



STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT  
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE



## Göta älvutredningen

### Klimat effekt på vattennivåer, erosion och grundvattenförhållanden i Göta älv

Underlag till styrdokument 99ST003

Varia 624:1

Bengt Rydell  
Håkan Persson  
Linda Blied

LINKÖPING 2012

**GÄU**  
Göta älvutredningen  
2009 - 2011

<b>Varia</b>	Statens geotekniska institut (SGI) 581 93 Linköping
Beställning	SGI – Informationstjänsten Tel: 013-20 18 04 Fax: 013-20 19 14 info@swedgeo.se www.swedgeo.se
ISSN	1100-6692
ISRN	SGI-VARIA-12/624:1-SE
Dnr SGI	6-1001-0042
Uppdragsnr SGI	14100



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

# Varia 624:1

## Göta älvutredningen

### **Klimat effekt på vattennivåer, erosion och grundvattenförhållanden i Göta älv**

Underlag till styrdokument 99ST003

Bengt Rydell  
Håkan Persson  
Linda Blied



# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING.....	7
1 BAKGRUND OCH SYFTE .....	9
2 KLIMATFÖRÄNDRINGAR OCH HYDRODYNAMISKA BERÄKNINGAR FÖR GÖTA ÄLVDALEN .....	10
2.1 Förväntade klimatförändringar .....	10
2.2 Hydrodynamiska beräkningar.....	11
3 VATTENNIVÅER I DAGENS KLIMAT.....	13
3.1 Karakteristiska vattennivåer .....	13
3.2 Vattennivåer vid höga flöden .....	14
3.3 Vattennivåer vid låga flöden.....	14
4 VATTENNIVÅER I FRAMTIDA KLIMAT .....	15
4.1 Vattennivåer vid höga flöden .....	15
4.2 Vattennivåer vid låga flöden.....	15
5 GRUNDVATTEN OCH PORTRYCK.....	17
5.1 Underlag .....	17
5.2 Förväntade förändringar .....	17
5.3 Redovisning.....	18
5.4 Exempel .....	19
6 EROSION.....	21
6.1 Syfte .....	21
6.2 Typer av erosion .....	21
6.3 Typsektioner.....	22
REFERENSER .....	23

## Bilagor

1. Redovisning av grundvattensituation i sektion (V15020 vid Åkerström)
2. Typsektioner för beräkning av erosionspåverkan



## SAMMANFATTNING

I styrdokument ges information och riktlinjer för arbetet i SGI:s regeringsuppdrag Göta älvutredningen. Uppdraget har till syfte att förbättra kunskapen om stabilitetsförhållandena längs hela Göta älv och att förbättra och ta fram skredriskanalyser och stabilitetskarteringar med hänsyn till klimatförändringar.

Som underlag för riktlinjer i styrdokumentet ”Känslighetsanalys för ett framtida klimat” (99ST003) redovisas i denna rapport hur rådande förhållanden avseende yt- och grundvatten, portryck samt erosion förändras på grund av framtida klimatförändringar. Ett förändrat klimat kan påverka slänters stabilitet bland annat genom förändrade vattennivåer i älven, ändrade grundvattenförhållanden och erosion på slänter och älvbottnar. Då dessa förändringar är inte är fullständigt klarlagda samt är starkt beroende av lokala geologiska förhållanden, kommer inledningsvis slänternas stabilitet att analyseras avseende deras känslighet för ändringar i ovan angivna förhållanden.

I denna rapport redovisas förväntade **klimatförändringar** utifrån den utredning om hydrologiska och meteorologiska förhållandena längs Göta älv som SMHI genomfört (Bergström et al., 2011). I utredningen redovisas analyser av dagens klimat och regionala scenarier för framtidens klimat i Göta älv dalen. Dessutom redovisas beräknade förändringar i de framtida flödena i älven samt i dess biflöden.

