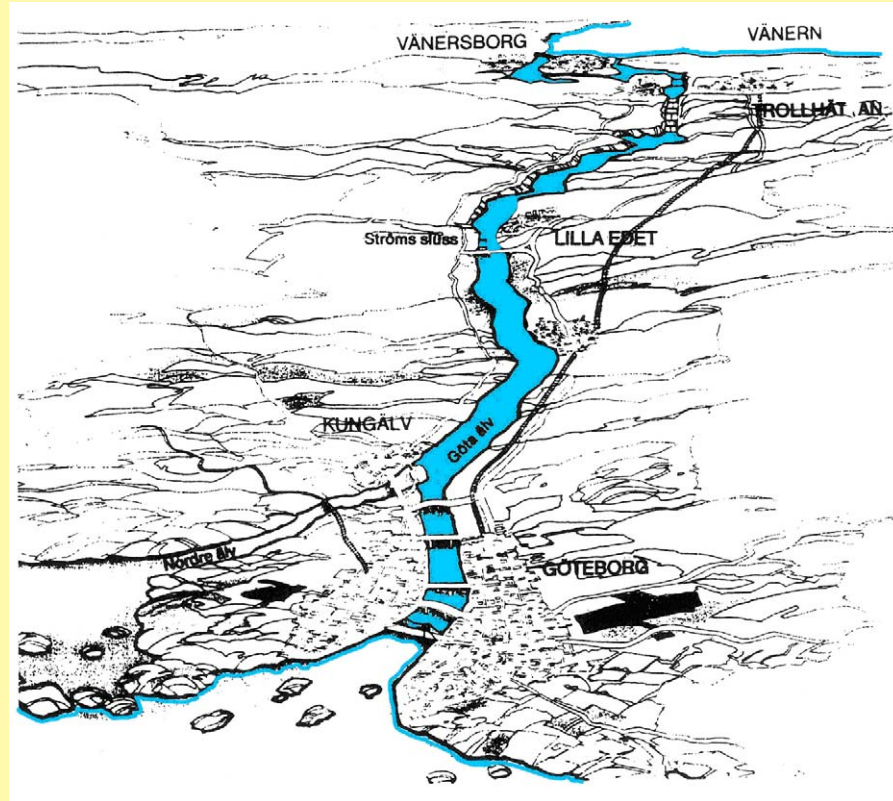




STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT  
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE



## Geotekniska förutsättningar för ökad tappning från Vänern till Göta älv

Carina Hultén  
Torbjörn Edstam  
Ola Arvidsson  
Gunnel Nilsson





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

Varia **565**

## **Geotekniska förutsättningar för ökad tappning från Vänern till Göta älv**

Carina Hultén  
Torbjörn Edstam  
Ola Arvidsson  
Gunnel Nilsson

<b>Varia</b>	Statens geotekniska institut (SGI) 581 93 Linköping
Beställning	SGI – Informationstjänsten Tel: 013–20 18 04 Fax: 013–20 19 09 E-post: <a href="mailto:info@swedgeo.se">info@swedgeo.se</a> Internet: <a href="http://www.swedgeo.se">www.swedgeo.se</a>
ISSN	1100-6692
ISRN	SGI-VARIA--06/565--SE
Dnr SGI	1-0512-0808

## FÖRORD

Regeringen har tillsatt en Klimat- och sårbarhetsutredning i syfte att studera konsekvenser av ett förändrat klimat. I denna utredning ingår en studie av påverkan av klimatförändringar för de stora sjöarna Vänern, Mälaren och Hjälmaren. En förändring av tillrinning och vattennivåer i Vänern kommer dock även att påverka flöden till Göta älv.

Statens geotekniska institut (SGI) har ett övergripande ansvar för övervakning av stabilitetsförhållandena i Göta älvdalen. Klimat- och sårbarhetsutredningen har uppdragit åt SGI att bedöma geotekniska konsekvenser av ett ökat flöde från Vänern till Göta älv. Utredningen har samfinansierats av SGI och Klimat- och sårbarhetsutredningen.

Föreliggande rapport har författats av Carina Hultén, Torbjörn Edstam, Gunnel Nilsson och Ola Arvidson, SGI. Magnus Larson och Hans Hansson, LTH samt Sten Bergström och Kerstin Andersson, SMHI har bistått med väsentligt underlag till utredningen.

Värdefulla synpunkter och kommentarer har lämnats av Sten Bergström och Kerstin Andersson, SMHI samt av Elvin Ottosson och Åke Johansson, SGI.

Linköping i juni 2006

Författarna



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>Förord</b>	
<b>Sammanfattning</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Inledning</b> .....	<b>8</b>
<b>2 Historik om skred i Göta älv</b> .....	<b>9</b>
2.1 Allmänt .....	9
2.2 Allmänt om älvens lopp.....	9
2.3 Geologi och topografi .....	10
2.4 Inträffade skred och vidtagna åtgärder .....	11
2.4.1 Exempel på inträffade skred .....	11
2.4.2 Förebyggande åtgärder – Större utredningar och övervakning.....	15
<b>3 Klimatförändringar</b> .....	<b>16</b>
3.1 Norden .....	16
3.2 Göta älv.....	16
3.2.1 Ökad tappning från Vänern.....	16
3.2.2 Nederbörd och grundvatten .....	16
<b>4 Geotekniska förutsättningar av en ökad tappning till Göta älv</b> .....	<b>17</b>
4.1 Vattenföring och reglering.....	17
4.1.1 Nuvarande reglering .....	17
4.1.2 Konsekvenser på vattennivå av ökad tappning.....	17
4.2 Stabilitet.....	19
4.2.1 Faktorer som påverkar stabiliteten.....	19
4.2.2 Exempel på konsekvenser av skred .....	20
4.2.3 Skredrisker .....	21
4.2.4 Översiktliga stabilitetsutredningar .....	22
4.2.5 Stabilitetspåverkande processer och effekter av klimatförändring .....	23
4.3 Erosion och sedimenttransport .....	30
4.3.1 Strand- och bottenerosion .....	30
4.3.2 Fartygstrafik.....	31
4.3.3 Muddring .....	32
4.4 Markföroreningar.....	33
4.5 Invallningar.....	33
<b>5 Utredningsbehov</b> .....	<b>35</b>
<b>6 Åtgärder, övervakning och kostnader</b> .....	<b>36</b>
6.1 Stabilitetsförbättrande åtgärder, invallningar och erosionskydd.....	36
6.2 Underhåll .....	37
6.3 Övervakning .....	37
6.4 Geotekniska utredningar.....	37
6.5 Totalkostnader .....	38
<b>7 SGI:s slutsatser och rekommendationer</b> .....	<b>39</b>
<b>8 Referenser</b> .....	<b>40</b>

Bilaga 1:1 – 1:4:

Översiktskartor Göta älvs dalgång, skala 1:50 000

## SAMMANFATTNING

I denna rapport redovisas SGI:s utredning inom Klimat- och sårbarhetsutredningen avseende geotekniska förutsättningar längs Göta älv vid en ökad tappning från Vänern. Utredningen omfattar en översiktlig geoteknisk bedömning av stabilitetsförhållanden samt erosions- och sedimentationsprocesser. Dessutom har överslagsmässigt bedömts kostnader för stabilitetsförbättrande åtgärder, invallningar, utredningar, övervakning och underhåll.

Göta älv dalen, som sträcker sig från Vänern i norr till Göteborg i söder, är en av de mest skred-frekventa dalgångarna i Sverige. Årligen inträffar ett flertal skred, varav huvuddelen dock är små och relativt ytliga, oftast erosionsbetingade. Större skred, som inträffat i modern tid är bland annat Surte- och Götaskredet, vilka båda förorsakade personskador och dödsfall samt stora materiella skador. En orsak till den höga skredfrekvensen i Göta älv dalen är dess geologiska historia med mäktiga lerlager, som avsatts i marin miljö. Vanligt förekommande är så kallad kvicklera, d.v.s. lera som vid omrörning eller vibrationer förlorar sin hållfasthet och blir flytande. När ett skred inträffar inom ett område med kvicklera kan skredets utbredning bli mycket stort och skredförloppet ske mycket snabbt.

Skred ingår i en naturlig process som strävar efter att utjämna höjdskillnaderna i landskapet. Stabilitetsförhållandena eller risken för skred i en slänt styrs av släntens höjd, lutning och jordlagrens hållfasthetsegenskaper och tyngd, men även grundvattennivå samt yttre faktorer påverkar. Geotekniska utredningar i form av skredriskanalyser, där hänsyn tas till både skredsannolikhet och konsekvens av ett skred, finns endast utförda längs ca 40 km av älvens totalt ca 186 km långa strandlinje. Utredningarna är huvudsakligen utförda för bebyggda områden inom och söder om Lilla Edet.

Utifrån regionala klimatscenerier har SMHI studerat hur en framtida ökad nederbörd kan komma att påverka Vänerbäckenet. Sannolikt kommer det att ske en ökad tillströmning av vatten under höst, vinter och vår vilket kan innebära behov av en ökad tappning till Göta älv. I samband med detta har en studie av två olika scenarier på ökad tappning till Göta älv utförts av SMHI. Dessa baseras på dagens maximala tappning av 1030 m<sup>3</sup>/s respektive en ökad tappning av 1400 m<sup>3</sup>/s, i båda fallen kombinerat med 0,5 m höjning av havsnivån. Nivåförändringarna i älven inom sträckan nedströms Trollhättans sluss till Lilla Edets sluss är beroende av flödet från Vargöns kraftverk och dämning/sänkningsgränsen i Lilla Edet. Nedströms Lilla Edets sluss till Göteborg påverkas vattennivån i älven till stor del av havsnivån. Möjligheter till en ökad tappning och därav föranledda konsekvenser beror således av såväl tappningen från Vänern som av rådande havsnivå.

För att bedöma påverkan av ett förändrat flöde från Vänern har några typsektioner studerats. Förändringen av bl.a. nederbörd, grundvattennivå, erosion och vattennivå i älven samverkar och bidrar i olika grad till en försämring av stabiliteten vid en ökad nederbörd och ett förändrat flöde i älven. Baserat på utförda analyser har bedömts hur stabiliteten förändras. För flertalet av de slänter som idag är på gränsen till att vara instabila kommer sannolikt skred att inträffa om inte åtgärder vidtas. Om tappningen till Göta älv måste minska eller till och med stoppas, p.g.a. skredmassor som blockerar älvfåran, kan även låglänta översvämningskänsliga områden kring Vänern bli mer sårbara vid en klimatförändring. Detta förändrade riskscenario kan innebära att områden längs Göta älv, som idag har godtagbar skredrisknivå, erfordrar vissa förstärkningsåtgärder för att bibehålla samma skredrisknivå även i framtiden.

Synliga erosionsskydd i strandlinjen besiktigas årligen. Däremot saknas systematisk undersökning och kontroll av omfattningen och utbredningen av erosionen under vattenytan. Det bedöms dock att erosionstakten kan komma att öka i storleksordningen ca 50 % jämfört dagens förhållanden. Den tillhörande ökningen av sedimenttransport kommer att öka behovet av muddring inom Göteborg, där en stor del av sedimentationen sker idag.



I dagsläget saknas en heltäckande översyn, baserat på moderna analysmetoder, av skredrisker och erosion längs hela Göta älv. De senaste större utredningarna omfattande hela sträckan nedströms slusstrappan i Trollhättan till Lärjeån i Göteborg slutfördes under tidigt 1960-tal. Behovet av en heltäckande skredriskanalys är därför stort och synnerligen angeläget, oberoende av framtida klimatförändringar. Vid framtida flödesförändringar i älven ökar utredningsbehovet ytterligare, eftersom de faktorer som är väsentliga för stabiliteten påverkas. Kunskapen om hur dessa faktorer påverkas av klimat- och flödesförändringar är bristfällig. En betydelsefull faktor är erosionen och dess koppling till flödesförändringar. För att noggrannare studera effekter av olika flöden och därmed genererade vattennivåer i Göta älv krävs även noggrannare klimat-scenarier och hydrauliska modeller för såväl Göta älv som havet. Detta gäller även scenarier för minskad tappning från Väneren sommartid, eftersom lägre vattennivåer i älven ökar skredsannolikheten.

Redan med dagens förhållanden erfordras omfattande stabilitetsförbättrande åtgärder och utläggning av erosionskydd, främst under vatten, längs delar av Göta älv. De framtida flödes-scenarier som studerats innebär att omfattningen på dessa åtgärder ökar betydligt och dessutom tillkommer invallningar längs bebyggda låglänta områden.

De studerade flödesscenierna kan accepteras ur stabilitetssynpunkt, förutsatt att en lägsta lågvattennivå motsvarande dagens förhållande bibehålls i älven. För båda scenarierna krävs dock omfattande stabilitetsförbättrande åtgärder. Skillnaden mellan de två scenarierna är huvudsakligen omfattning av och kostnader för erforderliga åtgärder. Välbeprövade tekniska lösningar kan dock användas i båda fallen. För att i möjligaste mån begränsa omfattningen av de stabilitetsförbättrande åtgärderna rekommenderas inledningsvis att väsentligt utökade geotekniska utredningar genomförs längs huvuddelen av älvsträckan. I ett senare skede tillkommer detaljerad dimensionering och projektering av åtgärder där sådana visar sig vara erforderliga.

Ur översvämningssynpunkt krävs invallning inom bebyggda låglänta områden, främst nedströms Lilla Edet. Omfattningen på bedömda åtgärder baseras på framtidsscenarier som ungefär motsvarar en framtida medelvattennivå i havet. Ytterligare och högre invallningar krävs om översvämningar skall undvikas vid högre vattennivåer orsakade exempelvis av mer extrema havsnivåer. Därför rekommenderas mer utförliga översvämningssstudier.

I nedanstående tabell redovisas bedömda kostnader för stabilitetsförbättrande åtgärder, erosionskydd, invallningar, årligt underhåll samt behov av utredningar och övervakning för de studerade scenarierna. Kostnader för invallning av obebbyggda låglänta områden ingår ej. En mer detaljerad bedömning kräver ett bättre och mer detaljerat beslutsunderlag.

	Max tappning 1030 m <sup>3</sup> /s (ökad återkomsttid) och höjd havsnivå	Max tappning 1400 m <sup>3</sup> /s och höjd havsnivå
Stabilitetsåtgärder, erosionskydd, invallningar (Mkr)*	700 - 4 900	900 - 6 200
Utredningar (Mkr)	60 - 110	60 - 110
<b>Totalt (Mkr)</b>	<b>760 - 5 010</b>	<b>960- 6 310</b>
Övervakning (Mkr/år)	0,5 - 1,0	0,7 - 1,6
Årligt underhåll (Mkr/år)	25 -35	30 - 45
<b>Totalt (Mkr/år)</b>	<b>25 - 36</b>	<b>31 - 47</b>

\* Exklusive projekteringskostnader

För dagens förhållanden bedöms att kostnaderna för stabilitetsförbättrande åtgärder och utläggning av erosionskydd uppgår till i storleksordningen 300-1700 Mkr

## 1 INLEDNING

Regeringen har tillsatt en Klimat- och sårbarhetsutredning i syfte att studera konsekvenser av ett förändrat klimat. I denna utredning ingår en studie av påverkan av klimatförändringar för de stora sjöarna Vänern, Mälaren och Hjälmaren. En förändring av tillrinning och vattennivåer i Vänern kommer även att påverka flöden till Göta älv.

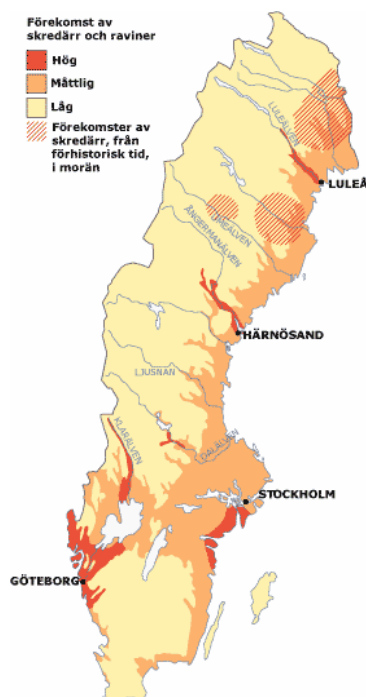
Statens geotekniska institut (SGI) har ett övergripande ansvar för övervakning av stabilitetsförhållandena i Göta älvdalen. Klimat- och sårbarhetsutredningen har uppdragit åt SGI att bedöma geotekniska konsekvenser av ett ökat flöde från Vänern till Göta älv. Utredningen har samfinansierats av SGI och Klimat- och sårbarhetsutredningen.

Uppdraget omfattar en översiktlig geoteknisk bedömning av stabilitetsförhållanden samt erosions- och sedimentationsprocesser. Dessutom har överslagsmässigt bedömts kostnader för stabilitetsförbättrande åtgärder, invallningar, utredningar, övervakning och underhåll.

## 2 HISTORIK OM SKRED I GÖTA ÄLV

### 2.1 Allmänt

Göta älv dalen, som sträcker sig från Vänern i norr till Göteborg i söder, är en av de mest skred-frekventa dalgångarna i Sverige, se Figur 1. Årligen inträffar ett flertal skred, varav huvuddelen dock är små och relativt ytliga, oftast erosionsbetingade. Även begränsade utglidningar av den ställvis branta undervattensslänten förekommer. I en inventering redovisad 1982 (Viberg, 1982) identifierades ca 150 skredärr i dalgången genom flygbildstolkning.

