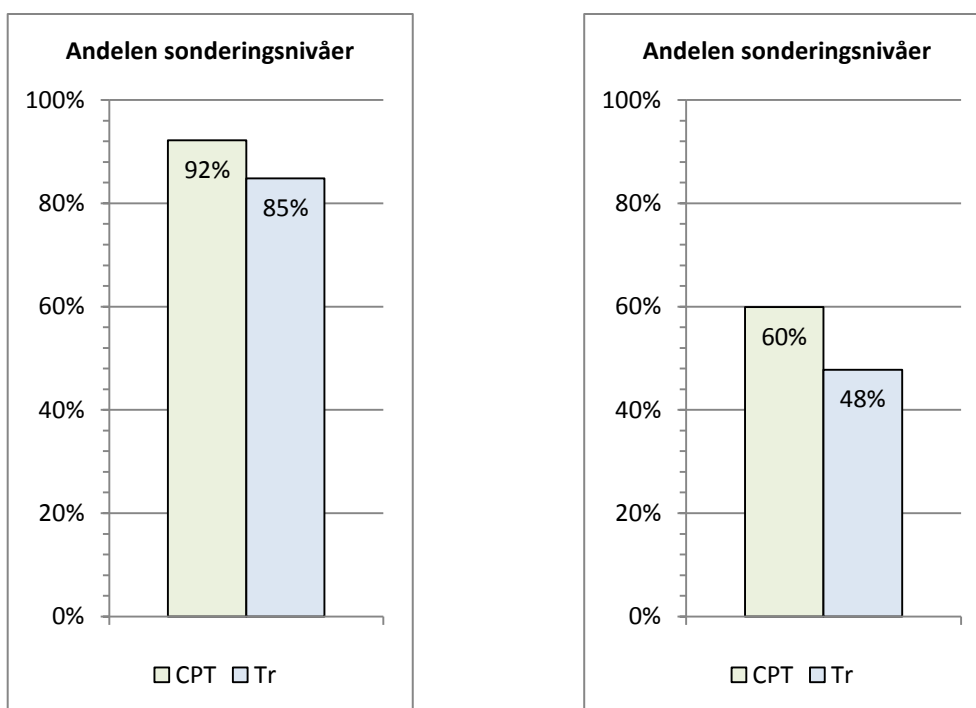
denna utjämnade kurva som sedan jämförs med kurvan som motsvarar en mantelfriktion av 1 kPa längs stängerna. Trots denna utjämning förekommer det att programmet felaktigt kan tolka enstaka nivåer som kvicka på grund av ojämnheter och pikar i kurvan för sonderingsmotståndet. Ojämnheter som också kan bero på skikt av grövre material i leran. Utifrån resultatet av programmet måste därför en ingenjörsmässig bedömning av omfattningen av kvicklera göras.

#### **4.3.2 Förmåga att utvärdera kvicklera med metodiken**

När samtliga sonderingar inom Göta älvtredningen där det har utförts provtagning tillsammans med antingen CPT- eller trycksonderingar har analyserats, visar analysen från område 5 och 7 en god överensstämmelse med resultatet i stort. Det underlag som ligger till grund för bedömningen av metodikens tillförlitlighet består av; 2 160 nivåer med ostörd provtagning, 1 923 nivåer utvärderade med trycksondering och 1 416 nivåer utvärderade med CPT-sondering. Metodens säkerhet att, utifrån samtliga tillgängliga nivåer, korrekt klassa en nivå som från ostörd provtagning klassificerats som kvicklera visade sig vara 92 % med CPT-sondering, för trycksondering var motsvarande siffra 85 % vilket kan ses i Figur 4-3 och Figur 4-4 nedan. Det ska tilläggas att metoden har svårt att tolka snabba skiftning i geologin vilket leder till att extra nivåer kan klassificeras som kvicklera vid sådana övergångar.

Sammanställningen visar att noggrannheten minskar till 60 % med CPT-sondering om bara nivåer där ostörd provtagning har klassificerat leran som kvicklera studeras. Detta innebär att utvärderingen med CPT-sondering överskattar förekomsten av kvicklera med 40 %. Ett krav på exakt bestämning har aldrig ställs på metoden och är inte dess syfte. Metoden är avsedd att användas för att hitta platser med förekomst av kvicklera och vara ett underlag för ytterligare undersökningar. Vid genomgången av samtliga sonderingar har det visat sig att enbart ett fåtal nivåer där provtagning visar kvicklera har missats av sonderingsmetoderna. Resultatet från programmet ska alltid granskas med kritiska ögon och bedömmas med en ingenjörsmässig anda. Metoden är främst utprovad i Göta älvdalen men kan i princip användas i alla svenska jordar.





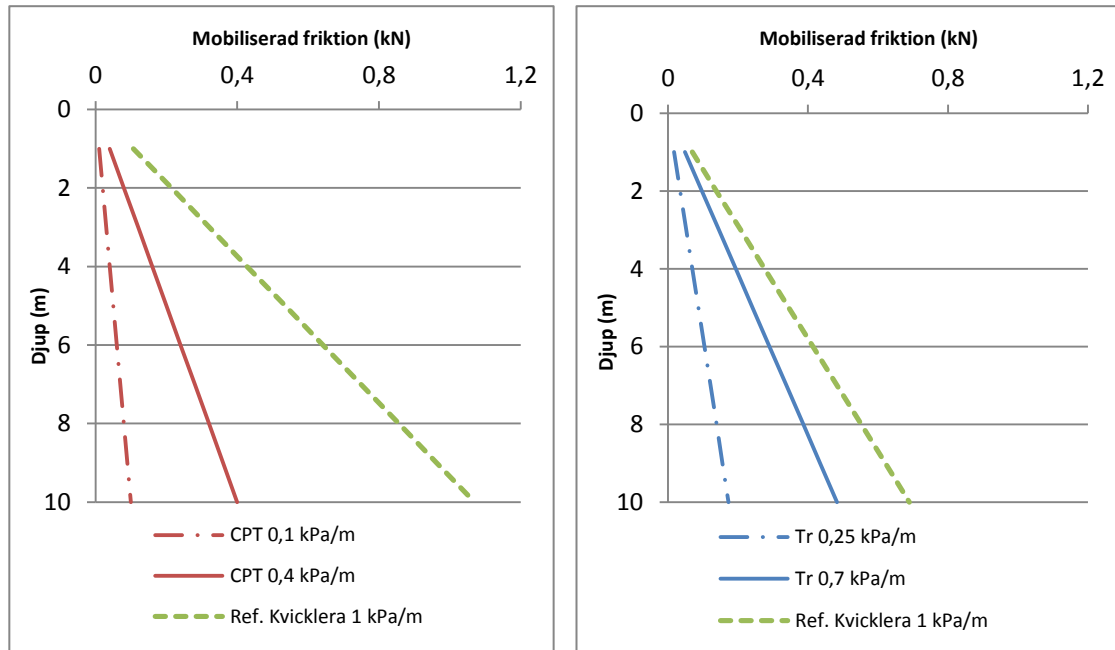
Figur 4-3 (vänster) Andelen sonderingsnivåer där utvärderingen från sonderingen stämmer överens med resultatet från ostörd provtagning.

Figur 4-4 (höger) Andelen sonderingsnivåer där sonderingsmetoderna påvisar kvicklera och dessa stämmer överens med ostörd provtagning.

#### 4.3.3 Anpassning av metodiken för att hitta högsensitiv kvicklera

En av de frågeställningar som dök upp under Göta älvutredningen var om det är möjligt att särskilja en omrörd skjuvhållfasthet som motsvarar  $St > 200$ . För att testa detta undersöktes samtliga borrpunkter där ostörd provtagning visade att det fanns ett flertal nivåer med kvicklera med en sensitivitet högre än 200. Dessa sonderingar användes sedan i det framtagna Excel programmet, vilket har anpassats för att kunna variera lutningen på referenskurvan. Kurvan anpassades på så sätt att bara nivåerna med en sensitivitet större än 200 skulle klassas som kvicklera. Efter att samtliga sonderingar analyserats visade det sig möjligt att identifiera spann där extremt kvick lera med  $St > 200$  kan finnas. Lutningen för begränsningslinjen för detta spann varierade mellan 0,1 och 0,4 kPa/m. Motsvarande lutning för en trycksondering var 0,25-0,7 kPa/m. Begränsningslinjernas spann kan ses i Figur 4-5 nedan.

Underlaget som har använts består av sammanlagt ett 25-tal sonderingar från delområde 5 och 7. Sammanställningen visar att utvärderingen med CPT-sonderingen har en mindre spridning och därför en bättre tolkning av förekomsten av kvicklera. Denna sammanställning av data kommer från ett begränsat antal sonderingar på en specifik plats och därför bör dessa gränsvärden användas med stor försiktighet.



Figur 4-5 Utvärderade spann för begränsningslinjer för extrem kvicklera med  $St > 200$ .

#### 4.4 Behov av fortsatt utveckling

Det Excel-program som tog fram i samband med Göta älvutredningen för att analysera CPT- och trycksonderingar medförde en del handpåläggning från användaren. För att underlätta användningen och därigenom öka spridning av metodiken kan utvärderingen implementeras i Conrad. Conrad är ett väl etablerat verktyg för utvärdering av CPT-sonderingar och spridningen ute i branschen är god. Fördelarna är att samla all CPT-utvärdering på ett ställe och underlätta för användaren. Med Conrad som plattform finns möjlighet att skapa ett komplett verktyg för utvärdering av CPT-sondering, som även innefattar förekomsten av kvicklera. Nackdelen är att trycksonderingar inte kan hanteras i Conrad och behöver en egen utvärderingsplattform.

## 5 METODIK FÖR HANTERING AV KVICKLERA

### 5.1 Bakgrund

#### 5.1.1 Inverkan av kvicklera – lokal instabilitet och skredutbredning

Kvicklera medför primärt en risk för att ett lokalt skred kan sprida sig. Lokala skred kan inträffa genom att den lokala stabiliteten är låg eller att något inträffar som medför betydande lokala deformationer med påföljande hållfasthetsnedsättning. Om ingen lokal instabilitet finns och inget deformationsskapande inträffar, finns ingen anledning att kräva högre säkerhetsfaktorer i kvicklereområden än i andra fall. Detta riskerar främst att invagga i en falsk säkerhet och att de verkliga riskerna och de nödvändiga försiktighetsåtgärderna glöms bort.

En lokal instabilitet kan utgöras av ett brant släntparti inom det aktuella området, i dess framkant ned mot ett vattendrag eller en undervattensslänt i botten av detta. Det kan också uppstå på grund av schakter, upplag eller konstruktioner inom området. Om ett lokalt skred inom någon del av området kan komma att uppstå i eller påverka partier med kvicklera finns risk för att skredet sprider sig och kommer att påverka hela eller stora delar av det aktuella området samt, i vissa fall även angränsande områden. Säkerheten inom hela området är därmed ofta inte högre än för dess svagaste länk.

#### 5.1.2 Lokala deformationer

Faktorer som kan förorsaka stora lokala deformationer, förutom rena stabilitetsproblem, är t.ex. installationer av pålar, KC-pelare, jetpelare m.m. samt stora vibrationer eller chockbelastningar. Normala vibrationer från t.ex. trafik, spontslagning och sprängningsarbeten antas oftast inte vara av en sådan storleksordning att de medför hållfasthetsnedsättning. För större vibrationer finns dock frågetecken. Sprängning har orsakat skred, direkt i lös, mycket siltig jord i t.ex. Fröland, och indirekt genom att bortsprängda bergmassor fallit ned på lös jord och därmed initierat skred. Om föregående vibrationer från sprängningar medverkat kan bara spekuleras om. På motsvarande sätt som vid sprängning har mer naturliga bergras förorsakat storskred i nedanförliggande lerområden. Anläggningsarbeten orsakar ofta stora vibrationer i samband med transport och hantering av jordmassor. Mycket stora och tunga dumprar rör sig då inom området på ojämna farbanor med åtföljande skakningar och vibrationer. Massorna tippas ofta som ändtipping och om detta görs utför en fyllningsslänt blir effekten densamma som för t.ex. nedfallande bergmassor.

Internationellt är liquefaction i lösa siltiga jordar ett mycket stort problem, främst inom jordbävningsområden. Ett projekt för att studera hållfasthetsnedsättning i lera, med speciellt fokus på kvicklera, vid cyklisk belastning och rörelser pågår för närvarande vid SGI med finansiering från Trafikverket och Göta älvutredningen (Åhnberg och Larsson, 2012). Resultat från projektet visar bl.a. att nedbrytningshastigheten kan variera betydligt beroende på typ av lera och den påkännings- och deformationsnivå som jorden utsätts för. En lera som är mycket kvick bryts ofta ner relativt lätt men kvickleror är inte alltid mer störningskänsliga än andra mellan- eller högsensitiva leror. Även andra jordegenskaper påverkar i samverkan hur lätt jordens hållfasthet bryts ner vid dynamisk belastning.

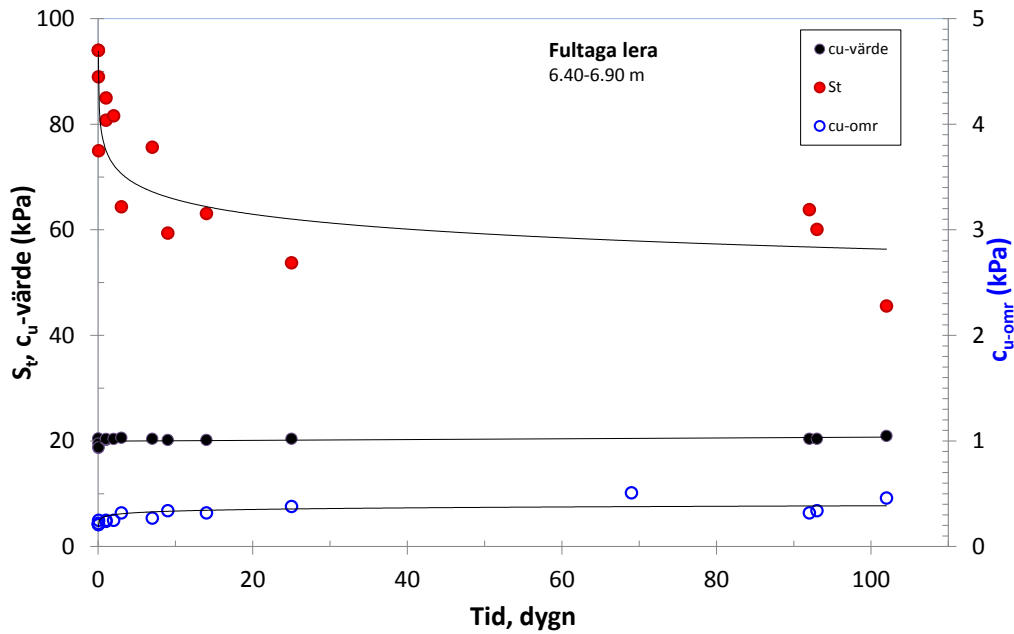
### 5.1.3 Egenskaper

Om marin lera urlakas med sötvatten och saltinnehållet minskar så minskar också de sammanhållande krafterna från de ursprungliga saltjonerna. Också andra kemiska processer kan ge denna effekt eller t.o.m. skapa repellerande krafter. Dessa effekter kan dock motverkas av andra samtidigt pågående processer som tillför eller frigör andra typer av joner. En urlakning av leran så att denna blir kvick påverkar normalt inte bara dess flytgräns, som minskar, utan kan också ge en markant förändring i förkonsolideringstryck och skjuvhållfasthet. En fortsatt långtgående urlakning och olika vittringsprocesser m.m. kan ge upphov till andra kemiska förändringar som får till följd bl a att lerans sensitivitet med tiden på nytt minskar.

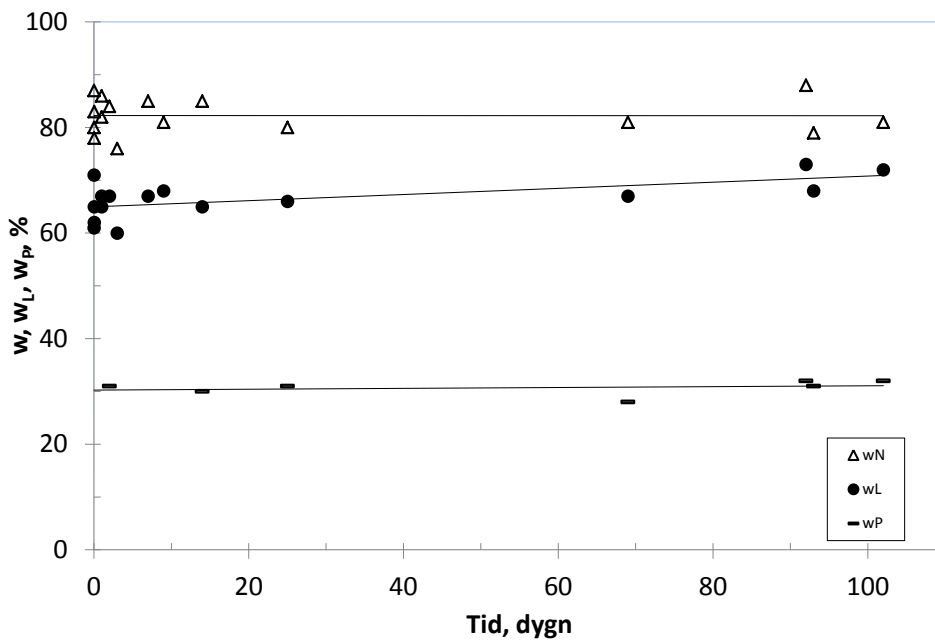
En litteraturstudie om effekter av främst urlakning på lerors geotekniska egenskaper har utförts inom Göta älvutredningen (Larsson, 2010). Studien visar att för en normalkonsoliderad lera som förblir normalkonsoliderad torde eventuella förändringar i skjuvhållfasthet vid urlakning normalt vara måttliga. Är leran däremot överkonsoliderad medför en ren salturlakning att strukturen försvagas och att förkonsolideringstrycket sjunker om processen går tillräckligt långt. Experimentellt har visats att hela den naturliga överkonsolidering i storleken 1,3 – 1,5 som ofta uppmäts i norska leror kan gå förlorad och att sättningar kan uppstå då leran på detta vis blir normalkonsoliderad (t ex Torrence, 1974). Motsvarande hållfasthetsminskning har också uppmäts. För de saltvattenavsatta lerorna i områdena runt Göta älv som ofta har en överkonsolideringsgrad av cirka 1,3 skulle en motsvarande process motsvara en reduktion i förkonsolideringstryck och odränerad skjuvhållfasthet av cirka 25 %.

Förvaring av prover av lera i laboratorium medför förändringar med tiden av deras olika egenskaper. En betydande minskning i sensitivitet, kopplat till en viss ökning i omrörd skjuvhållfasthet, kan ses med tiden och också lerans flytgräns förändras normalt, se Figur 5.1a respektive b.

a)



b)



Figur 5.1. Exempel på variation i a) sensitivitet och skjuvhållfasthet samt b) konsistensgränser med tiden efter provtagning och efterföljande förvaring i klimatrums i laboratorium. Kvikklera från Fultaga i Bohuslän från 6.40-6.90 m djup, 0-100 dygn efter provtagning (Åhnberg och Larsson, 2012).

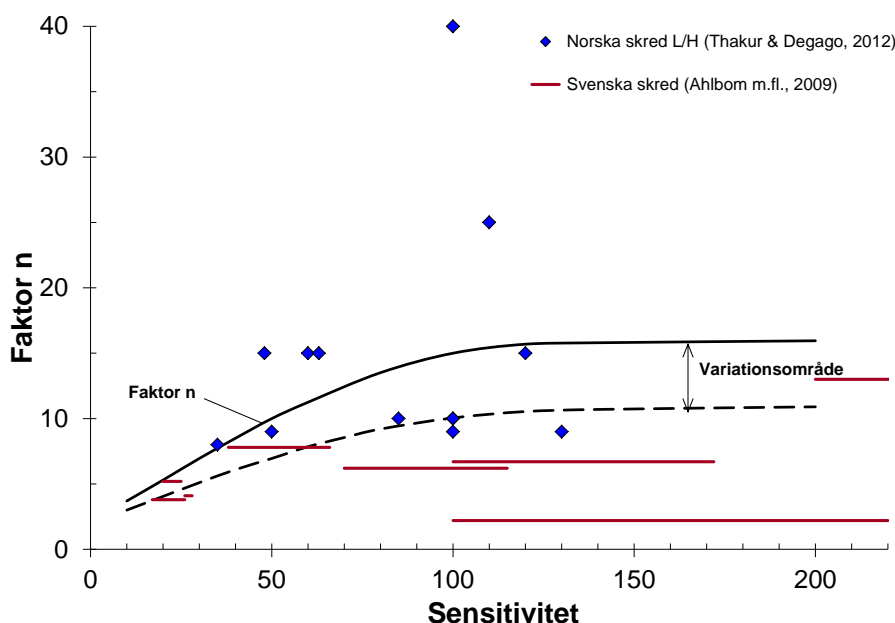
#### 5.1.4 Beräkningar

Många skred i kvicklereområden har uppstått i samband med och förorsakats av anläggningsarbeten. Anledningen har veterligt aldrig varit att kravet på den beräknade säker-

hetsfaktorn varit för lågt utan att arbetet utförts alltför oförsiktigt och ibland utan att säkerheten mot markbrott överhuvudtaget beaktats.

Att kräva högre säkerhetsfaktorer är därmed tämligen omotiverat och ofta verkningslöst. Detta gäller för befintlig bebyggelse såväl som vid byggande. En noggrann kartläggning bör dock göras av kvicklerans utbredning och dess störningskänslighet bedömas med avseende på skakningar och deformationer. Risken för bakåt- eller framåtgripande skred bör beaktas.

Beräkning av skredutbredningar är mycket osäkra (utom som efterkonstruktioner). En schablonmetod att uppskatta bakåtgripande skredutveckling med speciellt avseende på Göta älvdalen har tagits fram av Per-Evert Bengtsson (Larsson m fl, 2008). Sammanställningar vid CTH (Ahlbom m fl, 2009) av utsträckningen hos inträffade skred i Sverige har givit ytterligare stöd för denna metod. Sammanställningar av norska skred av Thakur och Degago (2012) visar dock på att tillämpbarheten är geografiskt (geologiskt) begränsad, se Figur 5.2. I figuren visas olika undersökta skreds utsträckning uttryckt som kvoten ( $n$ ) mellan skredens totala längd och slänthöjd. Nya metoder att beräkna främst framåtgripande skred är under utveckling i Norge. De senare inbegriper också deformationsmjuknande vid lokal plasticering på grund av för stor lokal deformation redan innan en glidyta utbildats. Dessa metoder är än så länge inte utvecklade för praktiskt bruk. För den initiella stabiliteten anges dock preliminärt att möjlig påverkan är så måttlig att den ryms inom normal osäkerhet i beräkningarna och därmed erforderlig säkerhetsfaktor, max 10 % (Nordahl, 2007). Utveckling av metoder för beräkning av progressiva brott har i Sverige bedrivits av bl a Stig Bernander (t ex Bernander, 2009).



Figur 5.2. Uppmått skredutbredning för skred i Sverige och Norge i lera med olika sensitivitet.  $n$  = kvot mellan skredlängd och slänthöjd. Heldragen linje representerar bedömd gräns för möjlig utsträckning av skred i Sverige enligt schablonmetod.

En speciell risk i kvicklereområden är att om ett initialscred eller dess utbredning når ned i kvicklerna kan skredmassorna förvandlas till en flytande tung vätska. Även om skreden inte blir framåtgripande i egentlig mening kan skredmassorna därmed flyta iväg

långa sträckor över endast svagt lutande terräng och ödelägga eller hota konstruktioner i deras väg. Ett exempel är skredet i Bärfendal 1977, där cirka 6 000 m<sup>3</sup> lermassor från ett lokalt skred flöt iväg cirka 400 m innan de nådde ett vattendrag och med mycket knapp marginal undgick att ta med sig en jordbruksfastighet på vägen (Skredkommissionen, 1990).

#### **5.1.5 Restriktioner**

Restriktioner och krav bör åsättas för området med avseende på vilka konstruktioner och markarbeten som får utföras framöver, vilka kompletterande utredningar som i så fall krävs, vilken övervakning av erosion och/eller vilka åtgärder för erosionskydd som bör utföras samt, i förekommande fall, krav på dimensionering och övervakning av t.ex. vägtrummor, (jfr skredet i Tuve 1979). Beroende på aktuellt område kan också restriktioner beträffande t.ex. virkesupplag och snöupplag bli aktuella.

#### **5.1.6 Granskning**

Att placera ett anläggningsprojekt i ett kvicklereområde i GK3 med krav på oberoende granskare är i stort sett verkningslöst om granskningen främst avser gjorda beräkningar. Vad som verkligen krävs är en kontroll av utförda riskbedömningar samt att en geotekniskt sakkunnig finns på plats och övervakar arbetets utförande och ser till att detta utförs på rätt sätt och med den försiktighet som krävs med hänsyn till områdets karaktär. Vidare skall denne(a) fortlöpande kontrollera att alla konstruktioner och markarbeten, såväl permanenta som temporära, i alla skeden har tillräcklig säkerhet och att alla markrörelser och porttryck håller sig inom uppsatta gränsvärden.

### **5.2 Syfte och mål**

Inom SGI:s Göta älvutredning (GÄU) 2009-2011 utvecklades en metodik för hantering av kvicklera för bedömning av stabilitetsförhållanden utmed älven. Metodiken har beskrivits i delrapport 32 "Hantering av kvicklereförekomst vid stabilitetsbedömning för Göta älv – Riktlinjer". (Åhnberg m fl, 2011). En modifierad metodik för hantering av kvicklera har nu tagits fram med syfte att ge allmänna riktlinjer för dem som ska hantera kvicklera vid stabilitetsutredningar och möjliggöra en likvärdig hantering inom olika områden i Sverige. Målsättningen har varit att den modifierade metodiken skall kunna tillämpas för stabilitetsutredningar också för andra områden än Göta älvdalen med motsvarande problematik vad gäller kvicklera.

### **5.3 Beskrivning av metodik**

#### **5.3.1 Kartering**

Som underlag för bedömning av möjlig förekomst av kvicklera och annan högsensitiv lera används tillgängligt material med uppgifter över marktopografi, aktuella djup till fast botten och porttrycksförhållanden samt resultat av utförda sonderingar och provtagningar i de aktuella områdena. Kompletterande undersökningar kan utföras i form av geofysiska mätningar och sonderingar som underlag för bedömning av möjlig förekomst av kvicklera och lämpliga provtagningsplatser.

Lämplig metodik för kartering av kvicklera och avgränsning av sådana områden beskrivs i Kapitel 4; "Metodik för kartering av kvicklera".

### 5.3.2 Karakterisering

Bestämning av geotekniska egenskaper hos kvicklera utförs som för övrig lera genom CPT-sondering, vingförsök, porttrycksmätning m fl metoder i fält. CPT-sonderingarna utförs med mätning också av totalt neddrivningsmotstånd för att därigenom kunna ge indikationer på sensitiviteten hos jorden. Provtagning av kvicklera och annan högsensitiv lera i fält görs i första hand med kolvprovtagning i enlighet med rekommendationer för provtagning i kvicklera (SGF, 2009). En ”blockprovtagare” har nyligen tagits fram vid SGI (Larsson, 2011b) vilken kan användas vid de platser där provtagning med kolvprovtagning inte fungerar eller där upptagna prover med denna metod bedöms vara av alltför dålig kvalitet. För bedömning av provkvalitet, se t.ex. SGI Information 3 (Larsson m.fl, 2007). Transporter av prover med kvicklera utförs, som för övriga lera, under undvikande av vibrationer och stora temperaturvariationer.

Prover av kvicklera karakteriseras i laboratoriet genom rutinundersökning samt med CRS-försök, direkta skjuvförsök och vid behov triaxialförsök på tillräckligt många nivåer för att kunna få en klar bild av variation i förkonsolideringstryck och skjuvhållfasthet med djupet. Upptagna prover bör undersökas snarast efter provtagning då en betydande förändring i sensitivitet och flytgräns kan ske i kvicklera med ökande tid efter provtagning.

Vid sammanställning och analys av resultat från olika undersökningar i laboratoriet och i fält bör vid jämförelse mot empiriska egenskaper tas hänsyn till att skjuvhållfasthet och förkonsolideringstryck kan vara lägre än vad som gäller för icke kemiskt förändrad lera (Larsson, 2011a). Värdena antas dock som allra lägst motsvara de för normalkonsoliderad lera.

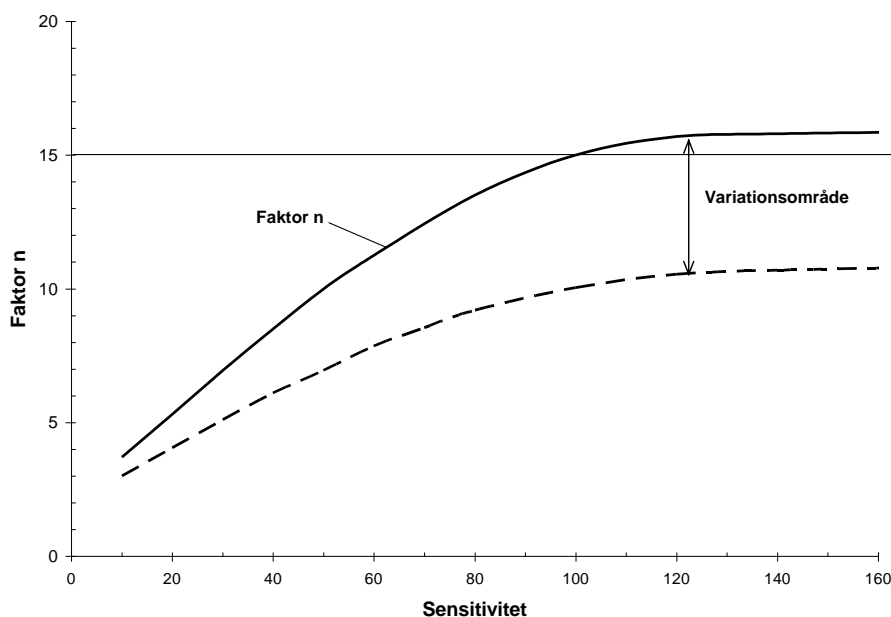
Kompletterande bedömningar av störningskänslighet hos kvickleran kan utföras enligt de riktlinjer som tagits fram vid SGI inom projektet ”Hållfasthetsförsämring i lera vid cyklisk belastning och jordrörelser” (Åhnberg och Larsson, 2012).

### 5.3.3 Bedömning av stabilitet och skredutbredning

Beräkning av initiell stabilitet utförs med samma metodik som för övriga typer av lera, se Skredkommissionens anvisningar för släntstabilitetsutredningar (IEG, 2010).

En grov beräkning av om ett litet lokalt skred kan komma att sprida sig kan göras med Per-Evert Bengtssons metod för bakåtgripande skred, se Bilaga 6-1. För initiella glidytor vid eller under strandlinjen beräknas en vidare utsträckning bakåt från släntfot med hjälp av en faktor  $n$  gånger slänthöjden där  $n$  är en funktion av sensitiviteten hos leran inom den jordvolym som berörs av initialskredet, se Figur 5.3. För leror med uppmätt sensitivitet högre än 100 ansätts ett värde av 15. För extrema kvickleror med sensitiviteter högre än cirka 200 räknas med att ett initialskred som når dessa partier kommer att sprida sig inom hela området med extrem kvicklera, vilket i vissa fall innebär ända fram till omgivande fastmark. Den säkerhetsklass som bedömts gälla med avseende på initialskred inom ett område, antas gälla också för det område som bedöms kunna omfattas av efterföljande sekundärskred. I översiktliga utredningar av skredfarliga områden kan som regel en ytterligare förenkling av modellen genom indelning av faktorn  $n$  i ett begränsat antal nivåsteg underlätta arbetet vid riskbedömningar. Metodik för hantering av säkerhetsklasser finns beskrivna i Kapitel 8 ”Metodik för riskanalys” och metodik för bedömning av säkerhetsklasser finns beskriven i GÄU Delrapport 28 ”Metodbeskrivning sannolikhet för skred - Kvantitativ beräkningsmodell” (Berggren et.al., 2011).





Figur 5.3. Diagram för bedömning av faktorn  $n$  med ledning av sensitivitet. Efter Larsson m fl (2008).

För bedömning av framåtgripande skred används vanlig stabilitetsberäkning där massorna inom initialskredet betraktas som en yttre last utan egen hållfasthet. Att beräkna den vidare framåtgripande skredutvecklingen och speciellt skredets slutliga omfattning låter sig dock inte göras med den angivna metoden. Den slutliga utbredningen kommer sannolikt att bli större än vad som beräknas på detta sätt. Det bör vidare uppmärksammas att om ett initialskred eller dess utbredning når ned i kvicklera kan skredmassorna förvandlas till en flytande tung vätska och flyta iväg långa sträckor över också relativt svagt lutande terräng (Larsson, 2010). Skredutbredningar kommer förhoppningsvis att kunna beräknas bättre med nya metoder framöver när ett relevant sätt att bestämma ingångsparametrarna tagits fram. Metodik för detta finns dock idag inte tillgänglig för praktiskt bruk i Sverige. Utvecklingsarbete pågår i bl. a. Norge.

Metoderna ovan avser i huvudsak vanliga statiska belastningar. Belastningar i form av vibrationer, massundanträngningar, stora stötbelastningar och annat som kan skapa så stora jordrörelser att hållfastheten lokalt bryts ned ingår idag inte i beräkningsunderlaget utan hänförs i stort till effekter av anläggningsarbeten och deras utförande utan kvantifiering. Risken för att en sådan nedbrytning skall ske beror till stor del på jordens egenskaper och störningskänslighet. En kvantifiering av den senare och bedömning av dessa risker bör ingå i stabilitetsutredningarna. För närvarande saknas dock beprövade metoder för detta. Vägledning kan fås från resultat från FoU inom området, se avsnitt 6.3.2 ovan, och en grov preliminär klassning av restriktionsbehov görs utifrån förekomst av sensitiv jord. Utredningar gäller dagens situation men bedömningar/restriktioner för framtida användning bör finnas med.