**Vattennivåerna** i Göta älv är avgörande för stabilitet och erosion och som underlag för beräkningar och känslighetsanalys av stabilitetsförhållandena. Höga vattennivåer (och flöden) ökar förutsättningarna för erosion medan låga vattennivåer ger sämre stabilitetsförhållanden. Förslag till vilka vattennivåer som ska tillämpas vid beräkningar för dagens respektive framtidens klimat ges i rapporten.

I rapporten presenteras riktlinjer för hur **grundvattenförhållandena** ska beaktas för ett framtida klimat i relation till de förhållanden som antagits för stabilitetsberäkningarna i rådande klimat. Det förutsätts alltså att en bedömning av grundvattensituationen med, för rådande klimat, höga grundvattennivåer redan har gjorts. I sektioner där en känslighetsanalys likvärdig med den nedan föreslagna redan har gjorts, föreslås att inga nya känslighetsanalyser görs.

**Erosionen** påverkar de geometriska förhållandena för slänter och bottenar och kan därmed påverka slänternas stabilitet. För olika delar av älvsträckan med varierande slänt- och bottenprofil anges hur erosionen kan påverka nivåer och lutningar på slänter, med och utan erosionskydd. Storleksordningar för denna erosion anges för olika delar av älvsträckan och för andra förhållanden som kan påverka dessa processer.

## SUMMARY

Governing documents provide information and guidance to those participating in SGI:s government assignment to improve understanding of the stability conditions along the Göta river and to improve and develop landslide risk analysis and stability mapping with regard to climate change.

As a basis for the Governing document "Sensitivity analysis for a future climate" (99ST003), the prevailing water levels in the Göta river and the sea, ground water and pore pressure and erosion change due to future climate change have been analyzed. Climate change could affect slope stability including by changes in water levels, ground water levels and soil erosion on slopes and bottoms. These changes are not fully defined and is highly dependent on local geological conditions, the stability is analyzed with regard to their sensitivity to changes in the above conditions.

The future climate changes are based on the investigation of hydrological and meteorological conditions along the Göta river, which SMHI has implemented. The study includes analysis of current climate and regional scenarios on future climate in the Göta river. In addition are the calculated changes in the future flows in the river and its tributaries.

Water levels in the Göta river are critical to stability and erosion, and as a basis for calculations and sensitivity analysis of stability conditions. High water levels (and flows) increases the erosion, while low water levels resulting in decreased stability. Proposals for the water levels to be applied in calculations for today's and tomorrow's climate are given in the report.

The report also presents guidelines for ground water and pore pressure conditions in relation to the conditions adopted for stability calculations in the current climate. It is expected that an assessment of high ground water levels for the prevailing climate already has been made.

Erosion may affect the geometric conditions of the slopes and bottoms, and can thus decrease the slope stability. For different parts of the river with varying slope and bottom profiles recommendations are given on how erosion can affect the levels and gradients of slopes, with and without erosion protection. The magnitude of this erosion is given for different parts of the river.