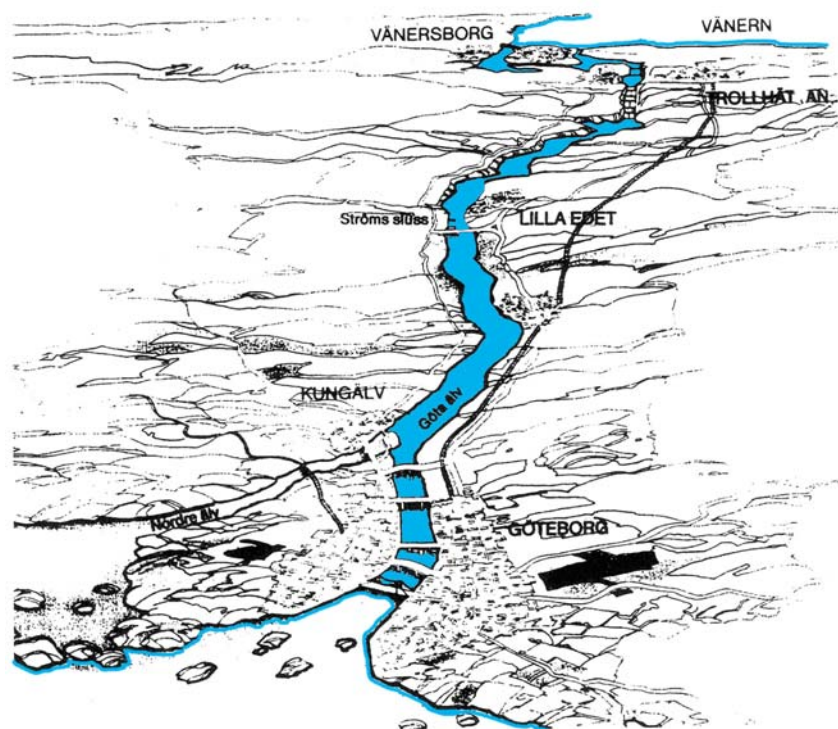


Figur 1. Frekvens av skredärr och raviner i Sverige (Sveriges geologiska undersökning, 2005). I Västsverige och speciellt i Göta älv dalen är skred vanligt förekommande.

En orsak till att Göta älv dalen är skredfrekvent är dess geologiska historia med mäktiga lerlager som avsatts i marin miljö. Älv dalen har också påverkats av mänskliga aktiviteter, då vattendraget i alla tider dragit till sig sjöfart, bebyggelse, hamnar, industri, infrastruktur etc. Dessa mänskliga ingrepp kan antingen påskynda eller fördröja de naturliga processerna. Olika faktorer kan utlösa skred och exempel på sådana redovisas i Kapitel 4. Konsekvenserna av skred i Göta älv dalen kan bli stora eftersom bebyggelse, industri, vägar, järnvägar, sjöfart, förorenade markområden, vattenintag m m kan påverkas.

### 2.2 Allmänt om älvens lopp

Göta älv har sitt lopp genom en 93 km lång dalgång från Vänern till utloppet i havet vid Göteborg, se Figur 2. Dalgångens bredd varierar och avgränsas av berg som reser sig ca 100 m över dalbotten. Vissa avsnitt har väl utbildade slutna dalsidor, t ex mellan Trollhättan och Hjärtum, se bilaga 1:3 – 1:4. I närområdet till Göta älv har även djupa raviner bildats med utflöde till Göta älv. Den totala fallhöjden mellan Vänern och havet är ca 44 m.



Figur 2. Vy över Göta älv dalen mellan Göteborg och Vänern.

Ca 3 km nedströms Vänern, vid Vargön, har Göta älv en fallhöjd av ca 5 m. Mellan Vargön och Trollhättan är älven relativt bred och vidgar sig i jämnhöjd med Stallbacka till en bred sjö. Vid Trollhättans sluss sänker sig vattenytan ca 33 m i en serie fall, de sk Trollhättefallen. Vid Lilla Edet, ca 20 km nedströms Trollhättan, finns Lilla Edets sluss med en fallhöjd av ca 4 á 6 m.

Nedströms Lilla Edet flyter älven utan fall till utloppet i havet. Vid Kungälv delar sig älven i två grenar. Den norra grenen, Norde älv, är vattenrikast då ca 75 % av det normala flödet går denna sträcka. Nordre älv är ca 14 km lång och mynnar i Nordre älvs fjord. Den södra grenen, som behåller namnet Göta älv, mynnar i havet vid Göteborg.

### 2.3 Geologi och topografi

Från Vänern till utloppet i Göteborg har Göta älv dalen varierande geologi och topografi. Mäktiga lerlager, lokalt mer än 100 m, finns avsatta i den sprickdal i berggrunden som format älv dalen.

I samband med inlandsisens avsmältning började de mäktiga lerlagren att avsättas i älv dalen. Havsytan låg vid denna tidpunkt cirka 125 m högre än idag och lerlagren avsattes därför i havsvatten, då området kom att utgöra en havsarm, som knöt samman Vänerbäckenet med havet, när isen retirerade. På grund av landhöjningen grundades området successivt upp och hamnade över havsytan. I leran finns ofta inlagrat skikt av sandigt material från dalsidorna som spolades ut genom bränningsverkan. Under landhöjningen har Göta älv dalen passerat olika utvecklingsstadium såsom hav, följt av skärgård, sedan fjord och slutligen älv. Efterhand bildades Göta älv genom att vattnet under årtusendenas lopp skar sig ner i lersedimenten och bildade en djup fåra med strandbrinkar.

Lersedimenten är i huvudsak saltvattenavsatta. Efterhand har en urlakning av salterna ägt rum i leran genom grundvattenströmning. I dessa urlakade leror kan bindningskrafterna mellan lerpar-

ticklarna försvinna på grund av omrörning eller vibrationer. Detta beror på att lerskelettet, som även innefattar stora hålrum, då faller ihop varvid hållfastheten i leran kan sjunka till nära noll. Dessa leror kallas för kvickleror och är vanliga i Göta älvs dalgång, speciellt norr om Lilla Edet. När ett skred inträffar inom ett område med kvicklera kan skredförloppet ske mycket snabbt och dess utbredning blir mycket stort. Detta beror på att ett initialskred kan fortplanta sig både framåt, bakåt och åt sidorna efterhand som leran förlorar sin hållfasthet.

I den norra delen av Göta älvs dalgång är jorddjupen ofta måttliga. Berg- och fastjordsområden finns inom stora delar, blandat med mindre områden med sediment. Slänterna ner mot älven är ofta branta och nivåskillnaderna är stora. Förekommande lera är i regel relativt fast och innehåller ofta också vattengenomsläppliga skikt. Nederbördsbetingade vattentrycksvariationer i jorden blir därför större än i homogen lera vilket också ger större påverkan på stabiliteten (Alén, et al 2000).

Mot söder blir dalgången flackare, leran lösare och mer homogen samtidigt som mäktigheten av både lera och andra jordlager ökar. I den södra delen finns ofta en ”strandhylla”<sup>1</sup> och en undervattensslänt mellan strandlinjen och djupfåran i älven. Stabilitetsförhållanden för de älvnära partierna i den södra delen styrs till stor del av undervattenssläntens och strandhyllans topografi.

Älvstränderna har i modern tid skyddats mot stranderosion genom utläggning av stenfyllning längs stora delar (Alén, et al 2000).

## 2.4 Inträffade skred och vidtagna åtgärder

### 2.4.1 Exempel på inträffade skred

Dagens landskapsbild längs Göta älv har till stor del formats genom ett antal större skred. Samtliga skred finns dock inte dokumenterade. Idag dokumenteras endast skred som påverkar anläggningar och aktiviteter i området, t ex sjöfarten (SOU, 1962)

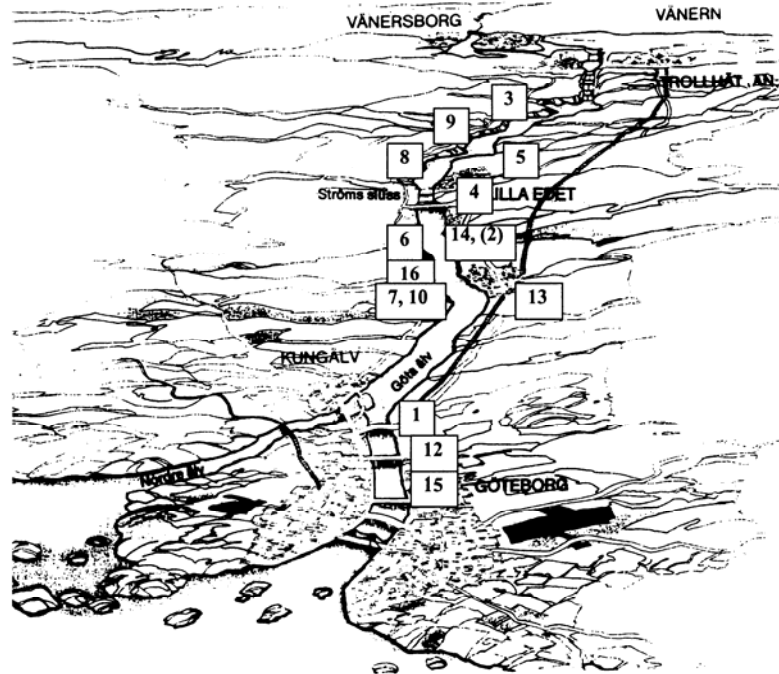
I Tabell 1 och Figur 4 redovisas större dokumenterade skred i Göta älvdalen. Det äldsta noterade skredet, det s k Jordfallskredet, inträffade omkring år 1150 på älvens östra sida i Bohus. Skredet omfattade i stort hela nuvarande Bohus samhälle och skredkanten ligger ca 1,5 km från älvens strandlinje, se Figur 3. Idag är ett industriområde, med bland annat Eka Chemicals, i huvudsak byggt på dessa skredmassor.

---

<sup>1</sup> Strandhylla, en avsats på undervattensslänten mellan strandlinjen och djupfåran i älven.



Figur 3. Vy över Jordfallsbron och Bohus samhälle. Jordfallskredets utbredning markerad med streckad linje. (Alén et al, 2000). Fotograf Thomas Samuelsson.



Figur 4. Ungefärliga lägen för dokumenterade skred enligt tabell 2.1 (Alén et al, 2000).

Tabell 1. Dokumenterade skred i Göta älvdalen, exempel (Alén et al,2000).

Nr på bifogad översikt	Ungefärlig tidpunkt	Plats	Ungefärlig storlek	Anmärkning
1	Ca 1150	Jordfallet Bohus på älvens östra sida	Ca 60 –65 ha	Det äldsta daterade skredet
2	?	Göta Hanström		
3	1648-07-10	Intagan, S Åkerström	Ca 27 ha	Bredd ca 500m, stoppade vid fastmarken
4	1680-talet	Lilla Edet	?	Enligt noteringarna ett s.k. jordfall <sup>2</sup>
5	Någon gång mellan 1686 och 1697	Torpa, strax norr om Slumpåns mynning i Göta älv	Ca 8 ha	Flaskskred <sup>3</sup> , korsas av nuvarande väg 45
6	Mars 1733	Ballabo, västra älvstranden, ca 500m nedströms gamla Sulfitfabriken	Ca 3 ha	
7	Ca 1750	Västerlanda socken vid gårdarna Ödegärdet och Skörsbo, västra älvstranden	Ca 5 ha	
8	1759-12-21/22	Bondeström, strax norr om Ström, Lilla Edets kommun	*)	*) Två skredärr, det ena indikerande en volym på ca 400 000 m <sup>3</sup> , det andra ca 100 000 m <sup>3</sup> . Enligt uppgifter skedde skredet i samband med en jordbävning.
9	1806-12-21	Utby, ca 4,5 km N Hjærtums kyrka	Ca 4,5 ha	Flaskskred
10	1830-talet	Västerlanda socken vid gårdarna Ödegärdet och Skörsbo, västra älvstranden	Större än 5 ha	
11	Ca 1850-1949	Inga dokumenterade större skred		En relativt lugn period ur skredsynpunkt. Detta kan bero på att skred inte dokumenterades lika noggrant genom åren.
12	1950-09-29	Södra Surte	Ca 24 ha	Ett omfattande kvicklereskred som bland annat drog med sig 31 bostadshus
13	1953-04-13	Guntorp, järnvägsbanken på Bergslagsbanan intill Guntorpsbäcken, ca 4 km uppströms utflödet i Göta älv	Banken sjönk på en längd av 60m.	
14	1957-06-07	Göta industriområde	Längd ca 1500m, bredd 200-300m, Totalt ca 32 ha	
15	1993-04-14	Agnesberg	Ca 2400 m <sup>2</sup>	Skred med följskred huvudsakligen under vatten
16	1996-04-16	Ballabo	Längd ca 110 m, bredd 50-70m, totalt ca 0,7 ha	
		Norr om Lilla Edet finns talrika större skredärr på båda sidor om älven. De flesta saknar dock datering eller andra uppgifter om tidpunkt och händelseförlopp		

<sup>2</sup> Jordfall, äldre benämning på jordskred

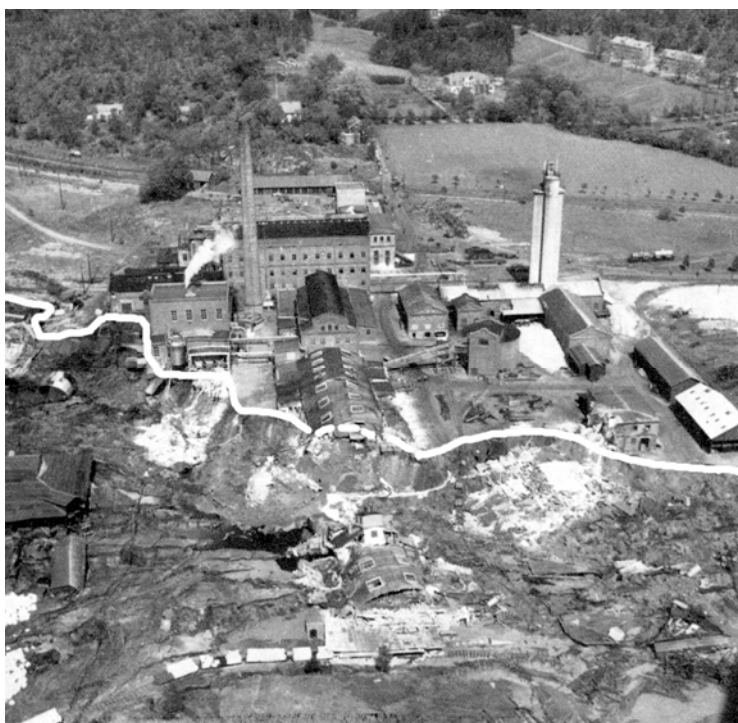
<sup>3</sup> Flaskskred, Utseendet på skredområdets utbredning påminner om en ”liggande flaska”, dvs skredets mynning är smalare än området bakom. Vanligt vid förekomst av kvicklera.

I historisk tid var skredet vid Intagan år 1648 en stor katastrof. Skredmassorna dämde upp älven och orsakade en översvämning som kostade minst 85 människors liv. Ett stort antal hus och fartyg förstördes norr om Intagan. En flodvåg uppstod när vattenmassorna bröt igenom fördämningen och denna orsakade stora skadeverkningar miltals nedströms skredet.

I modern tid har skred inträffat i bl.a Surte 1950, Göta 1957, Agnesberg 1993 och Ballabo 1996.

**Surteskredet** inträffade i september 1950 och omfattade ett ca 400 m brett och 600 m stort område i södra delen av Surte samhälle. Inom området fanns 31 bostadshus och olyckan krävde ett dödsoffer och två personer skadades allvarligt.

**Götaskredet** som inträffade i juni 1957 omfattade ett ca 1500 m stort område längs älven och sträckte sig ca 200 – 300 m in från älvens strandlinje, se Figur 5. Tre personer omkom och ytterligare tre skadades. Skredmassorna täppte till älven och orsakade en ca 6 m hög våg som orsakade stora översvämningar.



*Figur 5. Götaskredet. Vy över industriområdet (med markerad skredkant).  
Bild från SOU 1962:48, Press-Foto 1957.*

**Agnesbergsskredet** som inträffade i april 1993 föreföll till en början obetydligt men hotbilden visade sig vara allvarlig (Larsson et al, 1994). Skredet började i den branta undervattensslänten vid farledskanten och fortplantade sig in mot land. I skredområdet fanns kvicklera som sträckte sig in under industriområde, järnväg, vägar samt bostadsområden. Därför förelåg risk för sekundärskred som skulle kunna påverka ett stort område. Efter omfattande utrednings- och förstärkningsarbeten kunde området säkras.

**Ballaboskredet** skedde i april 1996 på Göta älvs västra sida (Andersson et al, 1999). Skredet, som även kom att innefatta sekundära utglidningar, omfattade en ca 110 m lång sträcka längs Göta älv och sträckte sig ca 50 – 70 m bakåt från älvstranden. Det fanns ingen bebyggelse inom området, men sjöfarten påverkades genom den uppgrundning som orsakades av skredet.