#### **5.4 Behov av fortsatt utveckling**

Behov finns av fortsatt utveckling inom flera områden kopplade till ”hantering av kvicklera”.

- Undersökning av urlakningens påverkan med tiden på geotekniska egenskaper såsom skjuvhållfasthet och förkonsolideringstryck hos svenska leror.
- Utveckling av praktiskt användbara beräkningsmetoder för progressiva bakåt-/framåtgripande brott.
- Utvärdering/utveckling av lämpliga metoder för förstärkning av kvicklera vid slänter, med begränsad störningseffekt på omgivande jord.

## 6 METODIK FÖR EROSIONSANALYS

### 6.1 Bakgrund och genomförande

#### 6.1.1 Göta älvutredningen

Erosionsutredningen inom Göta älvutredningen (GÄU) syftade till att översiktligt klargöra erosion och sedimenttransporten i Göta älvdalen vid dagens och i framtidens klimat. För att kunna åstadkomma detta kombinerades indata från flera olika källor och tillsammans gav de en bild av erosionen i ett vattendrag där kohesiva material dominerar. Resultatet och metodiken för den översiktliga erosionsutredningen inom GÄU redovisades i en rapport (Rydell et al, 2011a) och i en fördjupningsstudie (Rydell et al, 2011b) och kom att utgöra en grundläggande del i de efterföljande stabilitetsberäkningarna.

Inom GÄU utfördes vissa fältundersökningar för att bestämma sedimentens erosionsegenskaper. Dessa är normalt relativt kostnadskrävande och ofta kan sådana undersökningar utföras endast i begränsad omfattning och erosionsförhållandena måste normalt utföras efter en mer förenklad metodik.

#### 6.1.2 Syfte och avgränsningar

Erosion i strömmande vatten är en naturlig och ständigt pågående process. Exploatering av ett vattendrag samt i dess omedelbara närhet kan öka förutsättningen för erosion och medföra alltmer allvarliga konsekvenser då skador på byggnader och infrastruktur kan bli omfattande. Klimatförändringarna kommer, genom ökade flöden och stigande havsnivåer, att ytterligare öka hotbilden.

En ökad förståelse för erosionsprocesserna och en ökad kännedom om erosionen på lokal och regional nivå är nödvändig för att utföra åtgärder för att skydda befintlig bebyggelse samt utgöra ett underlag i den fysiska planeringen. Detta kapitel vänder sig därför till dem som i olika omfattning utför eller beställer erosionsutredningar, till exempel konsulter, länsstyrelser och kommuner.

I en utredning som avser att kartlägga erosionen och utgöra underlag för eventuella åtgärder är det viktigt att från början ställa några grundläggande frågor:

- Förekommer erosion och i så fall längs vilka sträckor?
- Vad beror erosionen på?
- Hur omfattande är erosionen?

Detta kapitel är skrivet för att kunna användas som en praktisk handledning vid arbete med ovanstående frågor rörande erosion i vattendrag, bland annat för att utföra skredriskanalyser eller andra förhållanden relaterade till erosion. Metodiken är också tillämpbar för sjöar och kustområden även om dessa inte behandlas explicit. Rapporten redogör huvudsakligen för vilka möjligheter det finns att utifrån befintligt underlag, fältundersökningar och laboratoriekontroller analysera erosionsförhållandena på regional och lokal skala. Utgångspunkt är den metodik som användes inom Göta älvutredningen men varje undersökning är unik och utredningens omfattning måste utgå från det material som är möjligt att sammanställa utifrån tillgängliga resurser.

Parallellt med denna rapport har en metodik för översiktlig kartering av erosionsrisker arbetats fram (Rydell et al., 2012). Denna bygger på att stegvis öka kunskapen om erosionsförhållandena på såväl översiktlig som detaljerad nivå, se avsnitt 7.2. En metod för

att ta fram beslutsunderlag för fysisk planering och klimatanpassning för bebyggd miljö hänvisas till rapporten ”Hållbar utveckling av strandnära områden” (Rydell et al., 2011c). Båda dessa rapporter behandlar erosion längs kuster, sjöar och vattendrag.

Eftersom syftet med denna publikation är att den ska vara till praktisk hjälp vid erosionsutredningar berör den endast översiktligt de processer som leder till erosion och sedimenttransport. För en närmare beskrivning av detta hänvisas istället till SGI Varia 592 (Andersson et al, 2008).

## 6.2 Arbetsgång

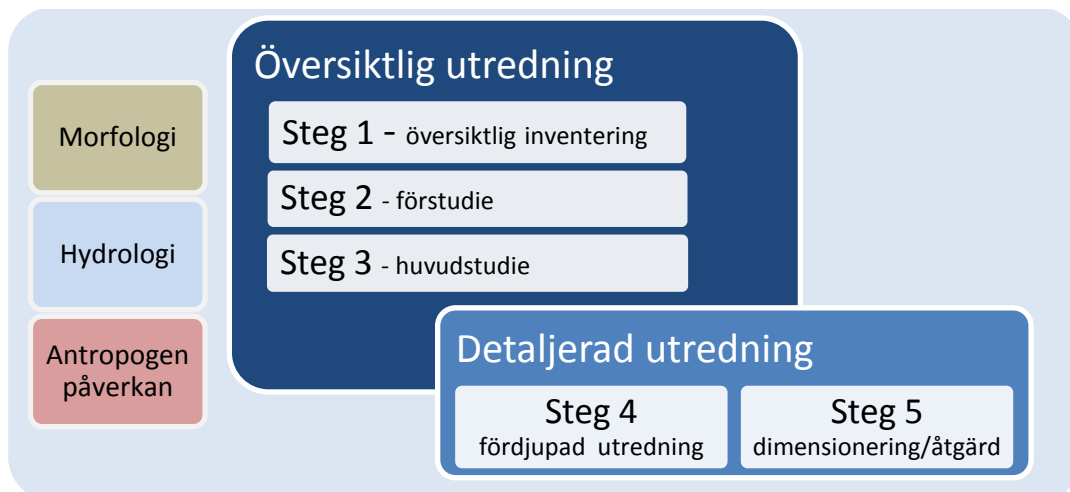
Erosionsutredningar kan ha olika syften och utföras för olika ändamål, vilket måste ligga till grund för utredningens genomförande. Principiellt bör en inventering utföras i följande steg enligt den metodik för kartering av erosionsrisker som utvecklats:

1. Översiktliga utredningar – syftar till att ge svar på frågan om erosion förekommer, dess orsak och inom vilka områden.
  - Steg 1: Översiktlig inventering av erosion (nationell översikt)
  - Steg 2: Förstudie (avgränsning av områden för steg 3)
  - Steg 3: Huvudstudie (översiktlig kartläggning)
2. Detaljerade utredningar – syftar till att ge svar på erosionens omfattning, utbredning och storlek.
  - Steg 4: Fördjupad utredning (klarlägga risker och åtgärdsbehov)
  - Steg 5: Dimensionering och genomförande av förstärkningsåtgärder

En **översiktlig utredning** (steg 1-3) utförs ofta i förebyggande syfte för att fungera som underlag i planeringsprocessen på regional eller kommunal nivå eller som underlag för anpassning till förändrat klimat. Att implementera resultatet tidigt i det löpande arbetet betyder att resurser kan sättas in där de behövs.

En **detaljerad utredning** (steg 4-5) genomförs oftast för de i den översiktliga utredningen identifierade områdena. Den kan också, utan föreliggande översiktlig utredning, utföras i områden med konstaterade erosionsproblem med syfte att bestämma erosionens omfattning som underlag för eventuella åtgärder för att förhindra erosion.

En schematisk bild över arbetsgången visas i Figur 6-1. Inledningsvis klargörs morfologiska, hydrologiska och antropogena förhållanden som underlag för såväl översiktlig som detaljerad utredning. En detaljerad utredning kan följa på en översiktlig utredning eller utföras separat.



Figur 6-1. Schematisk arbetsgång för översiktliga och detaljerade erosionsutredningar utifrån kunskap om morfologi, hydrologi och antropogen påverkan.

### 6.3 Morfologiska förhållanden

Begreppet morfologi används för att beskriva ett vattendrags form och hur det med tiden förändras av olika processer som till exempel erosion, sedimenttransport och landhöjning. De morfologiska processerna omformar ofta vattendraget under en lång tid och i en erosionsutredning är det viktigt att förstå de bakomliggande orsakerna för erosion innan beslut tas om eventuella åtgärder.

I detta kapitel ges en översikt av några de viktigaste processerna som formar ett vattendrag.

#### 6.3.1 Geologi

Vid den senaste istiden låg stora delar av det som idag är Sverige nedpressat och under dåtidens havsnivå. Den nivå dit havet som högst nådde kallas högsta kustlinjen (HK) och dess nutida nivå varierar: kring ca 300 m.ö.h. i Ångermanland och ca 20 m.ö.h. i den södra delen av landet. Högsta kustlinjen utgör en viktig gräns mellan olika jordarter. När landskapet under den högsta kustlinjen låg under vattenytan avsattes finkorniga sediment som lera och silt på den dåvarande havsbotten: glaciala sediment som avsattes i samband med inlandsisens avsmältning och postglaciala som avsattes därefter och än idag. Det är dessa områden med lösa avlagringar som idag är av betydelse i erosionsutredningar.

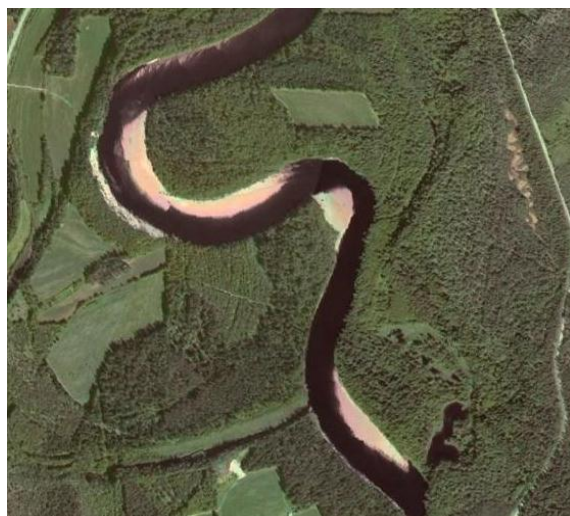
Genom landhöjning har många av dessa tidigare havs- och sjövikar torrlagts och sedimenten ligger kvar ovanför berg och morän. Successivt som landet har höjt sig har nya vattendrag som bäckar, åar och älvar formats och drivs genom landskapet av gravitationen för att mynna i ett hav eller i en insjö. Mellan källflöde och mynning förändras vattendragets karaktär. Uppströms är strömfåran brantare och bottenarna består av grovt material som renspolat berg, sten och grus medan det längre nedströms förekommer finare sediment. Längre nedströms planar det ut och vattendraget blir bredare.

#### 6.3.2 Topografi och batymetri

Flödes hastigheten i ett vattendrag är kopplad till landskapets topografi samt vattendragets bredd. Beroende på jordart och terräng leder detta till olika erosionsmönster. I ku-

perad terräng medför den ökade lutningen en högre flödes hastighet, vilket förstärks om utrymmet för det flödande vattendraget är begränsat. Detta kan, i erosionsbenägna jordarter, medföra en utpräglad bottenerosion som syns i landskapet som djupt nedskurna raviner. Vid landhöjning ökar flödes hastigheten ytterligare eftersom gradienten mellan källflödet och havsnivån ökar.

I ett flackt landskap är istället vattenhastigheten lägre och topografin tillåter vattendraget att ta plats. Detta kan ge vattendraget ett slingrande lopp – det meandrar (se Figur 6-2). Orsaken är att ström hastigheten i vattendraget varierar både med djup och med avstånd från stranden. I ytterkurvor ökar ström hastigheten, vilket också medför en ökad erosion, medan den lägre hastigheten i innerkurvorna kan medföra avsättning av material.

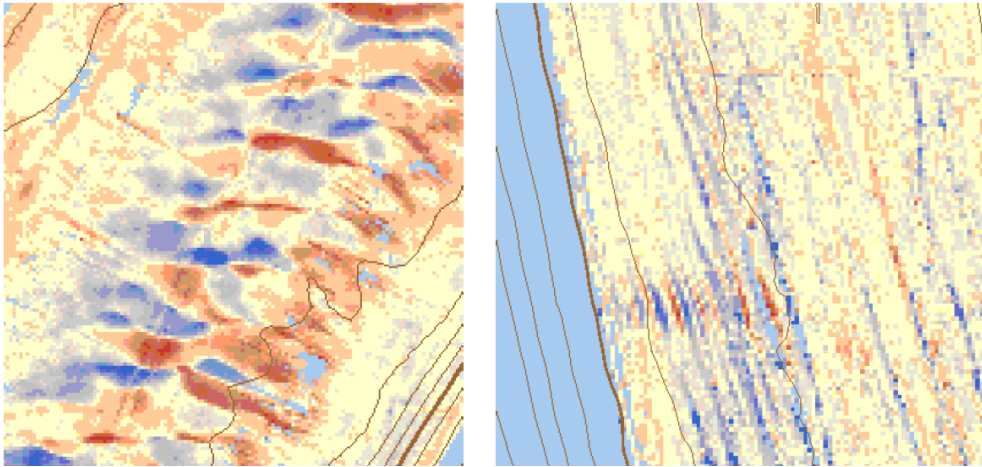


*Figur 6-2. Den meandrande Öreälven i Västerbotten är ett tydligt exempel på hur material eroderas från ytterkurvorna och deponeras i innerkurvorna (www.maps.google.se).*

### **6.3.3 Stranden och bottenens morfologi**

Strandzonen är ett vagt avgränsat område i övergångszonen mellan land och vatten. I vattendrag som rinner genom mindre erosionsbenägna jordar är strandzonen sällan särpräglad utan karakteriseras istället av växtlighet ända ner till vattenytan. I erosionsbenägna jordar däremot kan erosionen tydligt prägla strandområdet som i medelvattenytan får ett svagt sluttande strandplan som bryts av vid den eroderande strandslätten. Strandplanet och den angränsande slätten kan utbildas genom såväl vattenföring som frostsprängning eller grundvattenflöden. Vegetationen i slätten spelar stor roll för erosionens hastighet.

Formen på botten utbildas genom vattnets rörelse och jordarternas egenskaper samt är också beroende av vad som händer ovan vattenytan, i strandzonen. Det strömmande vattnet för med sig partiklar, beroende på partiklarnas storlek transporteras de suspenderade i vattenmassan eller rullar på botten. När vattenhastigheten sjunker sedimenterar partiklarna, först de stora och därefter de mindre, och på detta sätt sker en sortering av materialet. Detta medför att botten ofta kan täckas av ett ytmaterial som överlagrar det ursprungliga materialet och skiljer sig från detta. Transporten kan ofta orsaka revlar eller bankar av sediment eller ge upphov till vågmönster på botten, se Figur 6-3.

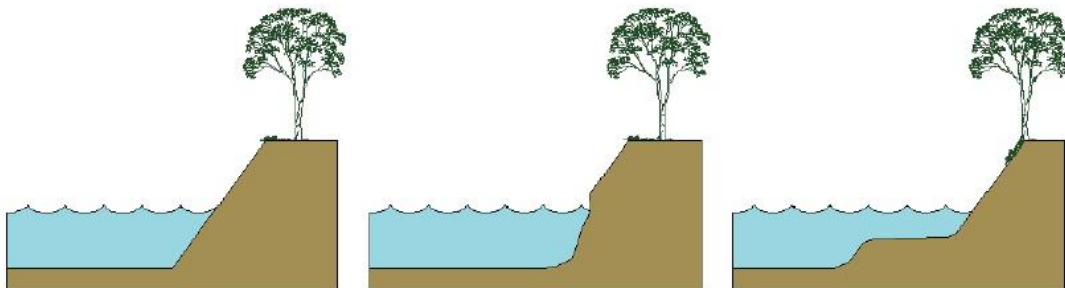


Figur 6-3. Bottennivåjämförelser från Göta älv mellan 2003 och 2009. I figuren visas t.v. ett område i vilken sandvågor utbildats i en mäktig sandavlagring. T.h. visas ett område som bedöms vara korrasionsmönster på en lerbotten. Blå färg indikerar en nivåökning och röd en sänkning av botten (Rydell et al., 2011a).

I kohesionsjord blir strömfåran ofta djupare med brantare och mer oregelbundna former. Om grövre material, till exempel sand, förekommer i form av transporterat material i ytlagret kan det fungera som "sandpapper" på botten och nöta bort materialet. Denna process kallas korrusion och bedöms ha en stor påverkan på erosionen inom vissa områden.

#### 6.3.4 Släntstabilitet och ravinbildning

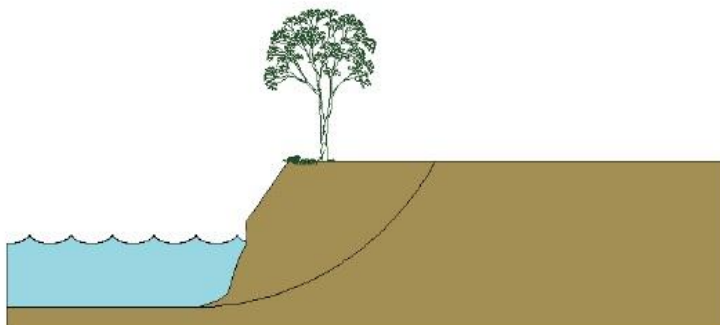
Erosion i strömfåran kan inducera ras och skred i såväl undervattensslänter som i slänter ovan vattenytan. Om naturliga processer får verka på en slänt kommer denna att ställa sig i jordens friktionsvinkel. Denna vinkel anges normalt till ca 26-33 grader för silt och ca 35-45 grader för morän men beror av till exempel jordens lagringstäthet. Om material från släntfoten eroderas kommer slänten att bli brantare, varpå ras sker till dess att friktionsvinkeln uppnås och slänten åter befinner sig i jämvikt, se Figur 6-4. Det borteroade materialet kan ackumuleras under vattenytan i form av ett strandplan eller transporteras nedströms av det strömmande vattnet.



Figur 6-4. Erosion av slänt i friktionsjord i vattendrag. Initialt befinner sig slänten i jämvikt och står i friktionsvinkel (t.v.). När släntfoten eroderas bort av vågor (mitten) blir slänten brantare och materialet längre upp i slänten faller ner. På så sätt står slänten åter i sin friktionsvinkel men parallellförflyttad inåt land (t.h.).

I en släntfot medför erosionen att den mothållande massan successivt försvinner. Detta riskerar i finkorniga jordarter att utlösa ett skred där ett större markområde glider ut i

vattendraget, se Figur 6-5. Skred kan inträffa plötsligt och utgöra en akut fara eller medföra sekundära konsekvenser, till exempel om skredmassorna dämmer upp vattendraget så att översvämningar inträffar uppströms.



Figur 6-5. Erosion av slänt i kohesionsjord i vattendrag. När den mothållande släntfoten eroderas bort finns förutsättningar för skred längs en glidyta, i figuren illustrerad genom ett cirkelsegment.

Flera på varandra följande ras och skred längs med det eroderade vattendraget kan i framförallt ler- och siltjordar ge upphov till ravinbildning där ravinen mynnar i vattendraget. Utvecklingen av en ravin sker ofta långsamt men i samband med till exempel intensiv nederbörd kan den utvecklas snabbt och via förgreningar komma att hota bebyggelse på relativt stora avstånd.

## 6.4 Hydrologiska förhållanden

I Sverige finns 119 huvudavrinningsområden, det vill säga vattendrag som rinner ut i havet och som har ett avrinningsområde som är större än 200 km<sup>2</sup>. Dessa består i sin tur av ett nätverk av små och stora vattendrag: totalt ca 28 000 enligt Svenskt vattenarkiv (SVAR). Vattendragens karaktär har formats efter inlandsisens avsmältning för 10 000 år sedan och idag är många av dem också påverkade av mänsklig aktivitet i form av vattenkraftsutbyggnad, avsänkningar, invallningar och kulverteringar.

### 6.4.1 Variation under året

Vattenföringen i vattendrag beror av nederbörd, temperatur och avdunstning och varierar under året och också mellan de norra och södra delarna av landet. Det hydrologiska året börjar med hösten då växtsäsongen är över och avdunstningen därmed minskar. Fukten blir kvar i marken, höstregnen fyller på grundvattenmagasinen och resultatet blir en ökad vattenföring.

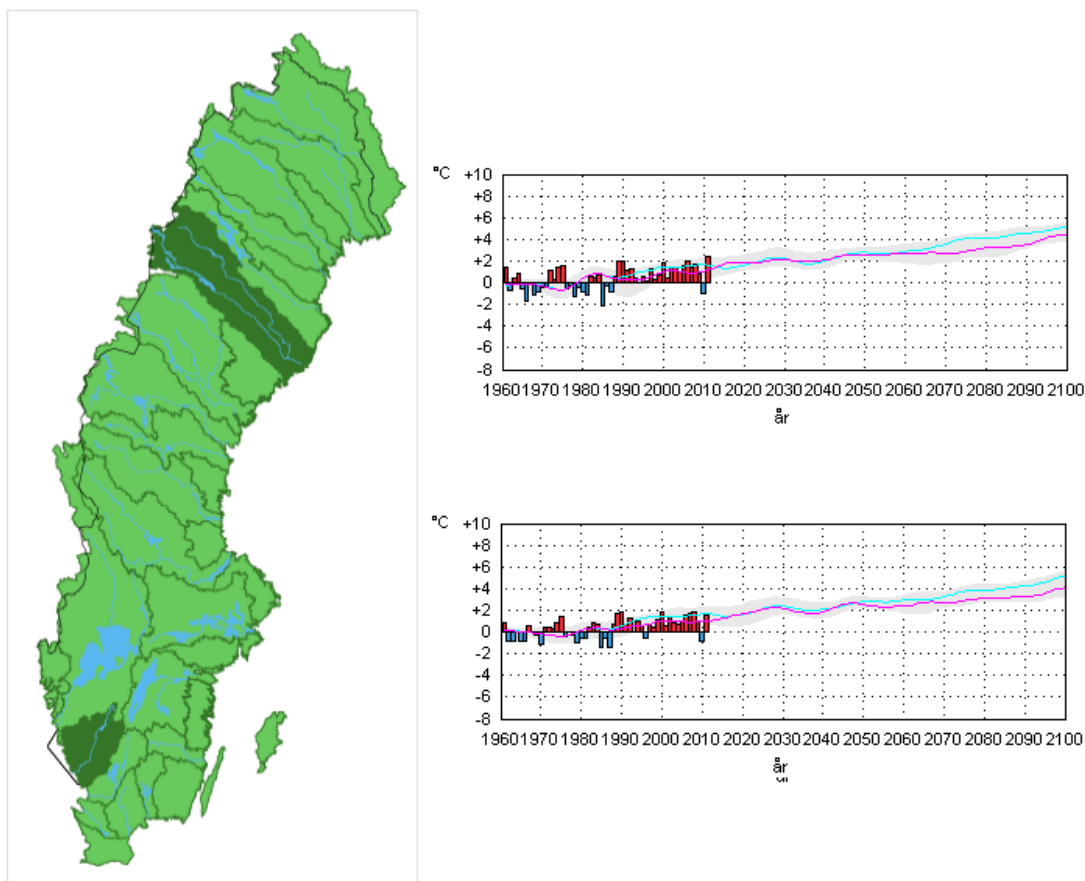
I norra Sverige lagras vintertid nederbörden som snö varpå vattenföringen efter hand minskar. I södra Sverige däremot faller mindre andel av nederbörden som snö och snösmältningen sker under flera perioder vilket medför en hög avrinning även under vintern.

Snösmältningen ger i norra Sverige ett kraftigt vårflode medan den är mer måttlig i söder. Under sommaren kräver åter växtligheten stora mängder vatten - avdunstningen är stor och flödena är låga.



### 6.4.2 Vattenföring och erosion vid förändrat klimat

Klimatscenarier visar att framtida klimatförändringar innebär ökad nederbörd i stora delar av landet, vilket i sin tur medför ökad vattenavrinning och högre flöden i vattendrag. I Klimat- och sårbarhetsutredningen (2007) redovisades klimatscenariokartor fram till år 2100 och dessa har därefter uppdaterats inom vissa regioner. Exempel på tillgängliga data ges Figur 6-6.



Figur 6-6. Exempel på klimatscenarier för Sveriges huvudavrinningsområden (mindre huvudavrinningsområden har aggregerats för att ge stabilare scenarioräkningar). Till höger ses uppmätt (staplar) och förväntad (kurvor) förändring av årsmedeltemperaturen för Umeälven och kringliggande vattendrag (över) samt för Nissan och kringliggande vattendrag (under). Den turkosa och den cerise kurvan motsvarar utsläppsscenario A2 respektive B2 (SMHI, 2011).

Fram till 2100 bedöms Sveriges årsmedeltemperatur öka med mellan 2,5 och 4,5°C, jämfört med referensperioden, 1961-1990. Temperaturökningen är som störst under vintern vilket medför en minskning av snötäckets utbredning, en kortare period med sammanhängande snötäcke samt en minskning av det maximala snödjupet.

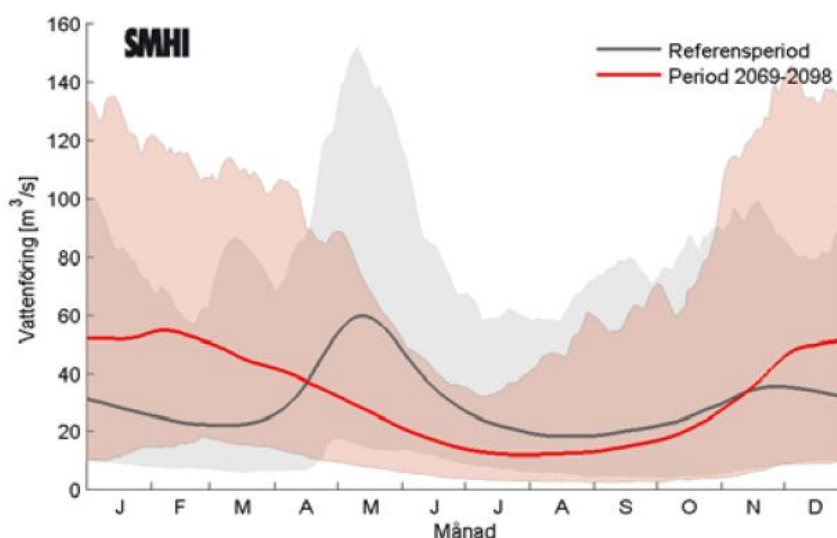
Nederbörden väntas till 2100 öka med mellan 10 och 20 % och ökningen är störst under vintern. Längst i norr väntas en nederbördsökning för hela året medan Sydsverige kan få minskad nederbörd sommartid. Extremnederbörden, exempelvis uttryckt som mängden nederbörd under ett dygn, förväntas öka i hela landet.

Globalt väntas havsvattenstånd, till följd av ökade temperaturer, höjas med ca 1m till år 2100. De regionala skillnaderna kan vara mycket stora och i Östersjön väntas en

större höjning som en följd av kraftigare västvindar. För stora delar av Sverige motverkas havsnivåhöjningen av landhöjningen. Mot slutet av detta sekel bedöms dock hav och land stiga med ungefär samma hastighet så långt norrut som till Uppland.

Klimatförändringarna kommer att ha fortsatt inverkan efter år 2100 trots att de flesta klimatscenarier fokuserar på just detta år. Bostadsområden och infrastruktur förutsätts ofta ha en längre livstid än 90 år och därför är det viktigt att vid planering och anpassningsåtgärder ta höjd även för de förändringar som kan vara att vänta i ett längre perspektiv.

De aspekter av klimatförändringen som har störst påverkan på erosionen längs vattendrag är de som rör flöden och vattenstånd. Den ökade temperaturen vintertid leder till ett ökat flöde under hela vinterhalvåret (mindre vatten binds som snö) men en minskad vårflood. En ändrad årsrytm förväntas också där vårflooden kommer att utjämnas, se Figur 6-7.



Figur 6-7. Exempel på säsongsvariation av förväntad daglig vattenföring i Kolbäcksån (Persson et al., 2012).

Ökad nederbörd medför ökad avrinning till vattendragen och högre vattenflöden, vilket i sin tur leder till ökad erosion. Detta, speciellt i kombination med ökade havsvattenstånd vid vattendragens mynnningar, kan medföra översvämningar och att områden som tidigare inte har legat i strandlinjen utsätts för erosion. När vattenmassorna sedan drar sig tillbaka kan det höga portrycket i jorden medföra erosion och skred. Det faktum att många vattendrag är reglerade leder dock till att responsen på till exempel intensiv nederbörd eller snösmältning inte alltid är direkt längs hela vattendraget.

## 6.5 Erosion

### 6.5.1 Erosionens orsak

Med erosion menas den process som leder till förlust av material från stranden och botten i vattendrag och längs kuster. Erosion och sedimentation är en ständigt pågående naturlig process i landskapet. Den naturliga balansen kan störas av mänskliga aktiviteter, exempelvis genom konstruktioner i vatten, fartygstrafik, avverkning av strandnära

skog. Under vissa betingelser sker mer omfattande erosionsangrepp, till exempel längs kuster vid stormar eller vid höga flöden och vattennivåer i vattendrag och sjöar.

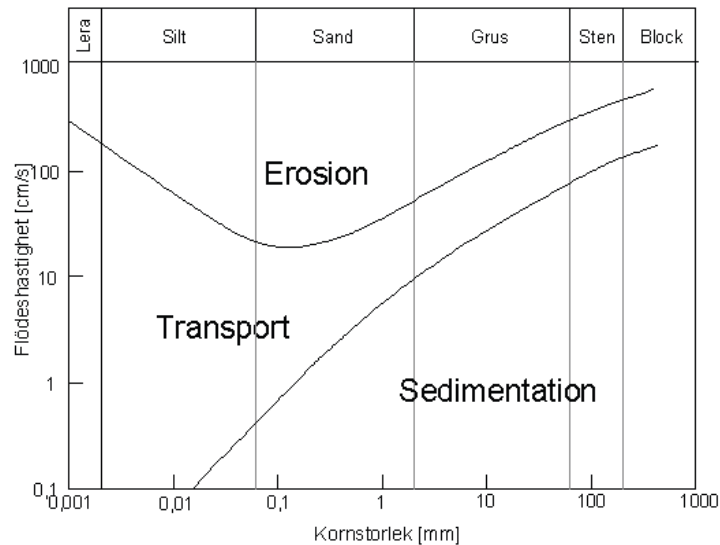
Det finns olika typer av erosion som verkar i och i den omedelbara närheten av ett vattendrag. *Strömmande vatten* kan medföra erosion längs botten och på angränsande stränder och slänter. Erosion från vindgenererade *vågor* uppkommer främst längs breda vattendrag men vågor kan även uppstå vid tappning av dammar eller av fartygstrafik. Erosion kan också uppkomma av nötande *isflak*. Därutöver kan nederbörd, ytavrinning och tjällossning påverka strandbrinkarna.



Figur 6-8. Erosion utmed Ljungan (foto: SGI)

### 6.5.2 Erosionsprocesser

En förutsättning för erosionsprocesser är dels tillgång till erosionskänsligt jordmaterial, dels en flödes hastighet som är tillräckligt hög för att loss göra och transportera materialet. När flödes hastigheten minskar avsätts materialet igen, vilket till exempel kan synas som deltaområden där vattendrag mynnar ut i sjöar och hav. De mest erosionsbenägna jordarna är de med en kornstorleksfördelning motsvarande grov silt till mellansand (se Figur 6-9).



Figur 6-9. Diagram över sambandet mellan strömhastighet, kornstorlek och sedimentets transporttillstånd för ensgraderat material (efter Hjulström, 1935)

Om det inom ett visst avgränsat område råder jämvikt mellan eroderat och avsatt mängd material sägs området vara stabilt utifrån erosionssynpunkt. Vid en nettoförlust av material är området utsatt för erosion och i motsatt fall sker en ackumulation av material.

### 6.5.3 Erosion i strömmande vatten

Detta kapitel är en förkortad version av det som beskrivs i GÄU – delrapport 2: Fördjupningsstudie om erosion i vattendrag (Rydell et al., 2011b). För mer detaljerad information hänvisas till denna rapport.

#### 6.5.3.1 Turbulens och ojämn botten

Naturligt strömmande vatten är i regel turbulent, vilket innebär att det karakteriseras av virvelbildning. Det är i praktiken omöjligt att i detalj beskriva det turbulenta strömmande vattnet och därför väljs ofta ett statistiskt betraktelsesätt där medelströmhastigheten bestäms och där alla fluktuationer kring detta sedan definieras som turbulens.

När vattnet strömmar över botten bildas en gradient av strömhastigheten: närmast botten är strömhastigheten noll, till följd av friktion, medan gradienten i den övriga profilen bestäms av till exempel det strömmande vattnets hastighet och bottenens ojämnheter. I modelleringssammanhang används olika sätt att beskriva bottenens ojämnheter, till exempel *Mannings tal*.

Att det strömmande vattnet är turbulent påverkar i hög grad kontakten mellan vattnet och bottenmaterialet där en så kallad bottenkjuvspänningen uppkommer, vilken ökar kvadratisk med strömhastigheten. Det innebär att om strömhastigheten fördubblas kommer krafterna mot botten att fyrdubblas. Graden av turbulens har därmed en påtaglig inverkan på erosionsförloppet.

### **6.5.3.2 Erosion av friktionsmaterial**

Eroderat friktionsmaterial transporteras antingen genom transport i den fria vattenmassan (suspension) eller genom att de enskilda kornen rullar eller hoppar längs botten. Ju högre turbulens och bottenskjuvspänning, desto större partiklar kan lyftas upp och komma i rörelse. På detta sätt sorterar det strömmande vattnet materialet och trängre sektioner i vattendraget karakteriseras ofta av grövre material.

### **6.5.3.3 Erosion av kohesiva material**

När det gäller erosion av kohesiva material är fysiken mycket mer komplex. Styrkan av de elektroniska krafter som håller ihop partiklarna är svåra att förutsäga och materialets konsolideringsgrad spelar stor roll för eroderbarheten. Kohesiva material eroderar snarare i flockar än i enskilda partiklar och när bottenskjuvspänningen överstiger ett tröskelvärde, den kritiska bottenskjuvspänningen  $\tau_c$ , lossnar materialet från botten.