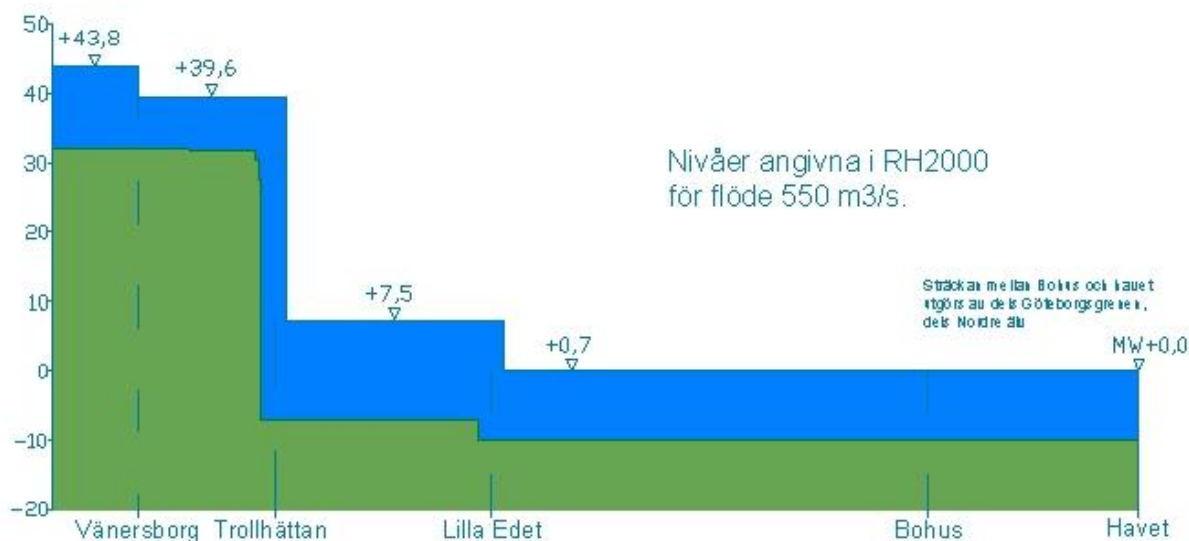
## 1 BAKGRUND OCH SYFTE

I styrdokument ges information och riktlinjer till dem som deltar medverkar i SGI:s regeringsuppdrag Göta älvutredningen. Syftet med utredningen är att förbättra kunskapen om stabilitetsförhållandena längs hela Göta älv och att förbättra och ta fram skredriskanalyser och stabilitetskarteringar med hänsyn till klimatförändringar.

Syftet med detta dokument är att ge bakgrund och underlag för de riktlinjer som ges i styrdokument 99ST003 (Känslighetsanalys för ett framtida klimat) för hur rådande ytvattenförhållanden, grundvatten och portryck samt erosion förändras på grund av klimatförändringarna.

Vattennivåer i Göta älv är avgörande för stabilitet och erosion och utgör underlag för beräkningar och känslighetsanalys av stabilitetsförhållandena. Ett förslag till vilka vattennivåer som ska tillämpas vid beräkningar för dagens respektive framtidens klimat ges i följande avsnitt. Höga vattennivåer (och flöden) ökar förutsättningarna för erosion medan låga vattennivåer ger sämre stabilitetsförhållanden.

Vattennivåerna anges för olika sträckor längs älven med utgångspunkt från utförda observationer och hydrodynamiska beräkningar. Älven har indelats i delsträckor enligt den schematiska illustrationen i Figur 1-1.