## 2.4.2 Förebyggande åtgärder – Större utredningar och övervakning

De stora skreden i modern tid fick stor utbredning och skredförloppen gick snabbt på grund av att kvicklera fanns inom de berörda områdena. Kvicklera förekommer på många ställen i Göta älv dalen och nya omfattande skred kan därför inte uteslutas.

Efter skreden i Surte och Göta genomfördes en övergripande stabilitetsutredning för Göta älv dalgång. Utredningen utfördes i Statens geotekniska institut (SGI) regi och redovisades i rapporten "Rasriskerna i Göta älv dalen" (SOU, 1962). I utredningen undersöktes stabilitetsförhållandena från nedströms slusstrappan i Trollhättan och söderut till Lärjeån i Göteborg. Inom ett tiotal ansträngda områden utfördes vissa förstärkningar och erosionsskydd av sprängsten lades ut längs vissa sträckor. Slutsatserna som drogs i utredningen baserades dock på den tidens geotekniska kunskap och metodik. Stora förändringar av markanvändningen har också ägt rum sedan utredningen genomfördes.

Sedan 1960-talet har SGI ansvar för övervakning av stabilitetsförhållanden i Göta älv dalen. Detta innebär bl.a. granskning av alla planärenden inom Göta älv dalen, bygg- och marklovsärenden samt väg- och järnvägsutbyggnad som påverkar stabilitetsförhållandena i älv dalen. SGI utför även besiktning av älven från båt tillsammans med Sjöfartsverket och Vattenfall minst en gång per år samt regelbundna besiktningar från land på känsliga sträckor. Kontroll och mätning av bl.a. jordrörelser utförs på känsliga partier i områden i Lilla Edet, i Älvängen samt vid Agnesberg i Göteborg. Inom myndighetsuppdraget genomför SGI även en geoteknisk kunskapsuppbyggnad för Göta älv dalen.

I samband med de stora infrastruktursatsningarna som aktualiserades under 1990-talet, ombyggnad av väg 45 och Norge/Vänernbanan, sågs ett behov av att förnya och förbättra kunskaperna från Göta älv utredningen 1962 om stabilitetsförhållandena i älv dalgången utifrån dagens kunskaper och metodik. I samband med detta utarbetades även en metodik med skredriskanalyser, där man sammanväger sannolikheten för och konsekvenserna av ett skred (Alén et al, 2000). SGI har fram till år 2005 utfört skredriskanalyser främst i de södra, mest bebyggda, delarna av älv dalen. Dessa finns redovisade i "Skredriskanalys för södra Göta älv dalen" (Ahlberg et al, 1995) som berör den östra älv sidan mellan Lärjeån i Göteborg och Älvängen, "Skredriskanalys för nordöstra Göta älv dalen inom Lilla Edets kommun" (Schälin et al, 1997 reviderad 2004) samt "Skredriskanalys sydvästra Göta älv; delen Tingstad tunneln - Angeredsbron; Göteborgs kommun" (Hultén et al, 2005b). En skredriskanalys för nordvästra Göta älv dalen inom Lilla Edets kommun är nyligen påbörjad.

## 3 KLIMATFÖRÄNDRINGAR

### 3.1 Norden

Mellan åren 1996 och 2003 genomfördes ett svenskt regionalt klimatmodelleringsprogram, SWECLIM (Swedish Regional Climate Modelling program). Inom SWECLIM studerades regionala klimatscenarier utifrån utsläppsscenarioer och olika globala modeller. I utvärderingen har simuleringarna jämförts mot mätdata över Sverige. Sedan SWECLIM avslutades har detta arbete fortsatt vid SMHI:s Rossby Centre. I den svenska klimatmodelleringen har man utgått från dels den tyska globala klimatmodellen ECHAM4/OPYC3 från Deutsches Klimarechenzentrum GmbH (DKRZ) och Max-Planck institutet för meteorologi i Hamburg, dels den globala klimatmodellen med benämningen HadCM3/AM3 från Hadley Centre i Storbritannien.

Medan de regionala klimatscenarierna som studerades inom SWECLIM avsåg perioden 2071–2100, har man senare vid Rossby Centre tagit fram beräkningar som sträcker sig från dagens klimat (dvs. 1961–90) fram till 2100.

Beräkningar av nederbördsscenarioerna i Norden indikerar att en större mängd nederbörd kan förväntas, med undantag av södra Skandinavien under sommaren. Nederbördens och vattentillgångens årsmedelvärden för hela landet bedöms öka med 5–25 %. Ökningen orsakas både av fler nederbördsdagar och av häftigare regn. Nederbördsmängderna ökar under höst, vår och vinter. För vissa delar av södra Sverige kan den ökade medeltemperaturen dock ge en ökad avdunstning från mark och vatten, vilket kan medföra ett vattenunderskott. (Hultén et al, 2005a).

### 3.2 Göta älv

#### 3.2.1 Ökad tappning från Vänern

Utifrån scenarierna av de framtida klimatförändringarna har SMHI utfört en studie av hur den ökade nederbörden kan komma att påverka Vänerbäckenet (Bergström et al, 2006). Sannolikt kommer det att ske en ökad tillströmning av vatten under vår, vinter och höst vilket innebär en ökad tappning till Göta älv, eventuellt i kombination med en stigande vattennivå i Vänern. SMHI bedömer även att den större tappningen i så fall kommer att behöva ske oftare än idag och att variationerna i korttidsregleringen blir större än för dagens situation. Under sommaren bedöms däremot att tillströmningen av vatten till Vänern blir mindre än idag.

#### 3.2.2 Nederbörd och grundvatten

Jord består vanligen av mineral, vatten och gas. Kornen, eller partiklarna, bildar tillsammans ett kornskelett som bär de laster som påförs jorden. Mellan kornen finns hålrum, porer, som är fyllda med antingen vatten, gas eller en blandning av bådadera. Vattnet i porerna kallas porvatten och man brukar mäta det tryck, porvattentryck, vattnet har på olika djup i en jordprofil. Jordens egenskaper är starkt beroende av det inbördes förhållandet mellan korn, vatten och gas.

De klimatscenarier som utförts för Norden pekar på att Västsverige kommer att få en ökad nederbörd, vilket även inbegriper Göta älv dalen. Eftersom nederbörden har en direkt påverkan på grundvattennivåer blir även en följd att porvattentrycken i jordprofilen långsiktigt påverkas av denna.

En svårighet är dock att förutsäga grundvattentryckets genomslagskraft på porvattentrycket i olika geologiska miljöer samt tidsaspekten av denna. Idag finns endast grova modeller som bygger på referensrör från Sveriges Geologiska Undersöknings (SGU) grundvattennät. De referensrör som SGU tillhandahåller sitter dock i akviferer med relativt stora inbördes avstånd. Modeller för prognostisering av framtida ökning av grundvatten och porvattentryck finns inte framtagna idag.

## 4 GEOTEKNISKA FÖRUTSÄTTNINGAR AV EN ÖKAD TAPPNING TILL GÖTA ÄLV

### 4.1 Vattenföring och reglering

#### 4.1.1 Nuvarande reglering

En reglering av Vänern utfördes 1938 för att bättre kunna utnyttja kraftstationerna vid Vargön, Trollhättan och Lilla Edet. Före regleringen var vattenståndsvariationerna stora i Vänern (43,18 – 45,68 m över havet). Den avbördade vattenmängden från Vänern stod före regleringen i direkt relation till vattenståndet (fast tröskel). Stora flerårsvariationer i vattenståndet medförde betydande skador i områden angränsande till Vänern, dock i mindre omfattning i Göta älv (Hultman, 1952; Göta älvs vattenvårdsförbund, 1996).

Vattenföringen i Göta älv varierade innan regleringen mellan cirka 200 och 850 m<sup>3</sup>/s och förhållandet mellan normal högvattenföring och normal lågvattenföring var måttlig. I och med Vänermagasinets utjämnande effekt var vattenföringens variationer dag till dag små. Regleringsbestämmelserna tillåter både lägre och högre vattenföringar än vad som tidigare förekom. Vattenföringar på drygt 1000 m<sup>3</sup>/s förekommer efter regleringen och dessa har dessutom blivit vanligare. Detta har stor betydelse på erosionsprocesserna (Sundberg et al, 1963). Den korttidsreglering, med snabba förändringar av vattenföringen, som man fick tillstånd till vid regleringen utnyttjas och påverkar såväl stabilitetsförhållandena som erosionsprocessen (Göta älvs vattenvårdsförbund, 1996).

I Nordre älv regleras vattenflödet av två skärmar vid Ormo. Skärmarna, som består av trä, vilar på en stålcylander som stegvis kan höjas och sänkas och på så vis reglera flödet. Skärmens huvudsakliga funktion är att trycka tillbaks den saltvattenkil i Göteborgsgrenen som uppkommer då lättare sötvatten möter ett tyngre saltvatten. Saltvattenkilen kan vid ett lågt älvflöde spridas upp till Göteborgs vattenintag i Alelyckan. Med hjälp av skärmen kan dock flödet ökas i Göteborgsgrenen och därmed pressas saltvattenkilen tillbaka. Vid ett mindre flöde än 300 m<sup>3</sup>/s i Lilla Edet står båda skärmarna upp och flödesfördelningen i de två älvfårorna blir ungefär det motsatta mot normalt, dvs 20 % i Nordre älv och 80 % i Göteborgsgrenen. Vid ett flöde överstigande 600 m<sup>3</sup>/s är det naturliga flödet tillräckligt för att trycka tillbaks saltvattenkilen och båda skärmarna ligger då normalt nere.

#### 4.1.2 Konsekvenser på vattennivå av ökad tappning

Inom ramen för denna utredning har SMHI studerat två scenarier avseende en förändring av Göta älvs flöde och vattennivå (SMHI, 2006). Framtidsscenarierna motsvarar dels dagens maximala flöde vid Vargöns kraftverk (1030 m<sup>3</sup>/s) och dels ett förhöjt flöde (av 1400 m<sup>3</sup>/s), i båda fallen kombinerat med 0,5 m höjning av havsnivån. Valet av flödet 1400 m<sup>3</sup>/s baseras på ett medelvärde från de regionala klimatscenarier som utförts för Vänern, för fallet att Vänerns skall bibehålla samma säkerhetsnivå som för dagens klimatsituation medan flödet 1030 m<sup>3</sup>/s sannolikt medför en förhöjd vattennivå i Vänern, (Bergström et al, 2006). En förhöjning av havsnivån med 0,5 m motsvarar ett ungefärligt framtida normalvattenstånd.

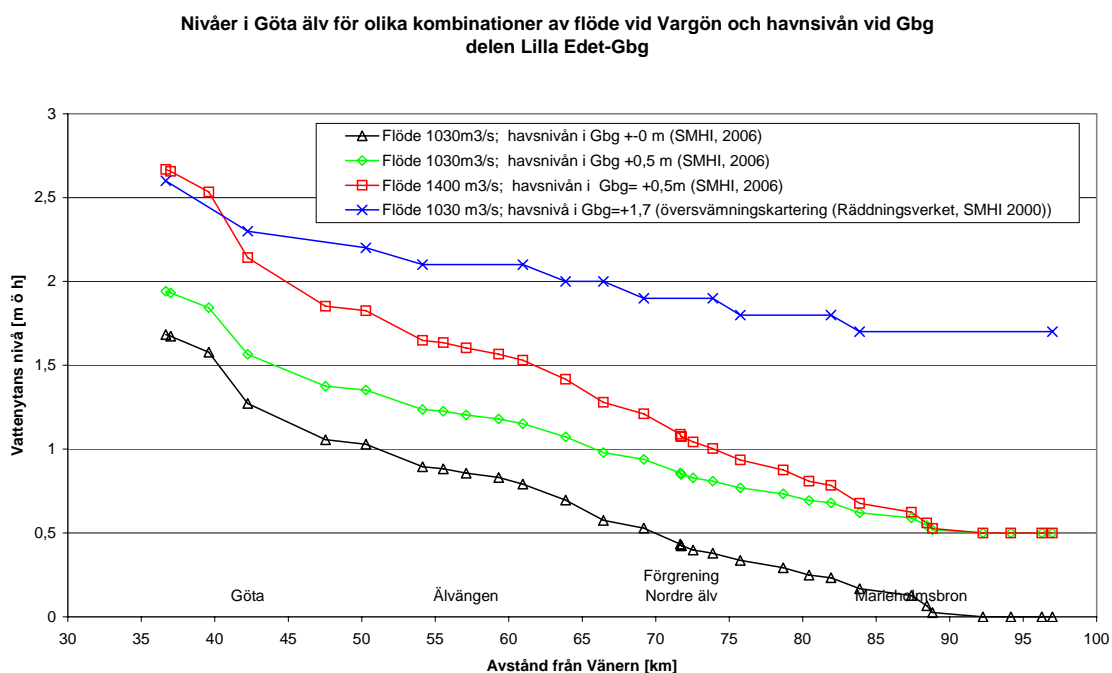
Vidare ingår ett nutidsscenario med flödet 1030 m<sup>3</sup>/s vid Vargöns kraftverk (rådande maximalt tillåten tappning) och dagens medelhavsnivå (nivån ± 0 m). Dessutom har en jämförelse gjorts med den översiktliga översvämningsskartering som utförts för Göta älv och som baseras på havsnivån +1,7 m (det högsta vattenstånd som uppmätts i närheten av Göta älvs utlopp) och dagens maximala tappning, 1030 m<sup>3</sup>/s (Räddningsverket, SMHI 2000).

I studien har SMHI använt samma beräkningsmodell som vid den översiktliga översvämningsskarteringen, men med ovan angivna värden på flöde och havsnivå. I beräkningsmodellen har ej

hänsyn tagits till älvdalens tillrinningsområde. Enligt uppgift från SMHI finns stora osäkerheter kopplade till den använda beräkningsmodellen och antagen indata.

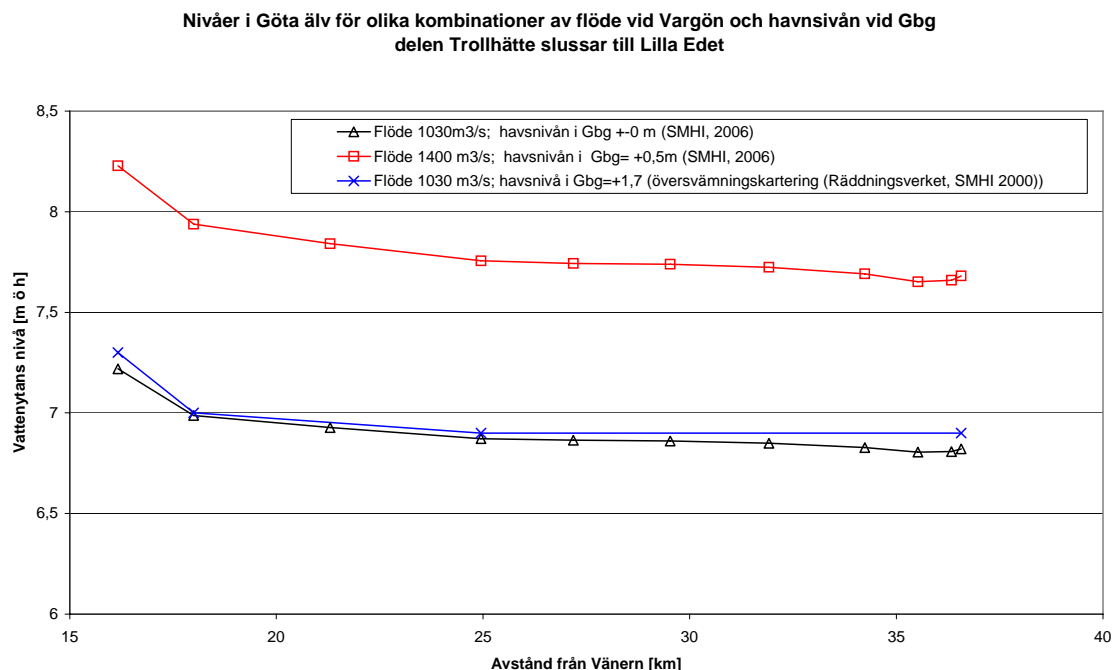
Effekter av landhöjning har ej beaktats i ovannämnda bedömningar. Enligt Bergqvist (1984) uppgår landhöjningen till ca 0,2 m i Göteborg och ca 0,25 m i Vänersborg på 100 år. Detta innebär att söder om kraftverket och slussen i Lilla Edet kompenseras vattenståndets ökning i älven delvis av landhöjningen när det gäller översvämningsspåren.

På sträckan Lilla Edets sluss till Göteborg påverkas vattennivån i älven av såväl havsnivån som flödet vid Lilla Edet. Ju närmare havet man kommer desto mer dominerar dock havet och nedströms Marieholmsbron är havsnivån direkt styrande för vattennivån, se Figur 6. Vid reglering i Lilla Edet måste således aktuell havsnivå alltid beaktas för omfattningen av översvämningarna nedströms slussen. Enligt uppgift från SMHI låg havsnivån strax under  $\pm 0$  vid den tappning som skedde år 2001, då flödet tillfälligt ökades till närmare  $1200 \text{ m}^3/\text{s}$ . Då medförde det ökade flödet relativt begränsade översvämningar inom låglänta områden. På denna sträcka är terrängen närmast älven dock generellt låglänt varför även relativt små ökningar av vattenståndet kan medföra att stora områden översvämmas.