En partikel i ett kohesivt material som lossnar från botten går direkt i suspension och den kan då färdas relativt långt. Den har förvisso en sjunkhastighet men fastnar inte på botten igen, såvida inte den lokala bottenskjuvspänningen understiger en viss kritisk bottenskjuvspänning för sedimentation,  $\tau_{c,s}$ . I annat fall kommer den landande partikeln omedelbart att lossna igen.

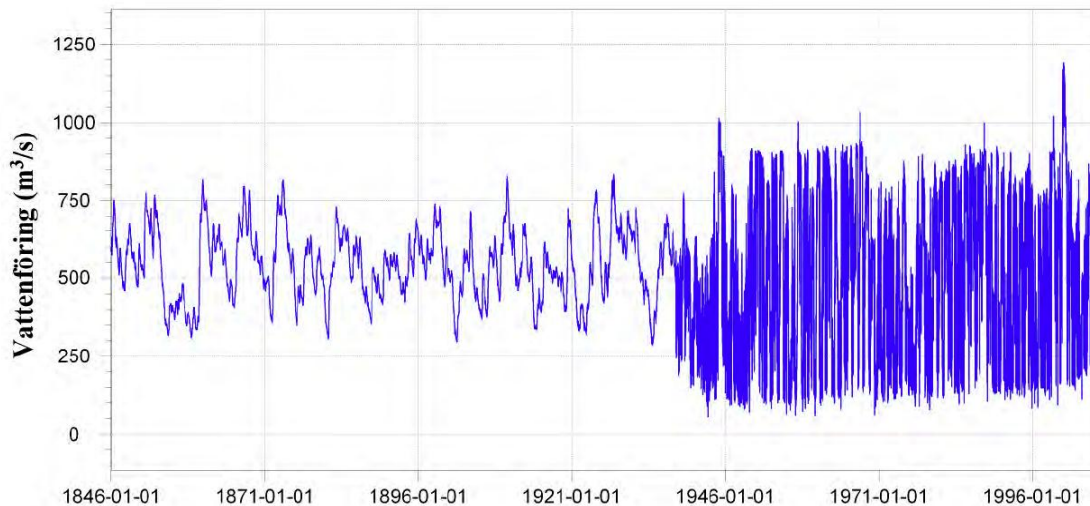
## **6.6 Antropogen påverkan**

Mänskliga aktiviteter i och omkring vattendrag kan ha stor betydelse för deras utveckling och för erosionsförhållandena.

### **6.6.1 Vattenreglering**

Syftet med reglering av vattendrag är att med hjälp av dammar och regleringsmagasin spara vatten från perioder med god tillgång till dess att behovet är större. I Sverige används magasinerna huvudsakligen för elkraftproduktion och uttagen är större under vintertid än övriga årstider samt under dagtid jämfört med på natten. Detta medför stora variationer i flöden och vattenstånd (se Figur 6-10) såväl uppströms som nedströms fördämningarna, och det kan i sin tur påverka erosionen i vattendraget.





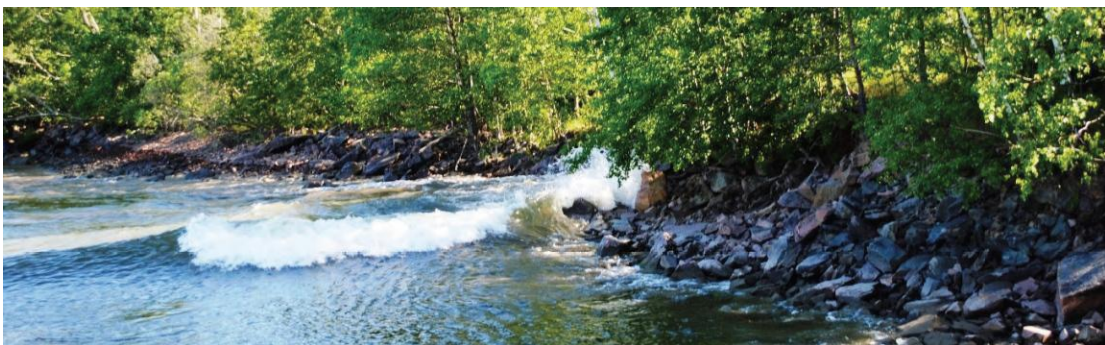
Figur 6-10. Vattenföringen i Göta älv. Observera skillnaden i vattenföringen efter regleringen 1937 (Rydell et al., 2011a)

### 6.6.2 Fartygstrafik

Den kommersiella fartygstrafiken längs svenska vattendrag är idag mycket begränsad och förekommer i större omfattning endast på Göta älv. Antalet motoriserade fritidsbåtar i Sverige uppskattas dock till närmare en halv miljon (SweBoat, 2012) och med höga hastigheter i mindre vattendrag kan även de orsaka erosion.

Fartygstrafik genererar tre typer av strömningar som kan påverka ett vattendrag: kortperiodiga bogvågor, långperiodiga avsänkningsvågor som bestäms av den undanträngda vattenmassan samt en motström beroende på fartygets hastighet och vattendragets tvärsnitt. Därutöver kan den propellergenererade strömningen påverka djupfåran (Rydell et al. 2011b).

Den snabba avsänkningen av vattenytan vid en fartygspassage kan medföra en tryckgradient i slänten vilket minskar stabiliteten. De brytande vågorna kan sedan spola bort finare partiklar från strandbankarna, se Figur 6-11.



Figur 6-11. Fartygsgenererade vågor i Göta älv (foto: Jonas Althage).

### 6.6.3 Erosionsskydd

Erosionsskydd läggs ut ovan och/eller under vattenytan för att skydda stränderna mot erosion. Utifrån givna förutsättningar, till exempel krav på beständighet, estetisk utformning och kostnad, kan erosionsskydd se mycket olika ut.

Strandskoningar är fasta konstruktioner, ofta bestående av sprängsten, som läggs direkt på slänten. Alternativt utgörs de av vertikala murar, främst i hamnar och kanaler. Under sprängstenen läggs ofta en geotextil för att förhindra utspolning av det bakomliggande materialet.

I samband med erosionsskydd talar man också ofta om mjuka skydd, det vill säga erosionsskydd bestående av geotextiler och/eller särskilt utvald vegetation som binder marken. Dessa smälter ofta bättre in i den omgivande miljön kring vattendraget.

## **6.7 Bestämning av erosionens omfattning**

I detta kapitel redogörs för hur storlek och omfattning av erosion kan bestämmas för ett vattendrag för dagens och framtida förändrat klimat. För att tydliggöra arbetsgången används här exempel från Göta älvutredningen men metodiken är tillämpbar även i mindre omfattande utredningar.

Bestämning av erosionens omfattning kan göras på huvudsakligen två sätt: genom jämförelser mellan olika mätningar av bottennivåer (avsnitt 7.7.1) eller genom beräkning av erosionen med utgångspunkt från bottenskjuvspänningar och materialets erosionsegenskaper (avsnitt 7.7.2). Hänsyn till framtida klimatförändringar beskrivs i avsnitt 7.7.3.

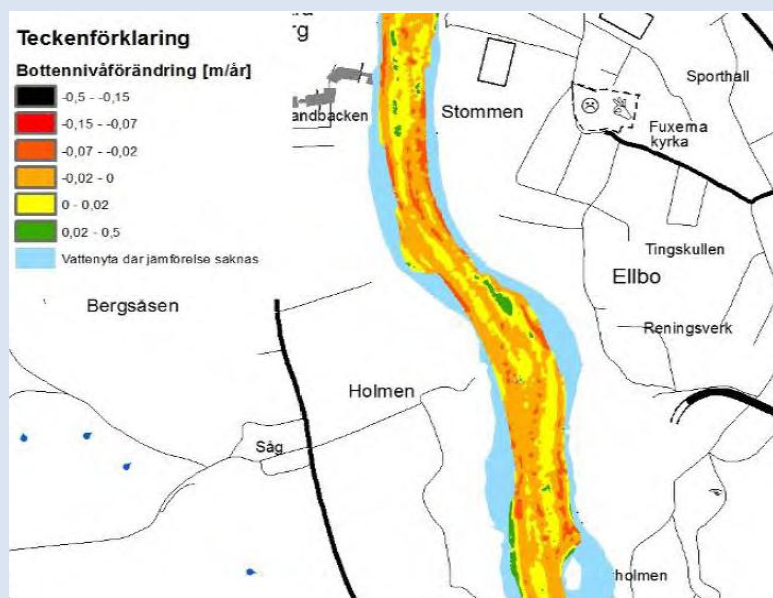
### **6.7.1 Jämförelser mellan mätningar av bottennivåer**

Erosion kan medföra nivåförändringar såväl över som under vattenytan. Att identifiera och kvantifiera dessa utgör som regel kärnan i en erosionsutredning och utifrån det kan sedan eventuella prognoser om framtida erosion göras. Mätningar mellan olika år jämförs och ett medelvärde av bottennivåns förändringar för den aktuella tidsperioden kan då beräknas. Genom att för valt flöde och tidsperiod extrapolera den årliga erosionen kan den framtida erosionshastigheten och totala omfattning beräknas.

### Exempel från Göta älvtredningen

Inom Göta älvtredningen fanns tillgång till mätningar från 2003 (endast över farleden) och 2009 (heltäckande i älven) och detta gav förändringen under en sexårsperiod, se Figur 6-12.

Medelvärdet av bottenförändringen var -45 mm vilket innebär en årlig medelsänkning av älvbotten med ca 7 mm. Spridningen var dock stor och inom många områden är botten oförändrad eller arena för ackumulation. Skillnaderna längs olika delsträckor studerades också liksom var den mesta erosionen/ ackumulationen förekommit.



Figur 6-12. Jämförelse av bottenivåer mellan 2003 och 2009, uttryckt som förändring i meter per år i Göta älv. Negativt tecken innebär att erosion förekommit (Rydell et al., 2011a).

För att mer i detalj bestämma erosionens omfattning görs lämpligen för någon av nedanstående metoder jämförelser mellan två (eller fler) olika år:

- Flyg- och satellitbilder (visar endast eventuell storskalig erosion ovan vattenytan).
- Lodning i sektioner
- Multibeamskanning

Metoderna kan också kombineras med varandra. Istället för att utföra multibeamskanning vid alla tillfällen kan till exempel en heltäckande skanning jämföras med årliga lodningar för några valda sektioner. Skannade data underlättar då extrapolering av resultatet från lodningarna.

#### 6.7.2 Beräkning av erosion

Vid beräkning av erosionens omfattning görs en jämförelse mellan den påverkan/belastning som det strömmande vattnet orsakar på bottnar och slänter med den motståndskraft som jordmaterialet har mot denna påverkan. För detta erfordras undersökning och beräkning av bottenskjuvspänning för olika vattenflöden samt jordmaterialets kritiska bottenskjuvspänning och erosionsegenskaper.



### 6.7.2.1 Bestämning av bottenskjuvspänning

Bottenskjuvspänningen beräknas för det strömmande vattnets hastighet genom älvens hela tvärsnitt och varierar kraftigt mellan olika platser inom ett vattendrag. Eftersom det är omöjligt att i varje punkt mäta bottenskjuvspänningen kan värden tas fram genom:

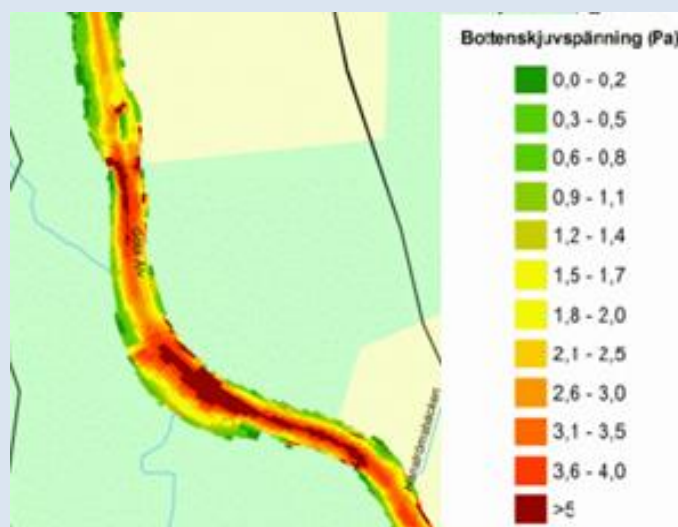
- Mätning av flödeshastighet och riktning i några utvalda sektioner
- Hydraulisk modellering (kalibrerad utifrån mätningar av flödeshastighet och riktning)

Det finns flera olika metoder för att mäta och utifrån det beräkna bottenskjuvspänningen, se till exempel Andersson (2008).

#### Exempel från Göta älvutredningen

Inom Göta älvutredningen upprättade SMHI en hydrodynamisk strömningsmodell för hela älven för celler med längden 30 m och bredden 10 m. Modellen etablerades i programmet Deltft3D och kalibrerades med mätningar av vattenstånd och flödeshastighet. Simuleringar gjordes sedan för sex olika vattenflöden i spannet  $170 \text{ m}^3/\text{s} - 1500 \text{ m}^3/\text{s}$  vilket bedömdes motsvara tillåtna värden enligt vattendom, medelvattenföring samt maximala flöden som kan väntas i ett framtida klimat.

Resultatet av beräkningen är ett värde på bottenskjuvspänningen för varje beräkningscell, se exempel i .



Figur 6-13. Modellerad bottenskjuvspänning för sträckan mellan Lilla Edet och Göta för det maximala flödet  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$  (Rydell et al., 2011a).

### 6.7.2.2 Bestämning av kritisk bottenskjuvspänning

Kritisk bottenskjuvspänning bestäms på olika sätt för friktionsmaterial (grus, sand, grovsilt) respektive kohesionsjord (finsilt och lera).

För att uppskatta vid vilken bottenskjuvspänning ett *friktionsmaterial* börjar förflyttas kan man använda sig av de empiriska formlerna

$$\tau_c = 0,115(D^*)^{-0,5}, \text{ om } D^* < 4 \quad (6.1)$$

och

$$\tau_c = 0,14(D^*)^{-0,64}, \text{ om } 4 < D^* < 10 \quad (6.2)$$

där  $\tau_c$  är den kritiska bottenskjuvspänningen och  $D^*$  är en dimensionslös partikelstorlek, definierad som

$$D^* = D_{50}[(\rho_P/\rho_V - 1)g/v^2]^{1/3} \quad (6.3)$$

där  $D_{50}$  är partiklarnas mediandiameter,  $\rho_P$  är partikelns densitet,  $\rho_V$  är vattnets densitet,  $g$  är gravitationen och  $v$  är vattnets hastighet. I ett naturligt strömmande vatten överskrider vattenhastigheten sällan 3 m/s (Naturvårdsverket, 2008).  $D_{50}$ , bestäms på laboratorium efter fältprovtagning av sediment.

Den kritiska bottenskjuvspänningen för erosion i ***kohesionsmaterial*** samt erosionshastigheten, dvs. hur snabbt materialet fortsätter att brytas upp när väl den kritiska bottenskjuvspänningen är nådd, måste bestämmas experimentellt. För detta brukar en enkel linjär modell användas för erosion i kohesiva sediment, Partheniades – Krone's formel:

$$E = M(\tau/\tau_c - 1) \text{ om } \tau > \tau_c, E = 0 \text{ om } \tau < \tau_c \quad (6.4)$$

där  $E$  är erosionshastigheten [ $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ] och  $M$  [ $\text{kg/m}^2\text{s}$ ] är en empirisk "konstant" som anger förändringen av erosionshastigheten då bottenskjuvspänningen ökar relativt den kritiska bottenskjuvspänningen. Det är svårt att uppskatta ett värde på  $M$  men den kan räknas fram om man samtidigt mäter erosionshastigheten och den kritiska bottenskjuvspänningen.

Vidare kan bottenförändringen uttryckas genom följande formel:

$$dz = E \cdot t / (\rho_s \cdot (1 - n)) \quad (6.5)$$

där  $dz$  är av erosion orsakad bottenförändring [ $\text{m}$ ],  $E$  är eroderad mängd enligt (7.4),  $t$  är tid [ $\text{s}$ ],  $\rho_s$  är jordpartiklarnas korndensitet [ $\text{kg/m}^3$ ] och  $n$  är jordens porositet [-].

För att ett material ska erodera krävs att bottenskjuvspänningen överstiger den kritiska bottenskjuvspänningen,  $\tau_c$  (se kapitel 6.5.3). Det finns i Sverige ingen etablerad metod för att bestämma denna men exempel på provtagningsmetoder och in-situförsök ges i kapitel 6.9.7.

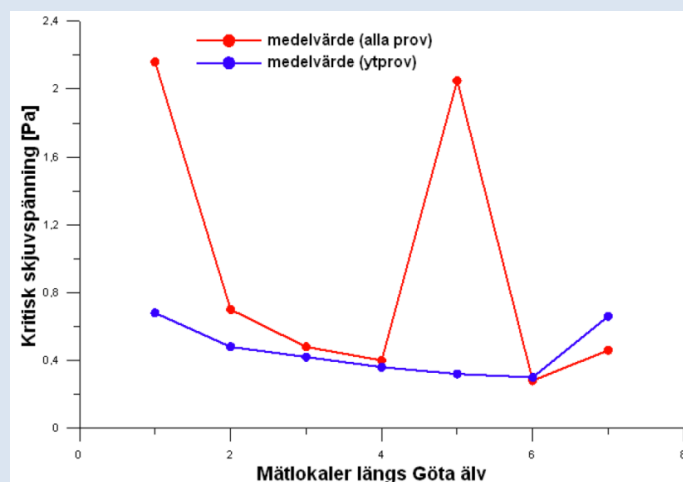
Om det inom en utredning saknas möjlighet att närmare bestämma den kritiska bottenskjuvspänningen finns riktvärden angivna i litteraturen, se Tabell 6-1.

Tabell 6-1. Kritisk bottenskjuvspänning för erosion av kohesiva sediment (efter Nordblom, 2005).

Källa	$\tau_c$ [N/m <sup>2</sup> ]	Anmärkning
Hjulströms diagram ( $d > 0,06$ mm)	0,1	Icke-konsoliderad lera och silt
Hjulströms diagram ( $d = 0,06$ mm)	0,5	Konsoliderad silt
Bengtsson m.fl. (1990)	0,05-0,3	Icke-konsoliderat material
Kullenberg & Jerlov (1956)	0,01-0,04	Icke-konsoliderat material
Kullenberg & Jerlov (1956)	0,15	Konsoliderat material
Handboken Bygg del G	0,5	Lös lera
Handboken Bygg del G	2	Kompakt lera

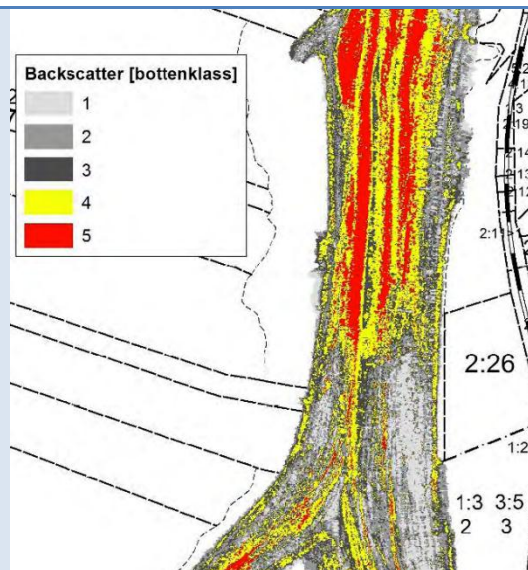
*Exempel från Göta älvutredningen*

Undersökning av kritisk bottenskjuvspänning med SETEG-analys (se kapitel 6.9.7) gav till resultat värden på  $\tau_c$  i intervallet 0,35–0,55 N/m<sup>2</sup> för den sedimenttyp i vilken prov togs, (se Figur 6-14).



Figur 6-14. Medelvärden av uppmätt bottenskjuvspänning längs Göta älv (Rydell et al., 2011a).

För att bestämma värden för  $\tau_c$  för olika delar av älven var utgångspunkten en ytgeologisk undersökning av bottensedimenten med backscatter-analys uttryckt i olika bottenklasser (se Figur 6-15) och den kritiska bottenskjuvspänningen antogs vara homogen inom vardera bottenklassen.



Figur 6-15. Exempel på tolkat backscatter-data där bottenklass 1 omfattar mycket lösa sediment (till exempel gyttjelera) och bottenklass 5 omfattar hårda material som till exempel grusig sand och sten (Rydell et al., 2011a).

För att beräkna den kritiska bottenskjuvspänningen användes den bedömda flödesorsakade eroderade mängden given ur sedimentbudgeten (se kapitel 6.7.4). För varje bottenklass valdes sedan  $\tau_c$  till 95 % av bottenskjuvspänningens medelvärde inom varje bottenklass för det flöde som bäst ansågs representera älvens verkliga flöde. Den kritiska bottenskjuvspänningen varierade mellan 0,34–0,76 Pa, alltså något högre än resultaten från SETEG-analysen.

Efterföljande analyser visade på stora differenser mellan den beräknade erosionen och den uppmätta bottenskjuvspänningen och föranledde senare en sänkning av den kritiska bottenskjuvspänningen till 0,14 respektive 0,15 Pa för några sträckor av älven inom några bottenklasser.

### 6.7.2.3 Erosionskonstanten $M$

För att kunna beräkna den eroderade mängden för andra flöden än det nuvarande (till exempel för klimatförändringar) behöver erosionskonstanten  $M$  bestämmas. Med kända värden på den eroderade mängden, bottenskjuvspänningen och den kritiska bottenskjuvspänningen kan  $M$  bestämmas enligt ekvation (7.4).

#### Exempel från Göta älvutredningen

Eftersom sedimentbudgeten var uppdelad på fyra delsträckor och  $\tau/\tau_c$  i detta fall utgjordes av en konstant kom  $M$  att få ett konstant värde inom vardera delsträcka. Värdena låg i intervallet ca  $2,0 \cdot 10^{-7} - 2,6 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m}^2\text{s}$ .

### 6.7.3 Erosion vid ett förändrat flöde

För att beräkna erosionen för andra flöden, till exempel ett ökat flöde vid ett förändrat klimat, utförs beräkningarna med ekvationerna 7.4 och 7.5. Vid ett ökat flöde ökar bottenskjuvspänningen medan den kritiska bottenskjuvspänningen och  $M$  hålls konstanta. På detta sätt ges en eroderad mängd för det nya flödet. Detta värde kan därefter, om vattendragets area är känd, användas för att bestämma nivåförändringar hos bottnar och slänter.

Av betydelse av erosionsberäkningar för det framtida flödet är på vilket sätt flödet kommer ändras: ett ökat flöde kan uppnås genom ett något högre flöde under hela året

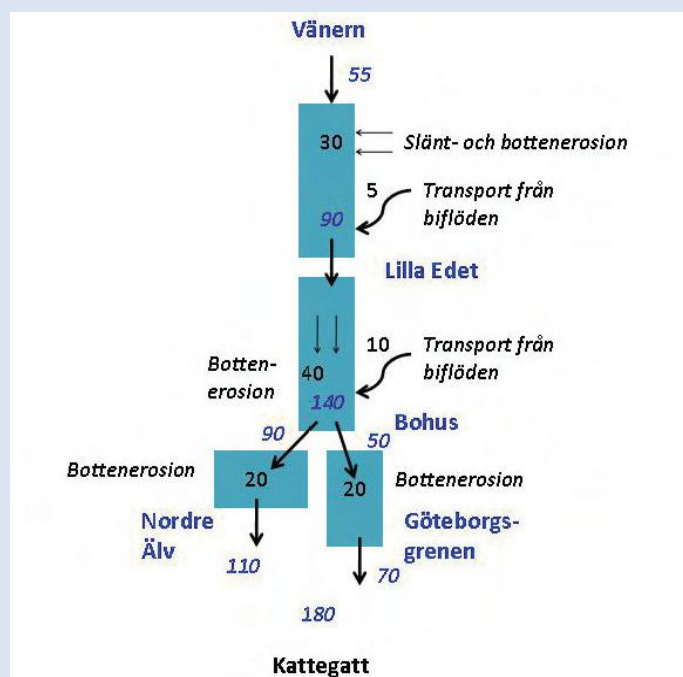
eller som markanta flödesökningar vid ett fåtal tillfällen. Vid erosionsberäkningar bör man ta hänsyn till det varaktiga flödet (normalt medelvattenflödet) eftersom det i huvudsak är detta som tillåts verka under en längre tid. Alternativt kan beräkning göras för olika flöden vars varaktighet anges för olika tidsperioder under året. Vidare har det betydelse för den ackumulerade erosionen fram till exempelvis år 2100 om ökningen från idag sker linjärt eller exponentiellt.

#### 6.7.4 Sedimentbudget

En samlad värdering av erosion, transport och sedimentation av material längs ett vattendrag kan med fördel redovisas i en sedimentbudget. Sedimentbudgeten visar omfattning och fördelning av de sediment som transporteras vid inloppet till vattendraget, längs olika delsträckor samt den mängd som når utloppet. En sedimentbudget kan användas för att beskriva var erosionen sker, vilka faktorer som ligger bakom samt underlätta vid kalibrering av beräkningar av framtida erosion.

##### Exempel från Göta älvutredningen

Den sedimentbudget som upprättades för Göta älv redovisas i Figur 6-16. Den baseras på ovan beräknade bottenivåförändring, mätningar av suspenderat material, muddringar i Göteborgs hamnområde samt studier av fartygsinducerad erosion.



Figur 6-16. Transport av sediment längs Göta älv [kton/år] för dagens förhållanden (Rydell et al., 2011a).

Som underlag för en sedimentbudget kan till exempel användas:

- Uppmätt bottenivåförändring
- Mätning av suspensionshalten i vattenmassan vid olika platser längs vattendraget
- Äldre mätningar (till exempel uppgifter om muddring)

## 6.8 Redovisning av erosionsförhållanden

När en **översiktlig utredning** redovisas var erosion förekommer, eller kan antas förekomma, i vattendraget samt orsaken till denna. Resultatet presenteras till exempel genom färgade ytor på en plankarta som representerar områden med förutsättning för erosion respektive områden där erosion sannolikt inte förekommer. Om den översiktliga utredningen påvisar erosion är det viktigt att detta följs upp inom de utpekade områdena, lämpligtvis genom att områdena undersöks vidare i en detaljerad utredning.

När den **detaljerade utredningen** är genomförd är erosionens omfattning känd och kanske har också några delområden kunnat avskrivas som känsliga för erosion. Eftersom erosion bland annat kan inducera skred är det angeläget att följa upp erosionsutredningen med en stabilitetsutredning, särskilt inom områden där bebyggelse och infrastruktur kan hotas.

Det är också viktigt att fundera på eventuella åtgärder för att minska erosionen eller konsekvensen av den. Detta kan till exempel bestå i att anlägga erosionskydd eller begränsa hastigheter hos båttrafik. För att underlätta prioritering kan en konsekvensanalys genomföras för att bedöma vilka värden som hotas inom olika områden.

## 6.9 Underlagsmaterial och undersökningar för erosionsbedömning

I detta kapitel beskrivs ett antal olika metoder för att bestämma om erosion förekommer i ett vattendrag, på vilka lokaler samt hur omfattande den är. Beroende på krav på detaljeringsgrad, tillgängligt underlag, tidsramar och ekonomisk budget är det sällan möjligt att använda sig av alla metoder.

En generell indelning av vilka metoder som ska ingå i en översiktlig- respektive detaljerad utredning ges i Tabell 6-2. Det som för ett vattendrag blir en kostsam undersökning kan i ett annat vattendrag redan vara utförd i ett annat syfte och därmed tillgängligt till en låg kostnad. En bedömning av vilka metoder som är relevanta måste därför göras i varje specifik utredning.

Tabell 6-2. Generell indelning av metoder i erosionsutredningar för användning i översiktliga och/eller detaljerade utredningar.

	Översiktlig	Detaljerad
Karteringar av erosion	X	
Flyg- och satellitbilder	X	
Topografiskt och geologiskt kartmaterial	X	X
Tidigare utförda geotekniska utredningar	X	X
Fältkontroll	X	X
Geotekniska fältundersökningar	(X)	X
Undersökning erosionsparametrar		X
Mätning av batymetri		X
Mätning suspenderat material		X
Mätning flöde/vattenstånd	X	X



### 6.9.1 Karteringar av erosion

En översiktlig inventering av erosionens omfattning i Sverige har utförts av SGI. De förhållanden som främst påverkar erosionen i vattendrag är jordart och vattenföring. SGI har inventerat hela havskusten, de sex största sjöarna och ett 50-tal vattendrag. Fortsatt inventering av vattendrag görs löpande. Inventeringen har begränsats till att redovisa förutsättningar för erosion med utgångspunkt från de geologiska förhållandena, för havskusterna har även inhämtats uppgifter från berörda kommuner om var erosion konstaterats.

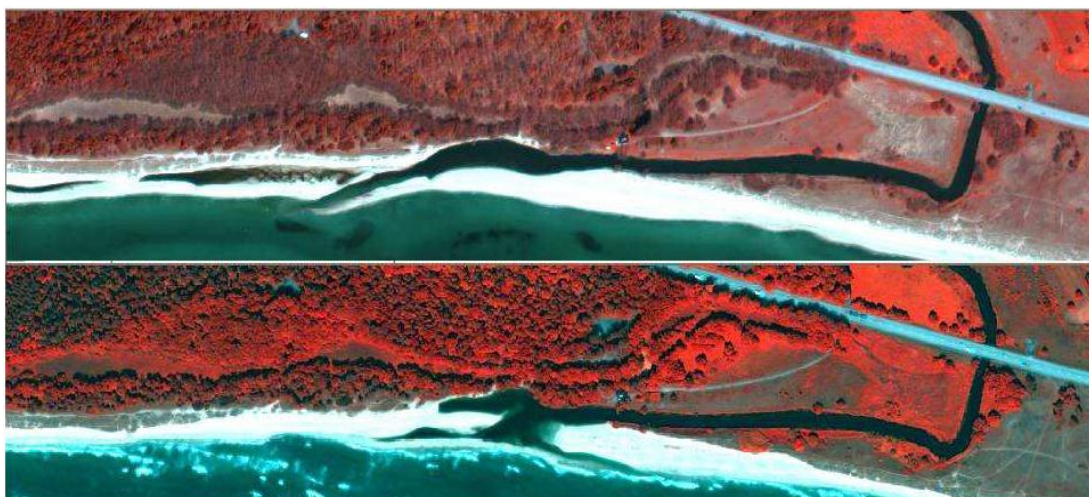
Resultatet från inventeringarna redovisas på SGI:s hemsida ([www.swedgeo.se](http://www.swedgeo.se), under Stöd till myndigheter/Stranderosion).

### 6.9.2 Flyg- och satellitbilder

Flyg- och satellitbilder kan användas för att studera erosionsförhållanden, främst för att jämföra förändringar över tiden, t.ex. av strandlinjer. Detta gäller främst i kustnära miljöer (se Rydell et al, 2010) men till viss del kan de också vara användbara i en generell beskrivning av erosionen i ett vattendrag.

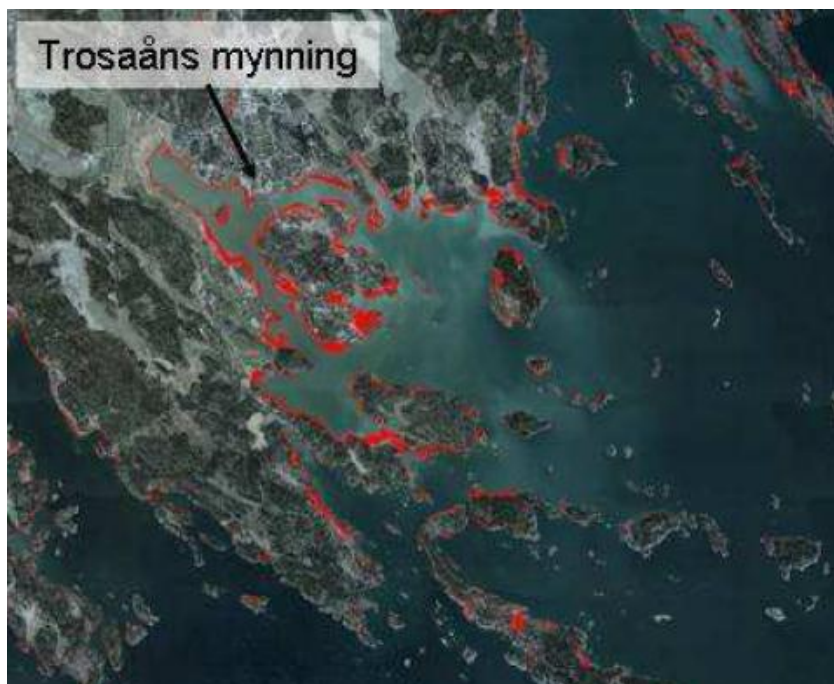
För översiktlig kartering finns äldre satellitdata att ladda hem kostnadsfritt från Lantmäteriets hemsida medan data från 1970-talet och framåt tillhandahålls via satellitdatabasen Saccess ([www.saccess.lantmateriet.se](http://www.saccess.lantmateriet.se)).

I Figur 6-17 visas satellitbilder över Nybroåns utlopp utanför Ystad, tagna med två års mellanrum (2006 och 2008). I bilderna syns tydligt hur ån har sökt sig en ny väg genom strandområdet.



Figur 6-17. Nybroåns utlopp karterad med satellit 2006 (överst) och 2008 (nederst, Rydell et al, 2010).

Satellit- och flygbilder kan vidare användas för att påvisa sedimenttransport, se Figur 6-18. Sedimenttransporten kan ses som ett bevis för att erosion sker, om inte i vattendraget så åtminstone inom avrinningsområdet.



Figur 6-18. En digital flygbild över Trosaåns mynning visar tydligt sedimentplymen från dess avrinning (Rydell et al, 2010).