**Figur 1-1. Schematisk bild av Göta älv från Vänern till havet. (Nivåer angivna för flödet 550 m<sup>3</sup>/s.)**

## 2 KLIMATFÖRÄNDRINGAR OCH HYDRODYNAMISKA BERÄKNINGAR FÖR GÖTA ÄLVDALEN

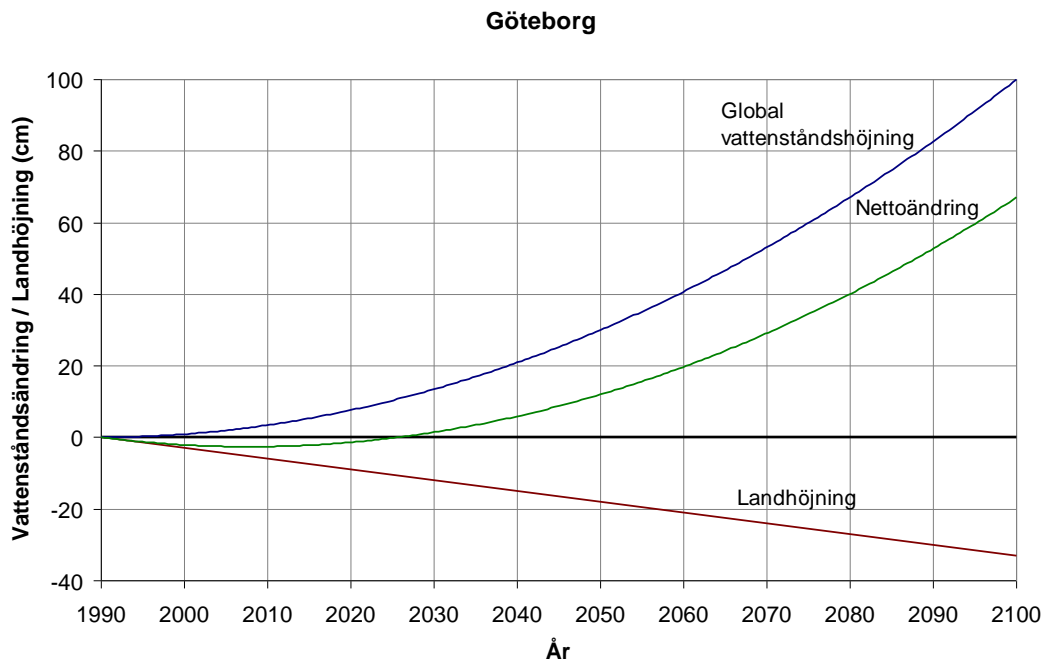
### 2.1 Förväntade klimatförändringar

SMHI har på uppdrag av SGI beskrivit de hydrologiska och meteorologiska förhållandena längs Göta älv (Bergström et al., 2011). Här redovisas analyser av dagens klimat och regionala scenarier för framtidens klimat i Göta älvdalen. Dessutom redovisas beräknade förändringar i de framtida flödena i älven samt i dess biflöden.

Slutsatserna och rekommendationerna sammanfattas nedan:

1. Befintliga klimatberäkningar visar en gradvis höjning av såväl årsmedeltemperaturen som ökning av nederbörden under de kommande 90 åren. Men de visar också på en stor spridning. Bedömningen av framtidens klimatförhållanden i Göta älvdalen bör även fortsättningsvis baseras på resultat från de senaste regionala klimatberäkningarna från den internationella forskningen.
2. Det är rimligt att för Göta älvdalen tills vidare räkna med en framtida ökning av extremdygnsnederbörd (återkomsttid 100 år) med 10 % vid mitten av seklet (2050) och med 20 % år 2100.
3. Resultaten visar tydligt att såväl höga som låga tappningar från Vänern kommer att bli vanligare om klimatet utvecklas så som det beskrivs av tillgängliga framtidsscenarioer. Detta beror på att tillrinningen beräknas öka på vinter och höst och minska under vår och sommar.
4. Det är rimligt att anta är att dagens beräknade 100-årsflöden i lokala biflöden till Göta älv i medeltal kommer att öka med 5-10 % fram till nästa sekelskifte (2100). Spridningen mellan beräkningarna är dock stor.
5. Antalet dagar med hög markfuktighet minskar på sikt oavsett vilken klimatmodell som ligger till grund för beräkningen. Sambandet mellan framtidens markfuktighetsförhållanden, portryck och grundvattenbildning i Göta älvdalen bör dock studeras vidare.
6. Baserat på dagens kunskapsläge är det för närvarande rimligt att anta en övre gräns för havets globala stigning på ca 30 cm år 2050 och omkring en meter år 2100 räknat från referensåret 1990. Men det är nödvändigt att omgärda dessa siffror med stora reservationer, eftersom nya uppgifter kan väntas efterhand som forskningen framskrider.

I Sverige kompenseras delvis havsnivåhöjningen av landhöjningen som för Västsverige är ca 3 mm/år, dvs. ca 30 cm till år 2100. Resulterande nettonivå för framtida havsnivåer i Göteborg framgår av Figur 2-1 och avser medelvattennivån. Det innebär att havsnivåns stigning är relativt begränsad fram till år 2050 (ca 10 cm) men av storleksordningen 70 cm vid år 2100.