Figur 6. Göta älv sträckan Lilla Edets sluss – Göteborgs hamn. Vattennivåer i Göta älv för valda scenarier (data från SMHI, 2006).

Enligt SMHI (2006) är nivåförändringarna i älven inom sträckan Trollhättans sluss till Lilla Edets sluss helt beroende av nivån direkt uppströms Lilla Edets sluss. Nivån vid Lilla Edet är beroende av möjligheten att avbörda tappningen från Vargöns kraftverk genom Lilla Edet, se Figur 7. En annan utredning (Sundborg och Norman, 1963) visar dock att det är dämning/sänkningsgränsen i Lilla Edet som huvudsakligen styr vattennivån på denna delsträcka (så länge nivåerna är lägre än dämningssänkningsgränsen). På denna sträcka är älvsänkningarna branta och höga och därmed blir utbredningen av översvämningar mindre. Vattenståndet har därmed förhållandevis liten betydelse i detta avseende. Uppströms Trollhättans sluss styrs vattennivån i Göta älv av tappningen från Vargöns kraftverk och av avbördningsmöjligheterna vid Trollhättans sluss. Inom Vänersborg och Trollhättan finns lokala partier som kan komma att påverkas av översvämningar redan vid flödet  $1030 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Figur 7. Göta älv sträckan Trollhätte slussar – Lilla Edets sluss. Vattennivåer i Göta älv för valda scenerier (data från SMHI, 2006).

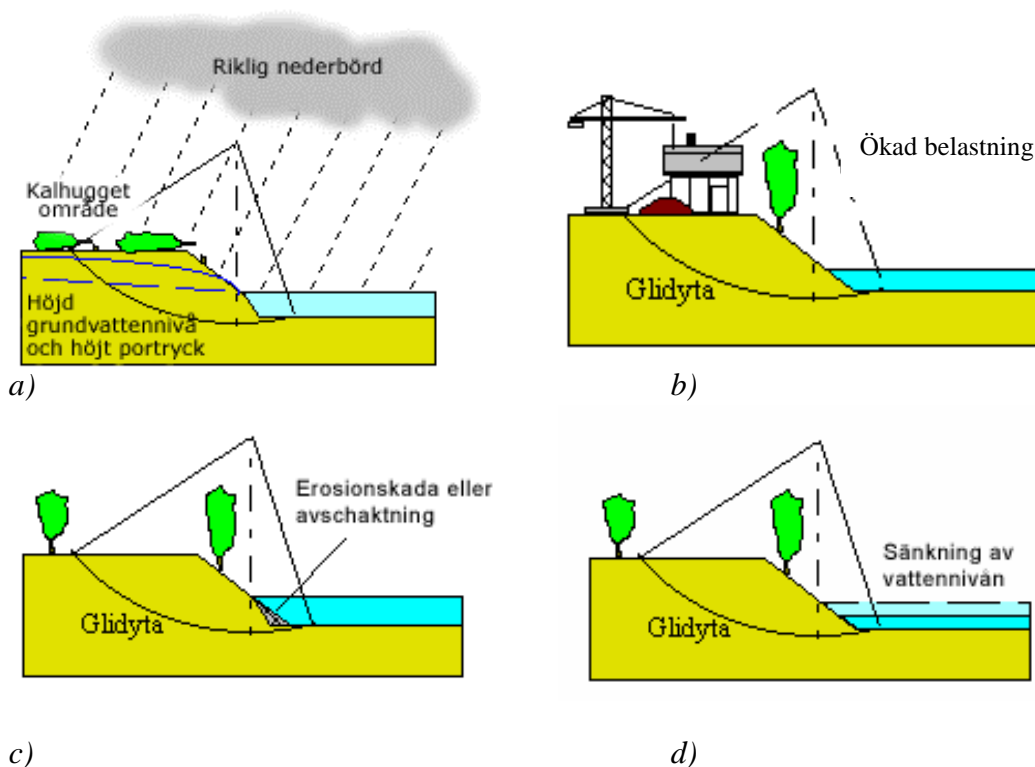
Möjligheter till en ökad tappning och därav föranledda konsekvenser beror inte enbart på tappningen från Vänern utan också mycket på rådande havsnivå vid tappningstillfället. Detta beroende på att havsnivån i stor grad styr hur stor möjlighet det finns att avleda vattnet från Göta älv till havet mellan Lilla Edet och Göteborg, utan att omfattande översvämningskomplex uppstår. Vid en hög havsnivå blir det nödvändigt att minska tappning från Vänern. Vid en låg havsnivå finns det däremot möjlighet till en ökad tappning. Idag är nivån + 1,9 m över havet strax nedströms Lilla Edets sluss den högsta nivå som erfarenhetsmässigt tillåts för att begränsa omfattningen av översvämningskomplex nedströms Lilla Edet.

Korttidsregleringen påverkar vattennivåerna i högre grad än innan regleringen 1938. Detta innebär konsekvenser både för sjöfart, vattentäkter, m.m. men ökar även sannolikheten för skred och erosion. En ytterligare ökning av nivåförändringar över dygnet kommer att förstärka detta.

## 4.2 Stabilitet

### 4.2.1 Faktorer som påverkar stabiliteten

Skred ingår i en naturlig process som strävar efter att utjämna höjdskillnaderna i landskapet. Stabilitetsförhållandena eller risken för skred i en slänt styrs av släntens höjd, lutning och jordlagrens hållfasthetsgenskaper och tyngd, men även grundvattennivå och porttryck (Figur 8a) samt yttre faktorer påverkar. Yttre faktorer är bl.a. belastningar i anslutning till slänten (Figur 8b), erosion i släntfot (Figur 8c) samt vattennivån i vattendraget nedanför slänten (Figur 8d). Vattennivån i vattendraget fungerar som en stabiliserande motvikt i slänten samtidigt som en ökad vattenströmning ökar erosionen, vilket i sin tur leder till minskad motvikt.



Figur 8. Exempel på orsaksfaktorer till försämrad stabilitet såsom höjda grundvattennivåer/portryck (a), yttre belastning av t. ex. byggnad, upplag etc. (b), erosion (c) samt sänkning av vattennivå (d).

I geotekniska utredningar framräknas normalt en säkerhetsfaktor,  $F$ , som används för att beskriva stabilitetsförhållanden i slänter. Säkerhetsfaktorn är, förenklat uttryckt, kvoten mellan motståndande och pådrivande krafter i slänten. De motståndande krafterna utgörs bl. a. av jordens hållfasthet, som kan påverkas av grundvattentrycket. Ju större  $F$  är desto mindre är sannolikheten för skred. När den framräknade säkerhetsfaktorn är 1 eller lägre betraktas slänten som instabil och det är troligt att ett skred inträffar.

#### 4.2.2 Exempel på konsekvenser av skred

Inom Göta älvdalen är förekomst av kvicklera vanligt. Kvicklera är lera som vid störning förlorar sin hållfasthet och blir flytande, se även kap 2.3. Försämrad stabilitet inom kvicklereområden, t.ex. vid ökad erosion i samband med ökad vattenströmning eller fartygstrafik, kan innebära att ett litet initieellt skred kan spridas med fler och större skred som följd. Dessa skred kan påverka stora områden. Konsekvenserna av ett sådant skreds utbredning kan bli mycket omfattande för samhälle, infrastruktur, sjöfart, vattenkraftverk, mm.

Mindre skred förekommer ofta i Göta älv och sker då främst på icke erosionskyddade slänter närmast älven eller i den undervattenslänt som kan finnas mellan strandlinjen och djupfåran. Dessa skred kan medföra ökad grumlighet i vattnet som i sin tur medför att vattenintagen tillfälligt kan få stänga. Utbredningen av dessa skred är normalt liten så länge de inte berör områden med kvicklera.

Från Trollhättans sluss till Lilla Edet är de topografiska skillnaderna stora ned mot Göta älv. Kvicklera är också vanligt förekommande. Inom denna sträcka finns, förutom Lilla Edet, inga större samhällen. Ett större skred inom detta område innebär, pga. de stora höjdskillnaderna, sannolikt att en stor jordmassa täpper till Göta älv och stoppar all sjöfart. Tilltäppningen av älven kan också innebära att en hög våg bildas med översvämningar som följd. En dämning av

älven kan även innebära att vattennivån nedströms snabbt sjunker med risk för nya skred. Från exempelvis Götaskredet finns uppgifter om att en ca 6 m hög våg uppkom i samband med skredet.

Området söder om Lilla Edet är mer låglänt än området norr därom. Ett skred inom de, speciellt på östra sidan, tätbebyggda områdena kan innebära stora konsekvenser genom att byggnader, infrastruktur och människor kan komma att skadas. I vattenområdet påverkas sjöfarten och Götaborgs vattenintag. Förekommer kvicklera kan ett mindre skred vid älvkanten sprida sig och beröra ett större område som kan ge upphov till katastrofala konsekvenserna. Exempel på sådana skred är Göta- och Surteskredet, se Kapitel 2.4. Vidare finns här industriområden som vuxit upp i anslutning till älven genom dess möjlighet till transporter via sjöfart, väg och järnväg. Inom många av dessa områden förekommer förorenad mark som vid ett skred kan glida ut i älven och medföra skadliga miljöeffekter.

Det arbete med skredriskanalyser och översiktliga stabilitetskarteringar som utförts inom Göta äldalen har hittills främst inriktats på större bebyggda områden. Detta innebär att mindre tätbefolkade delar, tex. delen norr om Lilla Edet till Trollhättans slussar, ännu inte utretts.

Ovannämnda konsekvenser avser dagens förhållanden och är huvudsakligen begränsade till äldalen. Framtida klimatförändringar kan medföra ytterligare konsekvenser som i dagsläget ej kan överblickas. Dock kan konstateras att låglänta områden kring Vänern blir mer sårbara om tappningen till Göta älv måste minska, eller till och med stoppas, p.g.a. skredmassor som blockerar älvfåran. Detta förändrade riskscenario kan innebära att områden längs Göta älv, som idag har godtagbar skredrisknivå, erfordrar vissa förstärkningsåtgärder för att bibehålla samma skredrisknivå även i framtiden.

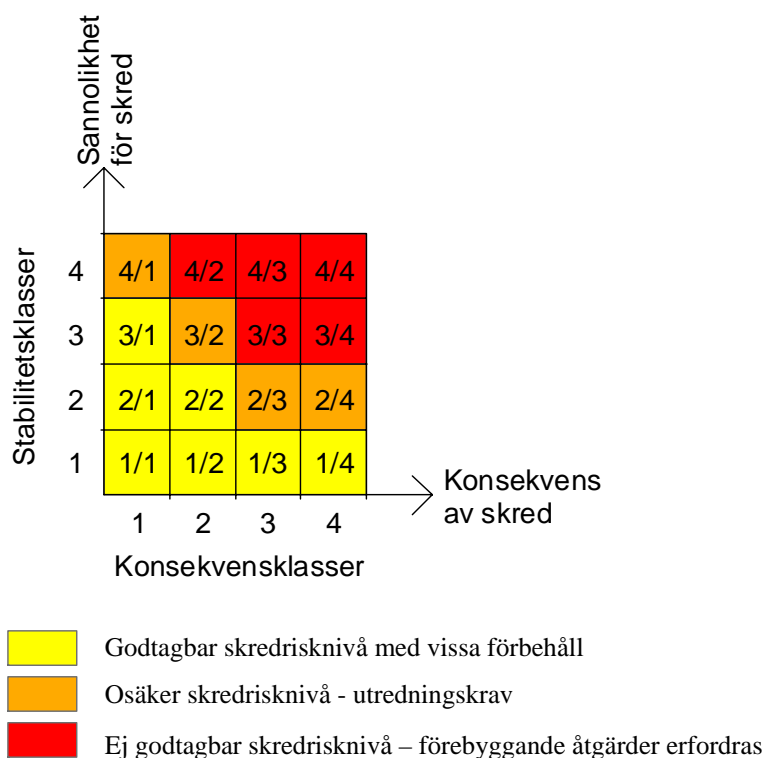
### 4.2.3 Skredrisker

Inom vissa delar av Göta älv, se kap 4.2.2, har, istället för enbart klassiska stabilitetsutredningar med redovisade säkerhetsfaktorer enligt ovan, s.k. skredriskanalyser utförts. I dessa analyser har en kalibrering av de framräknade säkerhetsfaktorerna utförts med hjälp av statistiska analyser, varefter skredsannolikheten bedömts. Dessa bedömningar ligger till grund för val av fyra stabilitetsklasser från ”försumbar sannolikhet för skred” (stabilitetsklass 1) till ”påtaglig sannolikhet för skred” (stabilitetsklass 4), se exempel Figur 10.

Konsekvenserna av ett skred, d.v.s. skadorna på liv, egendom och miljö, är rangordnats i fyra konsekvensklasser, från ”lindriga skador” (konsekvensklass 1) till ”katastrofala skador” (konsekvensklass 4). Man har avstått från att prissätta de ingående komponenterna utan istället beskrivit konsekvenserna i en skala med stegvis ökande effekter.

Kombinationen eller talparet av stabilitetsklass och konsekvensklass är ett uttryck för skredriskklassen. Riskklassningen baseras på bedömningar av sannolikheten för ett skred och konsekvenserna av detta, utgående från en riskmatris, se Figur 9. Matrisen är uppbyggd i ett koordinatsystem med två axlar, där man på vertikala axeln avsätter skredsannolikheten och på den horisontella axeln konsekvensen av ett skred.

Vid användning av resultaten från skredriskklassningen är det opraktiskt att hantera 16 skredriskklasser. Därför har en gruppering av riskklasserna definierats i tre olika skredrisknivåer. Denna indelning, som bättre motsvarar skredriskanalysens översiktliga karaktär, kan göras på grundval av den samlade erfarenheten från bedömningar av stabilitetsförhållanden för olika objekt i älv dalen och sydvästra Sverige samt utförda skredriskanalyser. Vägledande har varit gränserna mellan stabilitetsklasserna men också bedömningar av konsekvensernas omfattning.



Figur 9. Stabilitetsklasser, konsekvensklasser och skredrisknivåer.

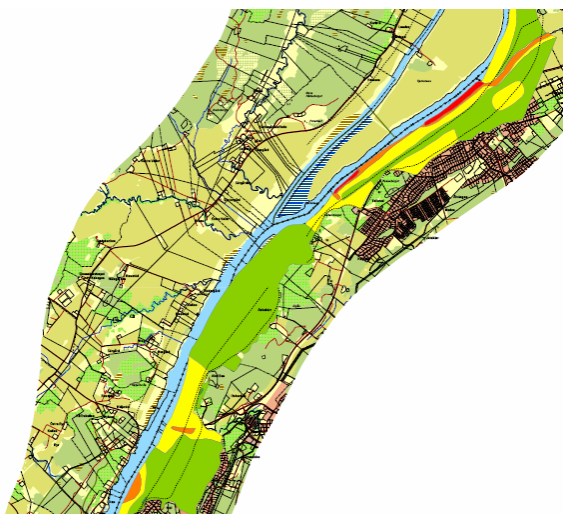
De tre skredrisknivåerna benämns "godtagbar", "osäker" och "ej godtagbar". De olika skredrisknivåerna innebär olika krav på geotekniskt betingade åtgärder där "ej godtagbar skredrisknivå" alltid kräver detaljerade stabilitetsutredningar och eventuellt stabilitetsförbättrande åtgärder. Metodiken för skredriskanalyser finns beskriven i Alén et al (2000).

#### 4.2.4 Översiktliga stabilitetsutredningar

Övergripande stabilitetsutredningar i form av skredriskanalyser har, som framgår av Kapitel 2.4.2, fram till år 2005 framtagits av SGI inom vissa delsträckor längs Göta älv. Dessa delsträckor är, jfr Bilaga 1:1 – 1:4:

- Östra älvsidan från Hjällbo/Lärjeån i Göteborg i söder till Älvängen i norr; totalt ca 25 km längs älven
- Östra älvsidan vid Lödöse och en delsträcka norr därom; totalt ca 3,5 km längs älven
- Östra älvsidan vid Göta och en delsträcka norr därom, totalt ca 2 km längs älven
- Östra älvsidan vid Lilla Edet och en delsträcka norr därom, totalt ca 5 km längs älven
- Västra älvsidan från Tingstad i Göteborg i söder till Kärra/Angeredsbron i norr, totalt ca 8 km längs älven





Figur 10. Exempel på stabilitetsklassindelning från skredriskanalys för södra Göta älv. Grön färg avser område med försumbar sannolikhet för skred och röd färg avser påtaglig sannolikhet för skred (Ahlberg, 1995)

Räddningsverket ansvarar bl.a. för att ta fram översiktliga stabilitetskarteringar. Den översiktliga stabilitetskarteringen innebär att stabilitetsförhållandena för slänter innehållande jordlager bestående av lera, silt och sand i bebyggda områden klassas översiktligt. Om marken inte med säkerhet kan klassas som stabil bör man gå vidare och utföra detaljerade stabilitetsutredningar. Denna typ av kartering har utförts inom flera kommuner längs älvdalen, men berör Göta älv enbart inom följande sträckor, jfr Bilaga 1:1 – 1:4:

- Delar av östra älvsidan i Trollhättan (från Trollhättans kyrka/Kanaltorget i söder till Malöga i norr); totalt ca 2,5 km längs älven.
- Delar av östra älvsidan i Vänersborg (Vargön); totalt ca 1,5 km längs älven.