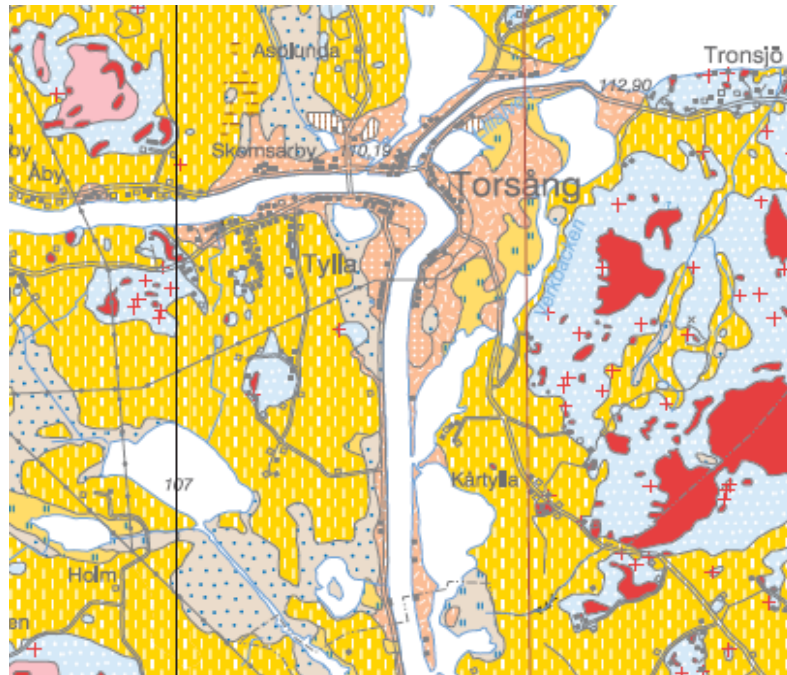
### 6.9.3 Topografiskt och geologiskt kartmaterial

Lantmäteriet och Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) erbjuder olika karttjänster som är användbara för en översiktlig beskrivning av erosionsproblem. För medlemmar inom Geodatasamverkan ([www.geodata.se](http://www.geodata.se)) kan materialet tillhandahållas kostnadsfritt medan en avgift annars tas ut.

Lantmäteriet (LM) utför sedan 2009 en rikstäckande laserskanning av hela Sveriges yta som underlag för en Ny Nationell Höjdmodell (NNH). Den nya höjdmodellen har en klart bättre upplösning än den äldre (upplösningen i plan är 2x2 meter) och ger därmed en mycket detaljerad bild av terrängen. NNH kan användas till att identifiera branta slänter längs med vattendraget, där eventuell erosion kan få större konsekvenser. Ett annat användningsområde är att bestämma nya strandlinjer för olika vattennivåer och därmed peka på områden med förutsättningar för erosion vid till exempel en långvarig översvämning. Det är viktigt att notera att NNH-data inte redovisar nivåskillnader under vattenytan och därför inte kan användas för att bestämma batymetrin.

Eftersom förutsättningen för erosion är starkt kopplad till jordart är SGU:s jordartskartor ett bra hjälpmedel för att hitta de områden där det finns en potential för erosionsproblematik, se Figur 6-19. Man bör vara extra uppmärksam på områden där fraktioner mellan silt och mellansand förekommer. Jordartskartan har en redovisningsnivå på skala 1:50 000-1:250 000 och bör därför kompletteras med mer detaljerad inventering i fält.



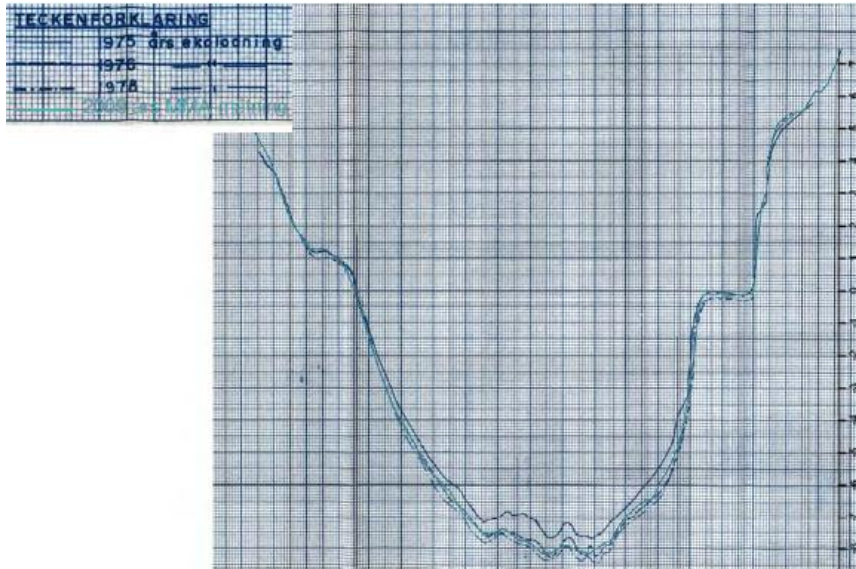


Figur 6-19. Utdrag ur SGU:s jordartskarta över Dalälven i Borlänge kommun (efter Kartgeneratorm, [www.sgu.se](http://www.sgu.se))

#### 6.9.4 Tidigare utförda utredningar

Om området längs vattendraget har exploaterats eller om det löpande har förekommit problem med erosion/stabilitet kan geotekniska utredningar ha utförts. Dessa hittas då oftast i kommunens arkiv, hos den konsult som utförde undersökningen eller hos beställaren av undersökningen. De geotekniska utredningarna kan innehålla information om jordlagerföljd, jordens egenskaper, grundvattennivåer, inmätning/lodning av slänter över och under vattenytan samt stabilitetsberäkningar.

I reglerade vattendrag eller vattendrag där det förekommer kommersiell sjöfart kan det också finnas handlingar hos kraftverksbolag och Sjöfartsverket som rör muddring, dumpning och vattenreglering, se exempel i Figur 6-20. Information om muddring i hamnområden utanför vattendragets utlopp i sjöar och hav kan även vara användbar för att bedöma hur mycket sediment som under en viss tidsperiod förs med vattendraget och som sedan sedimenterar vid mynningen.



Figur 6-20. Bottennivåer vid Smörkullen, Göta älv. Vattenfalls mätningar efter dumpningar på 1970-talet jämfört med uppmätta bottennivåer 2009 (Rydell et al., 2011a).

#### 6.9.5 Fältkontroll

Okulära besiktningar genom fältbesök ger värdefullt underlag för en fortsatt erosionsutredning. Genom att följa ett vattendrag och dokumentera det som är synligt ovan vattenytan (se Figur 6-21) kan man få information om bland annat:

- Pågående erosion
- Befintliga erosionskydd
- Jordart (framförallt synligt i eventuella erosionsärr)
- Vattenstånd vid besiktningstillfället



Figur 6-21. Erosionsskador syns tydligt vid en inspektion i fält (foto: SGI)

## 6.9.6 Undersökning i fält och på laboratorium

### 6.9.6.1 Geotekniska fältundersökningar

För att bestämma jordens egenskaper är traditionella geotekniska fält- och laboratorieundersökningar ofta de som är mest tillgängliga. Vikt- och CPT-sonderingar samt kolvprovtagning och vingförsök, med påföljande laborationsanalyser, bidrar alla till en bättre kännedom om jordart, jordens lagring och skjuvhållfasthet. Olika metoder finns beskrivna i Geoteknisk fälthandbok (SGF, 1996). Det bör observeras att undersökningarna används för bestämning av jordens geotekniska egenskaper och att entydiga samband mellan dessa och erosionsegenskaper inte är etablerade.

När en geoteknisk utredning utförs i syfte att bedöma erosionen i ett vattendrag är det viktigt att undersökningarna utförs även i strandzonen samt i strömfåran, till exempel från flotte eller is. På större djup eller då sedimentet är grovt kan en annan sorts provtagare krävas, till exempel Beeker eller Ekmanhuggare, se Figur 6-22.



Figur 6-22. Ekmanhuggare för provtagning av hårdare bottensediment ([www.hydrobios.de](http://www.hydrobios.de))

### 6.9.7 Undersökning av erosionsegenskaper

Vid en utredning speciellt inriktad på erosion i vattendrag är den kritiska bottenskjivspänningen samt erosionskonstanten nödvändiga parametrar. Dessa ges inte av den traditionella geotekniska mätutrustningen och det är därför önskvärt med andra metoder.

Det pågår på flera håll en utveckling av provtagare och de är mer eller mindre beprövade och lämpliga för svenska förhållanden. Inom Göta älvtutredningen utvärderades ett par metoder som kortfattat beskrivs nedan. För mer information hänvisas till GÄU – delrapport 2 (Rydell et al., 2011b).

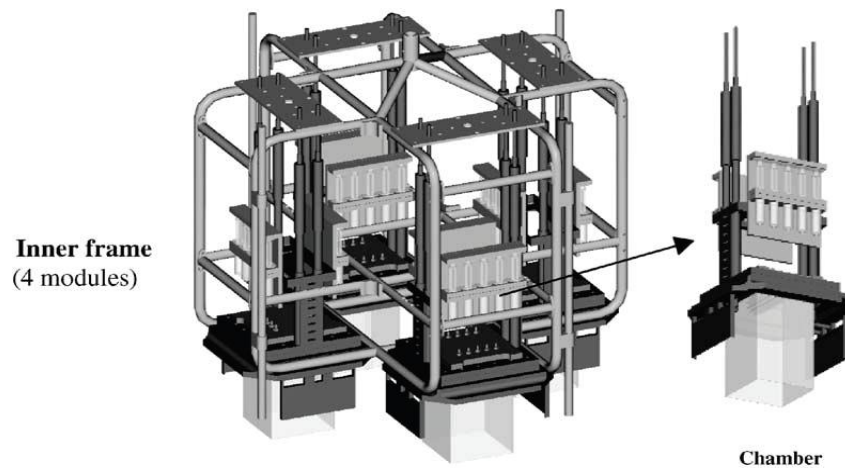
#### 6.9.7.1 In-situ metoder

##### *ISEF-provtagare*

Det nederländska företaget Deltares har utvecklat en provtagare som placeras vertikalt direkt på det jordmaterial som ska undersökas. Vattnet drivs sedan cirkulärt genom systemet och koncentrationen av det suspenderade sedimentet mäts. Metoden används i grunda vattenområden och är svår att hantera i till exempel djupare vattendrag.

### *Bottenlandare*

Bottenlandaren (se Figur 6-23) är utvecklad av Göteborgs universitet i syfte att ta vattenprov men rent teoretiskt kan den även fungera för in-situ mätning av sedimenthalt och därigenom även kritisk bottenskjuvspänning. Vid provtagning sänks landaren ner i vattnet där ett hjul sätts i rörelse och där hastigheten motsvarar skjuvspänningen. Metoden har dock inte tillämpats för erosionsberäkning och det finns frågetecken kring huruvida det roterade flödet kan anses motsvara det verkliga.



Figur 6-23. Bottenlandare utvecklad vid Göteborgs universitet (Rydell et al., 2011b)

#### **6.9.7.2 Laboratoriemetoder**

##### *SETEG-analys*

Vid universitetet i Stuttgart, Tyskland, har man utvecklat ett system för bestämning av kritisk bottenskjuvspänning, densitet och erosionshastighet på upptagna sedimentprov. Proven tas upp i cylindrar med diametern 130 mm och monteras sedan i en vattenränna där provets övre yta exponeras för flödande vatten. Denna metod användes i Göta älvtredningen men för framtida bruk krävs en utveckling för provtagning på stora djup och i fasta sediment samt att en standardkolvprovtagare kan nyttjas för provtagning.

##### *HET (Hole Erosion Test)*

HET är en välkänd metod som utförs i laboriemiljö för att bestämma erosionen i kohesiva material. Metoden går ut på att ett hål med diametern 6,35 mm borrar längs axeln på ett ostört sedimentprov och att ett successivt ökande flöde sätts genom hålet.

#### **6.9.8 Mätning av batymetriska förhållanden och bottensediments egenskaper**

Fördelen med akustiska metoder (ekolod och radar) och laser är att de på en relativt kort tid kan täcka in stora områden och ge en god bild av batymetri och till viss del också ytsediment.

#### **6.9.8.1 Bestämning av batymetri**

För att bestämma batymetri kan antingen multibeamekolod via fartyg eller flygburen laserskanning användas. Det finns idag ett flertal aktörer på den svenska marknaden som tillhandahåller dessa typer av tjänster.

Ett **multibeamekolod** sänder ut ett flertal ljudpulser från en utrustning placerad på ett fartyg. Pulserna sprids sedan med en bestämd vinkel och reflekteras mot botten varifrån avståndet kan beräknas utifrån ljudpulsernas gångtid. Utifrån detta framträder sedan en 3D-bild över botten. Nackdelen med multibeamekolod är att fartygets djupgående sätter begränsningar för undersökningens minsta djup och därför kan andra mätmetoder krävas i grundare områden, normalt med mindre vattendjup än ca 1,5 m.

#### *Laserskanning*

Flygburen laserskanning kan användas för att bestämma geometrin såväl på land (till exempel för produktion av Lantmäteriets NNH-data) som under vatten. För att laserstrålen ska kunna penetrera vattenytan krävs att den består av grönt ljus (istället för rött som är vanligare). Principiellt fungerar metoden på samma sätt som vid ett multibeamekolod: pulser sänds ut och reflekteras varpå gångtiden registreras.

Flygburen laserskanning beror av siktdjupet och kan utföras till ca 2,5-3 gånger Secchidjupet, dvs. det största djup på vilket man kan identifiera en vit så kallad Secchiskiva. Detta kan vara svårt att uppnå, till exempel i vattendrag som ofta är grumliga till följd av hög sedimentkoncentration i vattnet.

#### **6.9.8.2 Bestämning av ytsediment**

Skannande metoder kan också användas för att bedöma ytsedimentens egenskaper. Resultaten bör dock alltid kalibreras mot upptagna sedimentprov.

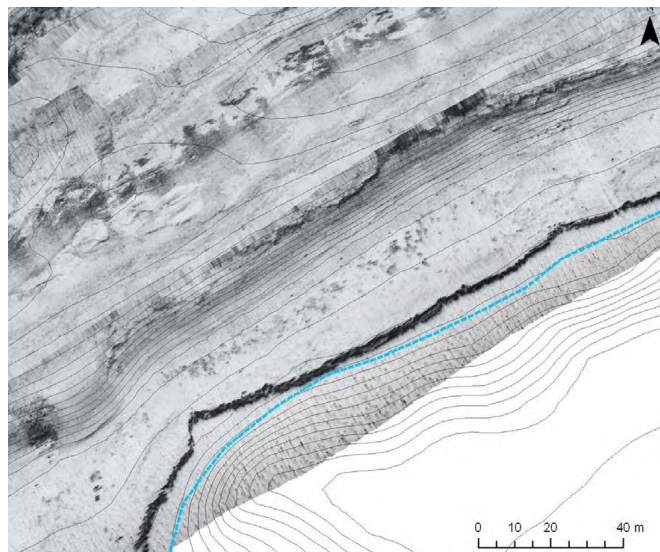
#### *Backscatteranalys*

Vid multibeamanalys är det primära syftet oftast att bestämma batymetrin. När ljudpulsen returneras har den dock också fått en förändrad amplitud som indikerar sammansättningen av bottenens ytskikt: ju högre amplitud desto hårdare botten. Detta kallas backscatteranalys. Metoden innehåller en rad osäkerheter men bedöms vara bäst lämpad i kornstorleksintervallet silt till grus samt på släta bottenar (Rydell et al., 2011b).

#### *Sidescan sonar*

Även mätningar med sidescan sonar utförs från fartyg och fungerar genom att ljudpulser i intervallet 100-400 kHz sänds ut från en släpande sonar. Resultatet blir motsvarande en flygbild på land som visar mönster och till viss del också indikationer på bottenens hårdhet, se Figur 6-24.





Figur 6-24. Exempel på bild genererad av sidescan sonar längs Göta älv. Den mörkare linjen i strandkanten kan antas vara ett nedrasat erosionskydd. Blå linje visar strandlinjen.

#### 6.9.9 Mätning av suspenderat material

Omfattningen av suspenderat material, främst minerogent och organiskt, bestäms antingen på uttagna vattenprover som undersöks på laboratorium eller genom mätningar i fält. Koncentrationen suspenderat material, bestäms på laboratorium genom filtrering och anges i mg/l. Att kunna bestämma mängden suspenderat material är betydelsefullt i en erosionsutredning då man vill veta mängden material som transporteras i vattenmassan.

Turbiditeten eller vattnets grumlighet, kan mätas optiskt i fält och är därför mycket enklare att utföra kontinuerligt. Det är därför önskvärt att kunna mäta turbiditeten och omvandla dessa värden till halt suspenderat material. Det finns dock ingen generell metod för detta eftersom turbiditeten även innefattar andra partiklar som organismer, bakterier och kolloider.

Mer information om hur turbiditeten kan användas för att skatta halten suspenderat material ges av Göransson et al., 2011.

#### 6.9.10 Mätning av vattenstånd och strömhastighet

Mätningar av vattenstånd och strömförhållanden är av betydelse vid beräkning av flödes magnitud och mönster i vattendraget. Detta kan vidare användas för att upptäcka trender och hitta samband med uppkommen eller förväntad erosion.

Till följd av de många regleringarna av svenska vattendrag fick SMHI på 1930- och 40-talet i uppdrag av staten att kontrollera vattenståndet. Detta utförs idag som en tillsynsverksamhet och serier med vattenståndsdata för landets fem största sjöar finns tillgängligt på SMHI:s Vattenwebb: <http://vattenwebb.smhi.se/>. Där finns också modellerade värden och information om närmare 40 000 delavrinningsområden i Sverige.

Vattenståndet varierar mycket över året, i reglerade vattendrag även över dygnet, och därför bör en vattenståndsmätning för beräkning av flöde utföras kontinuerligt. Lämpliga instrument för detta är en pegel eller en tryckmätare.

För att mäta vattnets strömhastigheten i ett tvärsnitt används vanligtvis en hydrometrisk flygel och mätvärden tas i en matris tvärs över vattendraget samt ner på djupet. Vid val av tvärsektion för mätning är det bra att undvika platser med snedström/bakström samt platser med en strömhastighet som faller inom det intervall för vilket mätinstrumentet är avsett.

Idag används även modernare metoder som till exempel Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) som med dopplerteknik mäter strömmens hastighet på flera nivåer.

#### **6.9.11 Mätning av suspenderat material**

Koncentrationen suspenderat material, främst minerogent och organiskt, bestäms genom filtrering och anges i mg/l. Att kunna bestämma mängden suspenderat material är betydelsefullt i en erosionsutredning då man vill veta mängden material som transporteras i vattenmassan.

Turbiditeten, vattnets grumlighet, kan mätas optiskt i fält och är därför mycket enklare att utföra kontinuerligt. Det är därför önskvärt att kunna mäta turbiditeten och omvandla dessa värden till halt suspenderat material. Det finns dock ingen generell metod för detta eftersom turbiditeten även innefattar andra partiklar som organismer, bakterier och kolloider.

Mer information om hur turbiditeten kan användas för att skatta halten suspenderat material ges av Göransson et al. (2011).

## 7 METODIK FÖR KONSEKVENSANALYS

### 7.1 Bakgrund

I Göta älvutredningen (GÄU) utfördes år 2009-2011 en översiktlig skredriskanalys för Göta älvdalen. Risken definierades som en funktion av sannolikhet och konsekvens. Konsekvenser av skred kan uppstå inom ett flertal konsekvensområden och utfallet beror till stor del av vilka värden som finns i det område skredet inträffar. I GÄU genomfördes konsekvensbedömning och skredsannolikhetsanalys parallellt, och konsekvenserna har karterats oberoende av sannolikheten för att skred ska inträffa. Följande konsekvensområden identifierades: Liv, Bebyggelse, Väg, Järnväg, Sjöfart, Naturmiljö, Kulturarv, Förorenade områden och miljöfarlig verksamhet, VA, Energi och ledningsnät samt Näringsliv. I GÄU fann man ett behov av metodutveckling för konsekvensanalys av skred inom de olika konsekvensområdena och ett arbete under tre år pågick där befintliga metoder förbättrades eller sammanfördes med andra för att komplettera varandra eller så togs nya metoder fram passande för skredkonsekvensanalys i Göta älvdalen.

Inom respektive konsekvensområde identifierades olika riskscenarier med specifika konsekvenser, man utvecklade metodik för inventering, värdering och sårbarhetsbedömning och man utförde fallstudier. Metodiken dokumenterades i en serie delrapporter inom GÄU.

Slutligen genomfördes en till stora delar GIS-baserad konsekvensanalys för hela utredningsområdet i Göta älvdalen. Resultatet innefattade en slutlig monetär bedömning i de fall det var möjligt, samt visualisering med GIS av konsekvenser från potentiella skred i Göta älvdalen.

### 7.2 Syfte och mål

- Säkerställa att metodiken för konsekvensanalys är väl beskriven, så att andra kan använda den. Komplettera GÄU-rapporternas beskrivningar vid behov.
- Undersöka hur metodiken för olika konsekvensområden behöver anpassas för att kunna tillämpas för skredriskanalys i andra geografiska områden samt för konsekvensanalys av översvämningshotade områden.

Arbetet avser besvara följande frågeställningar:

- Är de befintliga beskrivningarna av metodiken tillräckliga för att en utomstående ska kunna tillgodogöra sig och använda metodiken?
- Vilka delar av metodiken kan användas som de ser ut nu, för skred i andra geografiska områden samt för översvämning?
- Vilka delar behöver anpassas för att kunna användas:
  - För skred i ett annat geografiskt område?
  - För översvämning?
- Hur ska anpassning av olika delar av metodiken prioriteras?



## 7.3 Beskrivning av metodik

### 7.3.1 Introduktion

I denna genomgång sammanfattas analyserna inom respektive konsekvensområde. Avsikten med respektive analys var att arbetet skulle utföras i två steg. Det första steget var fallstudiebaserat för att ta fram en metodik som var användbar för just det specifika fallstudieområdet. Det andra steget innebar att metoden utvecklades till generell metodik som kan användas för hela utredningsområdet. Arbetet har så långt som möjligt utnyttjat tillgängliga underlag men har också baserats också på ansatser och antaganden.

Metodiken är en sammansättning av befintliga underlag, men eftersom det innefattar ett komplext system i ett stort utredningsområde, finns underlagen tillgängliga i varierande grad och förenklingar har fått göras. Till exempel beror konsekvensen av ett skred av ett flertal faktorer. För att kunna beskriva konsekvensen har arbetet utgått från två typskred (100 m x 100 m respektive 400 m x 400 m).

För flera konsekvenser finns inte underlag för att göra en värdering. Detta gäller inte minst mjuka värden som natur- och kulturvärden. De står för värden som är svåra att ange i pengar. Inom Götaälvsuppdraget har man istället fört kvalitativa diskussioner och tagit fram det underlag som finns för kvantitativa bedömningar, men det saknas till stor del underlag samt metoder för en övergripande monetär värdering.

Då arbetet med konsekvensanalysen till stor del är GIS-baserat återkommer vi inom flera konsekvensområden till inventering genom GIS-data från andra myndigheter, varav de flesta är medlemmar i Geodatasamverkan ([www.geodata.se](http://www.geodata.se)). I statliga utredningar, interna uppdrag, FoU-projekt samt i uppdrag för kunder som ingår i Geodatasamverkan har SGI möjlighet att kostnadsfritt använda data som ingår i Geodatasamverkan. I oktober 2012 var länsstyrelserna, 22 andra myndigheter och 95 kommuner medlemmar. Aktuell lista finns här: <http://www.geodata.se/Ga-med/Forteckning-over-parter-i-geodatasamverkan/>.

### 7.3.2 Liv

#### 7.3.2.1 Sammanfattning av metodik

Metodiken beskrivs kortfattat i GÄU delrapport 12 (Andersson-Sköld 2011) och i detalj i GÄU delrapport 15 (Falemo 2011b). Beskrivningarna är tillräckliga för att användas av andra.

Samhällsekonomisk kostnad till följd av omkomna boende, arbetande och skolelever i skred beräknas enligt:

$$C_{liv} = (P_p \cdot e_p + P_i \cdot e_i + P_e \cdot e_e) \cdot (V \cdot VSL + 0,4)$$

Där  $C_{liv}$  är konsekvens uttryckt i kr/ha,  $P_p$  är antal elever/ha,  $e_p$  är närvarofaktor för elever,  $P_i$  är antal boende/ha,  $e_i$  är närvarofaktor för boende,  $P_e$  är antal förvärvsarbete/ha,  $e_e$  är närvarofaktor för förvärvsarbete,  $V$  är betingad sårbarhet,  $VSL$  är värdet av ett statistiskt liv och 0,4 är uppskattad schablonkostnad för räddningstjänstinsats per person.

Antal boende och förvärvsarbete finns tillgängligt i grid från SCB, med maximal upplösning 100\*100m rutor, lägre om inte uppdraget får godkänt i en sekretessprövning hos SCB. Förekomst av skolor, förskolor, gymnasier och andra utbildningsställen inventeras med hjälp av Fastighetskartan, där fastigheter innehållande sådan verksamhet är registrerade med särskilda typkoder. Antalet elever på utbildningsställena inventeras genom kontakter med respektive kommun, vilket resulterar i kunskap om antal elever

per fastighet. I GIS-analysen fördelas antalet elever på en skola över ytan av fastigheten som skolan tillhör.

Närvarofaktorn beskriver hur stor del av sin tid människor spenderar på olika platser och har beräknats för skolelever, förvärvsarbetande och boende.

Betingad sårbarhet, sannolikheten för att omkomma givet att man befinner sig inom skredområdet vid tidpunkten för ett skred, beräknades i en studie av ett stort antal inträffade skred som kvoten mellan antal omkomna och antal närvarande. I Göta älvutredningen beräknades endast konsekvenser för omkomna, då underlag saknas för att bedöma sannolikheten för lindrig respektive allvarlig skada.

De samhällsekonomiska konsekvenserna för liv beräknas med hjälp av värdet av ett statistiskt liv, en allvarlig skada eller en lindrig skada, enligt betalningsviljestudier för riskminskning inom transportsektorn.

Samhällsekonomisk kostnad till följd av omkomna och skadade trafikanter kan beräknas som en funktion av årsmedeldygnstrafik och hastighetsgräns som finns som GIS-skikt via Trafikverket. Arbetsgång finns beskriven i GÄU delrapport 15, Bilaga 1.

### **7.3.2.2 Anpassning för konsekvensanalys av skred i andra områden**

I princip kan samma metodik användas i andra skredriskområden, se kommentarer nedan.

#### *Inventering*

Metodiken förutsätter tillgång till SCBs GIS-skikt för befolkning, ”Totalbefolkningen”, och förvärvsarbetande, ”Förvärvsarbetande dagbefolkning 16+ år”. I statliga utredningar, interna uppdrag, FoU-projekt samt i uppdrag för kunder som ingår i Geodatasamverkan kan vi använda data kostnadsfritt. Data finns i upplösningen 100 m, men för att få tillgång till detta krävs en godkänd sekretessprövning hos SCB (undantag kan t.ex. göras för forskning, gjordes även för GÄU). Utan godkänd sekretessprövning erbjuds data i upplösningen 250 m i tätort och 1000 m i glesbygd. Priset är samma om upplösningen är 100 m rutor. Vid köp av SCB-data baseras priset på antal invånare.

Prisexempel för inköp av befolkningsdata (Totalbefolkningen; Förvärvsarbetande dagbefolkning 16+ år): Mullsjö kommun, 7 000 invånare, 9 200 kr exkl. moms. Levereras på rutor om 250\*250 meter i tätort och kilometerrutor i glesbygd i Mullsjö kommun. Levereras i Shape-format med projektion SWEREF99.

En annan möjlighet är att använda befolkningsdata från Hyde 3.1. Data är kostnadsfritt och presenteras i ett grid med upplösning 5' vilket motsvarar ca 1 mil.

<http://131.224.244.83/en/themasites/hyde/download/index.html>

#### *Betingad sårbarhet*

Det norska underlaget för beräkning av betingad sårbarhet består av skred i områden med kvicklereförekomst (förekomst på översiktlig nivå, inte detaljerat). För tillämpning av metodiken i områden där kvicklera förekommer (som Göta älvdalen) kan värdet 0,16 användas. För områden där vi vet att kvicklera inte förekommer bör ett nytt värde för betingad sårbarhet beräknas enligt samma metodik som i GÄU men med underlag från områden där ingen kvicklereförekomst är känd, vilket sannolikt resulterar i en lägre betingad sårbarhet.

#### *Värdet av ett statistiskt liv*

Basår för beräkningar i Göta älvutredningen är 2009. VSL bör räknas om till aktuellt års penningvärde hjälp av årsmedelvärden för konsumentprisindex enligt beskrivning i GÄU delrapport 15.

#### *Övrigt*

Närvarofaktorer kan användas enligt beskrivning i rapporterna utan justeringar. Schablonkostnad för räddningstjänstinsats kan eventuellt räknas om till aktuellt års penningvärde på samma sätt som VSL. Konsekvenser för trafikanter kan beräknas med samma metod, men med ovan nämnda förändringar.

### **7.3.2.3 Anpassning för konsekvensanalys av översvämning**

#### *Inventering*

Inventering av boende, arbetande och elever kan göras med nuvarande metodik. För att bedöma antal påverkade krävs dock ny metodik för att undvika dubbelräkning när boende, arbetande och elever ska räknas samman.

#### *Värdet av ett statistiskt liv*

Samma princip kan användas. Basår för beräkningar i Göta älvutredningen är 2009. VSL bör räknas om till aktuellt års penningvärde hjälp av årsmedelvärden för konsumentprisindex enligt beskrivning i GÄU delrapport 15.

#### *Betingad sårbarhet*

En ny beräkning eller bedömning av betingad sårbarhet för översvämning är en förutsättning för att kunna använda metodiken. Principen att utgå från statistik från inträffade översvämningar under liknande förhållanden bör fungera även här. Naturolycksdatabasen kan vara en svensk källa, men ett större underlag bör användas, t.ex. från en europeisk databas där översvämningar under liknande förhållanden väljs ut. Betingad sårbarhet för människor går sannolikt mot 0. Välbefinnandet för ett stort antal människor påverkas, stress.

Utgångspunkter kan vara:

[http://www.preventionweb.net/english/countries/statistics/index\\_region.php?rid=3](http://www.preventionweb.net/english/countries/statistics/index_region.php?rid=3) Omkomna, påverkade. Kvot mellan omkomna och påverkade?  
(kvot=6,14/22258,42=2,759\*10<sup>-4</sup>; Europe - Disaster Statistics, Region Profile for Natural Disasters from 1980 – 2008)

<http://nedies.jrc.it/index.asp?ID=67> Databas med uppgifter om antal omkomna och skadade i bl.a. översvämningar.

<http://www.emdat.be/> Databas med uppgifter om antal omkomna och skadade i bl.a. översvämningar.

#### *Närvarofaktorer*

Närvarofaktorer har ingen betydelse eftersom översvämningen pågår under lång tid. Konceptet bör bytas ut mot att identifiera antal påverkade. Viktigt att försöka reda ut dubbelräkningsproblematik när boende adderas med förvärvsarbetande och elever.

### *Schablonkostnad för räddningstjänstinsats*

Räddningstjänstinsatsen ser helt annorlunda ut och en ny uppskattning bör göras och baseras på inträffade översvämningar i Sverige. Kostnaden bör lyftas till en egen rubrik, typ ”response actions”, eftersom det är en stor del av totalkostnaden (ca 10 % av de totala ekonomiska konsekvenserna vid översvämningen i Arvika år 2000).

### *Övrigt*

Existerande metodik för konsekvensbedömning av översvämningar bör ses över. Finns bl.a. statistik för samhällsekonomiska kostnader för översvämningar i ovanstående databaser, kanske går att värdera konsekvenser på ett nytt effektivare sätt?

## **7.3.3 Bebyggelse**

### **7.3.3.1 Sammanfattning av metodik**

Metodiken beskrivs kortfattat i GÄU delrapport 12 (Andersson-Sköld 2011) och i detalj i GÄU delrapport 14 (Falemo 2011a). Beskrivningarna är tillräckliga för att användas av andra.

Byggnader och mark inventeras med Fastighetskartan i GIS. Till fastighetskartan köps typkod, taxeringsvärde och samtaxeringsnyckel in för samtliga fastigheter.

Bostadsbebyggelse, tomtmark och industrier värderas med marknadsvärde som beräknas utifrån taxeringsvärden och köpeskillingskoefficienter. Skolor, vårdinrättningar, idrottsanläggningar och liknande med typkod i 800-serien saknar taxeringsvärde. Dessa fastigheter värderas genom värde för återuppbyggnad och beräknas som produkten av bruttototalarea (BTA) av byggnaden och schabloniserat kvadratmeterpris per BTA för byggnadstypen. Uppgifter om BTA söks hos kommun och landsting. För skattefria fastigheter med typkoder 281, 381 och 498 används en annan typ av schablon tillsammans med köpeskillingskoefficient för att uppskatta värdet av fastigheterna. Övriga fastigheter som saknar taxeringsvärde eller har taxeringsvärde noll värderas inte.

Konsekvensen antas motsvara hela fastighetsvärdet, dvs. det antas att hela fastighetens värde går förlorat. Konsekvenserna beräknas för 100\*100 m celler och redovisas som summerade värden för byggnader och markvärde. I rastret ingår alla värderade fastigheter. Konsekvenserna beräknas exklusive moms.

### **7.3.3.2 Anpassning för konsekvensanalys av skred i andra områden**

#### *Inventering*

Samma metodik kan användas i andra områden. Metodiken förutsätter tillgång till GSD-fastighetskartan. I statliga utredningar, interna uppdrag, FoU-projekt samt i uppdrag för kunder som ingår i Geodatasamverkan kan vi använda data kostnadsfritt. Till fastighetskartan köps typkod, taxeringsvärde och samtaxeringsnyckel in för samtliga fastigheter. Grundpris är 5 000 kr, pris per fastighet beror på antal fastigheter.

Kostnadsexempel inköp av taxeringsvärden, typkoder och samtaxeringsnyckel: Göta älvdalen, 25km<sup>2</sup>, 28 600 fastigheter. Totalpris 25 000 kr exkl. moms (5 000 kr och 0,68kr per fastighet).

Uppgifter från kommun och landsting om BTA var svårt att få i Göta älvutredningen, det är viktigt att reservera tid för det arbetet och att börja tidigt.

#### *Värdering*

Samma metodik för värdering kan användas.