**Figur 2-1. Nettohöjning av havet i Göteborg fram till 2100 under antagande av en global havsnivåhöjning på 30 cm år 2050 respektive 1 meter år 2100 räknat från referensåret 1990. (Bergström et al., 2011)**

För närvarande finns inget underlag för att ta hänsyn till förändrad stormintensitet eller stormfrekvens och därmed sammanhängande höga vattennivåer i ett framtida klimat i Göteborgsområdet.

## 2.2 Hydrodynamiska beräkningar

Vattennivåer för olika flöden som förekommer i dagens klimat och som kan komma att förekomma vid framtida klimatförhållanden har beräknats i en hydraulisk modell för älven (Åström et al., 2011). Resultatet för Vänersborg, Trollhättan och Lilla Edet nedströms slussarna presenteras i Tabell 2-1.

Vid beräkningarna har havets nivå för dagens förhållanden använts med medellågvattnenståndet för flödet 170 m<sup>3</sup>/s och till medelvattenståndet för övriga flöden. (De antagna vattenstånden gäller för observationer i Göteborg enligt Tabell 3-1) Tidvattenvariationer med +/- 0,15 m har inkluderats i beräkningarna. Vid det lägsta flödet har tidvattenvariationer stor inverkan på vattennivån nedströms Lilla Edet, vilket är anledningen till spännet på vattennivån i Tabell 2-1. Som randvillkor för Vänersborg har utloppet från Vänern ansatts.

De lägsta nivåerna kan uppkomma vid brott på dammar eller slussar. Detta scenario har studerats i en dammbrottsutredning för Göta älv men behandlas inte i föreliggande rapport.

Vattennivån mellan Trollhättan och Lilla Edet faller med 0,35 m vid 550 m<sup>3</sup>/s och med 0,05 m vid 170 m<sup>3</sup>/s. För sträckan Lilla Edet och havet gäller 0,7 m vid 550 m<sup>3</sup>/s och 0,15 m vid 170 m<sup>3</sup>/s.

*Tabell 2-1. Vattennivåer i m.ö.h. enligt hydrauliska beräkningar nedströms slussarna för olika flöden i Göta älv (nivåer i RH 2000).*

<b>Flöde (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Vänersborg</b>	<b>Trollhättan</b>	<b>Lilla Edet</b>
<b>170</b>	38,7	6,6	-0,2+0,1
<b>550</b>	39,6	7,5	0,7
<b>780</b>	39,6	7,7	1
<b>1030</b>	39,7	8	1,5
<b>1250</b>	39,8	8,2	1,9
<b>1500</b>	39,9	8,5	2,4

Stigande havsnivåer kommer att påverka vattennivåerna i älven först efter år 2050 enligt Figur 2-1.

### 3 VATTENNIVÅER I DAGENS KLIMAT

#### 3.1 Karakteristiska vattennivåer

Dämnings- och sänkningsgränser för vattennivåer i älven finns fastlagda i gällande vattendom. Dessutom finns överenskommelser mellan Vattenfall och Sjöfartsverket om nivåer för att skapa erforderliga förutsättningar för fartygstrafiken. I Tabell 3-1 anges dessa uppgifter samt observationer för vattennivåer i havet vid Torshamnen i Göteborg under perioden 1988-1999 (Projektör, 2000).