Sammantaget omfattar ovannämnda delsträckor ca 47 km, vilket motsvarar ca 25 % av den totalt 186 km långa strandlinjen.

Längs västra älvsidan från Assleröd bränna (ca 9 km nedströms slussen i Lilla Edet) i söder till Lunden (strax nedströms Trollhätte slussar) i norr påbörjar SGI år 2006 en skredriskanalys, jfr Bilaga 1:1 – 1:4. Totalt omfattas en sträcka av ca 28 km längs älven. I dagsläget finns enbart en mycket grov bedömning på denna sträcka som innebär att inom huvuddelen av delsträckan är kombinationen av markytans lutning och jordförhållandena sådana att man inte kan utesluta att risk för skred föreligger.

Stabilitetskarteringarna och skredriskanalyserna är av översiktlig karaktär och är jämförbara med översiktplaner för fysisk planering.

I ovan beskrivna skredriskanalyser finns idag ingen hänsyn tagen till klimatförändringar. För att beskriva bedömda förändringar av skredsannolikheter med hänsyn till effekter av klimatförändringar, har i denna utredning förändringar av stabilitetsklasser använts.

#### 4.2.5 Stabilitetspåverkande processer och effekter av klimatförändring

Några typsektioner ingående i ovannämnda skredriskanalyser har studerats för att bedöma påverkan av ett förändrat flöde från Vätern. För dessa har studerats hur stabiliteten (stabilitetsklasserna) förändras med effekterna av ökad nederbörd, ökat medelvattenflöde samt ökad och snabbare fluktuation av högvatten, medelvatten och lågvatten.

Den ökade nederbörden, på årsbasis, bedöms medföra ett förhöjt grundvattentryck och en förhöjd grundvattennivå i jorden vilket i sig försämrar stabiliteten. Det ökade medelvattenflödet medför ökad erosion där erosionsskydd saknas, vilket försämrar stabiliteten. Den ökade och snabbare fluktuationen av vattenytan medför att en mer extrem kombination av höga portryck i jorden och låg vattenyta i älven kan uppkomma, vilket också försämrar stabiliteten. Flera faktorer samverkar alltså och bidrar i olika grad till en försämring av stabiliteten vid en ökad nederbörd och ett förändrat flöde i älven.

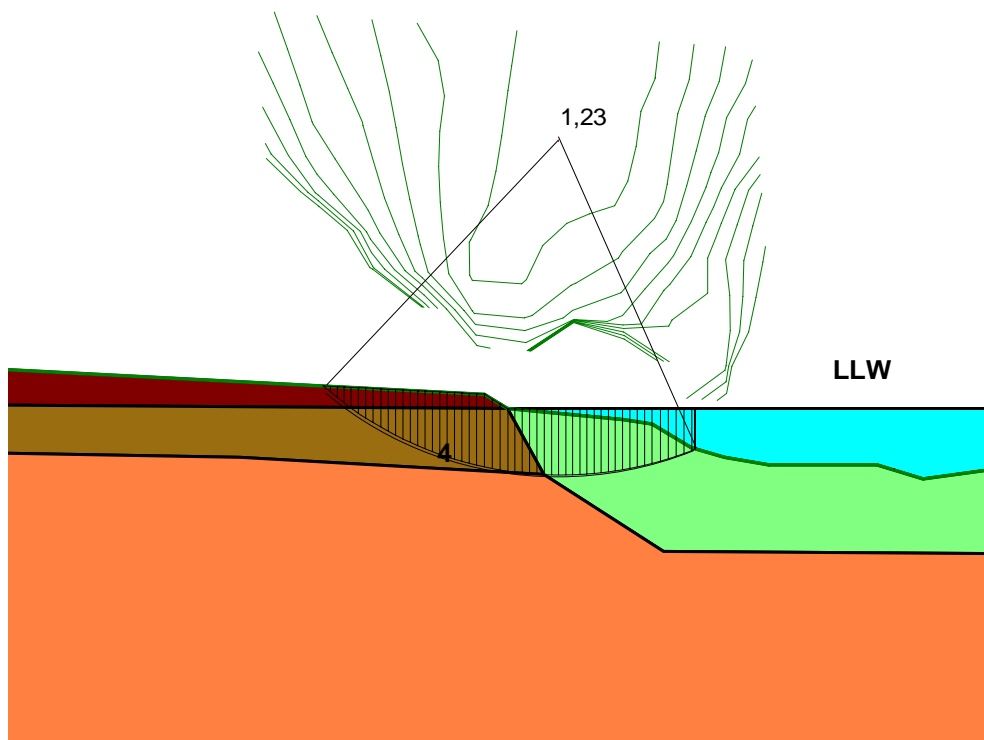
Storleken på de stabilitetsförsämrande processerna är mycket svår att prognostisera samtidigt som indata till de enkla modeller som finns att tillgå är mycket osäker.

I Hultén et al (2005a) framgår att en trolig effekt av den ökade nederbörden är en långsiktig ökning av portrycket i jordprofilen. En svårighet är dock att förutsäga grundvattentryckets genomslagskraft på portrycket i olika geologiska miljöer samt tidsaspekten av denna. Speciellt gäller detta när ett material med hög permeabilitet (genomsläpplighet) överlagras av ett mäktigt lerlager med låg permeabilitet. Regionalt varierar grundvattennivåer och portryck och är beroende av flera faktorer såsom jordart, topografi, till- och ytavrinningsområden, etc. Här valts att ansätta en höjning av portrycket och grundvattennivån motsvarande ca 1 m. Detta baseras på SGU:s bedömning av klimatrelaterade grundvatteneffekter (Hultén et al, 2005a).

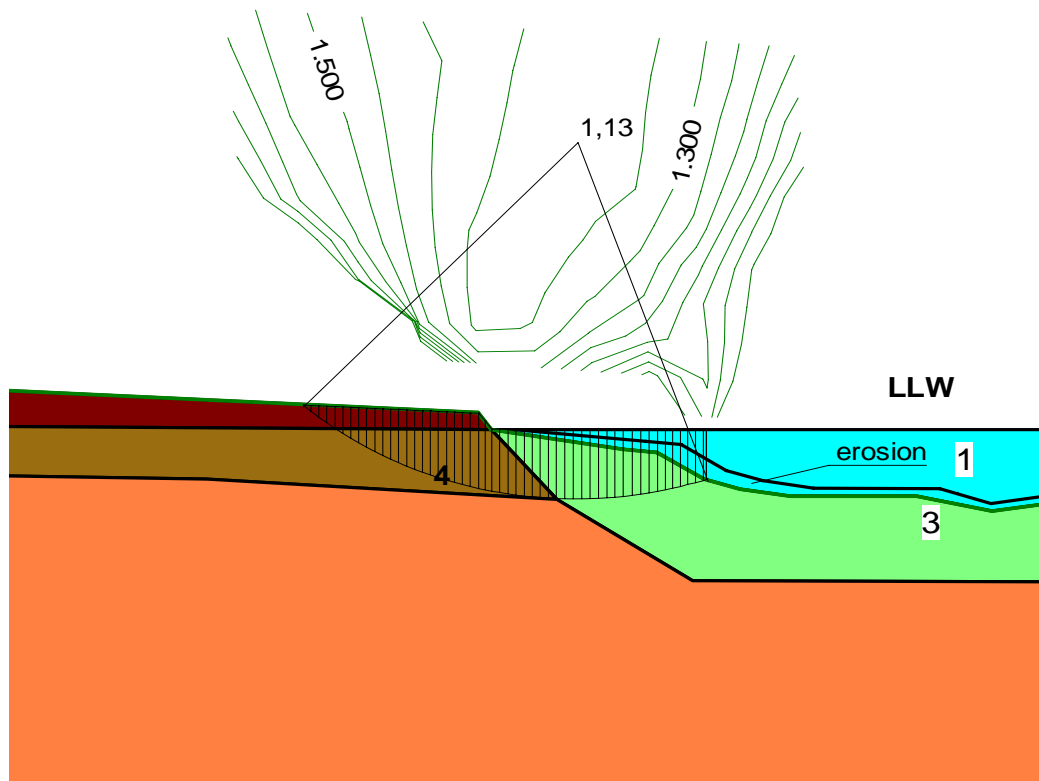
Den eroderande effekten av vattenflödet i älven har översiktligt studerats av Lunds universitet inom ramen för föreliggande utredning (Larson et al, 2006) och delar av den studien redovisas i Kapitel 4.3.1. Utgående från den studien har bedömts att på 100 års sikt kan erosionen längs älvsidorna och stränderna i medeltal komma att uppgå till i storleksordningen 2 á 3 m, medan bottenerosionen kan komma att uppgå till i storleksordningen 0,5 á 1,5 m. Även med nuvarande vattenflöden pågår erosion, men ett ökat max- och medelflöde på ca 20 % bedöms medföra att erosionstakten ökar med i storleksordningen 50 % jämfört med dagens förhållande, se Kapitel 4.3.1. Beroende på varierande förhållanden längs älven (vattenhastighet, turbulenta strömmar, befintliga erosionsskydd, etc.) kan dock stora lokala avvikelser från ovanstående uppskattningar förekomma. Här har valts att ansätta stranderosionen till ca 2,5 m på ömse sidor om älven och bottenerosionen ca 1 m i ej erosionsskyddade typsektioner.

Ökade flöden försämrar stabilitetsförhållandena pga successivt ökad erosion. Även minskade flöden försämrar dock stabiliteten eftersom en lägre vattennivå (om så bara kortvarig) minskar vattnets mothållande effekt. Sambandet mellan vattenflödet och vattennivån i älven är dock inte entydigt. Vattennivån mellan Trollhätte slussar och Lilla Edet påverkas även av rådande dämning/sänkningsnivå i Lilla Edet. Mellan Lilla Edet och älvens utlopp i havet är det istället havsnivån som i hög grad påverkar vattenytans nivå i älven. Enligt Bergström et al (2006) kommer inflödet till Väneren att variera kraftigare över året (högre inflöde under höst/vinter/vår och lägre inflöde under sommaren) varför även flödet i Göta älv kommer att fluktuera mer över året om inte detta regleras. Här har valts att ansätta ett minsta flöde motsvarande dagens lägsta lågvattennivåer (LLW) eftersom vi bedömer att det inte är rimligt att sänka denna nivå med hänsyn till sjöfart, vattenintag, skredrisker enligt tidigare utförda skredriskanalyser mm.

I ett typfall från sydvästra Göta älv, där en slänt i dag har en säkerhetsfaktor som hänförs till stabilitetsklass 3 innebär en ökad erosion att stabiliteten försämras, se Figur 11 och Figur 12. Sannolikheten för skred kommer att öka och slänten hamnar i en stabilitetsklass 4, ”påtaglig sannolikhet för skred”.

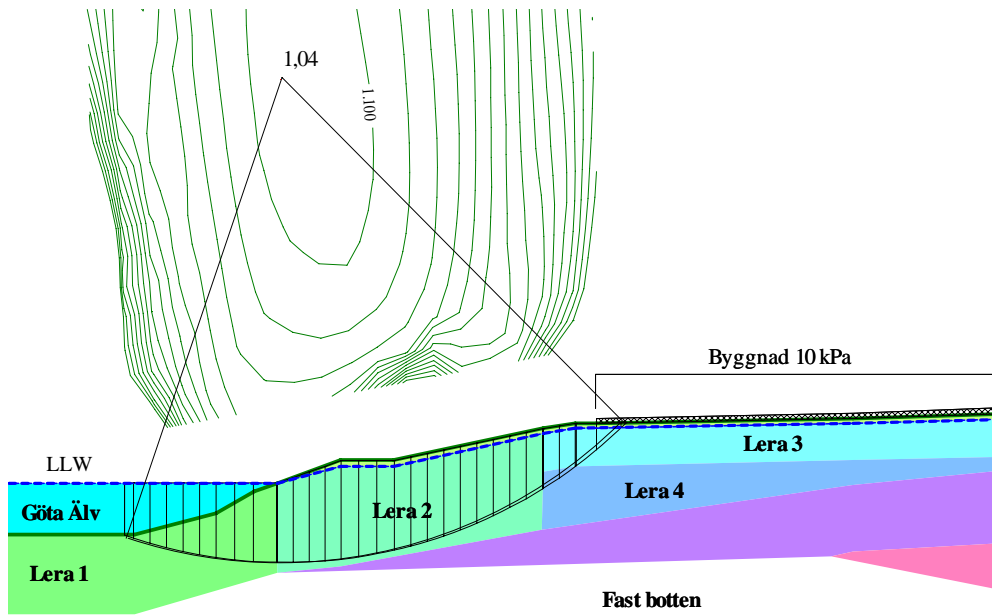


Figur 11. Säkerhet mot skred för dagens förhållande, motsvarande stabilitetsklass 3 (slänt i sydvästra Göta älv)

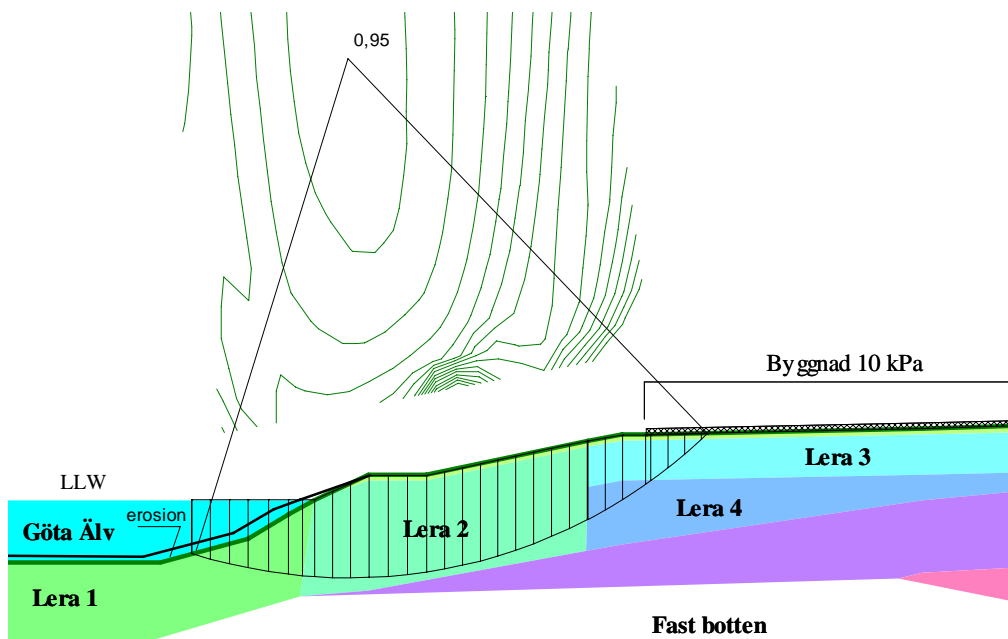


Figur 12. Säkerhet mot skred efter en framtida ökad erosion och lågvattennivå, motsvarande stabilitetsklass 4 (slänt i sydvästra Göta älv)

I en typslänt, belägen i Lilla Edet, är sannolikheten för skred stor redan idag (säkerhetsfaktor strax över 1) och slänten har stabilitetsklass 4 dvs påtaglig sannolikhet för skred, se Figur 13. Erosion i den omfattning som beskrivits ovan kan innebära att slänten kan komma att skreda då beräkningsmässigt blir säkerheten  $< 1$ , se Figur 14. I båda typfallen påverkas stabiliteten negativt med ca 8 – 10 % enbart av erosionen.