### **7.3.3.3 Anpassning för konsekvensanalys av översvämning**

#### *Inventering*

Samma som ovanstående rubrik.

#### *Värdering*

Beräkning av marknadsvärden och uppskattning av marknadsvärde genom kostnad för återuppbyggnad kan beräknas med nuvarande metodik.

#### *Skadefunktion*

En förutsättning för tillämpning inom översvämning är att ta fram en skadefunktion som beskriver graden av förlust då en fastighet drabbas av översvämning, dvs. andel av fastighetens värde som går förlorat. Möjliga samband att undersöka kan vara:

- Marknadsvärde och skadekostnad
- Byggnadens markyta och skadekostnad
- Byggnadens markyta, typkod, och skadekostnad.

Tonje Grahns doktorandarbete rör skadekostnader av översvämningar. Hon använder bl.a. Länsförsäkringars ersättningsärenden. Det är troligen en bra kontakt och utgångspunkt. Händelser registrerade i Naturolycksdatabasen samt Preventionweb, Nedies och Emdat kan vara intressanta, men redovisar generellt förlustkostnader på en mycket översiktlig nivå.

### **7.3.4 Förorenade områden och miljöfarlig verksamhet**

#### **7.3.4.1 Sammanfattning av metodik**

Metodiken som använts beskrivs i GÄU, delrapport 19 (Helgesson & Rihm 2011) och kan indelas i åtta delar:

- 1) Aktuellt område definieras och beskrivs.
- 2) Ett antaget skredscenario (eller flera scenarier) beskrivs. I Göta älvutredningen antogs att all förorenad mark och alla miljöfarliga verksamheter inom en enhetsruta drabbades av ett skred och att hälften av massorna skredade ut i älven. För miljöfarliga verksamheter antogs i brist på tillförlitliga underlag för i vilken omfattning kemikalier lagras eller omsätts att 10 m<sup>3</sup> farlig vätska läcker ut, att hälften av detta kan pumpas upp och att vätskan behöver destrueras. Vi antar vidare att ca 500 ton jord förorenas inom ett ca 0,1 hektar stort område som måste saneras.
- 3) Miljöfarliga verksamheter (inklusive Sevesoanläggningar) och förorenade områden identifieras. För inventeringen användes databaserna för EMIR och MIFO. Båda data-

baserna har efter inventeringen bytts ut och föreligger nu i form av Miljöreda och EBH-stödet. För Sevesoanläggningarna finns en särskild databas, den så kallade Tillsynsbas Sevesolagen, hos MSB

4) De potentiella extra åtgärder som kan krävas vid antaget skredscenario på grund av miljöfarlig verksamhet eller annan förorening definieras och beskrivs. De utgörs bland annat av:

- a) Akuta räddningsinsatser som avspärningar, evakuering (extra utrymning vid t.ex. risk för brand eller explosion på grund av brandfarliga vätskor eller giftiga eller explosiva gaser), arbetsmiljöåtgärder för räddningstjänst och annan personal, länsor, pumpning och övrigt såsom att strö ut sorbenter på land
- b) Utrednings- och undersökningskostnader för jord, sediment, vatten och luft.
- c) Åtgärder för att undvika skador, t.ex. stängning av råvattenintag, bärgning av tankar, och överpumpning av kemikalier.
- d) Efterbehandling på land, inklusive deponering, extra schaktning på land, behandling/deponering av förorenade massor och omhändertagande av förorenade byggnader
- e) Muddring och deponering, inklusive extra säkerhet vid muddring, behandling/deponering av förorenade muddermassor

Utöver kostnader för dessa åtgärder kan kostnader uppkomma på grund av:

- f) Extra skador på liv och hälsa som orsakas av den miljöfarliga verksamheten
- g) Extra skador på miljön som orsakas av den miljöfarliga verksamheten

5) Kostnader för de olika potentiella extra åtgärderna uppskattas.

6) Behovet av att extra åtgärder måste vidtas bedöms. I Göta älvutredningen bedömdes sannolikheten för att extra åtgärder på grundval av klassning enligt förordningen om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd (A, B eller C-anläggning) för miljöfarliga verksamheter och MIFO klassningen enligt MIFO-databasen.

7) Ekonomisk bedömning utförs genom att multiplicera kostnaderna i punkt 5 med sannolikheten enligt punkt 6. För Sewesoanläggningar har dock bedömningar utförts speciellt för varje anläggning.

8) En återkoppling/verifiering sker genom kontakt med berörda myndigheter och/eller verksamhetsutövare.

Svårigheterna med modellen har främst varit att:

- tillräckliga data om lagrade kemikalier samt mängd och utbredning av förorenade massor saknas i tillgängliga databaser,
- skilja ut de extra kostnader som uppkommer till följd av att verksamheten är miljöfarlig eller att området är förorenat från de kostnader som i övrigt uppkommer vid ett skred,
- att det inte gått att uppskatta kostnaderna för extra skador på miljön och på liv och hälsa enligt punkterna 4f och 4g ovan

De framräknade kostnaderna utgör ett mått på vilken ekonomisk beredskap som behövs för att åtgärda problem som uppkommer till följd av ras eller skred. Ett försök gjordes också att beräkna de samhällsekonomiska kostnaderna genom att dra bort kostnader som ändå skulle ha uppkommit t.ex. på grund av att området skulle ha behövt saneras även om något skred inte uppkommit. Det är viktigt att tydligt ange vad de framräknade kostnaderna verkligen avser.

Metodiken är tillräckligt väl beskriven för att kunna användas av andra.

#### **7.3.4.2 Anpassning för konsekvensanalys av skred i andra områden**

Metodiken fungerar utan modifikation i andra geografiska områden. I områden där det finns bättre data lätt tillgängliga, eller där antalet miljöfarliga verksamheter och förorenade områden är litet bör man dock överväga att göra individuella kostnadsbedömningar för varje objekt.

#### **7.3.4.3 Anpassning för konsekvensanalys av översvämning**

För att kunna anpassa metoden för konsekvensanalys av översvämning behöver en omfattande utveckling ske för att kunna uppskatta kostnaderna för extra skador på miljön och på liv och hälsa enligt punkterna 4f och 4g ovan. Dessa bedöms utgöra huvuddelen av kostnaderna vid översvämning till skillnad från ras och skred där saneringskostnaderna bedöms utgöra huvuddelen av kostnaderna, åtminstone i det korta tidsperspektivet.

### **7.3.5 VA**

#### **7.3.5.1 Sammanfattning av metodik**

Metodiken redovisas i Göta älvutredningen – delrapport 22 (Rihm 2011).

Omfattning och utbredning av VA-ledningar och andra VA-anläggningar har inventerats med hjälp av kommunernas VA-ledningskartor. Arbetet underlättas om dessa är uppbyggda som GIS-system. För CAD-baserade system får materialet bedömas okulärt. Mycket förenklade kartor får ritas upp för hand och digitaliseras i ett GIS-system varefter olika beräkningar genomförs digitalt.

Vid värdering av skadekostnader används ett rutsystem. För varje ruta antas att va-anläggningar och ledningssystem inom rutan totalförstörs så att restvärdet blir noll. Vidare har olika anläggningar/ledningssystem indelats i tre kategorier:

- Ytformiga anläggningar. Dessa består av ett nät av ledningar, inklusive servisledningar, med kläna dimensioner som behövs för den lokala VA-försörjningen
- Linjeformiga anläggningar. Dessa utgörs av ledningar med grövre dimensioner som är nödvändiga för att försörja större områden, t.ex. överföringsledningar och huvudledningar.
- Punktformiga anläggningar. Hit hör vattenverk, avloppsreningsverk, pumpstationer och tryckledningsstationer.

Typiska schablonvärden för de tre kategorierna räknas fram med hjälp av fallstudier. För ytformiga anläggningar tas hänsyn till att värdet av ledningssystemet delvis är inbäddat i fastighetsvärdena.

När det gäller nybyggnation av ledningar beräknas entreprenadkostnaderna med hjälp av KP-fakta 2010 (KP 2010). Till entreprenadkostnaderna läggs sedan 25 % för kommunens kostnader för projektering, bygglösning och kontroll. För större ledningar som inte kan prissättas med hjälp av KP-fakta måste relevanta kostnader hämtas från personer inom de tekniska förvaltningarna.

Kostnader som varit svåra att beräkna och som därför inte tagits med vid beräkningarna är:

- Kostnader för provisoriska åtgärder under återuppbyggnadstiden
- Kostnader för påverkan på människors hälsa och på miljön till följd av att rent vatten saknas eller till följd av föroreningar från spillvattnet.

Kostnader som bara delvis berörs är kostnader för VA-försörjningen nedströms ett avloppsreningsverk eller pumpstation som havererar.

Metodiken bedöms vara tillräckligt väl beskriven för att användas av andra, men kräver grundläggande kunskaper om olika ledningssystemens uppbyggnad och funktion.

#### **7.3.5.2 Anpassning för konsekvensanalys av skred i andra områden**

Metodiken bedöms kunna användas för konsekvensanalys av skred i andra områden men kan behöva modifieras med hänsyn till områdenas storlek, krav på noggrannhet i beräkningarna och tillgång till kartmaterial över ledningsnäten.

Det vore önskvärt att utveckla metodiken till att även omfatta provisoriska åtgärder och hälso- och miljörelaterade kostnader.

#### **7.3.5.3 Anpassning för konsekvensanalys av översvämning**

Översvämningar kommer att orsaka andra typer av skador än ras och skred. Skadorna kommer snarare att orsakas av driftstopp och föroreningar till följd av utsläpp av orenat spillvatten än av att anläggningarna totalförstörs, dvs. just sådana skador som varit svåra att ta hänsyn till i den metodik som använts. Därför bedöms metodiken kunna användas vid översvämningseksekvensanalys först efter vidareutveckling. Däremot bedöms en samordning när det gäller inventeringsarbetet vid bedömningar av ras och skred samt översvämningar innebära fördelar.

### **7.3.6 Väg**

#### **7.3.6.1 Sammanfattning av metodik**

Här presenteras metoder för att värdera de finansiella konsekvenserna då en väg rasar och måste stängas av. Metoderna finns sammanfattade i SGI rapport ”Metodik konsekvensbedömning – Väg. GÄU delrapport 17” (Bergman, 2011a). Det är främst de direkta kostnaderna för vägtransportsystemet som studerades inom rapporten, men även restid/transporttid för personer och gods i omgivningen inkluderas.

Fyra metoder för att beräkna kostnaden för omledning har identifierats och presenteras nedan. För Sampers och EVA-systemet beskrivs metoderna, men de går inte att utföras utan speciell kompetens och programvara. För förenklade EVA-systemet samt Schablonmetoden finns tillräcklig beskrivning i GÄU delrapport 17 samt i Vägverkets rapport Riskanalys vald vägsträcka för hur de ska utföras. De två förenklade metoderna är mer rimliga att använda då de inte har lika stora krav på erfarenhet inom området och



inte heller kräver kunskap om och tillgång till dyr programvara. För de mer avancerade metoderna behöver sannolikt konsulttjänster köpas in. För återställning har kostnads-schabloner sammanställts.

#### *Sampers (metod för omledning)*

Sampers är en komplex beräkningsmetod som kräver utbildning och speciell programvara. För arbetet inom GÄU utfördes Sampers-beräkningarna via Sweco och Trafikverket med hjälp av examensstudent från Linköpings universitet. De finansiella kostnaderna gällande omledning kan beräknas med metoder redovisade i ”Effektsamband för vägtransportssystemet”. Denna publikationsserie redovisar åtgärder i transportsystemet och deras effekter på samhället. För att få fram dessa effekter används ett system med en prognosmodell samt en effekt- och kalkylmodell.

Den första delen i systemet inkluderar Sampers efterfrågemodell som gör beräkningar och ger prognoser från lokal till utrikesnivå. Den inkluderar även påverkan över olika trafikslag. Samkalk är nästa huvudsteg i systemet. Samkalk är en modell som använder sig av prognoserna för att beräkna effekterna. Effekterna genomgår en samhällsekonomisk kalkyl och redovisas sen både som absolutvärden och i monetära värden. Hela Samperssystemet används oftast för omfattande åtgärder och för större geografiska områden där flera trafikslag kan påverkas. Effekterna som Samkalk tar fram är (Vägverket 2009:150):

- Emissioner
- Trafiksäkerhet
- Slitage
- Restider
- Fordonskostnader
- Biljettpriser
- Driftkostnader

#### *EVA-systemet (metod för omledning)*

EVA-systemet är (precis som Sampers) en mer komplex beräkningsmetod som kräver en speciell programvara och kompetens. Inom GÄU utförde Sweco och Trafikverket beräkningarna inom EVA-systemet.

För mindre åtgärder gällande omledning vid vägtrafik kan man istället för Samkalk använda EVA-systemet för att beräkna effekterna. Den baseras på enklare antaganden och gäller enbart vägtrafiken. EVA tar fram de direkta kostnaderna vid förlängning och fördröjning av transporter. De effekter som kan tas fram i EVA är (Vägverket 2009:150):

- Förändring i trafikarbete (miljoner fordonskm)
- Restid (tusen timmar)
- Drivmedel (m<sup>3</sup>)
- Trafiksäkerhet (antal olyckor, dödade, skadade)
- Miljöeffekter (utsläpp i ton)
- Ev. kompletterade effekter (ex. buller)

#### *EVA-systemet förenklad (metod för omledning)*

I Vägverkets rapport Riskanalys vald vägsträcka (Vägverket, 2005) finns ett förenklat EVA-system beskrivet. Det som krävs för att göra de förenklade EVA beräkningar är:

- ÅDT (årsmedeldygnstrafik)
- Vägförlängning

- Avstängningstid
- Specifikation av vägen (hastighetsgräns och bredd)
- Andel personbilar, lastbilar med släp och utan släp

Det finns schabloner angivna i Vägverkets rapport (Vägverket, 2005). Hastighetsgräns, vägbredd, ÅDT och andel lastbilar med och utan släp kan hämtas från Vägverkets GIS-tjänst Info om vägar. Det är dock viktigt att komma ihåg att standard och hastighet ändras längs vägen, och det kan vara svårt att välja ”rätt” värde som är representativt för hela sträckan. Uppgifter om både den skredade och den alternativa vägens hastighet och bredd används sedan för att få fram direkt kostnadsökning med olika fordonstyper. Metoden kan användas av personer utan erfarenhet inom ämnet och kräver ingen data-programvara. Utförlig beskrivning finns i både Vägverkets rapport Riskanalys vald vägsträcka (Vägverket, 2005) samt inom GÄU delrapport 17 (Bergman, 2011a).

#### *Schablonmetoden (metod för omledning)*

I Vägverkets rapport Riskanalys vald vägsträcka (Vägverket, 2005) presenteras Schablonmetoden, i vilken färre indata än i EVA-systemet behövs men som också är en mer översiktlig metod för att beräkna omledningskostnaden. Den anger de direkta kostnaderna och gäller en riksväg/primär länsväg (>11,5 m, 90 km/h). Omfartsvägen ska ha samma standard som den drabbade vägen. Indata för Schablonmetoden (Vägverket, 2005):

- Årsmedeldygnstrafik (ÅDT)
- Tid som avstängningen varar
- Vägförlängning

ÅDT finns på Vägverkets GIS-tjänst Info om vägar. I Vägverkets rapport Riskanalys vald vägsträcka anges att det normalt är tillräckligt i en översiktlig inventering att göra en subjektiv bedömning av hur stor vägförlängningen blir. För en fallstudie kan en sådan exempelvis göras med en enkel GIS-tjänst, t.ex. GoogleMaps. Tiden för avstängningen måste uppskattas, utifrån tidigare skredolyckor eller i samråd med Trafikverket. I schablonmetoden har Trafikverket (f.d. Vägverket) indikerat att tiden för ett större skred är i storleksordningen 100 dygn.

#### *Metod för återställningskostnad*

Schabloner för återställande av större statlig väg samt mindre kommunal väg har tagits fram genom kommunikation med entreprenörer samt genom rapporter och från befintligt vägbygge längs Göta älv. Schablonerna anges per 100 m Europaväg samt per m<sup>2</sup> kommunal väg och finns i GÄU delrapport 17 (Bergman, 2011a).

### **7.3.6.2 Anpassning för konsekvensanalys av skred i andra områden**

#### *Omledning*

Det är en högre kostnad och behov av mer tid kopplade till de mer utvecklade metoderna, EVA- samt Sampers, på grund av att speciell kompetens behövs för beräkningarna. I de förenklade metoderna kan vem som helst använda de schabloner och metodbeskrivningar som finns angivna i Vägverkets och SGIs rapport. Trafikverkets tjänst ”Info om vägar” ger nödvändig information och finns för hela Sverige. Därför kan det vara

fördelaktigt att de förenklade metoderna används i fortsatt arbete med andra geografiska områden.

De två förenklade metoderna är dock inte utvärderade gentemot de mer avancerade metoderna och det är därmed svårt att säga hur realistiskt värde de ger. I GÄU användes resultat från de avancerade metoderna. En utveckling av metod kan därför vara att utvärdera de förenklade metodernas resultat gentemot de avancerade för att se om de förenklade metoderna ger liknande storleksordning på resultatet eller om de behöver modifieras för att ge ett realistiskt värde. De förenklade metoder är framtagna av Trafikverket.

#### *Återställande*

De schabloner som tagits fram för återställning kan användas på liknande vägar i andra delar av Sverige. Ingen modifiering av metoden behöver alltså göras inom detta område. Om man ändå vill utveckla och förbättra kan fler schabloner för olika typ-vägar tas fram. I dagsläget finns det schablon för en större väg samt kommunal väg.

### **7.3.6.3 Anpassning för konsekvensanalys av översvämning**

#### *Omledning*

Metoderna för omledning kan användas eller eventuellt modifieras på samma sätt som beskrivits ovan. Det är i princip ingen skillnad mellan metoderna för de två typerna av naturolyckor. Både översvämning och skred ger konsekvensen att vägen inte kan användas och att trafiken måste ledas om. Skillnaden kan vara att tiden för återställning är kortare och att därmed omledningskostnaden generellt blir lägre. Tidsaspekten inkluderas dock i beräkningarna och därför kan samma metod användas till både skred och översvämning. Alternativt (för att förenkla arbetet) kan graf med tid mot kostnad tas fram vilken skulle gälla ett vanligt typfall av vägnät. Denna alternativa modifiering av metod kan göras som generell förbättring (effektivisering) i samband med utvecklingen av metoden för att passa andra geografiska områden.

#### *Återställande*

För återställandekostnaden behövs andra schabloner tas fram. De kostnader som finns angivna i GÄU delrapport 17 gäller återuppbyggnad av en hel vägsträcka. Vid översvämning behöver ibland underhåll av vägen utföras när vattnet dragit sig tillbaka, och i andra fall krävs ingen åtgärd. Kostnaderna är generellt betydligt mindre än vid skred och dessa kostnader bör tas fram och sammanställas. Likaså behövs antaganden för bedömning av konsekvenser vid översvämning arbetas fram: generell tid för störningens längd, kostnad för ev. temporära skydd med flera identifierade följdkonsekvenser efter översvämning. Det vill säga ta fram svar på frågorna om hur ett normalt översvämningsscenario ser ut och vad som måste göras i samband med ett.

## **7.3.7 Järnväg**

### **7.3.7.1 Sammanfattning av metodik**

Här presenteras metoder för att värdera de finansiella konsekvenserna då en järnväg rasar och måste stängas av. Metoderna finns sammanfattade i SGI rapport "Metodik konsekvensbedömning – Järnväg. GÄU delrapport 18" (Bergman, 2011b). Det är främst de direkta kostnaderna för järnvägstransportsystemet som studeras inom rapporten, men även restid/transporttid för personer och gods i omgivningen inkluderas. Fyra metoder för att beräkna kostnaden för omledning presenteras nedan: Sampers, Bansek (motsva-

rande EVA-modellen för vägar), Banverkets beräkningshandledning för samhällsekonomiska analyser (BVH 706) och Banverkets översiktliga riskanalys. Användning av Sampers och Bansek kräver speciell kompetens och programvara. BVH 706 (Banverket 2009) och Banverkets översiktliga riskanalys (Banverket, 2008) finns väl beskrivna i GÄU, delrapport 18 (Bergman, 2011b). I GÄU användes Bansek tillsammans med BVH 706 för beräkning av olika delar av omledningskostnaden. För återställning har kostnadsschabloner sammanställts.

#### Sampers (metod för omledning)

Sampers är en komplex beräkningsmetod som kräver utbildning och speciell programvara. Inom GÄU utfördes inga beräkningar med Sampers-metoden för järnvägen.

De finansiella kostnaderna gällande omledning kan beräknas med metoder redovisade i ”Effektsamband för vägtransportsystemet”. Denna publikationsserie redovisar åtgärder i transportsystemet och deras effekter på samhället. För att få fram dessa effekter används ett system med en prognosmodell samt en effekt- och kalkylmodell. Den första delen i systemet inkluderar Sampers efterfrågemodell som gör beräkningar och ger prognoser från lokal till utrikesnivå. Den inkluderar även påverkan över olika trafikslag. Samkalk är nästa huvudsteg i systemet. Samkalk är en modell som använder sig av prognoserna för att beräkna effekterna. Effekterna genomgår en samhällsekonomisk kalkyl och redovisas sen både som absolutvärden och i monetära värden. Hela Samperssystemet används oftast för omfattande åtgärder och för större geografiska områden där flera trafikslag kan påverkas. Effekterna som Samkalk tar fram är (Vägverket 2009:150):

- Emissioner
- Trafiksäkerhet
- Slitage
- Restider
- Fordonskostnader
- Biljettpriser
- Driftkostnader

#### Bansek (metod för omledning)

Bansek kräver en speciell programvara och kompetens. Inom GÄU utförde Trafikverket beräkningarna med Bansek.

För mindre åtgärder gällande omledning kan man istället för Samkalk använda Bansek-modellen för att beräkna effekterna. Den baseras på enklare antaganden och gäller enbart järnvägen. Den kan alltså inte användas i de fall trafik flyttas mellan olika trafikslag eller då ny trafik genereras. De effekter som kan tas fram i Bansek är (Vägverket 2009:150):

- Förändring i trafikarbete (miljoner fordonskm)
- Restid (tusen timmar)
- Drivmedel (m<sup>3</sup>)
- Trafiksäkerhet (antagen olyckskostnad per km)
- Miljöeffekter (utsläpp i ton)
- Ev. kompletterade effekter (ex. buller)

I värderingen kan kalkylvärden användas som SIKA och Trafikverket rekommenderar, exempel är SIKAs rapport ASEK 4 (SIKA 2008:3). Dessa kalkylvärden är i prisbasår 2006, men uppräkningsindex kan ske till aktuellt års prisnivå med hjälp av konsumentprisindex (KPI).

#### *BVH 706 (metod för omledning)*

En annan gångbar metod för beräkning av omledningskostnader är användning av schabloner och expertbedömning. I Banverkets beräkningshandledning för samhällsekonomiska analyser (BVH 706) finns schabloner. Följande stegvisa förfarande ha satts upp (Zachariadis, 2010):

- 1) Identifiera effekterna/konsekvenserna, dvs. vad blir effekterna av ett skred (omledning, överflyttning till buss, förseningar, omfattning infrastrukturskador m.m.) (Trafik/Leverans på Trafikverket kan ev. ge svar på detta)
- 2) Kvantifiera effekterna, dvs. hur många resenärer och tåg påverkas (Trafik/Leverans på Trafikverket kan ev. svara på detta)
- 3) Värdera kvantifierade effekter och konsekvenser utifrån kalkylvärden och beräkningsförutsättningar för samhällsekonomiska kalkyler enligt BVH 706 och/eller ASEK.

Från BVH 706 (Banverkets ordinarie handbok för - samhällsekonomiska beräkningar) kan värden hittas för bland annat:

- Operativa kostnader (inkluderar personalkostnad, kapitalkostnad, underhållskostnad, städning, drivmedel)
- Slitage kostnader
- Luftföroreningar
- Olyckskostnader

För detaljerad beskrivning av metoden som satts samman inom GÄU och för exempelberäkning se bilaga 1 i GÄU, delrapport 18 (Bergman, 2011b). Schablonerna i BVH 706 (år 2009) finns tillgängligt på internet. Beräkningen kan utföras utan speciell programvara och utbildning.

#### *Översiktlig riskanalys (metod för omledning)*

I Banverkets Riskanalys, vald järnvägssträcka (Banverket 2008) finns en handledning för översiktlig riskanalys. Metoden inkluderar kostnader för både järnvägssystemet och omgivningen gällande avbrottet. I den ingår sex steg:

- 1) Intresseobjekt som kan skadas
- 2) Vilka händelser som kan ge skada (*skred*)
- 3) Riskkällor (orsaker) samt sannolikhet
- 4) Konsekvensens totala skadevärde samt omfattning av konsekvens
- 5) Risknivå (sannolikhet och konsekvens)
- 6) Riskreducerande åtgärder

I GÄU är det framförallt metod för steg 4 som kan användas för att värdera konsekvenser.

För att använda metoden och få fram en konsekvensklass behöver man veta prioriteringsklass på järnvägen samt tid för avstängning. I begreppet prioriteringsklass ingår uppgifter om hur omfattande tågtrafiken är, om det är höga krav på kort transporttid och hög leveransprecision. Metoden finns beskriven i GÄU, delrapport 18 (Bergman, 2011b) samt i Banverkets Riskanalys, vald järnvägssträcka (Banverket 2008). Den översiktliga beräkningen kan utföras snabbt och enkelt utan speciell kompetens eller programvara.

#### *Metod för återställningskostnad*

Utöver kostnader i samband med att banan är avstängd och trafik måste ledas om blir det en utgift för att återställa banan. För att få schabloner för detta kan man se på tidigare händelser, ex. skredet i Småröd samt från pågående utbyggnad inom BanaVäg i väst. Genom kontakt med expertpersoner har schabloner sammanställas för återställningskostnad (se Bergman, 2011b).

### **7.3.7.2 Anpassning för konsekvensanalys av skred i andra områden**

#### *Omledning*

För Sampers och Bansek behövs speciell kompetens och programvara. I GÄU beräknades kostnaderna för omledning av godståg genom Bansek medan kostnaderna för omledning av persontåg beräknades med schabloner från BVH 706. Det kan vara en fördel att ha en beräkningsmetod tillgänglig som inte kräver speciell programvara eller kompetens. För persontågen togs en beräkningsmetod fram och en liknande beräkningsmetod bör därför även tas fram för godstågen. Beräkningsmetoden för persontåg kan användas i sin övergripande struktur, men detaljberäkningen bör göras mer generell och lättbegriplig. Utöver kostnadsschabloner behövs information om tågflödet på den aktuella sträckan. I GÄU fick vi information via personlig kontakt på Trafikverket. En metod för hur dessa enkelt fås fram på annat sätt eller kan uppskattas bör utvecklas.

#### *Återställande*

Det finns en schablon framtagen för dubbelspår. Denna bör kunna användas som grovt värde för andra delar av Sverige. Vill man förbättra schablonen och se om kostnaden kan variera betydande beroende på var man är i Sverige kan utredning om det göras. Det kan även tas fram en schablon för enkelspår.

### **7.3.7.3 Anpassning för konsekvensanalys av översvämning**

#### *Omledning*

Det är i princip ingen skillnad mellan metoderna för de två typerna av naturolyckor. Både översvämning och skred ger konsekvensen att järnvägen inte kan användas och att trafiken måste ledas om. Skillnaden kan vara att tiden för återställning är kortare och att därmed omledningskostnaden generellt blir lägre. Tidsaspekten inkluderas dock i beräkningarna (BVH 706) och därför kan samma metod användas till både skred och översvämning. Alternativt (för att förenkla arbetet) kan graf med tid mot kostnad tas fram vilken skulle gälla ett vanligt typfall av järnvägs- och vägnät. Denna alternativa modifiering av metod kan göras som generell förbättring (effektivisering) i samband med utvecklingen av metoden för att passa andra geografiska områden.

### *Återställande*

För återställandekostnaden behövs andra schabloner tas fram. De som finns angivna i GÄU delrapport 18 gäller återuppbyggnad av en hel järnvägsträcka. Vid översvämning behöver ibland underhåll av järnvägen utföras när vattnet dragit sig tillbaka, och i andra fall krävs ingen åtgärd. Kostnaderna är generellt betydligt mindre än vid skred och dessa kostnader bör tas fram och sammanställas. Likaså behövs antaganden för bedömning av konsekvenser vid översvämning arbetas fram: generell tid för störningens längd, kostnad för eventuella temporära skydd med flera identifierade följdkonsekvenser efter översvämning. D.v.s. ta fram svar på frågorna om hur ett normalt översvämningsscenario ser ut och vad som måste göras i samband med ett.

## **7.3.8 Sjöfart**

### **7.3.8.1 Sammanfattning av metodik**

Här presenteras metoder för att värdera de finansiella konsekvenserna då sjöfart hindras. Metoderna finns sammanfattade i SGI rapport ”Metodik konsekvensbedömning – Sjöfart. GÄU delrapport 16” (Bergman, 2011c).

Beräkningarna utgår från ett scenario där skred täpper till en älv. Fartyg blir därmed stillastående en tid och de skredade massorna behöver muddras samt deponeras på annat ställe. För att fartyg ska ta sig fram säkert behövs även älvkanten förstärkas gentemot ytterligare skred. Beräkningsmetoden är alltså uppdelad i fyra kostnadsposter: förstärkning av älvkant, muddring, deponering och att fartyg står stilla. Huruvida alla dessa poster ska ingå inom Sjöfart bör utredas. För varje kostnadspost har en beräkningsmetod tagits fram som finns angiven i GÄU, delrapport 16 (Bergman, 2011c). I beräkningarna behövs kostnadsschabloner samt trafikflöde. Beräkningsmetoderna är lätta att förstå och schablonerna som tagits fram är generella. Trafikflödet är utifrån Göta älv och inhämtat genom muntlig kommunikation med Sjöfartsverket.

### **7.3.8.2 Anpassning för konsekvensanalys av skred i andra områden**

Om scenariot är detsamma som inom GÄU kan beräkningsmetoderna användas inom andra geografiska områden. Även kostnadsschablonerna kan troligtvis användas direkt inom andra geografiska områden. Vissa kostnadsschabloner kan dock behöva justeras beroende på ex. tillgång till muddringsutrustning och deponier. Trafikflödet är däremot platsspecifikt och det finns inte en generell metod för hur dessa kan tas fram, vilket alltså borde utvecklas. Statistik från Sika kan vara en informationskälla för trafikflöde.

Omledningskostnader har inte inkluderats, vilket kan vara ett troligt scenario inom andra geografiska områden. Denna kostnadspost bör alltså utvecklas.

### **7.3.8.3 Anpassning för konsekvensanalys av översvämning**

Om det sker en översvämning kan flödet i älven vara för högt för att kunna transportera fartyg. Även hamnområden kan vara översvämmade och förhindra verksamheten. Scenariot ser annorlunda ut än vid skred och antaganden för bedömning av konsekvenser vid översvämning bör arbetas fram: generell tid för störningens längd, kostnad för eventuella temporära skydd med flera identifierade följdkonsekvenser efter översvämning. D.v.s. ta fram svar på frågorna om hur ett normalt översvämningsscenario ser ut och vad som måste göras i samband med ett. En del av de kostnadsposter som tagits fram inom

GÄU (muddring, deponering, förstärkning) kan visa sig vara inaktuella för översvämningsscenarioet, medan nya kostnadsposter identifieras vid översvämning.

### 7.3.9 Energi och ledningsnät

#### 7.3.9.1 Sammanfattning av metodik

Metodikens beskrivs mycket kortfattat i GÄU delrapport 12 (Andersson-Sköld 2011). I GÄU delrapport 21 (Frogner-Kockum 2011) beskrivs inte metodiken i en speciell metodikbeskrivning. Istället har beskrivningar av metodiken vävt in i texten i dels en allmän översikt och dels mer specifika beskrivningar i den utvalda fallstudien. Metodiken är stundtals svår att följa.

Baserat på fakta från Frogner-Kockum (2011) presenteras här en generell metodbeskrivning och identifierade kunskapsluckor. Schablonpriser för nyanläggning av ledningar och anläggningar insamlade inom GÄU konsekvensområde Energi och ledningsnät sammanställs i Tabell 7-1.

#### Generellt

Metodikens går ut på att med hjälp av kartunderlag sammanställa ledningsnätets och anläggningars geografiska utbredning i utredningsområdet. Schabloner för återställandekostnad används för att beräkna och kartera konsekvenskostnaden av skred. Avgörande frågor är: vilka typer av ledningar och anläggningar ska analyseras, var hittar man det kartunderlag som behövs (informationen är spridd på många olika ägare, etc.) samt vilka ingångsdata ska användas för beräkning av schablonvärden för anläggningskostnader m.m?

I befintlig metodik ingår direkta kostnader för återuppbyggnad av ledningsnät och transformatorstationer för el samt fjärrvärme och bredband med optisk fiberkabel. Kostnaden ansätts motsvara kostnaden för nyanläggning.

Arbetet underlättas om underlaget finns tillgängligt i GIS-format. För CAD-baserade system, papperskartor etc. bedöms materialet okulärt, varefter mycket förenklade kartor ritas upp för hand och digitaliseras i ett GIS-system. Beräkningar av konsekvenskostnader genomförs med GIS.

I Göta älvutredningen upplevdes inventering av ledningsnät för el och fjärrvärme i utredningsområdet som ett alltför omfattande arbete, och genomfördes inte för fjärrvärme förutom i Lilla Edets kommun. Det är mycket viktigt att budgetera för inventeringsarbetet och att börja arbetet så tidigt som möjligt. Eventuellt bör man även budgetera för ersättning för nätägarnas arbete med att ta fram underlaget.

Analysen kräver grundläggande kunskaper om olika ledningssystem (och energiverks) uppbyggnad och funktion.

#### Avgränsningar

Följande konsekvenser beaktas inte i nuvarande metodik:

- Kostnader för provisoriska åtgärder under återuppbyggnadstiden.
- Samhällets kostnader för avbrott i distribution av el, fjärrvärme och bredband. Kostnader för avbrott i produktionen till följd av utebliven elförsörjning diskuteras.



ras inom konsekvensområdet Näringsliv, men ansatsen i denna fallstudie är att elförsörjningen antingen dirigeras om och/eller åtgärdas mycket snabbt.