*Tabell 3-1. Vattennivåer i Göta älv och i havet i dagens klimat.*

<b>Göta älv</b>				
<b>Vattennivåer enligt vattendom</b>				
<b>Höjdsystem</b>		<b>RH00</b>	<b>RH70</b>	<b>RH2000</b>
Vänern dämningsgräns		44,85	45,06	45,17
Vänern sänkningsgräns		43,16	43,37	43,48
Trollhättan dämningsgräns		39,50	39,70	39,81
Trollhättan sänkningsgräns		38,40	38,60	38,71
Lilla Edet dämningsgräns		7,30	7,49	7,60
Lilla Edet sänkningsgräns		6,25	6,44	6,55
Lilla Edets kraftverk		-0,25	-0,06	0,05
<b>Andra förhållanden för vattennivåer</b>		(SMHI/Projektör, 2000)		
Överenskommelse Sjöfartsverket och Vattenfall				
Trollhättan sänkningsgräns		38,91	39,11	39,22
Lilla Edet sänkningsgräns		6,50	6,70	6,81
Havet	HHW	1,51	1,60	1,71
Gbg Torshamnen	MHW	0,74	0,83	0,94
	MW	-0,18	-0,09	0,02
	MLW	-0,78	-0,69	-0,58
	LLW	-1,29	-1,20	-1,09
<b>Fallhöjder (m)</b>	<b>Flöden</b>	<b>170 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>550 m<sup>3</sup>/s</b>	(SMHI, 2010)
Trollhättan-L:a Edet		<0,05	0,35	
L:a Edet-Havet		<0,15	0,7	
<b>Höjdsystem</b>				
RH70 =	RH00 +0,09 vid havet och +0,19 vid L:a Edet (Projektör, 2000) RH00 +0,20 vid Trollhättan och + 0,21 vid Vänern			
RH2000=	RH70 + 0,11 (gäller för hela älvsträckan, variation 0,095-0,12)			

### 3.2 Vattennivåer vid höga flöden

Som underlag för erosions- och stabilitetsberäkningar föreslås **högsta** nivåer för vattenstånd enligt Tabell 32 för dagens klimat.

Nivåerna utgår från dämning- och sänkningsgränser enligt vattendom. För vattennivån i havet har valts medelhögvattennivå (MHW) enligt Tabell 3-1 (med avrundning). Mellan havet och Bohus beräknas nivåer med rätlinjig interpolering för både Göteborgsgrenen och Nordre älv.

*Tabell 3-2. Föreslagna högsta vattennivåer i m.ö.h. längs Göta älv i dagens klimat (nivåer i RH2000).*

Sträcka/plats	Nivå
Vänersborg – Trollhättan	+39,8
Trollhättan – Lilla Edet	+8,5
Lilla Edet (nedströms)	+2,4
Bohus	+1,6
Havet	+0,9

### 3.3 Vattennivåer vid låga flöden

Som underlag för erosions- och stabilitetsberäkningar föreslås **lägsta** nivåer för vattenstånd enligt Tabell 3-3 för dagens klimat.

För vattennivån i havet har valts medellågvattennivå (MLW) enligt Tabell 3-1 (med avrundning). Mellan havet och Bohus beräknas nivåer med rätlinjig interpolering för både Göteborgsgrenen och Nordre älv.

*Tabell 3-3. Föreslagna lägsta vattennivåer i m.ö.h. längs Göta älv i dagens klimat (nivåer i RH2000).*

Sträcka/plats	Nivå
Vänersborg – Trollhättan	+38,7
Trollhättan – Lilla Edet	+6,6
Lilla Edet (nedströms)	-0,2
Bohus	-0,4
Havet	-0,6

## 4 VATTENNIVÅER I FRAMTIDA KLIMAT

### 4.1 Vattennivåer vid höga flöden

Som underlag för erosions- och stabilitetsberäkningar anges i Tabell 4-1 bedömda **högsta** vattennivåerna som kan förekomma längs älven för år 2100.

Uppgifterna baseras på de hydrodynamiska beräkningarna för högsta flödet enligt Tabell 2-1. Enligt klimatscenarier kommer havsnivån fram till år 2100 att stiga där den största förändringen uppkommer mellan 2050 och 2100. För vattennivån i havet har valts medelvattennivå (MW) enligt Tabell 3-1 (med avrundning) och med nettohöjning av nivån (inklusive landhöjning) enligt Tabell 2-1. Mellan havet och Bohus beräknas nivåer med rätlinjig interpolering för både Göteborgsgrenen och Nordre älv.