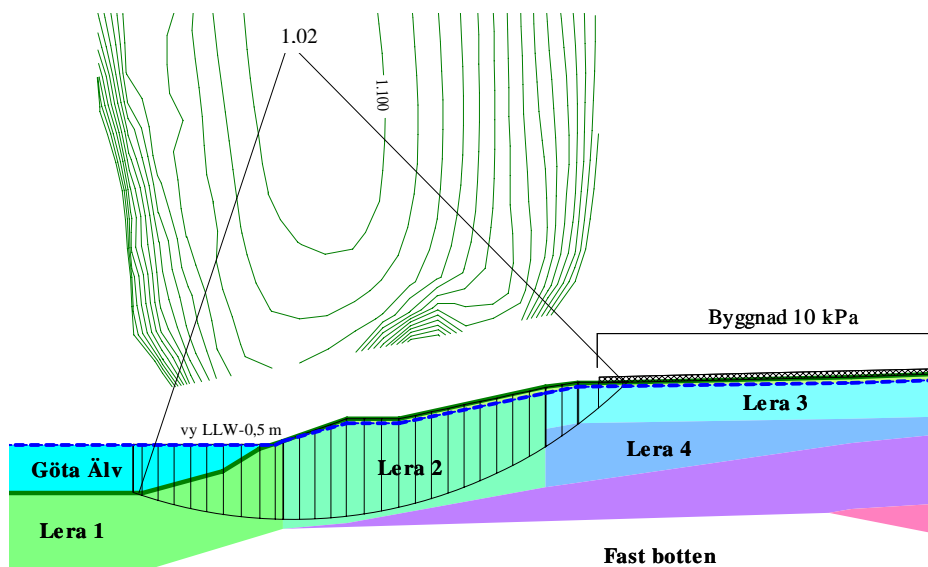


Figur 13. Säkerhet mot skred för befintliga förhållanden, motsvarande stabilitetsklass 4 (slänt i Lilla Edet)



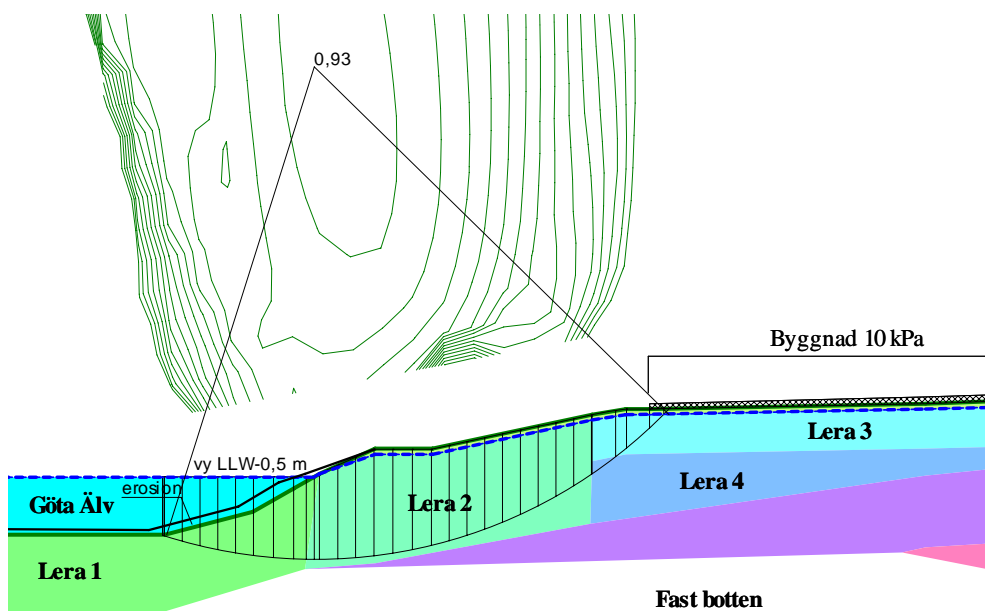
Figur 14. Säkerhet mot skred efter en framtida ökad erosion, ökade portryck och lågvattennivå, motsvarande stabilitetsklass 4 (slänt i Lilla Edet).

För samma slänt i Lilla Edet påverkar enbart en förändring av vattenytan av  $\pm 0,5$  m att säkerheten för stabiliteten ökar respektive minskar med ca 2 – 3 %, se exempel i Figur 15.



Figur 15. Säkerhet mot skred vid en sänkning av vattennivån 0,5 m i älven (slänt i Lilla Edet).

Då flera faktorer som erosion, ökade portryck och förändring av vattennivåer samverkar kommer säkerheten på stabiliteten att i detta typfallet ytterligare sänkas och sannolikheten för skred ytterligare att öka, se Figur 16.



Figur 16. Säkerhet mot skred efter en framtida ökad erosion, ökade portryck och sänkt vattennivå 0,5 m i älven (slänt i Lilla Edet)

Baserat på utförda stabilitetsberäkningar med ovan beskrivna scenario bedöms att stabilitetsklassen inom lösa lerjordsområden längs älven kommer att höjas en halv till en stabilitetsklass på 100 års sikt, jfr Figur 9. I princip innebär detta genomgående en ökad skredsannolikhet inom

delsträckor omfattande lösa lerjordar. De slänter som idag är på gränsen till att vara instabila, t.ex. ovan visade typslänt från Lilla Edet, kan med de ovan beskrivna faktorerna av ökad erosion, höga porvattentryck och förändringar av vattennivåer komma att skreda om inte åtgärder vidtas. Även med dagens förhållanden är sannolikheten för skred så stor för dessa slänter att geotekniska åtgärder är angelägna.

Baserat på ovanstående bedömningar har en översyn av stabilitetsförhållandena längs älven genomförts. Dessutom har framtida stabilitetsklass och erforderliga åtgärder p.g.a. geotekniska konsekvenser av förändrade flöden bedömts. Utgångspunkten har varit de tidigare nämnda delsträckor där skredriskanalyser och översiktliga stabilitetskarteringar utförts. Vid översynen har även översiktligt beaktats översvämningssvallarnas stabilitetspåverkan.

Inom de delsträckor, motsvarande totalt drygt 40 km strandlinje, där skredriskanalyser utförts har en övergripande bedömning genomförts för de två flödesscenarierna enligt Tabell 2. Omfattningen på förstärkningsåtgärderna baseras på en sammanvägning av befintlig kunskap, erfarenhet samt de tidigare redovisade analyserna. Angivna siffror avser enbart åtgärder förorsakade av klimatförändringarna. Redan vid dagens förhållanden erfordras stabilitetsförbättrande åtgärder längs vissa delsträckor (främst tillhörande stabilitetsklass 3 och 4). Förutom de bedömda förstärkningsåtgärderna kommer mer detaljerade utredningar att krävas längs huvuddelen av delsträckorna.

Tabell 2. Bedömd förändring av stabilitetsklasser och tillkommande omfattning på stabilitetsförbättrande åtgärder inom delsträckor där skredriskanalyser utförts.

Nuvarande stabilitetsklass	Bedömd framtida stabilitetsklass	Bedömd omfattning på stabilitetshöjande förstärkningsåtgärder pga de framtida flödesscenarierna	
		Flöde 1030 m <sup>3</sup> /s	Flöde 1400 m <sup>3</sup> /s
4	>4	Ca 30–50 % av delsträckorna	Ca 50–70 % av delsträckorna
3	3-4	Ca 20–40 % av delsträckorna	Ca 40–60 % av delsträckorna
2	2-3	Ca 5–15 % av delsträckorna	Ca 10–20 % av delsträckorna
1	1-2	Sannolikt erfordras endast mindre stabilitetshöjande förstärkningsåtgärder	Sannolikt erfordras endast mindre stabilitetshöjande förstärkningsåtgärder

Inom de delsträckor, motsvarande totalt ca 4 km strandlinje, där översiktliga stabilitetskarteringar utförts har motsvarande bedömning gjorts för de två flödesscenarierna. Det bedöms att ca 0,5 – 2,5 km av delsträckorna behöver åtgärdas för flödesscenario 1030 m<sup>3</sup>/s. Motsvarande längd är ca 1,5 – 3,5 km för flödesscenario 1400 m<sup>3</sup>/s. Förutom de bedömda förstärkningsåtgärderna kommer mer detaljerade utredningar att krävas längs huvuddelen av delsträckorna.

Inom de delsträckor, motsvarande totalt ca 30 km strandlinje, där en skredriskanalys påbörjats år 2006 har motsvarande bedömning gjorts för de två flödesscenarierna. Det bedöms att ca 1,5 – 4,5 km av delsträckorna behöver åtgärdas för flödesscenario 1030 m<sup>3</sup>/s. Motsvarande längd är ca 6 – 12 km för flödesscenario 1400 m<sup>3</sup>/s. Förutom de bedömda förstärkningsåtgärderna kommer mer detaljerade utredningar att krävas längs huvuddelen av delsträckorna.

Inom övriga delsträckor, motsvarande ca 113 km strandlinje, saknas i stort sett underlag som baseras på moderna analysmetoder. Utgående från en bedömning av grundförhållanden och topografiska förhållanden har dock utförts en mycket grov uppskattning av omfattningen på de delområden som erfordrar stabilitetshöjande förstärkningsåtgärder. Inom stora delar av dessa delområden erfordras dock framtida skredriskanalyser.

En sammanställning av sträckor med bedömda åtgärdskostnader redovisas i Kapitel 6.

### 4.3 Erosion och sedimenttransport

Erosion är en naturlig process som lätt kan påverkas och förvärras av mänsklig inverkan eller av ändrade naturliga förhållanden. Erosionen påverkas av många faktorer såsom vattenhastighet, typ av jordart, vågor, vind, svallvågor och propellerrörelser från fartyg m m. Både stränderna och älvbotten påverkas av erosion. Idag saknas erosionsundersökningar och systematisk kontroll av erosionens omfattning. Detta gäller särskilt under vattenytan och kännedomen om erosionsprocesserna är därför begränsad.

I en utredning från 1960-talet, Sundborg och Norrman (1963), anges att i älvens nedre del beräknas 130.000 ton oorganiskt material transporteras varje år, varav 50.000 ton går i Göteborgsgrenen. Cederwall och Larsen (1976) anger materialtransporten till 170.000 ton/år, medan andra undersökningar ger uppskattningar i intervallet 130.000 till 200.000 ton/år. De stora variationerna i mängderna visar att bedömningarna är osäkra. I de senare arbetena anges fördelningen i transport mellan Göteborgsgrenen och Nordre Älv till 40 % respektive 60 %. Cirka 30 % av det oorganiska materialet i Göta älv härrör från utflödet från Väneren. Under älvens lopp tillkommer även cirka 10 % av det totala oorganiska materialflödet från de lokala tillflödena. Därtill kan 20 % stranderosion (mestadels uppströms Lilla Edet) och 40 % djuperosion (mestadels nedströms Lilla Edet) adderas. Orsaken till att stranderosionen är mest påtaglig uppströms Lilla Edet beror huvudsakligen av älvens utformning, då flödet i strandzonen är högre och mer erosivt. (Göta älvs vattenvårdsförbund, 1996). Fördelningen avseende stranderosion och djuperosion härrör från Sundborg och Norrmans (1963) utredning.

För att minska stranderosionen utmed Göta älv har erosionsskydd utlagts längs stora sträckor, främst under slutet av 1960-talet. Erosionsskydden besiktigas minst en gång per år. I dom från Vattendomstolen 1988-07-14 regleras Vattenfalls ansvar för underhåll av erosionsskydd som berör kanalombyggnaden. Vidare anges i domen att Vattenfall, i samråd med SGI, ska svara för fortlöpande övervakning av stranderosionen utmed Göta älv mellan Brinkebergskulle sluss och Lärje.

#### 4.3.1 Strand- och bottenerosion

För att kvantifiera inverkan av klimatförändringar på sedimenttransport och erosion har en översiktlig studie utförts av Lunds universitet inom föreliggande utredning (Larson et al, 2006) där en jämförelse gjorts med den situation som råder i nuläget. Eftersom det bakgrundsmaterial som använts i denna studie varit mycket begränsat har effekterna av klimatförändringar delvis uppskattats i relativa termer, innebärande att det framtida tillståndet uttrycks i förhållande till rådande situation.

Bedömningar av erosionen baseras på tre typsektioner belägna i Lödöse, Lilla Edet samt i en sektion ca 7 km nordväst om Lilla Edet. I bedömningen har man utgått från den information som finns att tillgå om mängder av transporterat material och olika fördelningar angivna i de utredningar som redovisats ovan i Kapitel 4.3. Då informationen i dessa utredningar är mer än 25 år gammal är bedömningarna mycket översiktliga, men ger ändå en indikation på hur erosionen kan påverkas vid ett ökat flöde.

Om hela den årliga transportmängden av material skulle tas från älvfåran skulle den årliga tillväxten av bottenerosionen vara ca 7 mm vid dagens klimatförhållanden. Med antagande om att 20 % av den årliga transporten av sediment mestadels kommer från stranderosion uppströms Lilla Edet kan vid dagens klimatförhållanden den årliga reträtten av strandprofilen vara ca 20 mm där erosionsskydd saknas. Dessa siffror är grova riktvärden som karakteriserar erosionen längs botten och strandplanet. Speciellt längs stränderna varierar erosionen betydligt och förloppet är inte så gradvis som längs älvbotten. Det förekommer även underminering och skred som viktiga element vid erosionen av strandplanet. Erosionen ökar med ett ökat flöde och bedöms vara ca 4 – 6 ggr större vid ett flöde på ca 1000 m<sup>3</sup>/s jämfört med ett flöde på ca 500 m<sup>3</sup>/s.



Vid ett ökat flöde från 1030 m<sup>3</sup>/s till 1400 m<sup>3</sup>/s kan vattenhastigheten komma att öka med ca 20 % enligt SMHI (2006). Med ett antagande att vattenhastigheten ökar med detta värde och att vattenytan stiger ca 0,8 m i älven både för medel- och maximalflöden kan erosionen komma att öka med ca 50 % och därmed ge en ökad total uttransport av sediment från älven. Förhållandet på erosionen mellan maximala flöden och medelvattenflöden bedöms bli samma som idag (ca 4 – 6 gånger större) vid valt scenario.

Då det kommer att finnas behov av ett tappa ett högre flöde vid fler tillfällen jämfört med dagens klimat (Bergström et al, 2006) kommer erosionen i Göta älv att öka. Detta kommer att ske även med bibehållen maxtappning av 1030 m<sup>3</sup>/s på grund av att det kommer att krävas en maximal tappning betydligt oftare än idag. SMHI har beräknat hur varaktigheten för olika flödesnivåer ser ut vid dagens förhållanden samt hur varaktigheten förändras vid olika framtida klimat-scenarier, under förutsättningen att maxtappningen 1030 m<sup>3</sup>/s bibehålls (SMHI, 2006). Beräkningarna är överslagsmässiga och enligt uppgift innehåller de antaganden som avviker från verkliga förhållanden. Baserat på detta underlag bedöms dock att erosionstakten ökar med i storleksordningen 15 – 55 % vid bibehållen maxtappning 1030 m<sup>3</sup>/s. Enligt SMHI har det ej varit möjligt att genomföra motsvarande varaktighetsberäkning för maxtappningen 1400 m<sup>3</sup>/s inom ramen för denna utredning.

### 4.3.2 Fartygstrafik

Göta älv har sedan gammalt utgjort en viktig vattenväg både för yrkestrafik och fritidsbåtar. Årligen trafikerar mellan ca 2500 – 2700 fartyg Göta älv samt ca 3500 fritidsbåtar (Sjöfartsverket, 2006b). Storleken, på fartyg som får lov att trafikera Göta älv, är begränsad till en maxlängd av 89 m, maxbredd av 13,4 m och ett maxdjup av 5,4 m. Tillåtet maxdjup kan dock variera beroende på vattenståndet.

Påverkan från fartygsverksamheten har betydelse för erosionen. Lunds universitet (Larson et al, 2006) har utfört en översiktlig studie för grov bedömning av fartygstrafikens inverkan på erosionen. Vid ett ökat flöde behöver fartygen en ökad hastighet relativt vattnet för att uppnå samma absoluta hastighet över botten när det färdas uppströms.

Fartygstrafiken påverkar erosionen på tre sätt:

- Förändringar i strömningshastighet och vattenstånd i älven på grund av att fartyget färdas i en begränsad vattenmassa.
- Inducerad strömning på grund av propellerrörelsen
- Ökad materialtransport på strandplanet på grund av vågbildning (svallvågor från fartyget)

För de två första faktorerna är samverkan med vattenströmningen i älven avgörande för erosionen och sedimenttransporten, medan vågbildningen är relativt oberoende av strömningen. Vågbildningen innebär att erosion kan förekomma uppe på strandplanet dit vattnet normalt inte når.

Vid bedömningen av effekten på erosionen har en utredning från SSPA (1996) av vattenhastighet på älvbotten och älvslänt från fartyg med en hastighet på 6 knop använts som schablon. I tre sektioner (Lödöse, Lilla Edet och ca 7 km norr Lilla Edets sluss) har studerats hur stor andel av bottenerosionen som kan utgöras av fartygstrafiken utifrån enkla uppgifter på antal fartyg, fartygsstorlek och djupgående. Beräkningarna är förenklade och en noggrannare analys krävs för en säkrare bedömning av fartygstrafikens påverkan. Studien antyder dock att fartygstrafiken kan stå för ca 4 % av bottenerosionen och ca 13 % av stranderosionen med dagens flöden. I de studerade framtidsscenarierna bedöms erosionsandelen förorsakad av fartygstrafiken vara lika stor som idag. I studien har inte erosionen från propellerstrålar tagits med eftersom den utgör en lokal effekt och kan antas ingå i den relativt konservativa bedömning som gjorts (Larson et al, 2006).

Den del av stranderosionen som beror av bl.a. svallvågor från fartygen (vågbildning) har inte kunnat bedömas då denna huvudsakligen styrs av lokala förhållanden. Sjöfartsverket (Sjöfartsverket, 2006a) bedömer att propellererosionen inte är så stor utan att det största problemet är vågerosion från fartyg. Vågerosionen hanteras idag normalt främst genom utläggande av erosionsskydd av sten.