- Telenätsledningar och gasledningar

#### Elproduktion

Inventering av kraftverk (vatten, vind m.fl.) kan göras med hjälp av fastighetskartan och kontakter med elproducenter och eventuellt Svenska kraftnät. Värdering av konsekvenser för kraftverk görs från fall till fall.

#### Elledningar

Det svenska kraftnätet (el) utgörs av ett stamnät (220 kV samt 400 kV) som förvaltas av Svenska Kraftnät, och därutöver av regionala och lokala nät. De regionala näten (40 – 130 kV) ägs till stor del av Vattenfall, EON och Fortum. De lokala näten (< 40 kV) ägs av regionala och kommunala företag eller av mindre företag med lokal anknypning. Lokalnäten distribuerar el till användare. (Svensk Energi 2007)

Stamnätet söder om Gävle kan inventeras genom GIS-data som finns tillgängliga genom Geodataportalen. Kartmaterial för stamnätet i övriga Sverige begärs från Svenska Kraftnät. Inventering av regionala och lokala nät sker genom kontakter med respektive elnätsägare. Information om nätstationer, transformatorstationer, markkabel samt luftledning/hängkabel inklusive stolparnas lägen ska begäras.

#### Fjärrvärme

Fjärrvärmenät och fjärrvärmeproducenter inventeras genom kontakter med kommun och nätägare. Önskat leveransformat är GIS-data med linjenät och produktionsenheter. Bedömning av konsekvenser för fjärrvärmeproducenter görs från fall till fall, med hänsyn taget till hur många hushåll som försörjs av anläggningen. Schablonpriset i avser kostnad per löpmeter schakt, och ska alltså inte dubbleras i beräkningen.

#### Bredband

Optiskt fibernät inventeras genom kontakt med kommuner och ledningsägare. Önskat leveransformat är GIS-data med linjenät.

*Tabell 7-1: Föreslagna schablonvärden för kostnader för nyanläggning inklusive material- anläggnings- och återställandekostnad utifrån kontakter med nätägare under GÄU. Priserna avser 2009 års kostnader, exkl. moms. Muntliga källor bör bekräftas.*

Anläggning	Beskrivning	Kostnad	Referens
<b>Transformatorstation</b>	130kV (försörjning större samhälle/industri)	50 Mkr	Carlsson (2011)
<b>Transformatorstation</b>	40/10kV (försörjning mindre samhälle)	18 Mkr	Carlsson (2011)
<b>Transformatorstation / nätstation</b>	Distribution (matning ett kvarter)	0,8 Mkr	Carlsson (2011)
<b>Luftledning el</b>	400/220 kV, stamnät. Mindre återställande: 2-3 stolpar.	2 Mkr/stolpe	Uppskattning utifrån Svenska Kraftnät (2007)

<b>Luftledning el</b>	145kV	1,20 Mkr/km	Viksten (2010)
<b>Luftledning el</b>	36-52kV	0,60 Mkr/km	Viksten (2010)
<b>Luftledning el</b>	52-72,5kV	0,70 Mkr/km	Viksten (2010)
<b>Luftledning el</b>	10-20kV	0,30 Mkr/km	Viksten (2010)
<b>Luftledning el</b>	400V	0,20 Mkr/km	Viksten (2010)
<b>Markbunden elledning</b>	12 kV	0,68 Mkr/km	Johansson (2010)
<b>Markbunden elledning</b>	400 V, lågspänning stam	0,67 Mkr/km	Johansson (2010)
<b>Markbunden elledning</b>	400 V, lågspänning ser- vis	0,48 Mkr/km	Johansson (2010)
<b>Markbunden elledning</b>	0,4kV – 10kV	0,50–1,00 Mkr/km	Viksten (2010)
<b>Fjärrvärmeledning</b>	Schakt med till- och från rör	5 Mkr/km schakt	Nilsson (2012)
<b>Markbunden optisk fiber- ledning</b>	Landsbygd (åkermark)	0,25 Mkr/km	Bergquist (2010)
<b>Markbunden optisk fiber- ledning</b>	Stadsmiljö	1,25 Mkr/km	Bergquist (2010)

### 7.3.9.2 Anpassning för konsekvensanalys av skred i andra områden

Metodikerna har stor potential för vidareutveckling. Nedan föreslås ett antal utvecklingsinsatser.

- En ny bedömning behöver göras av vilka ledningsnät som ska ingå i konsekvensanalysen. Tele- och gasledningar ingår inte i nuvarande metodik.
- En indelning av anläggningar/ledningssystem i tre kategorier på samma sätt som i konsekvensområde VA föreslås:
  - Ytformiga anläggningar. Ytbildning av nät av ledningar, inklusive servisledningar, med kläna dimensioner som behövs för lokal distribution till slutanvändaren.
  - Linjeformiga anläggningar. Ledningar med grövre dimensioner som är nödvändiga för att försörja större områden, t.ex. elledningar i stamnätet och för distribution till transformator- och nätstationer.
  - Punktformiga anläggningar. Transformatorstationer, fjärrvärmeproducenter mm.
- Schablonvärden för ytformiga anläggningar enligt ovan bör tas fram med hjälp av nya fallstudier, där hänsyn tas till att värdet av ledningssystemet delvis är inbakat i fastighetsvärdena.
- Schablonvärden för anläggningskostnader av såväl ledningar som anläggningar bygger på uppgifter från enskilda tjänstemän. Dessa bör kvalitetssäkras. Om telefon och gas ska ingå måste schablonvärden tas fram för anläggningar inom dessa områden. En möjlighet är att anlita en konsult med kunskap inom respektive område för att ta fram underbyggda dokumenterade schablonkostnader. För el och optokabel kan t.ex. Svensk Energis ”EBR Kostnadskatalog Lokalnät 0,4-24 kV samt opto-nät” och ”EBR Kostnadskatalog Regionnät 36-145 kV” användas.

das. Dessa kräver sannolikt kunskap inom elkraft. Liknande kostnadssammansättningar bör identifieras för fjärrvärme, tele och gas.

- Kostnader för provisoriska åtgärder under återuppbyggnadstiden samt kostnader för serviceavbrott ingår inte i nuvarande metodik. Det bör utredas hur stor del av konsekvenserna detta kan vara, t.ex. genom jämförelser med likande utredningar för översvämningsrisk, t.ex. Mälaren, men även internationellt. Detta kan göras gemensamt med konsekvensområde VA.
- Nyanläggning av ledningar efter ett skred skulle sannolikt samordnas och därmed skulle anläggningskostnaderna minska för elledningar, bredband, fjärrvärme, telefon, VA m. m. Detta har inte tagits hänsyn till i nuvarande metodik. Möjligheten att använda anläggningskostnader vid produktion av ny bebyggelse för samtidig ledningsdragning av el, tele, bredband, fjärrvärme och VA bör utredas.

### **7.3.9.3 Anpassning för konsekvensanalys av översvämning**

Förslagen ovan gäller även konsekvensanalys av översvämning.

Fokus bör här ligga på punktformiga anläggningar (transformatorstationer, nätstationer, fjärrvärmeproducenter och liknande) som om de slås ut ger konsekvenser på ett stort antal användare. Vid konsekvensanalys av översvämning kan många punktformiga objekt drabbas eftersom stora ytor berörs vid en och samma händelse. Det måste utredas hur skadefunktioner ser ut för dessa objekt. Påverkan på linje- och ytförmiga anläggningar (ledning) är sannolikt låg, och innebär inte bestående skador.

För konsekvensanalys av översvämning kan betydelsen av sekundära konsekvenser komma att öka eftersom större områden drabbas (strömlösa arbetsplatser och samhällsviktiga verksamheter, konsekvenser av avbrott i fjärrvärmeproduktion mm).

Litteraturstudier av genomförda konsekvensanalyser för översvämning bör göras och metodiken anpassas av erfarenheter från dessa.

## **7.3.10 Naturmiljö**

### **7.3.10.1 Sammanfattning av metodik**

Ansatsen beskrivs kortfattat i GÄU delrapport 12 (Andersson-Sköld 2011) och i detalj i GÄU delrapport 20 (Suer 2011). Naturvärden ökar av skred i Göta älvdalen men värdet på vinsten kunde inte skattas.

Naturvärden inkluderades inte i GÄU slutkartor och slutskattning av skadekostnader på grund av att

- 1) Effekten av skred på naturvärden kunde inte kvantifieras
- 2) En effektkvantitet kunde inte omsättas i ett monetärt värde.

Biologisk mångfald, geologisk mångfald, rekreation, och pedagogiska värden identifierades som viktiga naturvärden i Göta älvdalen. Inventering av naturvärden gjordes genom att se på anledningen av skydd för samtliga riksintressen och Natura2000 områden, och ett axplock av naturreservat.

Skred är en förutsättning för naturvärdet av riksintresset Göta älvdalen. Skred skapar landskapet och bidrar till en ökning av små öppna ytor, som är en bristvara i Sverige.

Biodiversiteten ökar också genom större variation i fukt och jordart inom korta avstånd. Men vi har bara kunskap för att uttala oss generellt, och kan inte kvantifiera den effekt skred har på naturvärden.

I GÄU delrapport 20 finns ett antal exempel på värdering av biologisk mångfald, rekreation och fiske. Än så länge finns mycket stora brister i metodiken för värdering, till exempel saknas värdering av pedagogiskt värde.

Skredförebyggande åtgärder innebär en förlust för naturmiljön i Göta älvdalen. Både för att själva åtgärden påverkar naturen, och för att skred förhindras.

### **7.3.10.2 Anpassning för konsekvensanalys av skred i andra områden**

Också för områden utanför Göta älvdalen torde skred vara en vinst för naturen, och att förebygga skred en förlust. Möjligen kan förlusten vara mindre, om de andra områdena inte utgör riksintresse på grund av skred.

Inventeringen av befintliga naturvärden kan göras på samma sätt som för Göta älvdalen, genom genomgång av skyddade naturområden. Många länsstyrelser har GIS-tittskåp där beslutdokument och motiveringar för naturskydd i enstaka områden ingår.

SGI har ingen metodik för värdering av de identifierade naturvärdena. Därför kan naturvärden bara inkluderas kvalitativt i skredriskanalysen. Omfattande arbete krävs för att ta fram underlag för samhällsekonomisk värdering av naturvärden.

### **7.3.10.3 Anpassning för konsekvensanalys av översvämning**

Konsekvenser av översvämning på naturvärden har inte ingått i studien, och utifrån underlaget från studien går det inte att uttala sig generellt om detta.

## **7.3.11 Kulturarv**

### **7.3.11.1 Sammanfattning av metodik**

Metodikens beskrivs övergripande i GÄU delrapport 12 och i detalj i GÄU delrapport 24.

Kulturarvet kan erbjuda mycket; upplevelser, ökad kunskap och förståelse. Det omsätts dock inte på vanliga marknader och saknar i de flesta fall marknadsvärden. Detta betyder inte att kulturarvet saknar värde. I avsaknad av marknadsvärden måste dock andra metoder användas för att översätta det kulturella värdet till ekonomiska mått så att också kulturarvet kan vägas in.

Problematiken består i huvudsak av två delar; 1) Hur ska man definiera, avgränsa och inventera vad som är kulturarv och kulturmiljö och 2) monetär värdering, hur värderar man kulturarv och kulturmiljö?

#### *Vad är kulturarv/-miljö och hur inventerar man det?*

I GÄU delrapport 24 beskrivs definitioner av kulturarv och kulturmiljö och vilka lagar som omfattar dessa. Här beskrivs också vilka utredningar och studier som gjorts samt hänvisas till vad Riksantikvarieämbetet publicerat i ämnet.

Beträffande urval och inventering har man i GÄU använt Informationskartan GIS VG, Riksantikvarieämbetets fornminnesdatabas (Fornsök, se <http://www.fmis.raa.se>) samt SGI:s geografiska kartmaterial. Informationskartan GIS VG (<http://gisvg.lst.se/>)

website/gisvg//) är en webbaserad karttjänst som tillhandahålls av Länsstyrelsen i Västra Götalands län och som kan användas för att identifiera områden och objekt av kulturellt värde. Informationskartan delar in kulturvärden i tretton olika kategorier.

Problemet med urval illustreras av inventeringens resultat: I Göta älvutredningens utredningsområde identifierades 14 stycken kyrkor, 4 kulturhistoriskt värdefulla gårdar, 3 hembygdsgårdar, 13 byggnadsminnen, 9 områden klassade som riksintresse för kulturmiljövård och 50 miljöer som av respektive kommuner anses vara viktiga kulturmiljöer. Utöver detta tillkommer tusentals fornlämningar. I de berörda kommunerna finns det tillsammans drygt 15 000 fornlämningar (dock ligger inte alla inom utredningsområdet).

#### *Metodik för monetär värdering av kulturarv*

Det totala värdet av ett kulturobjekt kan delas in i tre delar; brukarvärdet, optionsvärdet och existensvärdet. Metoderna för monetär värdering delas in i två huvudtyper: de indirekta metoderna vilka endast fångar upp brukarvärdet samt direkta metoder vilka inkluderar existensvärden och optionsvärden. Metoderna beskrivs närmare i delrapporten.

De indirekta metoderna, vilka baseras på individers faktiska beteende (revealed preferences), är:

- Produktionsfunktionsmetoden (faktorproduktivitet)
- Återställandekostnad/Ersättningskostnadsmetoden (här ingår försäkringsvärde-metoden)
- Reskostnadsmetoden, Fastighetsvärdemetoden samt
- Åtgärdskostnader.

Direkta metoder skattar värdet av icke-marknadsprissatta varor och tjänster med hjälp av enkäter och intervjuer. De metoder som beskrivs är:

- Contingent Valuation metoden (CV)
- Choice experiments (CE) samt
- Värdeöverföring.

Studier kring monetär värdering av kulturarv är få, både i Sverige och internationellt. Det finns rapporter där möjliga metoder för monetär värdering beskrivs och deras lämplighet för värdering av kulturarv diskuteras. Riksantikvarieämbetet har utarbetat en rapport där de beskriver och bedömer olika värderingsmetoders lämplighet vid värdering av kulturmiljön (Riksantikvarieämbetet, 2009).

#### *Fallstudie*

Göta älvutredningen undersökte med hjälp av fallstudier hur värderingsmetoderna ovan skulle kunna användas i utredningsområdet. Vid val av fallstudieområde inriktade man sig mot att välja ett objekt eller en miljö som typiskt kan klassas som kulturarv. Fallstudien valde dels en specifik kyrka, i Nol, dels en samlad studie av flera kyrkor i Göta älvområdet. En kyrka ger en tydlig avgränsning jämfört med många andra kulturobjekt. Kyrkor saknar som oftast marknadsvärden, men har stora kulturella värden både när det gäller inventarier och det upplevda värdet som kyrkans medlemmar har av att använda den.

### *Val av metod*

Som generell metod för att skatta kyrkors monetära värde inom Göta älvprojektet föreslås användandet av försäkringsvärden, trots att denna metod inte fullständigt reflekterar en kyrkas totala värde. Försäkringsvärdet reflekterar det materiella värdet av kyrkan (i form av kostnader för återuppbyggnad), men också till en viss del det kulturella värdet och är i nuläget den enda av de undersökta metoderna som också till viss del kan representera det kulturella värdet. Andra metoder undersöktes och förkastades.

### *Resultat och diskussion (utdrag ur delrapport 24):*

Inom utredningsområdet Kultur har endast kyrkor tilldelats monetära värden. Försäkringsmäklarforetaget Bolander och Company har bidragit med underlagsinformation om försäkringar generellt och med faktiska försäkringsvärden. Dessa försäkringsvärden utgör, tillsammans med kompletterande information från Länsförsäkringar Älvsborg och Starrkärr-Kilanda församling, resultatet av den monetära värderingen av kyrkor i utredningsområdet. Beloppens spridning är stor. Från Surte kapell med 0,4 miljoner kronor till Trollhättans kyrka med 126 miljoner kronor.

För utvärdering av specifika åtgärder eller projekt är det fullt möjligt, dock tidskrävande och kostsamt, att genomföra värderingsstudier med avseende på bestämda delar av kulturarvet. Att monetärt inkludera kulturella värden i ex-ante studier av skred och extremväder är problematiskt. Det behövs fortsatt forskning inom området och vidare utveckling av genomförbara värderingsmetoder.

Vad ska man då göra för att inkludera kulturella värden i denna typ av studier?

Önskvärt är riktlinjer i form av kategorisering och rankning av objekt och miljöer framtagna på nationell nivå. Kultur är ett begrepp med en gedigen innebörd. För att genomföra monetära värderingar måste det finnas konsensus om vad som ska värderas. I dagsläget finns inte tydliga avgränsningar eller kategorier, vilket är nödvändigt för att kunna genomföra värderingar. I vidare arbeten med monetär värdering av kulturarv så är värdering med hjälp av betalningsviljestudier i form av till exempel Contingent Valuation method en väg att gå. De värderingsstudier som har genomförts är få och av varierande kvalitet. Flera genomförda värderingsstudier skulle också möjliggöra värdeöverföring till andra liknande objekt och miljöer och fortsättningsvis även kunna ligga till grund för schablonvärden.

### *Sammanfattning*

I den aktuella fallstudien valdes kyrkor som studieobjekt. I delrapporten dras slutsatsen att försäkringsvärdet reflekterar det materiella värdet av kyrkan och till viss del det kulturella värdet. Man gör också bedömningen att det i nuläget är den enda av de undersökta metoderna som gör det. En svaghet med delrapporten är att den endast omfattar specialfallet kyrkor.

Förutom de allmänna beskrivningarna av metoder sägs inget om hur man ska värdera andra kulturvärden/-miljöer. För flera av objekten/miljöerna är kvantifiering och värdering sannolikt svår eller omöjlig att göra.

Studier kring monetär värdering av kulturarv och kulturmiljöer är få, både i Sverige och internationellt. Riksantikvarieämbetet (2009) har dock gjort en rapport där man bedömer olika värderingsmetoders lämplighet vid värdering av kulturarv. I Grahn (2011b) efterlyses riktlinjer på nationell nivå; dels i form av kategorisering och rankning av objekt och miljöer och dels för tillämpning av monetär värdering. För att kunna göra mo-

netära värderingar efterlyses dessutom ett utökat antal värderingsstudier för att möjliggöra värdeöverföring samt beräkning av schablonvärden.

I delrapport 24 föreslås en betalningsviljestudie för att undersöka medlemmarnas (det aktuella fallet rörde församlingsmedlemmarnas) användarrvärde och på ett bättre sätt reflektera individers upplevda värde. Betalningsviljestudier skulle kunna användas för att på sikt skapa ett ”statistiskt kulturvärde” för användning i samhällsekonomiska analyser.

### **7.3.11.2 Anpassning för konsekvensanalys av skred i andra områden**

Beträffande inventeringen har man i fallstudien använt sig av Informationskartan GIS VG, där kategorisering och urval av kulturarv och kulturmiljöer ingår och som är speciellt framtagen av Länsstyrelsen i Västra Götalands län. Det kan tänkas att det finns fler länsstyrelser som har något motvarande, men en stickprovskontroll mot länsstyrelsernas GIS-portal indikerar att många inte har en sådan samlingstjänst. En dylik kontroll antyder också att omfattning, detaljeringsgrad, skalor och format m.m. på tillgängliga data kan variera mellan de olika länsstyrelserna.

För ändamålet att inventera kulturvärden i samband med konsekvensanalys av naturolyckor, vore det önskvärt med en nationell databas eller en nationell standard som gäller samtliga län, t.ex. motsvarande den som används i Västra Götalands län. Om möjligt bör SGI påtala nyttan av detta för länsstyrelserna. I den mån aktuell länsstyrelse har en motsvarande webbtjänst som Västra Götalands län, görs inventeringen av kulturvärden på samma sätt som för Göta älvdalen. I annat fall får man dels använda länsstyrelsernas GIS-portal för att få fram kulturreservat samt riksintressen, och för övriga uppgifter får man vända sig direkt till berörd länsstyrelse och efterfråga materialet.

En bedömning av försäkringsvärden på kyrkor torde kunna göras oavsett var de finns. Denna metod torde även kunna användas för liknande objekt, t.ex. hembygdsgårdar eller museer, men detta bör undersökas i nya fallstudier. I övrigt kvarstår alla problem, som påpekas i stycket ovan, med metodik för värdering av de identifierade kulturvärdena. Därför kan flera av kulturvärdena sannolikt bara inkluderas kvalitativt i skredriskanalysen. Omfattande arbete krävs sannolikt för att ta fram underlag för samhällsekonomisk värdering av kulturvärden.

Det finns ett behov av fortsatt forskning samt utveckling av genomförbara värderingsmetoder för användning i konsekvensanalyser av skred och extremväder. Dessutom efterlyses ett ökat antal värderingsstudier av betalningsvilja (t.ex. Contingent Valuation). De studier som gjorts är få och av varierande kvalitet. Ett utökat antal värderingsstudier kan ligga till grund för värdeöverföring till liknande objekt samt ligga till grund för schablonvärden.

Det kan också inträffa att kulturvärden ökar till följd av ett skred (eller andra naturolyckor). Riktlinjer saknas för hur man kan bedöma eventuella ökade kulturvärden och monetära värden i sådana fall. Denna ökning av värdet är svår att förutse och sannolikt omöjlig att uppskatta eller beräkna. Ett exempel på ett sådant ökat kulturvärde är Döda fallet i Indalsälven. En kanal för timmerflottning översvämades och det efterföljande brottet/skredet ledde till att Storforsen torrlades och älven fick en ny sträckning. Nu är älvens ursprungliga sträckning en unik natur- och kulturmiljö som gett upphov till turism och ökat intresse för området.

Man bör undersöka möjligheterna att prioritera/rangordna identifierade kulturobjekt som inte går att värdesätta samhällsekonomiskt. Finns möjlighet att upprätta ett GIS-

skikt för dessa prioriterade objekt, och kan hänsyn tas till dem när man producerar den slutliga riskkartan?

### **7.3.11.3 Anpassning för konsekvensanalys av översvämning**

Problemen med kategorisering samt monetär värdering torde vara de samma för översvämning som för skred. De problemen gäller kulturobjektet snarare än skadan. Däremot kommer översvämningar att orsaka andra typer av skador än ras och skred och därmed kan effekter och omfattning av dessa bli annorlunda. För vissa typer av kulturarv innebär en översvämning endast att tillgången minskar temporärt, medan det för andra kan innebära omfattande skador på t.ex. både byggnader och inventarier. Det verkar dock inte sannolikt att objekten riskerar bli totalförstörda, vilket kan ske vid skred.

Det finns, som konstaterats i avsnittet om skred (se ovan), ett behov av forskning och utveckling av metoder för värdering av kulturvärden. Det behovet inkluderar sannolikt också hur man värderar avbrott i nyttjandet av kulturvärden samt om endast delar av objektet eller kulturmiljön skadas. Här finns sannolikt en del exempel/case att studera, t.ex. utvärderingen av översvämningarna i Arvika 2000.

## **7.3.12 Näringsliv**

### **7.3.12.1 Sammanfattning av metodik**

Metod för inventering och beräkning beskrivs i GÄU delrapport 23 (Grahn, 2011).

#### *Omfattning och avgränsningar*

Näringslivet kan delas in i följande tre kategorier:

- Tillverkningsindustri  
Den form av industri som omvandlar råvaror till produkter.
- Handel  
Handel är ett samlingsnamn för verksamheter där man byter varor, tjänster och kapital utan att det bearbetas.
- Naturbruk  
Den form av verksamhet som använder biologiska och naturgeografiska resurser på land och i vatten. Här ingår jordbruk, djurskötsel, skogsbruk, fiskerinäring, viltvård och jakt.

I konsekvensområdet *Näringsliv* ingår att inventera och värdera produktionsförluster i samhället till följd av avbrott i verksamheter som kan orsakas av ett skred. Det rekommenderas att enbart inkludera konsekvenserna för de verksamheter som kan drabbas direkt av skred.

Många av näringslivets konsekvenser till följd av skred tas upp inom andra konsekvensområden och ingår därför inte i konsekvensområdet *Näringsliv*:

- Direkta skador på byggnader och mark beräknas under sektorsområdet *Fastigheter*.
- Restidsförluster beräknas under områdena *Väg* och *Järnväg*.



- Kostnader för sjötransport beräknas under sektorsområdet *Sjöfart*.
- Sanering av mark orsakat av skada på verksamheter som hanterar miljöfarliga ämnen beräknas under området *Miljöfarliga verksamheter*
- Konsekvenser som påverkar liv och hälsa ingår i sektorsområdet området *Kartläggning, exponering, sårbarhet och värdering av liv*

### *Inventering*

Underlag från Statistiska Centralbyråns, SCB, näringslivsregister kan användas för att inventera verksamheter, deras geografiska belägenhet, vilken bransch de tillhör, om de tillhör privat eller offentlig sektor och hur många anställda de har. Där finns också uppgifter om de tillhör privat eller offentlig sektor. En del av denna information finns att hämta i SCB:s statistikdatabas. Önskas mer detaljerat information eller att informationen ska vara organiserad på ett visst sätt kan SCB göra detta i uppdragsform. Informationen sammanställs i GIS. Där man kan se var i utredningsområdet verksamheter ligger, vilken bransch de tillhör och hur många anställda de har. Man kan också se var i utredningsområdet koncentrationen av näringsverksamheter är störst.

Vi ser möjligheter att skatta näringslivets förluster på två sätt; genom företagens förädlingsvärden eller genom arbetarnas löneinkomster. Dessa två metoder skiljer dock inte mellan privatekonomiska och samhällsekonomiska förluster och frågan om hur konsekvenser i näringslivet skapar samhällsekonomiska konsekvenser återstår.

### *Produktionsförluster - inkomstsidan (konsumentsidan)- metod 1*

För alla branscher utom naturbruk rekommenderas att använda arbetarnas löneinkomster för att beräkna konsekvenserna av skred. Med information från SCB om hur många som arbetar inom en viss bransch i ett specifikt område och uppgifter om medel/medianlöner inom dessa branscher kan man utifrån antaganden om antal förlorade arbetstimmar göra en uppskattning av produktionsförluster orsakat av ett skred. För stora geografiska områden med variationer i bransch och mellan offentlig och privat sektor rekommenderas att använda genomsnittslöner för hela ekonomin i kombination med antal anställda inom hela området. Denna information kan med enkelhet integreras i GIS. Svårigheten är att göra antaganden om hur långt ett avbrott blir eftersom detta beror både på hur verksamheter drabbas och vilken typ av verksamhet som drabbas. Kapitalinkomster kommer inte med här och användandet av detta tillvägagångssätt kan därmed ge en underskattning av produktionsförlusterna. Å andra sidan så är det så att man kan komma att ta med arbetare sysselsatta inom branscher som får mer att göra efter ett skred. En fallstudie som beskriver metoden mer i detalj presenteras i Grahn (2011).

### *Produktionsförluster - Förädlingsvärden (producentensidan)- metod 2*

För verksamheter inom naturbruk rekommenderas att använda förädlingsvärden för att uppskatta konsekvenser. SCB har information om vart verksamheter är belägna, deras storlek och vilken bransch de tillhör. Det är möjligt att göra skattningar av verksamheternas förädlingsvärden. Detta kan göras genom att kontakta verksamheter eller genom statistisk information från SCB. Ett stort problem är fortfarande att göra antaganden om hur långa och hur omfattande avbrott ett skred eventuellt kan orsaka. En fallstudie för jordbruk presenteras i Grahn (2011).

### *Val av metod*

Att värdera produktionsförluster från produktionssidan är mer tidskrävande än att värdera den från inkomstsidan. Båda metoder är behäftade med stora osäkerheter. Det är inte säkert att en metod är att föredra framför en annan utan val av metod kan bero på branschspecifika egenskaper. För naturbruk, t.ex. jordbruk, yrkesfiske, skogsbruk och liknande rekommenderas att använda metod 2 och beräkna konsekvenserna utifrån förädlingsvärden såsom värdet av utebliven/förstörd skörd. För övriga branscher rekommenderas metod 1, dvs. att använda arbetarnas löneinkomster för att skatta näringslivets produktionsförluster.

Analysen resulterade i rekommendationer att använda statistisk information över branscher, förädlingsvärden och löneinkomster. Vi ser dock möjligheter att utveckla resonemanget och att man med studier tydligt inriktade på näringslivet skulle det kunna skapa ett bättre underlag för framtida analyser. Det behövs dock både tid och resurser att ta sig an näringslivets komplexa problematik. Dagens näringsamhälle är beroende av fungerande strukturer inom alla sektorer, inte enbart inom den egna sektorn.

Det finns frågeställningar om metodiken som inte har besvarats inom rapporten. Se utvecklingsmöjligheter nedan.

### *Utvecklingsmöjligheter: direkta eller indirekta konsekvenser*

Verksamheterna upplever olika risker beroende på om de drabbas direkt av ett skred eller indirekt genom avbrott i samhällsviktiga strukturer. I ett scenario där verksamheterna drabbas direkt upplever de skred som ett hot mot verksamhetens realkapital och mot deras anställdas liv och hälsa. När det gäller indirekta effekter har det för flera av verksamheterna stor betydelse var i Göta älvdalen skredet inträffar då detta påverkar omledningsmöjligheter för transporter.

Göta älvutredningen begränsar sig till att beräkna produktionsförluster för de verksamheter som direkt drabbas av ett skred och gör det antagandet att dessa verksamheter kommer att förlora en månads produktionstid. Indirekta/sekundära kostnader till följd av ett avbrott beräknas endast i undantagsfall, t.ex. för kostnader för förlängda restider. En orsak till att så få indirekta kostnader beräknas är att informationen måste presenteras i en karta, och det är svårt att härleda en indirekt/sekundär kostnad till en specifik geografisk position. En annan orsak är alla de antaganden som måste göras i samband med hur olika verksamheter drabbas av avbrott i samhällsviktiga strukturer vad gäller varaktighet, omfattning och effekter på produktionen. Det finns i nuläget inte tillräcklig information att basera sådana antaganden på, och att göra skattningar skulle enbart bli gissningar.

Viktigt att komma ihåg när man undersöker näringslivets konsekvenser av stora skred är att det inte enbart är de verksamheter som ligger inom riskområdet som drabbas utan även verksamheter utanför riskområdet kan drabbas av konsekvenserna.

På samma sätt som ett skred i ett närbeläget område kan orsaka indirekta konsekvenser för en industri kan översvämning på annan plats också göra det. De indirekta konsekvenserna (till följd av elavbrott, infrastrukturavbrott m.m.) inkluderades inte i GÄU, men bör eventuellt tas med och utvecklas för metoder i andra geografiska områden samt i översvämningsscenarioer.

### *Utvecklingsmöjligheter: nationell eller regional påverkan*

Resonemang vad gäller tillverkningsindustri och handel håller när man utgår från ett nationellt perspektiv. Det är dock värt att ifrågasätta om det är försvarbart att göra nationella avgränsningar i frågor som i så stor grad berör regional samhällsplanering och utveckling.

Man återvänder alltid till kärnan av problemet vilket är: När blir näringslivets konsekvenser samhällsekonomiska konsekvenser?

#### **7.3.12.2 Anpassning för konsekvensanalys av skred i andra områden**

Beskrivningen av metod för inventering och beräkning finns angiven i GÄU, delrapport 23 (Grahn, 2011), men kan behöva förtydligas och struktureras för mer effektiv och generell användning.

För att kunna använda metoden inom andra geografiska områden behövs data från SCB. Bland information som ligger tillgänglig på SCB hemsida så är det information på nationell nivå och väldigt grovt indelad information på regional nivå, där t.ex. ”Västsverige” är den mest detaljerade indelningen. Information kan köpas på kommunnivå men här är också indelningen grov vad gäller branscher. I uppdrag för kunder som ingår i Geodatasamverkan (alla län, ca 30 kommuner, ett antal myndigheter) kan vi använda data kostnadsfritt. Hur man på ett enkelt sätt kan få tillgång till tillräcklig statistisk data inom andra områden i Sverige bör utredas. Eventuellt behöver realistiska antaganden och uppskattningar göras (om medellön, medelproduktion, omsättning m.m.).

Inventeringsarbetet inom GÄU innehöll både betalning för att få information, personlig kontakt med verksamheter, genom enkäter och antaganden. Svaren från företagen om hur de drabbas kunde varierade mycket. Ett av företagen bedömer att förluster uppstår redan efter 2 timmar, ett annat företag tror att det på grund av deras lagerhållning och omledningsmöjligheter kan klara sig i två veckor innan produktionen drabbas. Konsekvensen kan alltså vara väldigt specifik för varje företag utifrån möjlighet att lagra varor och leda om varorna m.m.. Det kan behövas generella antaganden om vilken tid som ska ha gått för att konsekvenser ska uppstå och vilken kostnad det leder till, utifrån olika branscher och storlek på företaget (istället för att kontakta företagen inom varje geografiskt område och fråga). Ex. att en mataffär med viss omsättning drabbas efter 1 dags stopp i verksamheten med en viss kostnad.

Hur ett skred samhällsekonomiskt påverkar tillverkningsindustri beror på geografisk avgränsning och av förutsättningarna på de marknader där industrierna är verksamma. En marknad med stor konkurrens, homogena produkter och med många köpare och säljare kallas för *perfekt konkurrens*. Om marknaden kännetecknas av andra marknadsformer med mindre konkurrens (oligopol, monopol) blir den samhällsekonomiska effekten en annan. Konsekvenserna kan alltså skiljas åt beroende på den marknad som de drabbade industrierna är verksamma inom. Detta kan variera mellan olika geografiska områden (skogsindustri i norr, jordbruk i söder). Utöver att marknaden kan se olika ut kan olika industrier troligen ha olika bra förmåga att återhämta sig efter en störning (långsiktiga effekter). Metoden framtagen inom GÄU kan troligtvis användas inom andra geografiska områden, men för att få fram realistisk storlek på konsekvensen bör troligtvis hänsyn tas till hur industriernas marknad och återhämtningsförmåga efter ett stopp ser ut. Om marknaden är stor kan de samhällsekonomiska konsekvenserna bli mindre och om återhämtningsförmågan är stor blir konsekvensen för det enskilda företaget mindre (och tvärtom). Men om detta (marknad och återhämtningsförmåga) är betydande faktorer att inkludera i en metod bör utredas.