I de hydrodynamiska beräkningarna har använts dagens havsvattenstånd vid samtliga beräknade vattenflöden. För en värdering av hur vattennivåer vid Bohus och Lilla Edet förändras vid framtida klimat erfordras en ny beräkning. De värden som valts bygger därför på en uppskattning av nivåerna för dessa områden. Detta gäller för såväl höga som låga flöden.

*Tabell 4-1 . Föreslagna högsta vattennivåer i m.ö.h. längs Göta älv år 2100 (nivåer i RH2000).*

Sträcka/plats	Nivå
Vänersborg – Trollhättan	+39,9
Trollhättan – Lilla Edet	+8,5
Lilla Edet (nedströms)	+2,4
Bohus	+1,2
Havet	+0,7

### 4.2 Vattennivåer vid låga flöden

Som underlag för erosions- och stabilitetsberäkningar anges i Tabell 4-2 bedömda **lägsta** vattennivåerna som kan förekomma längs älven för år 2100.

Uppgifterna baseras på de hydrodynamiska beräkningarna för lägsta flödet enligt vattendom enligt Tabell 2-1. För Lilla Edet har valts det lägsta av värdena som kan uppträda beroende på tidvattenvariationer. Landhöjningen gör att effekten av stigande hav reduceras. I nedanstående uppgifter har antagits att landhöjning och stigande havsnivå i stort balanserar varandra, vilket är ett antagande på säkra sidan. För vattennivån i havet har valts medellågvattennivå (MLW) enligt Tabell 3-1 (med avrundning). Mellan havet och Bohus beräknas nivåer med rätlinjig interpolering för både Göteborgsgrenen och Nordre älv. Inga uppgifter om lägsta nivåer finns tillgängliga vid framtida klimatförändringar.

**Tabell 4-2. Föreslagna lägsta vattennivåer i m.ö.h. längs Göta älv år 2100 (nivåer i RH2000).**

<b>Sträcka/plats</b>	<b>Nivå</b>
<b>Vänersborg – Trollhättan</b>	+38,7
<b>Trollhättan – Lilla Edet</b>	+6,6
<b>Lilla Edet (nedströms)</b>	-0,2
<b>Bohus</b>	-0,4
<b>Havet</b>	-0,6



## 5 GRUNDVATTEN OCH PORTRYCK

### 5.1 Underlag

Ett förändrat klimat kan påverka slänters stabilitet bland annat genom förändrade grundvattenförhållanden. Då dessa förändringar är inte är fullständigt klarlagda samt är starkt beroende av lokala geologiska förhållanden kommer inledningsvis slänternas stabilitet att analyseras avseende deras känslighet för ändringar i grundvattensituationen. Nedan presenteras riktlinjer för hur grundvattenförhållandena ska beaktas för ett framtida klimat i relation till de förhållanden som antagits för stabilitetsberäkningarna i rådande klimat. Det förutsätts alltså att en bedömning av grundvattensituationen med, för rådande klimat, höga grundvattennivåer redan har gjorts. I sektioner där en känslighetsanalys likvärdig med den nedan föreslagna redan har gjorts, föreslås att inga nya känslighetsanalyser görs.

### 5.2 Förväntade förändringar

I känslighetsanalysen ska grundvattennivån (trycknivån) förändras enligt nedanstående beskrivning i alla genomsläppliga jordlager som bedöms stå i kontakt med infiltrationsområden. Dessa jordlager motsvaras vanligtvis av de övre och undre grundvattenmagasinen (torrskorpan respektive under leran liggande friktionsjord/berg), samt eventuella mellanliggande skikt med grövre material. Det gäller dock inte linser av friktionsmaterial som saknar kontakt med infiltrationsområden. I leran mellan de genomsläppliga jordlagren ska tryckprofilen ändras så att den, för stationära förhållanden, överensstämmer med de nya grundvattennivåerna i de genomsläppliga lagren.