### 4.3.3 Muddring

Sedimentation sker främst i den nedre delen av Göta älv, där vattenhastigheten minskar, älvfårens bredd ökar och salthalten ökar. Tyngre partiklar som inte kan hålla sig flytande så länge sedimenterar snabbare. När suspenderade partiklar i Göta älvs vatten når saltvatten i mynningen sker en flockurering som gör att det suspenderade materialet i vattnet sjunker ned till botten och sedimenterar (Göta älvs Vattenvårdsförbund, 1996). Detta innebär att mycket material sedimenterar dels i Nordre älv dels i Göta älv inom Göteborgs hamn. Sedimentationen ökar i stigande skala ungefär från Lärjeåns utlopp i älven och väster ut mot Frihamnen (Sjöfartsverket, 2006a). Den ökade mängden eroderat material vid ett ökat flöde kommer att påverka och öka sedimentationens storlek.

Eftersom ingen ekonomisk fartygstrafik går i Nordre älv sker här ingen muddring. Eventuellt utförs begränsad muddring i småbåtshamnarna i området. I Göteborgs hamn sker regelbunden muddring eftersom älven är starkt trafikerad. Här är muddringsarbetet uppdelat i två ansvarsområden. Sjöfartsverket ansvarar för delsträckan från Marieholmsbron (Lärjeåns utlopp i Göta älv) till Frihamnspiren, medan Göteborgs Hamn AB ansvarar för delsträckan Frihamnen till inloppet i höjd med Elvsborgs fästning/Skandiahammen.

Marieholmsbron (Lärjeån)- Frihamnspiren inspekteras/muddras ca vart 5:e år. Inspektionerna utförs numera med multistråle ekolod och utifrån uppmätt djup samt jämförelse av tidigare mätning bedöms om muddring erfordras. Nedströms Frihamnen utförs kontrollerna också med multiståle ekolod och muddring av farleden genomförs ca vart 3–4:e år. Punktvis muddring sker även inom de många hamnbassängerna i området.

Längs Marieholmsbron (Lärje å) – Frihamnen uppskattas att ca 30.000 m<sup>3</sup> muddringsmassor tas upp vart 5:e år, vilket innebär 6.000 m<sup>3</sup>/år, mängden kan dock variera kraftigt. Efter de höga flödena år 2000 – 2001 muddrades år 2004 ca 100.000 m<sup>3</sup> (Sjöfartsverket, 2006a). Den totala kostnaden för muddringsarbetet år 2004 uppgick till ca 14 miljoner kronor men då kunde utrustning utnyttjas som fanns på plats genom den nymuddring som utfördes i Göteborgs hamn och det reella priset är således något högre (Sjöfartsverket, 2006a).

Underhållsmuddring i Göteborgs hamn (Frihamnen – Elvsborg) utförs ungefär vart 3:e år och muddermassorna uppgår då till drygt ca 300.000 m<sup>3</sup> (Göteborgs Hamn, 2006a). Tidigare har ca hälften av de muddrade massorna betraktats som förorenade men tack vare saneringsåtgärder har denna siffran skrivits ner till ca 1/3. Dock kan kraven från myndigheterna rörande riktvärden för förorenade sediment komma att ändras i framtiden. Därmed kan andelen förorenade sediment komma att öka. Göteborgs Hamn utför vid enstaka tillfällen även nymuddring. Senaste nymuddringen pågick mellan åren 2001 och 2004, dessförinnan nymuddrades det år 1999.

Muddermassor, som bedömts som förorenade, deponeras idag på deponiplatsen vid Torsviken. Rena muddermassor deponeras på en plats vid Vinga. Det är Göteborgs Hamn som har tillståndet för båda dessa platser. Tillståndet för Torsviken gäller t.o.m. år 2009 och tillståndet för Vinga går ut något senare. Det finns idag inga reservplatser för dessa. Deponikostnaderna uppgår till ca 100 kr/m<sup>3</sup> för rena massor medan deponikostnaderna för förorenade muddermassor uppgår till ca 400 – 500 kr/m<sup>3</sup> (Göteborgs Hamn, 2006b).

Vid ett ökat flöde kommer behovet av muddring av sediment att öka. Med ett scenario enligt Kapitel 4.3.1 kan erosionen komma att öka med ca 50 %. För Sjöfartsverket och Göteborgs

Hamn innebär detta större underhållskostnader. I Nordre älv, som idag inte muddras, kan en större sedimentering troligen innebära att viss underhållsmuddring kommer att erfordras. Underlag för omfattningen av muddring i Nordre älv har inte kunnat bedömas inom ramen för denna utredning.

Både Sjöfartsverket och Göteborgs Hamn ser ett ökat problem med att höga flöden skulle kunna generera att mer förorenade sediment når hamnen, (Lärjeån-Elvsborg). Ett förändrat klimat skulle kunna innebära att behovet av nya deponiplatser uppstår betydligt tidigare än kalkylerat. Behovet av muddring i allmänhet kommer att bli större ju mer material som sedimenterar till följd av ökad materialtransport från älven.

#### 4.4 Markföroreningar

Markområdena längs Göta älv har med sin transportvänliga placering alltid varit attraktiv mark för företag och industrier. Här finns industrier som glasbruk, kemisk produktion, båtvarv, mm. Flera av industrierna har vuxit med åren och har expanderat mot älven. Inom några områden i den södra delen av älv dalen har utfyllnader gjorts på den s.k. ”strandhyllan”<sup>4</sup> som därmed har försvunnit, vilket i sin tur påverkat stabiliteten. En stor del av utfyllnadsmaterialet utgörs av avfall samt rest- och biprodukter av tidigare produktion. Utfyllnadsmaterialets sammansättning ökar förutsättningarna för en spridning av de mest strandnära föroreningarna vid vattennivåförändringar i älven. Det förekommer även föroreningar i de ej utfyllda områdena, men dessa är då mer lokalt avgränsade.

Situationen längs Göta älv är extra känslig eftersom älven utgör dricksvattentäkt för ca 700 000 personer i Göteborgsregionen. Råvattenintaget ligger nedströms ett flertal förorenade områden. Länsstyrelsen i Västra Götaland har uttryckt att de sannolikt förorenade områdena bedöms utgöra den största enskilda risken för Göteborgsregionens vattenförsörjning (Olsson, 2004). Längs Göta älv finns ett flertal förorenade områden som har klassats som mycket stor risk för människor och hälsa och då har hänsyn i regel inte tagits till risken för ökad spridning av markföroreningar genom översvämning, erosion och skred.

Framtidsscenarierna medför ökade vattenflöden, ökad erosion, höjd vattennivå samt ökad sannolikhet för skred, som i sin tur medför ökad sannolikhet för föroreningsspridningar i älven. Konsekvenserna av det senare är dock inte utrett och den reella risken därmed inte klarlagd.

#### 4.5 Invallningar

De topografiska förutsättningarna styr var översvämningar kommer att ske vid olika vattennivåer i Göta älv. Vattennivåerna styrs dels av flödet från Väneren och tillströmningsområdena, dels av sänkings/dämningsnivåer och av havsnivån, se Kapitel 4.1.

Vid studie av vilka områden som kan bli översvämmade är dagens höjddatabas på många ställen inte tillräckligt exakt för att göra noggrannare analyser av utbredningen av en översvämning.

De områden som främst bedöms kunna bli påverkade av översvämningar, om maxflödet till Göta älv ökas från dagens nivå till 1400 m<sup>3</sup>/s är låglänta områden i Vänersborg och Trollhättan samt låglänta områden söder om Lilla Edet.

Väg 45 och Norge/Vänerbanan kommer att byggas om och ut inom de kommande åren. Vid projekteringen av dessa har beaktats resultatet av bl.a. den tidigare nämnda översiktliga översvämningsskarteringen, (Räddningsverket, SMHI 2000). De klimatscenarier som studerats inom ramen för denna utredning medför dock lägre vattennivåer nedströms Lilla Edet. Konsekvenserna för infrastrukturåläggningarna bedöms därför bli små för de studerade scenarierna som använts i denna studie. Påverkan på infrastruktur av extremsituationer med höga vattenflöden och

---

<sup>4</sup> Strandhylla, en avsats på undervattensslänt mellan strandlinjen och djupfåran som förkommer i de södra delarna av älven, se 2.3 Geologi och Topografi.

högre havsnivåer än de studerade kräver dock fördjupade hydraulisk beräkningar med fler flödescenarier.

För att skydda sig mot översvämningar kan det bli aktuellt att göra invallningar på känsliga sträckor. Med de scenarier som framtagits på vattennivåer och som redovisas i Kapitel 4.1 kan dessa invallningar bli omkring 0,5 – 1 m höga. Om dessa vallar anläggs i direkt anslutning till älven krävs geotekniska förstärkningsåtgärder inom de områden som idag har låg säkerhet mot skred alternativt stabilitetsklass 3 eller 4 (stor till påtaglig sannolikhet för skred). Totalt bedöms detta röra sig om ca 25 km inom *bebyggda* områden. Flera låglänta områden ligger inom industrimark med känd förekomst av markföroreningar. För att undvika utlakning av föroreningar kan speciella åtgärder krävas inom dessa områden som t ex anläggande av tätskärmar av bentonit genom den förorenade fyllningen. Totalt bedöms detta röra sig om ca 5 km inom *bebyggda* områden.

Skredriskbedömningar saknas idag för Göta älv inom icke tätbebyggda områden, se kap 4.2. Invallningar för t ex jordbruksmark i nära anslutning till älven har *inte* inkalkylerats i denna utredning, men skulle troligen kräva geotekniska förstärkningsåtgärder på stora delar för att minska risken för skred som kan påverka sjöfart, vattenintag m.m.

## 5 UTREDNINGSBEHOV

Det saknas en heltäckande översyn av skredrisker för hela Göta älv utifrån de stabilitetsutredningsmetoder som används idag. Endast ca 47 km av totalt ca 186 km strandlinje (ömse sidor om älven) har utretts översiktligt med skredriskanalyser eller översiktliga stabilitetskarteringar. I detta ingår ej Nordre Älv som idag leder ut ca 75 % av vattenmängden till havet. Det finns andra typer av stabilitetsutredningar längs delar av älven. Dessa utredningar är dock av varierande kvalitet och ofta utförda med äldre beräkningsmetodik. Den senast större utredningen som utförts för hela sträckan från nedströms slusstrappan i Trollhättan till Lärjeån utfördes av SGI 1962 (SOU, 1962), se Kapitel 2.4.2. Sedan dess har metodik och utförande av stabilitetsutredningar förändrats. Göta älvs dalgång har även förändrats genom förändrad markanvändning och älven har påverkats genom utläggning av erosionskydd, förändrad fartygstrafik etc. Skredriskanalyser är tid- och kostnadskrävande och för de utredningar som utförts, främst i SGI:s regi, har man hittills varit tvingad att prioritera bebyggda områden. En heltäckande översyn av skredrisken är ett nödvändigt underlag för närmare värdering av effekter av förändrade flöden till Göta älv.

På motsvarande sätt gäller att kunskapen om erosionen i Göta älv är liten. Det saknas sedan 1960-talet uppföljningar av erosionen och hur stor erosionshastigheten är för olika delar av älven både när det gäller botten- och stranderosion samt sedimenttransport från Väneren och tillflöden till älven. Detta gäller även av hur stor effekt fartygstrafik har på erosionen både när det gäller strand-, bottenerosion och erosion orsakad av svallvågor. I denna utredning har det varit nödvändigt med grova uppskattningar från de äldre uppgifter som finns att tillgå. Erosionen är en viktig faktor som kan bidra till att ett skred utlöses och kunskap och kontroll av erosionen är nödvändig för att kunna bedöma framtida skredrisker.

En effekt av de prognostiserade klimatförändringarna är att grundvatten- och porvattentryck i jorden kommer att förändras. Dessa förändringar påverkar i sin tur jordens egenskaper och stabiliteten i slänter. Kunskapen om hur portrycket förändras, till följd av klimatförändringarna, är begränsad. Forskning kring dessa frågor har dock påbörjats och resultaten bedöms bli betydelsefulla i samband med framtida skredriskbedömningar.

De scenarier av framtida flöden som framtagits av SMHI är baserade på modeller med en grov höjddatabas som ger stora osäkerheter i resultaten. Likaså gäller att de modeller som används för tappningsnivåer inte har god överensstämmelse med registrerade tappningar vilket gör att framtida medel- och minvattenflöden är svåra att prognosticera. Dessa osäkerheter påverkar stabilitetsbedömningar. För att noggrannare studera de effekter av olika flöden och därmed genererade vattennivåer i Göta älv krävs förbättrade scenarier och modeller för såväl Göta älv som havet.

## 6 ÅTGÄRDER, ÖVERVAKNING OCH KOSTNADER

I det följande har kostnader och förslag på åtgärder uppskattats längs Göta älv från Vargön till Marieholm i Göteborg. Nordre älv har inte studerats inom ramen för utredningen, men kommer även att påverkas av ändrade flöden. Nedströms Marieholm har enbart muddringsarbeten beaktats. I de låglänta delarna söder om Lilla Edets sluss som idag utgörs av strandängar, åkrar eller annan naturmark har *inte* invallning och eventuella tillhörande förstärkningsåtgärder kalkylerats. Dessa förhållanden råder främst på älvens västra sida inom aktuell delsträcka.

I efterföljande kapitel redovisas bedömda kostnader för stabilitetsförbättrande åtgärder, erosionsskydd, invallningar, årligt underhåll samt behov av utredningar och övervakning för de studerade scenarierna. Högre vattennivåer och flöden, orsakade exempelvis av mer extrema havsnivåer, har ej beaktats.

Kostnaderna redovisas som intervall med hänsyn till de osäkerheter som finns i bedömningsunderlaget, erforderliga åtgärder samt omfattningen av dessa.

Inom flera områden utefter Göta älv är skredrisken stor redan för befintliga förhållanden. Det är därför angeläget att åtgärda dessa områden redan i dagsläget, men behovet ökar ytterligare om de studerade klimatscenarierna uppkommer. Åtgärds-kostnaderna har överslagsmässigt bedömts även för dagens förhållanden.

### 6.1 Stabilitetsförbättrande åtgärder, invallningar och erosionsskydd

Det finns flera sätt att utföra stabilitetsförbättrande åtgärder. Det vanligaste är att utföra avschaktningar av slänkrönet och lägga ut stödfyllning vid slänftoten. Andra mer kostnadskrävande metoder kan i vissa fall krävas av utrymmesskäl, miljöhänsende, etc. Vid bedömning av vilka områden som kan bli berörda har den bedömningsgrund som redovisats i Kapitel 4.2.5 använts. Vid bedömningen av kostnader kopplade till stabilitetshöjande åtgärder har följande åtgärder beaktats:

- Avschaktning och stödfyllning vid låga slänter.
- Avschaktning och stödfyllning vid höga slänter.

Vid bedömning av kostnader för invallning av låglänta områden har följande åtgärder beaktats:

- Utläggning av vall på markytan
- Utläggning av vall på markytan samt tätning av genomsläpplig jordfyllning med tex bentonitskärm

Vid bedömning av kostnader för utläggning av erosionsskydd har följande åtgärder beaktats:

- Förhöjning av befintliga stranderosionsskydd
- Utläggning av nya stranderosionsskydd
- Utläggning av nya erosionsskydd i anslutning till undervattensslänten vid den djupare farledsfåran (bottenerosionsskydd)

Vid bedömningen av kostnaderna, se Tabell 3, har det förutsatts att ingen förändring sker av dagens lågvattennivåer. En förändring av lågvattennivåer ökar risken för skred betydligt. Det finns idag, enligt SMHI, ingen hydraulisk modell för beräkning av förändringar av låg- eller medelvattenstånd.

Tabell 3. Bedömda kostnader för stabilitetsförbättrande åtgärder, invallningar och erosionsskydd för olika flöden.

Max tappning 1030 m <sup>3</sup> /s, höjd havsnivå (Mkr)	Max tappning 1400 m <sup>3</sup> /s, höjd havsnivå (Mkr)
700 – 4 900	900 – 6 200

Kostnaderna för stabilitetsförbättrande åtgärder och bottenerosionsskydd är klart dominerande och utgör ca 70 – 90 % av totalkostnaderna i framtidsscenerierna.

## 6.2 Underhåll

Underhållskostnaderna för erosionsskydd samt behov av muddring kommer att stiga vid ett ökat tappningsflöde och/eller fler antal tillfällen då hög tappning sker, se Kapitel 4.3. De bedömda årliga underhållskostnaderna framgår av Tabell 4.

Tabell 4. Bedömda kostnader för underhåll.

Max tappning 1030 m <sup>3</sup> /s, höjd havsnivå, Mkr/år	Max tappning 1400 m <sup>3</sup> /s, höjd havsnivå, Mkr/år
25 – 35	30 – 45

## 6.3 Övervakning

Idag genomförs geoteknisk övervakning av älven genom en årlig inspektionsresa från båt av representanter från SGI, Sjöfartsverket och Vattenfall, där främst de synliga erosionsskydden kontrolleras. Dessutom utför punktvisa besiktningar från land. I ett fåtal känsliga områden pågår automatisk övervakning av jordrörelser och portryck.