### **7.3.12.3 Anpassning för konsekvensanalys av översvämning**

Generella konsekvenser till följd av ett översvämningsscenario bör tas fram. Vad kan hända med ett företag som drabbas direkt i översvämning? Vilka åtgärder kan sättas in? Hur lång tid tar återhämtningen? Man kan undersöka hur länge arbetsplatser generellt är stängda till följd av översvämningar. Efter att tagit fram generella scenarier för hur olika företag och industrier kan drabbas av en översvämning, bör samma metodik som för skred kunna användas. Eventuellt måste metodiken utvecklas för att inkludera kostnader för konsekvenser som specifikt kommer av en översvämning (ex. förlust av produkter i lagerlokal, avfuktning av lokal).

## **7.4 Behov av fortsatt utveckling**

I kapitlet identifieras och prioriteras modifierings- och anpassningsförslag dels för tillämpning i skredkonsekvensanalys i andra geografiska områden (Tabell 7-2), dels för tillämpning inom översvämningkonsekvensanalys (Tabell 7-3). Prioritering och kostnadsuppskattning har gjorts i en liten arbetsgrupp och ska ses som indikationer snarare än fakta.

Aktiviteterna har prioriterats gentemot varandra i tre klasser: Hög, Medel och Låg. Uppskattad kostnad har delats in i tre klasser:

- \$ Tidsåtgång uppskattas till i storleksordningen två arbetsdagar
- \$\$ Tidsåtgång uppskattas till i storleksordningen två veckor
- \$\$\$ Tidsåtgång uppskattas till i storleksordningen två månader

Genomgången av befintlig metodik visade att detaljeringsgraden skiljer sig åt mellan olika konsekvensområden. För ett fåtal konsekvensområden fanns ingen tydlig metodik beskriven, istället beskrivs utförda fallstudier och flera möjliga metoder att gå vidare, alternativt beskrivs hur man gjort just i GÄU. Därför gäller flera av anpassningsförslagen generalisering av metodik, för att möjliggöra användning av konsekvensmetodiken i andra geografiska områden.

Inventerings- och värderingsmetodik kan för många konsekvensområden användas för översvämningar utan förändringar. Den övergripande förändringen är att ta fram nya skadefunktioner som beskriver hur stor andel av värdet av respektive konsekvensområde som går förlorat om det utsätts för en översvämning. I tillägg till det finns ett antal modifieringsbehov som ligger inom enskilda konsekvensområden.

Några av de identifierade aktiviteterna ligger utanför SGI:s ansvarsområde. I dessa fall bör SGI påtala utvecklingsbehovet och samhällsnyttan för ansvariga organisationer, bland annat genom de nätverk där SGI är aktiva.

Tabell 7-2: Modifierings- och anpassningsförslag för skredkonsekvensmetodiken. Inbördes prioritet (Låg, Medel, Hög) och uppskattad kostnad \$ till \$\$\$ utifrån tidsåtgång. För kostnader markerade '-' har ingen uppskattning gjorts.

Konsekvensområde	Modifiering/anpassning för skredriskanalyser i andra geografiska områden	Prio	Uppskattad kostnad
Liv	Säkra att 100m upplösning får användas för kommande skredriskanalyser genom dialog med SCB, presentation av exempel på skredriskkarta mm. Visa att befolkningsdata ej syns i resultaten.	Hög	\$
Liv	Beräkna betingad sårbarhet för människor i skred för områden utan förekomst av kvicklera.	Hög	\$\$
VA	Utveckla metodiken till att även omfatta provisoriska åtgärder och hälso- och miljörelaterade kostnader.	Medel	\$\$ - \$\$\$
Väg	Omledning: jämför resultat från förenklad metod med resultat från avancerade metoder. Kan förenklad metod användas? Fallstudie.	Hög	\$\$
Väg	Nyanläggning/återställning: ta fram fler schabloner för olika typvägar. I dagsläget finns det schablon för en större väg samt kommunal väg.	Låg	\$
Järnväg	Generalisera förenklad beräkningsmetod för omledning av persontåg.	Medel	\$\$
Järnväg	Ta fram generell beräkningsmetod för omledning av godståg.	Hög	\$\$
Järnväg	Ta fram schablon för återställande av enkelspår.	Låg	\$
Järnväg	En metod för hur man ska få fram eller uppskatta trafikflödet.	Låg	\$
Sjöfart	Utveckla generell metod för att inventera trafikflöde.	Låg <sup>1</sup>	-
Sjöfart	Om relevant i andra utredningsområden, ta fram metod för att beräkna omledningskostnader.	Låg <sup>1</sup>	-
Naturmiljö	Ta fram underlag och metod för samhällsekonomisk värdering av naturvärden.	Hög <sup>2</sup>	\$\$\$
Näringsliv	Ta fram schabloner för kostnad för avbrott, kopplat till bransch och företagets storlek/omsättning. Alternativt schabloner för tid för avbrott kopplat till olika branscher.	Hög	\$\$
Näringsliv	Metod för att ta hänsyn till industriernas marknad och återhämtningsförmåga. Litteraturstudie.	Låg	\$\$
Näringsliv	Beskrivning av metod för inventering och beräkning kan behöva förtydligas och generaliseras.	Hög	\$\$
Kulturarv	För inventering underlättar en nationell databas eller en standard som gäller samtliga län för att samla informationen på (ex. i GIS).	Medel <sup>2</sup>	\$ - \$\$
Kulturarv	Utföra fler värderingsstudier (ex. av betalningsvilja) för att kunna föra över värde till liknande objekt och vara grund för schablonvärde.	Medel <sup>2</sup>	\$\$\$
Kulturarv	Ta fram riktlinjer på nationell nivå för att värdera kulturobjekt och för att ranka kulturobjekt som inte går att värdesätta samhällsekonomiskt.	Hög <sup>2</sup>	\$\$ - \$\$\$
Energi	Metodiken behöver utvecklas till att innehålla alla ledningstyper, dvs. även till exempel tele och gas.	Hög	\$\$

<sup>1</sup> För svenska förhållanden. Prioritet kan vara högre för tillämpning av metodiken i andra länder.

<sup>2</sup> Prioritet avser hur viktig aktiviteten är för konsekvensbedömning av skred, men ansvar och kostnad

<sup>2</sup> Prioritet avser hur viktig aktiviteten är för konsekvensbedömning av skred, men ansvar och kostnad ligger hos annan organisation än SGI.

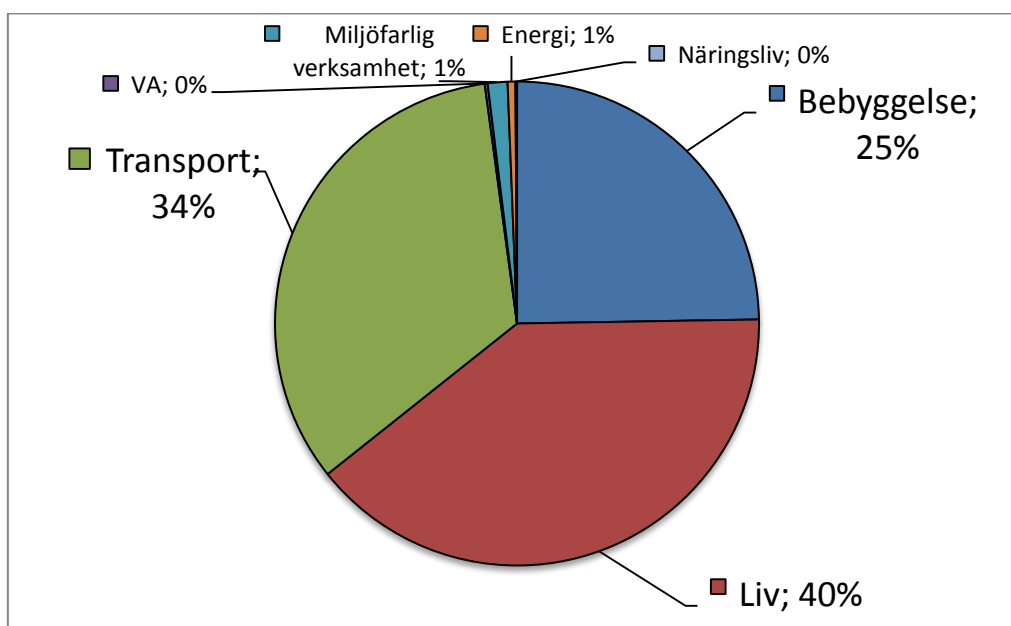
<b>Energi</b>	En indelning av anläggningar/ledningssystem i tre kategorier på samma sätt som i konsekvensområde VA föreslås: ytformiga-, linjeformiga- och punktformiga.	Medel	\$
<b>Energi</b>	Schablonvärden för ytformiga anläggningar enligt ovan bör tas fram med hjälp av litteraturstudier, där hänsyn tas till att värdet av ledningssystemet delvis är inbakat i fastighetsvärdena. Schablonvärden för anläggningskostnader av såväl ledningar som anläggningar bygger i stor utsträckning på uppgifter från enskilda tjänstemän. Dessa bör kvalitetssäkras. Om telefon och gas ska ingå måste schablonvärden tas fram för anläggningar inom dessa områden.	Medel	\$\$
<b>Energi</b>	Kostnader för provisoriska åtgärder under återuppbyggnadstiden samt kostnader för serviceavbrott ingår inte i nuvarande metodik. Det bör utredas hur stor del av konsekvenserna detta kan vara, t.ex. genom jämförelser med likande utredningar för översvämningsrisk, t.ex. Mälaren, men även internationellt. Detta kan göras gemensamt med konsekvensområde VA.	Medel	\$\$ - \$\$\$
<b>Energi</b>	Nyanläggning av ledningar efter ett skred skulle sannolikt samordnas och därmed skulle anläggningskostnaderna minska för elledning, bredband, fjärrvärme, telefon, VA mm. Detta har inte tagits hänsyn till i nuvarande metodik. Möjligheten att använda anläggningskostnader vid produktion av ny bebyggelse för samtidig ledningsdragning av el, tele, bredband, fjärrvärme och VA bör utredas.	Låg	\$\$

Tabell 7-3: Modifierings- och anpassningsförslag för användning inom översvämningskonsekvensanalys. Inbördes prioritet (Låg, Medel, Hög) och uppskattad kostnad \$ till \$\$\$ utifrån tidsåtgång.

Konsekvensområde	Modifiering/anpassning för översvämningsanalys	Prio	Uppskattad kostnad
<b>Miljöfarlig verksamhet</b>	Metod behöver utvecklas för extra konsekvenser som kommer av skador på liv och hälsa som orsakas av den miljöfarliga verksamheten samt extra skador på miljön som orsakas av den miljöfarliga verksamheten.	Hög	\$\$\$
<b>VA</b>	Metod behöver utvecklas för de konsekvenser som kommer av driftstopp och föroreningar till följd av utsläpp av orenat spillvatten. Koppling till konsekvensområde Liv.	Medel	\$\$
<b>Kulturarv</b>	Översvämningskatastrofer kan orsaka andra typer av skador än ras och skred och därmed kan effekter och omfattning av dessa bli annorlunda, vilket behöver inkluderas i metod. Nya skadefunktioner behöver tas fram.	Låg	\$\$
<b>Energi</b>	Fokus bör här ligga på punktformiga anläggningar (transformatorstationer, nätstationer, fjärrvärmeproducenter och liknande) som om de slås ut ger konsekvenser på ett stort antal användare. Kostnad för avbrott.	Medel	\$\$
<b>Näringsliv</b>	Generella konsekvenser för näringslivet till följd av ett översvämningsscenario bör tas fram.	Hög	\$\$ - \$\$\$
<b>Sjöfart</b>	Scenariot ser annorlunda ut än vid skred och antaganden för bedömning av konsekvenser vid översvämningskatastrofer bör tas fram. I vilka fall kan avbrott uppstå?	Medel	\$\$
<b>Järnväg</b>	Antaganden för bedömning av konsekvenser vid översvämningskatastrofer bör tas fram.	Hög	\$\$\$
<b>Järnväg</b>	För återställande behövs andra schabloner tas fram då skadan är av annan karaktär.	Hög	\$\$
<b>Väg</b>	För återställande behövs andra schabloner tas fram då skadan är av annan karaktär.	Hög	\$\$

<b>Väg</b>	Antaganden för bedömning av konsekvenser vid översvämning bör tas fram.	Hög	\$\$\$
<b>Liv</b>	Sannolikheten för att omkomma är mycket låg. Konsekvensområdet måste arbetas om för att inkludera antal påverkade och påverkan i form av stress, upplevd oro mm.	Hög	\$\$\$
<b>Bebyggelse</b>	En ny skadefunktion måste tas fram som beskriver graden av förlust då en fastighet drabbas av översvämning.	Hög	\$\$ - \$\$\$
<b>Generellt</b>	Sammanställ kunskapsläget inom konsekvensanalys för översvämningar. Vad har gjorts?	Hög	\$\$
<b>Generellt</b>	Gå igenom naturolycksdatabaser: finns något nytt sätt att effektivt värdera konsekvenser?	Hög	\$ - \$\$

En enkel GIS-analys har utförts för att visa vikten av olika konsekvensområden i GÄU. Ett beräkningssteg i konsekvensanalysen i GÄU var att dela in älvdalen i ett 100\*100m rutnät och beräkna konsekvenser för varje ruta förutsatt att hela rutan skulle drabbas av ett skred. Konsekvenserna för rutnätet för hela GÄU:s utredningsområde har summerats för respektive konsekvensområde och totalt. *Figur 7-1* visar att med befintlig metodik är Liv och Bebyggelse de viktigaste områdena. Tillsammans med transportsektorn (konsekvensområdena Väg, Järnväg och Sjöfart) summerar de till hela 95 % av de kartlagda skredkonsekvenserna. Detta skulle kunna bero på att de helt enkelt är de viktigaste områdena, men kan också bero på att de är de konsekvensområden som har de mest heläckande konsekvensbeskrivningarna. I tillägg ska sägas att detta avser fördelningen för hela GÄU:s utredningsområde, och lokalt kan även de mindre betydande konsekvensområden vara mycket viktiga. En slutsats man kan dra är att konsekvensområdena VA, Miljöfarlig verksamhet, Energi och ledningsnät, Näringsliv samt Natur och Kulturarv måste vidareutvecklas för att bättre spegla samhällets konsekvenser vid skred.



*Figur 7-1: Bidrag från konsekvensområden till de totala konsekvenserna i GÄU:s utredningsområde (sannolikhetsklass 1 till 5). Transport avser summan av konsekvensområdena Väg, Järnväg och Sjöfart.*

## 8 METODIK FÖR RISKANALYS




### 8.1 Bakgrund

Risken för skred i Göta älvs dalgång klassades inom Göta älvutredningen i tre nivåer; hög, medelhög samt låg. Skredrisken definierades som en kombination av sannolikheten för ett skred och konsekvenserna av skredet.

Varje enskilt område inom utredningsområdet tilldelades en sannolikhetsklass och en konsekvensklass, båda indelade i 5 nivåer. Genom att kombinera dessa två klasser bildades ett talpar som beskriver en riskklass. För att förenkla riskklassningen grupperades de framtagna riskklasserna i tre olika risknivåer bestående av ett antal klasser (talpar) som motsvarar liknande skredrisker, se Figur 8-1.

Sannolikhetsklass	S5	5 / 1	5 / 2	5 / 3	5 / 4	5 / 5
	S4	4 / 1	4 / 2	4 / 3	4 / 4	4 / 5
	S3	3 / 1	3 / 2	3 / 3	3 / 4	3 / 5
	S2	2 / 1	2 / 2	2 / 3	2 / 4	2 / 5
	S1	1 / 1	1 / 2	1 / 3	1 / 4	1 / 5
		K1	K2	K3	K4	K5
		Konsekvensklass				

	Låg risknivå
	Medelhög risknivå
	Hög risknivå

Figur 8-1. Matris över risknivåer. Ett antal klasser (talpar) med liknande riskklasser kombineras till en risknivå.

Konsekvenserna, som värderades enligt beskrivningen i Kapitel 7, avspeglar det monetära värdet av konsekvenserna för var och en av rutorna i de rutnät över utredningsområdet som använts. I händelse av ett skred mot älven kommer en eller flera av dessa rutor att bli drabbade. Ju längre skredet griper in från älven, desto fler rutor kommer att bli berörda vilket gör att riskvärderingen måste ta hänsyn till skredets utbredning.

### 8.2 Syfte och mål

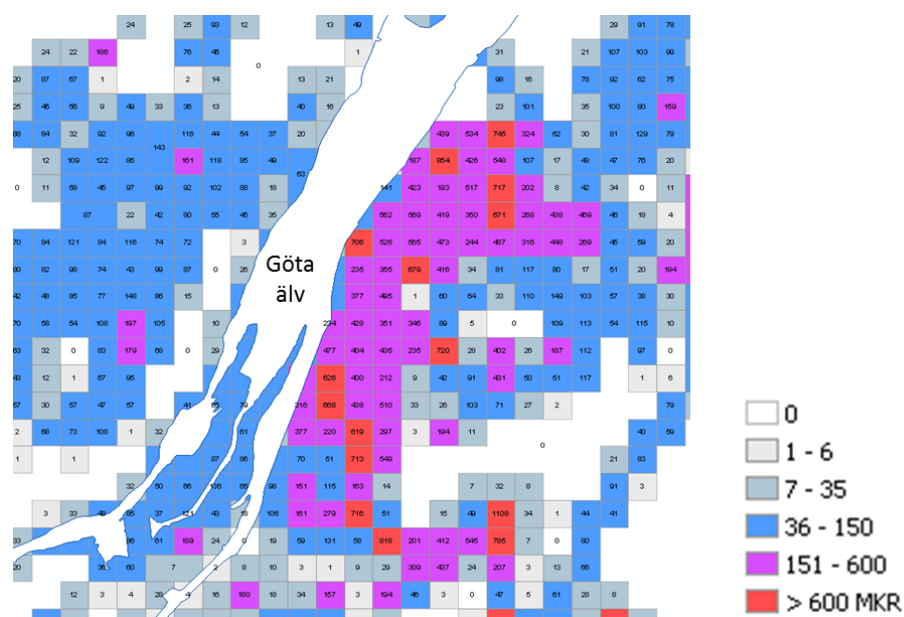
Syftet med detta kapitel är att beskriva det tillvägagångssätt som använts inom Göta älvutredningen för att bestämma det sammanlagda värdet av konsekvenserna av ett skred mot älven samt vilken handpåläggning som krävdes för att färdigställa riskkartan. De valda tillvägagångssätten gör inga anspråk på att vara bättre eller sämre än några



andra utan visar endast möjliga vägar att summera konsekvenserna då skredrisker ska bestämmas och att justera riskkartan.

### 8.3 Beskrivning av anpassad metodik

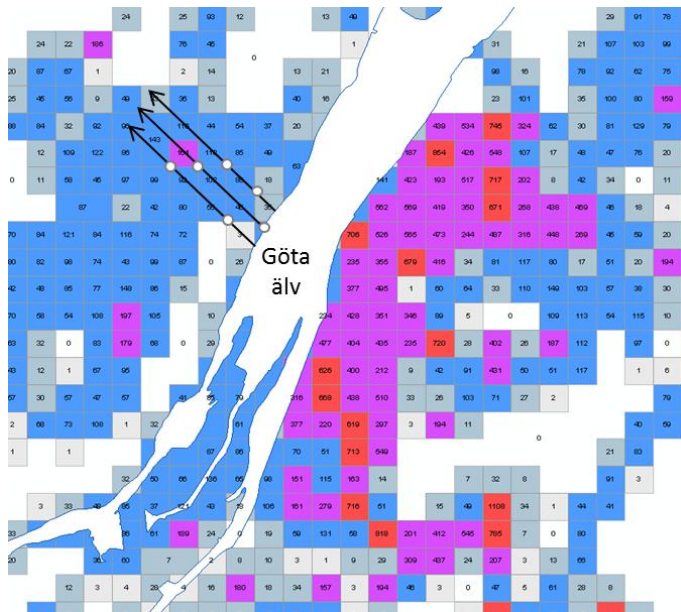
De framtagna konsekvenserna (se vidare Kapitel 7) summerades med hjälp av konsekvensernas olika GIS-lager inom ett rutsystem bestående av 100 x 100 meters rutor. Varje ruta erhöll då ett värde som motsvarar värdet av de sammanlagda konsekvenserna i antal miljoner kronor (se Figur 8-2).



Figur 8-2. Summerade värden för konsekvenser i 100 x 100 m rutor.

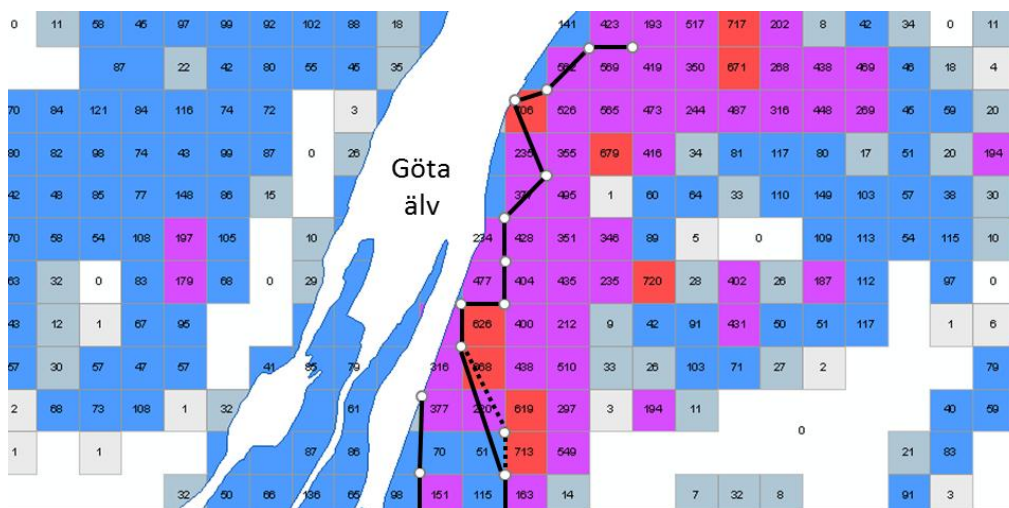
Grundtanken med konsekvenskartan var att varje geografisk punkt på kartan ska visa på storleken av konsekvensen av ett skred som sträcker sig så långt upp från älven som aktuell punkt befinner sig. Detta innebar att ju längre bort från älven som skredet sträcker sig desto större område berörs och konsekvenserna ökar därefter. För att kunna bedöma hur stort landområde (hur många rutor i nätet) som berörs av ett skred krävs antaganden om skredets omfattning och utbredning samt en metod för summering av konsekvenserna.

Det första steget i den använda metoden utgörs av att summera värdet i rutorna vinkelrätt in från älven och när det summerade värdet av konsekvenserna överskrider konsekvensklassernas gränser, så markeras läget på kartan, se Figur 8-3.



Figur 8-3. Konsekvensrutorna summeras vinkelrätt in från älven (svarta pilar) och konsekvensklassgränser markeras (vita punkter).

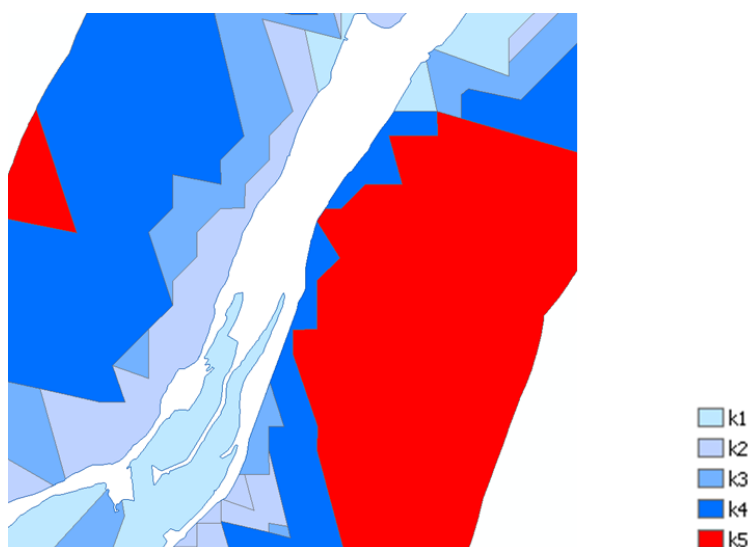
Därefter sammanbands gränspunkterna mellan samma konsekvensklasser för att skapa en karta av konsekvensklassernas isolinjer som visas i Figur 8-4. Eftersom det inte fanns någon möjlighet att bedöma var inom rutan konsekvensvärdet låg, så drogs linjerna på den konservativa sidan (se exempelvis de streckade linjerna som istället blev de heldragna i Figur 8-4).



Figur 8-4. Konsekvenskartan skapas genom att sammanbinda gränspunkterna mellan konsekvensklasserna.

På denna karta med isolinjer drogs därefter linjer i 30 graders lutning (mot en linje vinkelrätt mot älven) bort från älven för varje hörn i konsekvensrutorna. På detta sätt har områden bildats bakom varje hörn inom vilket det ansattes att konsekvenserna skulle vara lika stora eller större än värdet på konsekvenserna för punkten i fråga, se Figur 8-5. Detta innebär exempelvis att om det närmast älven fanns stora konsekvenser kom områden bakom också att erhålla stora konsekvenser även om värdena i rutorna i detta om-

råde var små. När två områden med olika konsekvensklasser överlappade varandra redovisades den klassen med högst värde på kartan.



*Figur 8-5. Hänsyn tas till skredutbredning genom antagande om att varje konsekvensruta ger upphov till ett bakomliggande område med samma konsekvensklass.*

Den på detta sätt framtagna konsekvenskartan kombinerades därefter med sannolikhetskartan så att en riskkarta skapades.

När den automatiskt framtagna riskkartan var på plats granskades och justerades denna med avseende på främst två uppenbara brister i metodiken för bedömning av konsekvenser. Den första justeringen gäller det faktum att vissa stora värden, till exempel höga fastighetsvärden hos en ytmässigt stor fastighet eller då många anställda registrerade vid en adress (företagets huvudkontor), inte är representativa för värdet inom området. Detta eftersom värdet endast registreras i en ruta. Även värdet på fastigheter som ligger på fastmark och vars värde styrde det beräknade värdet på konsekvenser i en ruta fick i vissa uppenbara och väl dokumenterade fall plockas bort för hand för att få en korrekt bild av skredrisken i aktuella rutan.

Den andra justeringen föranleddes av att konsekvenserna är sammanställda i ett rutnät med nord-sydlig riktning och behöver därför justeras där älven eller olika långsträckta anläggningar, såsom väg och järnväg, går i en kraftig vinkel mot konsekvensernas rutnät. I dessa fall får den automatiskt beräknade risken en sågtandliknande form vilket måste justeras för att visa den verkliga riktningen och läge i plan av de sammaställda konsekvenserna.

Utöver ovanstående justeringar gjordes även en komplettering av riskkartan genom att rita in skredutbredningen i vissa områden med hänsyn till dokumenterad förekomst av kvicklera, enligt en metodik som utvecklades i en särskild arbetsgrupp inom Göta älvtutredningen.

#### **8.4 Behov av fortsatt utveckling**

Den i detta avsnitt beskrivna metoden att bedöma en trolig skredutbredning som underlag för en konsekvensbedömning är i behov av fortsatt utveckling. Bedömning av skredets utbredning kommer alltid att vara behäftad med osäkerheter eftersom skredet

kan utvecklas till ett stort avstånd från älven i ett relativt smal område, eller till små avstånd från älven i ett brett område längs med älven. Ett bättre underlag för en sådan bedömning skulle exempelvis kunna fås genom att studera utbredning av tidigare inträffade skred i samma geologiska miljö som utredningen utförs för.

Dessutom behöver en metod att automatiskt addera konsekvenser vinkelrätt mot vattendrag utvecklas. För att bättre kunna ta hänsyn till vattendraget och de olika anläggningarnas läge och riktning i plan skulle ett automatisk (digitalt) sätt att förändra formen på rutnätet som används behöva utvecklas.

## REFERENSER

- Ahlbom, E, Eriksson, A, Storvall, E & Strömqvist, L (2009) Varför rasar det? En grävande undersökning av skred i lera. Chalmers tekniska högskola. Geologi och geoteknik. Kandidatarbete 2009. Göteborg.
- Andersson, M, Lundström, K, Rankka, W & Rydell, B (2008) Erosion och sedimenttransport i vattendrag. Statens geotekniska institut, SGI. Varia 592. Linköping.
- Andersson-Sköld, Y (2011) Metodik för inventering och värdering av konsekvenser till följd av skred i Göta älvdalen. Statens geotekniska institut, SGI. Göta älvutredningen. GÄU. Delrapport 12. Linköping.
- Banverket (2009) Beräkningshandledning, Hjälpmedel för samhällsekonomiska bedömningar inom järnvägssektorn, BVH 706.
- Banverket (2008) Metodbeskrivning, Riskanalys vald järnvägssträcka, Del 1 Handledning. 2008-02-06.
- Berggren, B, Alén, C, Bengtsson P-E & Falemo, S (2011) Metodbeskrivning sannolikhet för skred: Kvantitativ beräkningsmodell. Statens geotekniska institut, SGI. Göta älvutredningen. GÄU. Delrapport 28. Linköping.
- Bergman, R (2011a) Metodik konsekvensbedömning – Väg. Statens geotekniska institut, SGI. Göta älvutredningen. GÄU. Delrapport 17. Linköping.
- Bergman, R (2011b) Metodik konsekvensbedömning – Järnväg. Statens geotekniska institut, SGI. Göta älvutredningen. GÄU. Delrapport 18. Linköping.
- Bergman, R (2011c) Metodik konsekvensbedömning – Sjöfart. Statens geotekniska institut, SGI. Göta älvutredningen. GÄU. Delrapport 16. Linköping.
- Bergquist, U (2010) Trollhättan Energi, personlig kommunikation 2010-08-31.
- Bergström, S (1999) Höga vattenflöden i reglerade älvar. SMHI, Fakta nr 1.
- Bernander, S (2009) Down-hill progressive landslides in soft clays. Triggering disturbance agents. Slide propagation over horizontal or gently sloping ground. Sensitivity related to geometry. Luleå University of Technology. Dept of Civil Mining and Environmental Engineering. Division of Mining and Geotechnical Engineering. Research Report 2008:11.
- Carlsson, M (2011) Vattenfall, personlig kommunikation 2011-06-01.
- Falemo, S (2011a) Metodik konsekvensbedömning – Bebyggelse. . Statens geotekniska institut, SGI. Göta älvutredningen. GÄU. Delrapport 14. Linköping.
- Falemo, S (2011b) Metodik konsekvensbedömning – Kartläggning, exponering, sårbarhet och värdering av liv. Statens geotekniska institut, SGI. Göta älvutredningen. GÄU. Delrapport 15. Linköping.
- Frogner-Kockum, P (2011) Metodik konsekvensbedömning – Energi och ledningsnät. Statens geotekniska institut, SGI. Göta älvutredningen. GÄU. Delrapport 21. Linköping.
- Grahn, T (2011a) Metodik konsekvensbedömning – Näringsliv. Statens geotekniska institut, SGI. Göta älvutredningen. GÄU. Delrapport 23. Linköping.
- Grahn, T (2011b) Metodik konsekvensbedömning – Kulturarv. Statens geotekniska institut, SGI. Göta älvutredningen. GÄU. Delrapport 24. Linköping.