I dagsläget utförs ingen övervakning av erosionshastigheten varken av botten- eller stranderosion. Kännedom om detta är dock nödvändigt för att möjliggöra noggrannare studier av hur framtida klimatscenarier påverkar stabilitetsförhållandena. Övervakningen kan utföras genom mätning av utvalda sektioner tvärs älven samt genom att utföra ekolodningar parallellt med strandlinjen med jämna tidsintervall t ex med ca 3 – 10 års mellanrum beroende på förväntat scenario. Mätningarna behöver påbörjas snarast för att få fram bättre underlag vid bedömning av rådande stabilitetsförhållanden. Dessutom tjänar dessa som referensdata m h t kommande mätningar av erosionshastigheten.

Övervakning genom besiktning och kontrollstationer inom skredkänsliga områden behöver utökas p g a mer varierande vattenstånd. Låg tappning påverkar stabiliteten negativt t ex efter kraftiga regn inom Göta älvs avrinningsområde som gör att vattentrycken i jorden ökar samtidigt som man har ett lågt flöde i älven.

Bedömda kostnader för övervakning framgår av Tabell 5.

Tabell 5. Bedömda kostnader för övervakning.

Max tappning 1030 m <sup>3</sup> /s, höjd havsnivå, Mkr/år	Max tappning 1400 m <sup>3</sup> /s, höjd havsnivå, Mkr/år
0,4 – 1,0	0,6 – 1,5

## 6.4 Geotekniska utredningar

Idag saknas det skredriskanalyser eller stabilitetskarteringar över stora, främst glest bebyggda, sträckor längs Göta älv. För att kunna möta de klimatförändringar som visas i de globala och regionala klimatscenerierna krävs en ökad kunskap om stabilitetsförhållandena längs hela Göta älv. Detta kräver insatser i form av framtagande av noggrannare kartunderlag, geotekniska fält- och laboratorieundersökningar, geotekniska analyser och riskbedömningar m m. Dessutom krävs bättre underlag rörande t.ex. flöden och vattennivåer och hur dessa varierar i tiden.

För att kunna göra heltäckande studier av stabilitetsförhållandena krävs kunskap om den pågående erosionen i älven samt effekter av förändrade grundvatten- och porvattentryck i jorden. Utredningar av erosionens omfattning, sedimenttransport från Vänern och biflöden, påverkan av fartygstrafik, mm erfordras för att prognosticera framtida effekter av olika klimatscenarier. En

sådan utredning, kompletterad med den ovan beskrivna erosionsövervakningen, ger viktig kunskap rörande stabilitetsförhållanden men även kunskap till kommuner, muddringsföretag, sjöfart med flera.

Sammantaget bedöms att kostnaden uppgår till ca 60 – 110 Mkr för ovan beskrivna utredningar rörande skredrisker, erosion och sedimentationstransport samt grundvatten. Utredningsbehovet är synnerligen angeläget redan i dagsläget, men behovet ökar ytterligare om de studerade flödesscenarierna blir aktuella.

Utöver angivna utredningskostnader tillkommer detaljprojektering inom de områden där ovan nämnda utredningar kommer att påvisa att förstärkningsbehov föreligger. Dessa projekteringskostnader bedöms uppgå till i storleksordningen 10 % av förstärkningsåtgärderna.

## 6.5 Totalkostnader

I Tabell 6 redovisas bedömda kostnader för stabilitetsförbättrande åtgärder, erosionsskydd, invallningar, årligt underhåll samt behov av utredningar och övervakning för de studerade scenarierna. Kostnader för invallning av obebyggda låglänta områden ingår ej. En mer detaljerad bedömning kräver ett bättre och mer detaljerat beslutsunderlag.

Tabell 6. Totalkostnader för de studerade scenarierna.

	Max tappning 1030 m <sup>3</sup> /s (ökad återkomsttid) och höjd havsnivå	Max tappning 1400 m <sup>3</sup> /s och höjd havsnivå
Stabilitetsåtgärder, erosionsskydd, invallningar (Mkr)*	700 – 4 900	900 – 6 200
Utredningar (Mkr)	60 – 110	60 – 110
<b>Totalt (Mkr)</b>	<b>760 – 5 010</b>	<b>960 – 6 310</b>
Övervakning (Mkr/år)	0,5 – 1,0	0,7 – 1,6
Årligt underhåll (Mkr/år)	25 – 35	30 – 45
<b>Totalt (Mkr/år)</b>	<b>25 – 36</b>	<b>31 – 47</b>

\* Exklusive projekteringskostnader

För dagens förhållanden bedöms att kostnaderna för stabilitetsförbättrande åtgärder och utläggning av erosionsskydd uppgår till i storleksordningen 300 – 1 700 Mkr.



## 7 SGI:s SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Utredningen baseras på underlag som är av mycket varierande kvalitet. SMHI:s underlag för flödesberäkningar till och från Vänern baseras på klimatscenarier som resulterar i stora skillnader. Även scenarierna avseende en framtida höjning av havsnivån förefaller osäkra. Den beräkningsmodell av vattenflöden och vattennivåer i Göta älv som ligger till grund för denna utredning är även mycket förenklad. Vidare är det underlag rörande stabilitetspåverkande förhållanden huvudsakligen av övergripande karaktär och härrör delvis från äldre utredningar.

Med hänsyn till ovanstående är de rekommendationer som lämnas av övergripande karaktär. En noggrannare bedömning kräver ett mer detaljerat beslutsunderlag. I detta ingår omfattande utredningar rörande bl.a. stabilitetspåverkande mekanismer såsom vattenstånd, vattenflöden, erosion, topografi och grundförhållanden.

Det konstateras att rådande stabilitetsförhållanden inte är tillfredsställande inom flera delsträckor längs Göta älv. Heltäckande utredningar avseende stabilitets- och erosionförhållandena längs älven har ej genomfört sedan början av 1960-talet. Med hänsyn till såväl dagens förhållanden som förväntade klimatförändringar rekommenderas därför att nya heltäckande studier genomförs längs älven.

De studerade scenarierna (maxflöde 1030 m<sup>3</sup>/s respektive 1400 m<sup>3</sup>/s kombinerat med 0,5 m höjning av havsnivån) kan accepteras ur stabilitetssynpunkt, förutsatt att en lägsta lågvattennivå motsvarande dagens förhållande bibehålls i älven. I båda fallen krävs dock omfattande stabilitetsförbättrande åtgärder. Skillnaden mellan de två scenarierna är huvudsakligen omfattningen av och kostnader för erforderliga åtgärder. Välbeprövade tekniska lösningar kan dock användas i båda fallen. För att i möjligaste mån begränsa omfattningen av och kostnaderna för de stabilitetsförbättrande åtgärderna rekommenderas inledningsvis att utökade utredningar genomförs längs huvuddelen av älvsträckan. I ett senare skede tillkommer detaljerad dimensionering och projektering av åtgärder där sådana visar sig vara erforderliga.

Ur översvämningssynpunkt krävs invallning inom låglänta bebyggda områden, främst nedströms Lilla Edet. Omfattningen på bedömda åtgärder baseras på framtidsscenarier som ungefär motsvarar en framtida medelvattennivå i havet. Ytterligare och högre invallningar krävs om översvämningar skall undvikas vid högre vattennivåer orsakade exempelvis av mer extrema havsnivåer. Därför rekommenderas mer utförliga översvämningssstudier.

Korttidsreglering i älven bedöms möjlig förutsatt att ovannämnda åtgärder vidtas samt att dagens lägsta lågvattennivå ej sänks. En sänkning av lågvattennivån i älven försämrar stabilitetsförhållandena generellt. Vid en sådan sänkning krävs betydligt mer omfattande åtgärder än de som bedömts erforderliga på grund av den ökade vattentappningen från Vänern.

Genomförande av åtgärder i och i anslutning till älven kommer att kräva prövning och tillstånd enligt miljöbalken.

## 8 REFERENSER

- Ahlberg, P. (1995). Skredriskanalys i södra Göta älvdalen. Statens geotekniska institut. Varia 439, Linköping
- Alén, C., Bengtsson, P-E., Berggren, B., Johansson, L., Johansson, Å. ( 2000). Skredriskanalys i Göta älvdalen – Metodbeskrivning. Statens geotekniska institut, Rapport 58, Linköping.
- Andersson, H., Ottosson, E., Sällfors, G. (1999). Skredet i Ballabo, Västerlanda. Statens geotekniska institut, Rapport 57, Linköping.
- Bergqvist, E. (1984). Göta älvs dalgång. Naturvårdsenheten, Länsstyrelsen i Älvsborgs län. Rapport 1984:3
- Bergström, S., Andreasson, J., Hellström, S. (2006). Hydrologiskt underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen. SMHI.
- Cederwall, K., Larsen, P. (1976). Hydraulik för väg och vattenbyggare. Liber Läromedel Malmö
- Göta älvs vattenvårdsförbund (1996). Fakta om Göta älv 1996. Göteborgs universitet.
- Göteborgs Hamn (2006a). Muntlig kommunikation med Åsa Wilske, Göteborgs Hamn.
- Göteborgs Hamn (2006b). Muntlig kommunikation med Jan Andersson, Göteborgs Hamn.
- Hultén, C., Olsson, M., Svahn, V., Odén, K., Rankka, K., Engdahl, M. (2005a). Släntstabilitet i jord – konsekvenser av ett förändrat klimat. Delrapport inom uppdraget Jordskred och ras i klimatförändringens spår. Statens geotekniska institut Varia 560-1, Linköping
- Hultén, C., Olsson, M., Odén, K. (2005b). Skredriskanalys Sydvästra Göta älv. Delen Tingstad-tunneln – Angeredsbron, Göteborgs kommun. Statens räddningsverk, Göteborgs kommun, SGI; SGI diariernr 2-0402-0128.
- Hultman, E. (1952); Meddelande nr 2, Samarbetsnämnden vid Göteborgs vattenverk, Göteborg.
- Larson, M., Hanson, H. (2006). Sedimenttransport och erosion i Göta Älv: Inverkan av framtida klimatförändringar. Teknisk vattenresurslära, Lunds universitet.
- Larsson, R., Ottosson, E., Sällfors, G. (1994). Agnesbergsskredet, Statens geotekniska institut, Rapport 44, Linköping.
- Olsson, P. (2004). Förslag till strategi för samordning av efterbehandlingsåtgärder inom Ale kommun. Brev från länsstyrelsen i Västra Götaland till Naturvårdsverket, dnr 577-54734-2004.
- Räddningsverket, SMHI (2000). Översiktlig översvämningsskartering längs Göta älv och Nordre älv; sträckan Vänern till Kattegatt. Räddningsverket Rapport 15.
- Räddningsverket (2005). Naturolyckor, skred och ras <http://www.srv.se>,
- Schälin, J., Johansson, Å., Andersson, H., Sandros, C., Blomqvist, L., Jonsson, H. (1997, kompletterad 2004). Skredriskanalys för nordöstra Göta älvdalen inom Lilla Edets kommun, sektion 5. Statens geotekniska institut, Varia 548, Linköping.

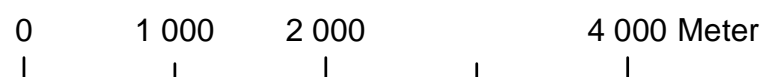
- SGU (2005). Skred och ras <http://www.sgu.se/>.
- Sjöfartsverket (2006a). Muntlig kommunikation med Tage Danielsson, Sjöfartsverket Norrköping.
- Sjöfartsverket (2006b). Muntlig kommunikation med Ingvar Dyberg, Sjöfartsverket Trollhättan.
- SMHI (2005). Klimatscenarier från 2005, R&D Rossby Centre. <http://www.smhi.se>,
- SMHI (2006). Underlagsmaterial inom klimat- och sårbarhetsutredningen avseende ökad tappning till Göta älv. (opublicerat material)
- SOU (1962). Rasriskerna i Göta älvdalen. Betänkande avgivet av Göta älvkommittén, Statens offentliga utredning (SOU) rapport nr 48, Stockholm.
- SSPA (1996). Utredning utförd av SSPA vid Eka Chemical i Bohus (opublicerat material)
- Sundborg, Å., Norrman, J. (1963). Göta älv- Hydrologi och morfologi med särskild hänsyn till erosionsprocesserna. SGU avhandlingar och uppsatser i 4:0, Serie Ca nr 43.
- Viberg, L. (1982). Kartering och klassificering av lerområdets stabilitetsförutsättningar. Statens geotekniska institut, Rapport nr 15, Linköping.
- White, S. (2006). Sediment and dynamics and risk assessment. Presentation vid Sedymo Symposium, TUHH, Hamburg, 2006.

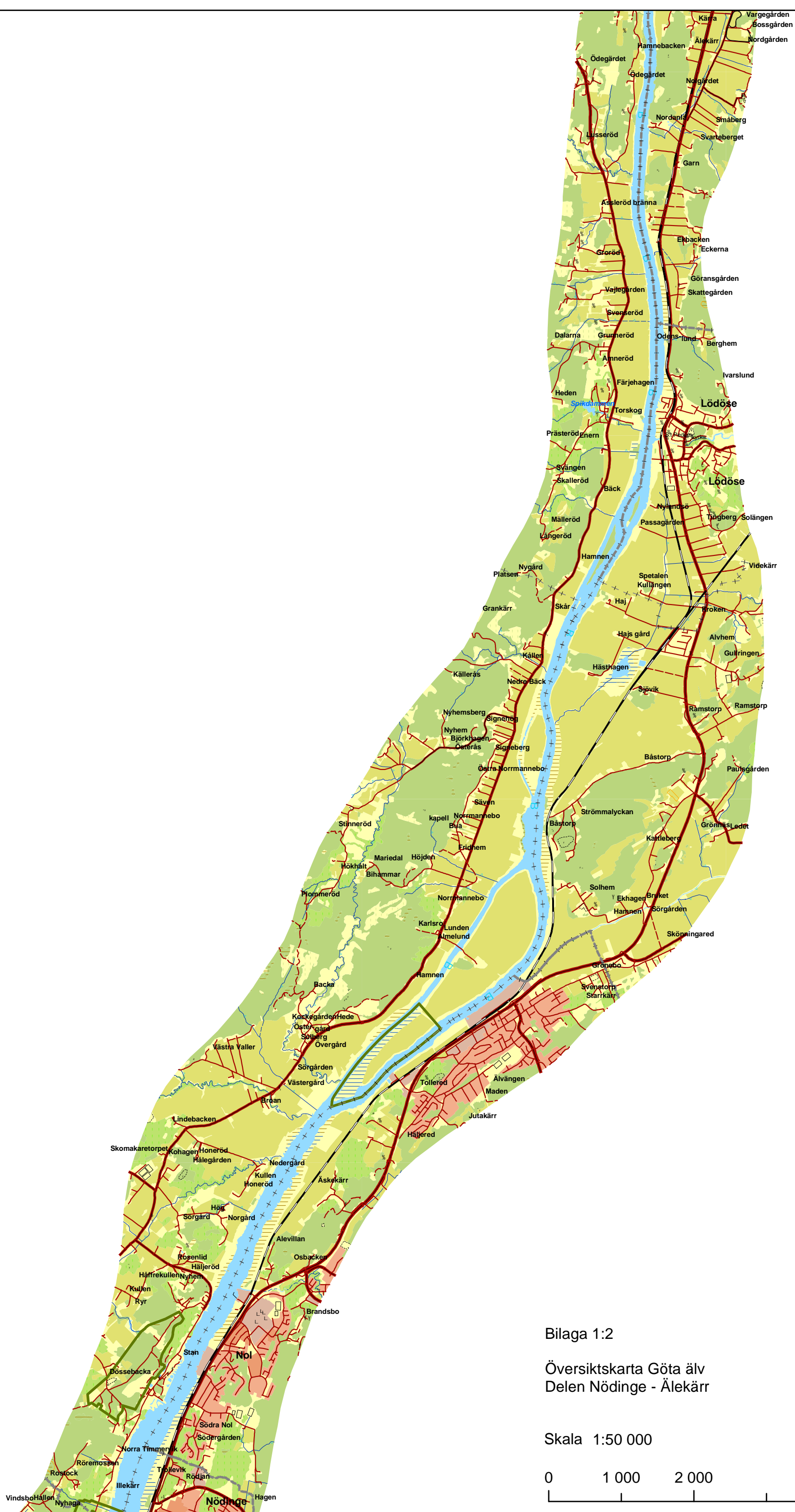


Bilaga 1:1

Översiktskarta Göta älv  
Delen Göteborg - Nidinge

Skala 1:50 000

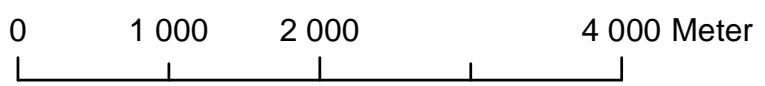




Bilaga 1:2

Översiktskarta Göta älv  
Delen Nödinge - Älekärr

Skala 1:50 000





Bilaga 1:3

Översiktskarta Göta älv  
Delen Ålekärr - Bäckeвик

Skala 1:50 000

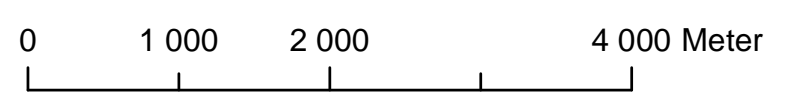
0 1 000 2 000 4 000 Meter



Bilaga 1:4

Översiktskarta Göta älv  
Delen Bäckeåker - Vargön

Skala 1:50 000





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)