- Göransson, G, Persson, H & Lundström, K (2011) Transport av suspenderat material i Göta älv. Statens geotekniska institut, SGI. Göta älvutredningen, GÄU. Delrapport 4. Linköping.
- Helgesson, H & Rihm, T (2011) Metodik konsekvensbedömning – Miljöfarliga verksamheter och förorenade områden. Statens geotekniska institut, SGI. Göta älvutredningen. GÄU. Delrapport 19. Linköping.
- IEG (2010) "Tillståndsbedömning/klassificering av naturliga slänter och slänter med befintlig bebyggelse och anläggningar". Vägledning för tillämpning av Skredkommissionens rapporter 3:95 och 2:96. Implementeringskommissionen för Europastandarder inom Geoteknik, IEG Rapport 4:2010.
- Jamiolkowski, M, Ladd, CC, Germaine, JT & Lancellotta, R (1985) New developments in field and laboratory testing of soils. International conference on soil mechanics and foundation engineering, 11, San Francisco, Aug. 1985. Proceedings, Vol. 1, pp 57-153.
- Johansson, H (2010) Vattenfall. Personlig kommunikation 2010-04-06, 2010-05-10.
- KP (2010) KP-fakta 2010.
- Ladd, CC & Foott, R (1974) New design procedure for stability of soft clays. ASCE. Journal of the geotechnical engineering division, Vol 100, No GT7, pp 763-786.
- Larsson, R (1990) Behaviour of organic clay and gyttja. Results from investigations in Swedish gyttja-bearing soils supplemented with results from a similar Finnish investigation and experience from sulphide-rich soils (svartmocka). Statens geotekniska institut, SGI. Rapport 38. Linköping.
- Larsson, R. (2008) Jords egenskaper. Statens geotekniska institut, SGI. Information 1. Linköping.
- Larsson, R Statens geotekniska institut, SGI. Personlig kommunikation 2009-01-09.
- Larsson, R (2011a) Inverkan av förändringar i porvattnets kemi, främst salturlakning, på naturlig leras geotekniska egenskaper. Litteraturstudie. Statens geotekniska institut, SGI. Göta älvutredningen. GÄU. Delrapport 31. Linköping.
- Larsson, R (2011b). Metodbeskrivning för SGI:s 200 mm diameter 'blockprovtagare' - Ostörd provtagning i finkornig jord. Statens geotekniska institut, SGI. Göta älvutredningen. GÄU. Delrapport 33. Linköping.
- Larsson, R, Bengtsson, P-E & Edstam, T (2008) Vägbyggande med hänsyn till omgivningens stabilitet. Vägverket Region Väst Dnr AL90 B 2007:27435. SGI slutrapport 08-05-29.
- Larsson, R, Sällfors, G, Bengtsson, PE, Alén, C, Bergdahl, U & Eriksson, L (2007) Skjuvhållfasthet - utvärdering i kohesionsjord. Statens geotekniska institut, SGI. Information 3. Linköping.
- Larsson, R, & Åhnberg, H (2003) Long-term effects of excavations at crests of slopes. Statens geotekniska institut, SGI. Rapport 61. Linköping.
- Löfroth, H (2011) Kartering och kvicklereförekomst för skredriskanalyser inom Göta älvutredningen – Utvärdering av föreslagen metod samt preliminära riktlinjer. Statens geotekniska institut, GÄU. Delrapport 29. Linköping.
- MSB (2010) <https://www.msb.se/sv/Forebyggande/Naturolyckor/Skred-ras-och-erosion/Vad-ar-skred-och-ras/Raviner/> ( 2012-11-07)

- Möller, B & Bergdahl, U (1982) Estimation of sensitivity of soft clays from static weight sounding test. European symposium on penetration testing, 2, ESOPT, Amsterdam, May 1982. Proceedings, Vol. 1, pp 291-295.
- Naturvårdsverket (2008) Ekologisk restaurering av vattendrag.
- Nilsson, R (2012) Vattenfall, Fjärrvärme. Personlig kommunikation 2012-10-15.
- Nordahl, S (2007) Materialmodeller og numeriske simuleringer: Utfordringer med store muligheter. Presentation vid Geotekniska forskardagar, Linköping 23-24 oktober 2007.
- Nordblom, O. (2005). Detaljstudie av bottenströmmar i planerade muddertippområden i Bråviken. SMHI. Rapport nr. 22.
- Rankka, K, Andersson-Sköld, Y, Hultén, C, Larsson, R, Leroux, V & Dahlin, T (2004) Quick clay in Sweden. Statens geotekniska institut, SGI. Rapport 65. Linköping.
- Rosby centre (2009)  
<http://www.smhi.se/klimatdata/klimatscenarioer/scenariokartor/1.1904>. 2012-10-11.
- Rydell, B, Blied, L, Persson, H & Rankka, W (2011a) Erosionsförhållanden i Göta älv. Statens geotekniska institut, SGI. Göta älvutredningen, GÄU. Delrapport 1. Linköping.
- Rydell, B, Blied, L, Persson, H, Åström, S & Gyllenram, W (2011b) Fördjupningsstudie om erosion i vattendrag. Statens geotekniska institut, SGI. Göta älvutredningen, GÄU. Delrapport 2. Linköping.
- Rydell, B, Persson, M, Andersson, M & Falemo, S (2011c) Hållbar utveckling av strandnära områden – Planerings- och beslutsunderlag för att förebygga naturolyckor i ett förändrat klimat. Statens geotekniska institut, SGI. Varia 608. Linköping.
- Rydell, B, Hågeryd, A.-C, Hedfors, J, Blied, L & Turesson, S. (2012) Metodik för översiktlig inventering av erosionsrisker. Statens geotekniska institut, SGI. Linköping.
- Rydell, B, Törnqvist, O, Wiman, S, Hågeryd, A-C (2010) CoastSat – Fjärranalys med satellitbilder för uppföljning av erosion i kustområden. Statens geotekniska institut, SGI. Varia 616. Linköping.
- Persson, G, Sjökvist, E, Gustavsson, H, Andréasson, J & Hallberg, K (2012) Klimatanalys för Västmanlands län. SMHI. Rapport nr 2012-10.
- Riksantikvarieämbetet (2009) Metodhandledning i samhällsekonomisk konsekvensanalys. Kulturmiljön i miljömålsarbetet. Riksantikvarieämbetet. Rapport 2008:2.
- SGF (1996) Geoteknisk fälthandbok. Allmänna råd och metodbeskrivningar. Svenska Geotekniska Föreningen, SGF. Rapport 1:96.
- SGF (2009) Metodbeskrivning för provtagning med standardkolvprovtagare, Ostörd provtagning i finkornig jord. Svenska Geotekniska Föreningen, SGF. Rapport 1:2009.
- SIKA, 2008:3. Samhällsekonomiska principer och kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 4. 2009-10-19.
- Skredkommissionen (1990) Ras och skred i Sverige. Ingenjörsvetenskapsakademien. Skredkommissionen. Rapport 2:90. Linköping.
- Suer, P (2011) Metodik konsekvensbedömning – Naturmiljö. Statens geotekniska institut, SGI. Göta älvutredningen, GÄU. Delrapport 20. Linköping.

Sundborg, Å & Norrman, J (1963) Göta älv – hydrologi och morfologi med särskild hänsyn till erosionsprocesserna. Sveriges Geologiska Undersökning, SGU. Serie Ca 43. Uppsala.

Svensk Energi (2007) Elförsörjningen i Sverige. Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och Sårbarhetsutredningen, SOU 2007:60 (B8).

Svenska Kraftnät (2007) Konsekvenser för Svenska kraftnäts anläggningar p.g.a. klimatförändringar. Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och Sårbarhetsutredningen, SOU 2007:60 (B7).

SweBoat 2012, Fakta om båtlivet i Sverige 2012.

Thakur, V & Degago, SA (2012) Quickness of sensitive clays. Géotechnique Letters, Vol 2, No 3, pp 87-95.

Torrance, JK (1974) A laboratory investigation of the effect of leaching on the compressibility and shear strength of Norwegian marine clays. Geotechnique, Vol 24, No 2, pp 155-173.

Viksten, L (2010) Fortum. Personlig kommunikation 2010-03-31.

Vägverket, 2009:150 Gemensamma förutsättningar, Kapitel 5 Trafikundersökningar, prognoser och vägnät, Effektsamband för vägtransportsystemet, Samhälle och Trafik, 2009-11-25.

Vägverket (2005) Fördjupning, Riskanalys vald vägsträcka. Publikation 2005:55.

Zachariadis M (2010) Banverket. Personlig kommunikation 2010-03-08.

Åhnberg, H & Larsson, R (2012) Strength degradation of clay due to cyclic loadings and enforced deformations. SGI projektnr 13904/14107/14350. Under utarbetning.

Åhnberg, H, Larsson, R, Bengtsson, P-E, Lundström, K, Löfroth, H & Tremblay, M (2011) Hantering av kvicklereförekomst vid stabilitetsbedömning för Göta älv – Riktlinjer. Statens geotekniska institut, SGI. Göta älvutredningen. GÄU. Delrapport 33. Linköping.



## Bilaga 1 – Personer som har bidragit med svar till frågor om framtagna metodiker.

Grupp	Organisation	Ort	Namn	Befattning	frågor
Entreprenör	Skanska	Göteborg	Torbjörn Edstam	Specialist inom geoteknik	kvicklera, sannolikhet, skjuvhållfasthet
Försäkringsbolag	Länsförsäkringar	Stockholm	Torbjörn Olsson	Forskningschef	konsekvens och risk
Kommun	Räddningstjänsten	Karlstad	Henrik Larsson	Säkerhetskoordinator	konsekvens och risk
Kommun	Sollefteå kommun	Sollefteå	Åke Gullersbo	Ansvarig för avdelningen Mark & trafik	konsekvens och risk
Kommun	Stadsbyggnadskontoret	Göteborg	Anna-Maria Edvardsson	Geotekniker/geolog	konsekvens och risk
Konsult	BohusGeo	Göteborg	Mats Falk	Geotekniker	kvicklera, sannolikhet, skjuvhållfasthet
Konsult	SWECO	Göteborg	Svante Roupé	Kusthydrauliker och hamnprojektör	erosion
Konsult	SWECO	Göteborg	Urban Högsta	Geotekniker	sannolikhet
Konsult	Tyréns	Göteborg	Bengt Hansson	Affärsområdeschef på Mark & säkerhet	konsekvens och risk, kvicklera, skjuvhållfasthet
Myndighet	Boverket	Karlskrona	Bengt Larsén	Utredare	konsekvens och risk
Myndighet	Länsstyrelsen	Stockholm	Christina Frost	Projektledare samhällsskydd och beredskap	konsekvens och risk
Myndighet	Länsstyrelsen	Värmland	Lotta Olsson	Handläggare risk- och säkerhet	konsekvens och risk
Myndighet	Länsstyrelsen	Västra Götaland	Charlotta Källerfelt	Klimatanpassningssamordnare	konsekvens och risk
Myndighet	MSB	Karlstad	Mette Lindahl	Chef på enheten för skydd av samhällsviktig verksamhet	konsekvens och risk
Myndighet	MSB	Karlstad	Margareta Nisser	Projektledare	erosion
Myndighet	Sjöfartsverket	Trollhättan	Ingvar Dyberg	Sjötrafikområdeschef	erosion
Myndighet	SMHI	Norrköping	Sture Lindahl	Oceanograf	erosion
Myndighet	Trafikverket	Göteborg	Jan Ekström	Strateg	konsekvens och risk
Myndighet	Trafikverket	Göteborg	Bo Kristoffersson	Arbetar med underhåll	konsekvens och risk
Myndighet	Trafikverket	Göteborg	Anders Hallingberg	Geotekniker	kvicklera, sannolikhet, skjuvhållfasthet

Universitet	Chalmers	Göteborg	Claes Alén	Professor	sannolikhet
Universitet	Göteborgs universitet	Göteborg	Martin Persson	Doktorand på institutionen för geovetenskaper	kvicklera

Metod för konsekvens- och riskanalys

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Organisation	Räddningstjänsten	Länstyrelsen	Länstyrelsen	MSB	Länstyrelsen	Tvårens	Trafikverket	Trafikverket	Kommun	Trafikverket	Länstöringsgrupper	Boverket
Ort	Karlstad	Västera Götaland	Göteborg	Göteborg	Stockholm	Göteborg	Jan. Ekström	Jan. Ekström	Sollefteå	Bo. Kristoffersson	Torbjörn Olsson	Bengt Farning
Uppdrag	Henrik Larsson	Charlotta Kallerfelt	Lotta Olsson	Mette Lindahl	Christina Frost m. fl.	Bengt Hansson	Jan. Ekström	Jan. Ekström	Ake Gulleström	Arbetsgrupp för utredning	Forskningschef	Utredare
Berättigande	Säkerhetskoordinator	Klimatanpassningsmyndigheten	Handläggare risk och säkerhet	Geotekniker/ geolog	Affärsområdeschef på Mark & Anläggning	Affärsområdeschef på Mark & Anläggning	Strateg	Strateg	Trafik	Arbetsgrupp för utredning	Forskningschef	Utredare
1. Vilken roll har organisationen när det gäller konsekvens och riskbedömning?	Övergripande ansvar för 6 värmiländska kommuner. I vissa mån rådgivande verksamhet	Görklar alla planer som kommer in från kommunerna (enligt PBL)	Arbetsgrupp för planfrågor (detalj- och översiktsplaner) samt övergripande frågor	Stödjer kommuner och länstyrelser i arbetet med beslutunderlag samt risk- och sårbarhetsanalyser. Bidrar till en stor stabilitetsutredning	Tillhandahåller information, vara rådgivande och i vissa skeden av planeringsprocessen även vara granskande myndighet	Agerar rådgivande till privata, statliga och kommunala beställare	Identifierar och åtgärdar problem för väg och järnväg	Identificerar och åtgärdar problem för väg och järnväg	Kommunen har en stor roll som markägare och som planerare. Har också ett visst ansvar via Rådningstjänsterna	Trafikverket har ansvar för vägar och järnvägar i Sverige och har därför en stor roll i detta.	Man försöker fastslå och därför är det viktigt att förstå de ekonomiska konsekvenserna.	Boverket har en roll som att se till att frågan beaktas i planeringen. Man har också ett ansvar utifrån hälsa & säkerhet enligt PBL
2. Bedömer ni konsekvens och risk för åretd och år?	Ja (genom inhyrda konsulter)	Nej (granskar de bedömliga kommunerna för glaci, blind med hjälp av SGI)	Nej	Ja	Ja	Ja	Ja (via konsulter)	Ja	Ja	Ja	Nej, men man ska just börja med det (i östra ändelen)	Nej
a) Vilket syfte och sammanhang?	Vid t ex en utredning av konsekvens (som resulterade i inläsning av fastigheter)	-	-	I den närliggande utredningen ingick inte konsekvens men man har kompletterat efteråt.	I övergripande sammanhang (påvisa generella riskområden), bedömer och hanterar kommunernas beräkningar.	Granskar kommunernas översiktliga och detaljplaner.	Vid nybyggnation samt vid underhåll av befintlig väg- och järnvägsnät	Frams vid planläggning och byggnadsbyggnation	Vid utredning om ekonomiska konsekvenser	Vid både nybyggnation och underhåll	-	-
b) Vilka metoder används?	Vet ej	-	-	Ingen regelrätt metod utan översiktligt vägt in konsekvenser, t ex liv	Metoderna används av kommunerna och de handläggare som arbetar med detta känner till dem	Gör inga geotekniska bedömningar riskklassificering men är mindre konsekventa. Tittar mindre på bebyggelse etc. utifrån GIS-underlag	Använder SGIS-modell för riskklassificering men är utförd inom kommunen. Grundar mycket på erfarenhet och trad. Geo. Utredningar. Enkel matris grundad på stabilitet/konsekvens för konsekvensbedömning	Utgår primärt från MSB:s stabilitetsklassering som är utförd inom kommunen. Grundar mycket på erfarenhet och trad. Geo. Utredningar. Enkel matris grundad på stabilitet/konsekvens för konsekvensbedömning	Man avser utgå från materialet i GAU	Man avser utgå från materialet i GAU	-	
c) Funderar metoden bra? Behov av anpassning?	Ja. Har t ex gett väldigt bra underlag.	-	-	Önskar fortsätta utveckling för kostnad och samhällskonsekvenser	-	Metoderna behöver bli mer samhällsorienterade	Fungerar bra men är svårt vad det gäller hantering av framtida klimatförändringar	Många existerande metoder är ej tillämpbara på nordländska situationer. Kommunen driver just nu ett projekt med SGI för att förbättra detta	Vet ej (eftersom man ännu inte börjat med detta)	Vet ej (eftersom man ännu inte börjat med detta)	-	
d) Vad bevisar det på att ni inte bedömer detta?	-	-	Har rite den kompetens som krävs	-	-	-	-	-	-	Tillgåva har man inte haft tillräckligt bra underlag	Tillgåva har man inte haft tillräckligt bra underlag	Agerar endast granskande och med expertis för detta
3. Är du bekant med GAU?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja, något	Ja	Ja	Ja, känner till	Ja, något	Ja	Ja
a) Känner du till någon metod framtagen inom GAU?	Nej	Nej	Ja, men endast översiktligt	Ja	Ja (matrisen för bedömning av risker utifrån sannolikhet och konsekvens)	Ja	Ja	Ja	Nej	Har sett de och minns det som att de liknade Trafikverkets metoder	Ja, men minns inte riktigt	Nej
b) Vad är ditt allmänna intryck av metoderna?	-	-	Vet för lite om det	Bra!	Metodutvecklingen är på rätt spår, dvs konsekvenser utifrån flera aspekter (t ex liv, miljö, kulturav)	Det finns brister, se nedan	Ett väldigt seriöst och bra grundarbete!	Vet för lite om det	-	-	Svåra frågor kring publicering av kända uppgifter	-
c) Ser du något behov av modifiering av de framtagna metoderna?	-	-	Vet ej.	Vet för lite om det	Ytterligare utveckling krävs och att man tittar på sekundära konsekvenser och mjukare parametrar. Resultatpresentationen måste bli mer användbar för beslutsfattare och politiker	Ansers att det är viktigt att få med faktorer som intensitet, omfattning, varaktighet, upprepning och om beroenden mellan olika verksamheter. Vidare är det väldigt svårt att översätta dessa till konsekvenser för den som misförsäkras.	Vet ej. Men det är viktigt att metoderna ajourhålls	Vet ej. Men det är viktigt att metoderna ajourhålls	-	Vet ej men påpekar att det är svårt att värdesätta skador på personer, egendom, varumärken etc.	Saknar ev. sekundära effekter, t ex översvämning till följd av skred	-
d) Önskar ni hjälp att komma igång med användningen av metoderna?	-	Nej	Vill att konsekvensanalys ska nå ut bättre till kommunerna	Vill att konsekvensanalys ska nå ut bättre till kommunerna	Ser att behovet finns hos kommuner och länstyrelser. Vill också att kunskapen blir användbar vid operativa lägen, t ex för Rådningstjänsten	Nej	Nej	Nej	-	Vet ej, men det kan ev. vara av intresse framöver	-	-
Övriga kommentarer	-	-	Framhäver att GAU utfördes på en lagom nivå och presenterades lättförståeligt	-	-	-	-	-	Önskar bättre myndighetsstöd till kommuner eftersom man ofta saknar geoteknisk kompetens.	-	-	Tycker att det är viktigt att framkomma resultat när berörda kommuner

## Metod för kartering och hantering av kvicklera

Nr.	1	2	3	4	5
Organisation	Trafikverket	Tyréns	BohusGeo	Göteborgs universitet	Skanska
Ort		Göteborg	Göteborg	Göteborg	Göteborg
Namn	Anders Hallingberg	Bengt Hansson	Mats Falk	Martin Persson	Torbjörn Edstam
Befattning	Geotekniker	Affärsområdeschef på mark & anläggning	Geotekniker	Doktorand på inst. för geovetenskaper	Specialist inom geoteknik
1 Vilken roll har organisationen när det gäller kartering och hantering av kvicklera?	Trafikverket har anläggningar som direkt berörs av eventuella bakåtgripande skred i kvicklereområden	Det är avgörande inom i stort sett alla geotekniska utredningar	Eftersom man är en konsult på Västkusten kommer det in i alla stabilitetsutredningar	Rollen inkluderar kartering av geologiska förutsättningar för kvicklerebildning.	Karterar ej kvicklera men hanterar den
2 Använder ni idag någon metod för kartering och hantering av kvicklera?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja, för hantering (ej katering)
a I vilket syfte och sammanhang?	Framförallt vid nybyggnation	Alla geotekniska utredningar	I stabilitetsutredningar samt för t ex pålning och schaktning	Metoden är fortfarande på forskningsstadiet	Vid nybyggnation där kvicklera förekommer
b Vilken metod används?	En metod som bygger på norska erfarenheter och som har tagits fram i samråd med SGI	Bedömningen baseras på rutinundersökningar utförda på lab samt totaltryckssondering. För 10 år sedan testades seismik	Nästan uteslutande kolvprovtagning och till viss del totaltryckssondering	Modellering (multi-criteria evaluation) i GIS-miljö	Utgår från Trafikverkets TK Geo samt SGI:s riktlinjer
c Fungerar metoden bra? Behov av anpassning?	Finns inget facit men det är en enkel metod så man är nöjd	Det fungerar bra men svårt att avgränsa ett område med kvicklera.	Metoden fungerar väl! Saknar ev. något sätt att bedöma den spatiala utbredningen	Ja, till viss del. Dock krävs vidareutveckling för tillämpat bruk.	Tror att man behöver betrakta kvicklera på nytt sätt och NGI samt Stig Bernander är på rätt väg.
d Ser ni något behov av en sådan metod?	-	-	-	-	-
e Vilka krav har ni då på en sådan metod?	-	-	-	-	-
3 Är du bekant med GÄU?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
a Känner du till någon metod framtagen inom GÄU?	Ja	Ja (använde metoden inom GÄU)	Ja (vissa delar)	Ja	Nej, önskar workshop
b Vad är ditt allmänna intryck av metoderna?	Det är ett stort steg framåt för kunskapen om kvicklera. Det är dock alltid svårt just vid gränsdragning	Är i grunden positiv till de använda metoderna (baserade på excelark). Det är bra som indikation men kan inte ersätta fältarbete	Tror inte på dessa metoder utan menar att kolvprovtagning är det enda säkra	Anser att vissa delar fanns innan GÄU men tycker att vidareutvecklingen har varit bra. Ny provtagning (t ex blockprovtagare) blir intressant först när studier/artiklar visar att resultatet skiljer sig från befintliga metoder.	-
c Ser du något behov av modifiering av de framtagna metoderna?	Det krävs framtida diskussioner eftersom metoderna inom Trafikverket och GÄU skiljer sig åt.	Excelarken var relativt omständiga och det vore bra om arbetet kunde rationaliseras och få en koppling till t ex GeoSuite	Ev. då att kunna avgränsa kvicklerans utbredning	En strategi eller standard för hur olika metoder kombineras bäst vore bra. Modellering skulle kunna täppa till vissa luckor.	-
Övriga kommentarer					

## Metod för beräkning av skredsannolikhet

Nr.	1	2	3	4	5
Organisation	Trafikverket	BohusGeo	Skanska	SWECO	CTH
Ort		Göteborg	Göteborg	Göteborg	Göteborg
Namn	Anders Hallingberg	Mats Falk	Torbjörn Edstam	Urban Högsta	Claes Alén
Befattning	Geotekniker	Geotekniker	Specialist inom geoteknik	Chef geoteknik	Professor
1 Vilken roll har organisationen när det gäller bedömning av sannolikhet för skred?	Trafikverket har anläggningar som i stor utsträckning bör bedömas med avseende på skred	Det är ofta det ett uppdrag går ut på	Det är relevant i många byggprojekt		
2 Använder ni idag någon metod för bedömning av sannolikhet för skred?	Ja	Ja	Ja	JA	JA
a I vilket syfte och sammanhang?	Vid utredningar för såväl befintliga anläggningar som vid nybyggnation	Inom de flesta utredningar	Ofta i byggprojekt (jobbar ej med planeringsskede)	Utredningar	Utveckling metodik, utredningar (granskning)
b Vilken metod används?	Ett traditionellt betraktande av Fc utifrån undersökning. Inom Trafikverket har man ännu inte ett enhetligt betraktelsesätt från Banverket/Vägverket	Baseras på Skredkommissionens rapporter samt europeisk standard	Tittar ej explicit på sannolikheten utan jobbar med gällande säkerhetsfaktorer/partialkoefficienter	Monte Carlo, Punktskattningsmetod	
c Fungerar metoden bra? Behov av anpassning?	Se ovan: det krävs en samsyn.	Ja, men önskar en tydligare värdering/betygsättning av risker	Önskar nog ett mer explicit sätt att uttrycka sannolikheten, t ex 1:1000 eller 1:10000	Urban och Sweco har använt statistik i syfte att kunna motivera att ligga lågt i spannet för tillåten säkerhetsfaktor. De har använt Monte Carlo simulering (i Slope) och punktskattningsmetoden. Han är inte insatt i den metodik vi använt inom GÄU men känner till hur Claes hanterar direktmetoden och har synpunkten att idealisering av släntformen ger en ganska betydande osäkerhet i resultatet. Han menade vidare att det är svårt att hitta efterfrågan och att få beställare att betala för sannolikhetsbestämningar idag. Han sa också att efter det att IEG:s "slänter och bankar" nu anpassats för rekommendationer i 2:96 finns inte behov av att räkna fram sannolikheten längre för att hitta erforderlig förstärkningsnivå.	Claes har haft i uppdrag åt Trafikverket att göra den metodik vi tog fram inom GÄU mer lättillgänglig. Claes uppfattning är att för att metodiken ska bli använd måste den vara mer lättillgänglig.
d Ser ni något behov av en sådan metod?	-	-	-	Se ovan	
e Vilka krav har ni då på en sådan metod?	-	-	-		
3 Är du bekant med GÄU?	Ja	Ja	Ja	Ja	
a Känner du till någon metod framtagen inom GÄU?	Ja	Nej	Nej men önskar workshop!	Nej (men direktmetoden så som Claes använt den tidigare)	Ja
b Vad är ditt allmänna intryck av metoderna?	GÄU:s sätt att se på skredsannolikheten är intressant. Är inte helt nöjd med konsekvensklassningen där det blir olika klassning beroende på antal objekt.	-			
c Ser du något behov av modifiering av de framtagna metoderna?	Tror att det kommer gå mot att man tittar på hur man kan åstadkomma en procentuell förbättring av säkerhetsfaktorn.	-			Förenkling
d Önskar ni hjälp att komma igång med användningen av metoderna?	Nej	-			
Övriga kommentarer					

## Metod för bestämning av skjuvhållfasthet under vattendrag

Nr.	1	2	3	4
Organisation	Trafikverket	Tyréns	BohusGeo	Skanska
Ort		Göteborg	Göteborg	Göteborg
Namn	Anders Hallingberg	Bengt Hansson	Mats Falk	Torbjörn Edstam
Befattning	Geotekniker	Affärsområdeschef på mark & anläggning	Geotekniker	Specialist inom geoteknik
1 Bedömer ni skjuvhållfasthetsfördelning under vattendrag?	Ja	Ja	Ja	Ja
a I vilket syfte och sammanhang?	I utredningar nära vattendrag	I utredningar nära vattendrag	I utredningar nära vattendrag	Vid projektområden där det är aktuellt
b Vilken metod används?	Flotte i älven	Samma som på land men kompletterat med flotte	CPT är en klar favorit, men även vinge, kolv, skjuvförsök och CRS	Fältundersökningar
c Fungerar metoden bra? Behov av anpassning?	Det är enklare att utgå från en fix säkerhetsfaktor men svårt vid nya anläggningar	Fungerar bra men saknar möjlighet att modellera parametrar (t ex portryck, hållfasthet) i övergångszonen (e.g. stranden)	Ja	Vet att man tittar på nya metoder, såväl för fält samt alternativ till fältundersökningar. Det är intressant om det går att spara pengar på det
d Ser ni något behov av en sådan metod?	-	-	-	-
e Vilka krav har ni då på en sådan metod?	-	-	-	-
2 Är du bekant med GÄU?	Ja	Ja	Ja	Ja
a Känner du till någon metod framtagen inom GÄU?	Ja, något	Ja, men minns inte var det landade till sist!	Nej, ingen koll på metoden men vet att det utvecklades en blockprovtagare	Nej, men önskar workshop!
b Vad är ditt allmänna intryck av metoderna?	Bra men känner inte till närmare	Ingen synpunkt	Ingen kommentar	-
c Ser du något behov av modifiering av de framtagna metoderna?	-	Ingen synpunkt	Ingen kommentar	-
d Önskar ni hjälp att komma igång med användningen av metoderna?	Nej	Gärna en workshop	Nej	-
Övriga kommentarer				

## Metod för analys av erosion

Nr.	1	2	3	4	
<b>Organisation</b>	SMHI	MSB	Sjöfartsverket	SWECO	
<b>Ort</b>	Göteborg			Göteborg	
<b>Namn</b>	Sture Lindahl	Margareta Nisser	Ingvar Dyberg	Svante Roupé	
<b>Befattning</b>	Oceanograf	Projektledare	Sjötrafikområdeschef	Kusthydrauliker och hamnprojektör	
1	<b>Bedömer ni erosionsförhållanden i vattendrag?</b>	Ja	Ja	Ja (via SGI)	Ja
a	<b>I vilket syfte och sammanhang?</b>	Bedömning av erosion runt konstruktioner	Vid översiktliga stabilitetskarteringar, handläggning av statsbidrag för kommuner	Sjöfartsverket och Vattenfall äger tillsammans erosionskydd längs Göta älv	Vid nybyggnation samt vid underhåll av befintliga broar, hamnar och erosionskydd
b	<b>Vilken metod används?</b>	Beräkning av strömmar och skjuvspänningar med hydraulikmodeller	Ingen kommentar	SGI står för metoderna	Ingen generell metod utan alla har sitt sätt, t ex utifrån gamla kurskompendier
c	<b>Fungerar metoden bra? Behov av anpassning?</b>	Kan definitivt utvecklas	Kan vara bra med förfinade metoder	Verkar fungera bra	Gillar enkla formler och diagram och saknar detta för kohesiva material
d	<b>Ser ni något behov av en sådan metod?</b>	-	-	-	-
e	<b>Vilka krav har ni då på en sådan metod?</b>	-	-	-	-
2	<b>Är du bekant med GÄU?</b>	Ja	Ja	Ja	Ja, lite
a	<b>Känner du till någon metod framtagen inom GÄU?</b>	Ja	Ja	Nej	Nej
b	<b>Vad är ditt allmänna intryck av metoderna?</b>	Metoderna är bra men något grova	Väldigt bra men för kostsamma för t ex kommuner	-	-
c	<b>Ser du något behov av modifiering av de framtagna metoderna?</b>	För att komma längre bör man koncentrera sig på uppskattningen/mätningen av den kritiska skjuvspänningen	Inga kommentarer	-	-
d	<b>Önskar ni hjälp att komma igång med användningen av metoderna?</b>	Samarbetar gärna!	Inga kommentarer	-	-
	<b>Övriga kommentarer</b>				

## Bilaga 3

### En vägledning till Excel-program för utvärdering av kvicklera från CPT med registrerat totalt nerdrivningsmotstånd samt trycksondering Tr

Detta dokument är en hjälp och vägledning för hur programmet ska användas. Den innefattar också en beskrivning av vilka förberedelser som behöver göras i Conrad för att kunna exportera nödvändiga data.

De indata som behövs för att programmet ska kunna utvärdera kvicklera från sonderingarna är följande;

- för **CPT**; djup, nettospetstryck (qt) och matningskraft
- för **trycksondering**; djup och matningskraft.

#### Förberedelser i Conrad

Data för att utvärdera CPT-resultat behöver exporteras från Conrad och sparas enklast som en text-fil (.txt). För att detta ska fungera behöver de lokala inställningarna i Conrad ändras enligt följande.

- Öppna Conrad
- Välj *Inställning* och *Parametrar*. Klicka på fliken *Egna kanaler*
- Fyll i första tomma raden: Parameter: **Matningskraft**, Enhet: **kN**, ID: **A** och Offset: **0**. Stäng rutan.
- Öppna en sondering välj *Redigera*, *Mätdata* och säkerställ att det finns en kolumn längst till höger som heter **Matningskraft**. Om datavärdet i kolumnen visar 9999 betyder det att ingen registrering av matningskraften har skett under sonderingen.
- Välj *Arkiv* och *Exportera*. Markera exempel och välj *definiera*. Välj datakälla *Rådata* och markera med ett kryss i kolumnen *Sparas* vid djup, spetstryck qt och matningskraft och tryck på *Ok*. Markera exempel och tryck på *Ok*, spara filen i formatet .txt.

#### Användning av programmet i Excel

- Öppna programmet och spara en kopia av arbetsboken och döp den till sektionsnamn + sonderingspunkt, exempelvis E11000-U01001.
- **Flik CPT-Data:** Indata som behövs för att skapa trendkurvorna importeras till kolumnerna B, C och D. För att underlätta kopieringen finns det 3 hjälpkolumner (O-Q) som kan användas.
  - Öppna txt-filen (exporten från Conrad) och kopiera in datan i hjälpkolumnerna. (Om all data hamnar i samma kolumn följ anvisningarna pss som för Tr nedan).
  - När datan ligger i separata kolumner kopiera värdena till kolumn B-D.
- **Flik Tr-Data:** Indata som behövs för att skapa trendkurvorna importeras till kolumnerna B och C. För att underlätta kopieringen finns det 3 hjälpkolumner (M-O) som kan användas.
  - Öppna SND-filen med Tr-sonderingen från Autograf. Välj att öppna den med ex ”Notepad”.
  - Kopiera datan från SND-filen och klistra in i hjälpkolumnerna i Tr-Data-fliken.
  - Om all data hamnar i samma kolumn (vilket den troligtvis gör): Markera infogad data och välj *Data, Text till kolumner*. Steg 1 av 3 kryssa i *Med fast bredd* och sedan *Nästa*. Steg 2 av 3: skapa en ny kolumnbrytning (pil) så när intill det går bakom den andra datakolumnen (mätvärdet) *Nästa*. Steg 3 av 3 klicka på *Avancerat* och sedan *Decimaltecken* och ändra från komma till punkt. Markera den tomma kolumnen och välj *Kolumndataformat till Importera inte denna kolumn* och sedan *Slutför*.
  - Kopiera nu värdena från hjälpkolumnerna och klistra in den i kolumn B-C.
- **Flik Lab-data:** fyll i ev värden från lab undersökningar.



- **Flik CPT-data:** mata in djupet för underkant torrskorpa.
- I de 3 sista flikarna visas nu diagram med de inmatade värdena, se vidare nedan.
- Byt alla fliknamn till exempelvis CPT-data 01001 och diagramrubrikerna till 01001.

OBS! Det är viktigt att inga ändringar görs i områden med färgad bakgrund.

Under fliken Utvärdering kvicklera så redovisas trendlinjen för respektive sondering. I diagrammet visas också gränsvärdeslinjen för kvicklera 1 kPa och en skrafferering som visar de delar av profilen som programmet har utvärderat som kvicklera (CPT röd och Tr blå). Det är möjligt att flytta utvärdering längs x-axeln om graferna hamnar utanför diagrammet, funktionen återfinns under fliken CPT-data högst upp.

I programmet ska underkant torrskorpa matas in för att ge utvärderingen en startpunkt i profilen där förekomsten av kvicklera kan förkomma. När sensitivitet och omrörd skjuvhållfasthet från ostörd provtagning är införd i lab-fliken redovisas det i diagrammen som en kvadrat med tilläggssymboler. Symbolerna är indelade i 3 kategorier,

- Blå prick, sensitiviteten  $St > 50$  och den omrörda skjuvhållfastheten  $\tau_R > 0,4$  och lerans klassas inte som kvicklera.
- Svart kryss, sensitiviteten  $St > 50$  och den omrörda skjuvhållfastheten  $\tau_R < 0,4$  och leran klassas som kvicklera.
- Röd kvadrat med ett Svart kryss,  $St > 200$  och den omrörda skjuvhållfastheten  $\tau_R < 0,4$  och leran klassas som kvicklera.

Utvärderingen av ev förekomst av kvicklera genomförs med en kontroll mellan lutningen på trendkurvan och gränsvärdeslinjen 1 kPa (Rankka et al., 2004 SGI rapport 65 p68). Om lutningen på trendkurvan är brantare än 1 kPa utvärderar programmet det som kvicklera och vise versa.

Lycka till med er användningen av programmet och vid eventuella frågor kontakta David Schälin ank. 013-201846 [david.schalin@swedgeo.se](mailto:david.schalin@swedgeo.se)



Statens geotekniska institut  
Swedish Geotechnical Institute

SE-581 93 Linköping, Sweden

Tel: 013-20 18 00, Int + 46 13 201800

Fax: 013-20 19 14, Int + 46 13 201914

E-mail: [sgi@swedgeo.se](mailto:sgi@swedgeo.se) Internet: [www.swedgeo.se](http://www.swedgeo.se)