Nedanstående riktlinjer gäller förutsatt att en tydlig maximal bräddnivå inte kan identifieras från de geologiska förhållandena eller från de mätningar av grundvattennivåer som gjorts. Om en tydlig maximal bräddnivå kan identifieras ska nivån inte höjas över denna i de områden där bräddnivån observerats.

#### Övre grundvattenmagasin

För slänter ned mot Göta älv ansluter grundvattennivån i det övre grundvattenmagasinet (nolltrycksnivån) alltid till aktuell nivå i älven.

- **Svagt sluttande områden**  
Grundvattennivån ska höjas 0,5 m förutsatt att nivån inte överskrider markytans nivå. Om det övre grundvattenmagasinets nivå ursprungligen var mindre än 0,5 m under markytan ska den nya grundvattennivån sättas lika med markytan.
- **Brant sluttande områden**  
Grundvattennivån ska höjas 0,25 m förutsatt att nivån inte överskrider markytans nivå. Om det övre grundvattenmagasinets nivå ursprungligen var mindre än 0,25 m under markytan ska den nya grundvattennivån sättas lika med markytan.

## Undre grundvattenmagasin (och skikt) i kontakt med infiltrationsområden

- **Undre grundvattenmagasinet står inte i kontakt med älven**
  - *Undre grundvattenmagasinet står i förbindelse med stora infiltrationsområden*  
Grundvattennivån ska höjas 1,5 m invid infiltrationsområden samt 1 m invid älven.
  - *Undre grundvattenmagasinet står i förbindelse med små/avlägsna infiltrationsområden*  
Grundvattennivån ska höjas 1 m invid infiltrationsområden samt 1 m invid älven.
- **Undre grundvattenmagasinet står i kontakt med älven**
  - *Undre grundvattenmagasinet står i förbindelse med stora infiltrationsområden*  
Grundvattennivån ska höjas 1,5 m invid infiltrationsområden samt invid älven ändras enligt förväntad ändring av älvens nivå.
  - *Undre grundvattenmagasinet står i förbindelse med små/avlägsna infiltrationsområden*  
Grundvattennivån ska höjas 1 m invid infiltrationsområden samt invid älven ändras enligt förväntad ändring av älvens nivå.

## Portrycksprofil i leran

Portrycksprofilen i leran ska, för stationära förhållanden, anpassas till grundvattennivåerna i de genomsläppliga jordlagren. Hänsyn ska även tas till förhöjd genomsläpplighet i leran närmast under torrskorpan, på samma sätt som gjorts för beräkningarna i rådande klimat.

## 5.3 Redovisning

Den bedömda grundvattensituationen för rådande klimat föreslås redovisas tillsammans med observerade min- och maxnivåer på en sektionsritning (se Bilaga 1). De tre delar som tydligt ska framgå i denna redovisning är följande:

(1) grundvattennivån i det övre grundvattenmagasinet (nolltrycksnivån), (2) det marknära område för vilket portrycket bedömts vara hydrostatiskt samt (3) grundvattennivån (trycknivån) i de djupast liggande delarna av sektionen<sup>1</sup>. För vardera portryckspets/grundvattenrör ska det även framgå för vilken period som mätningarna gjorts. Detta kan redovisas i sektionsritningen eller som i Figur 5-1. Mätvärden som bedöms vara felaktiga ska inte tas med.

Från känslighetsanalysen för klimatförändringar ska valda grundvattennivåer redovisas tillsammans med valda grundvattennivåer i rådande klimat och observerade min- och maxnivåer, enligt Figur 5-1 i avsnitt 5.4. Från beräkningarna ska säkerhetsfaktor samt den dränerade respektive odränerade skjuvhållfastheten i olika delar av glidyten redovisas enligt avsnitt 5.4. Detta gäller både för rådande klimat och för känslighetsanalys av klimatförändring.

---

<sup>1</sup> I de fall sonderingarna nått ett friktionslager under leran avses detta lager.

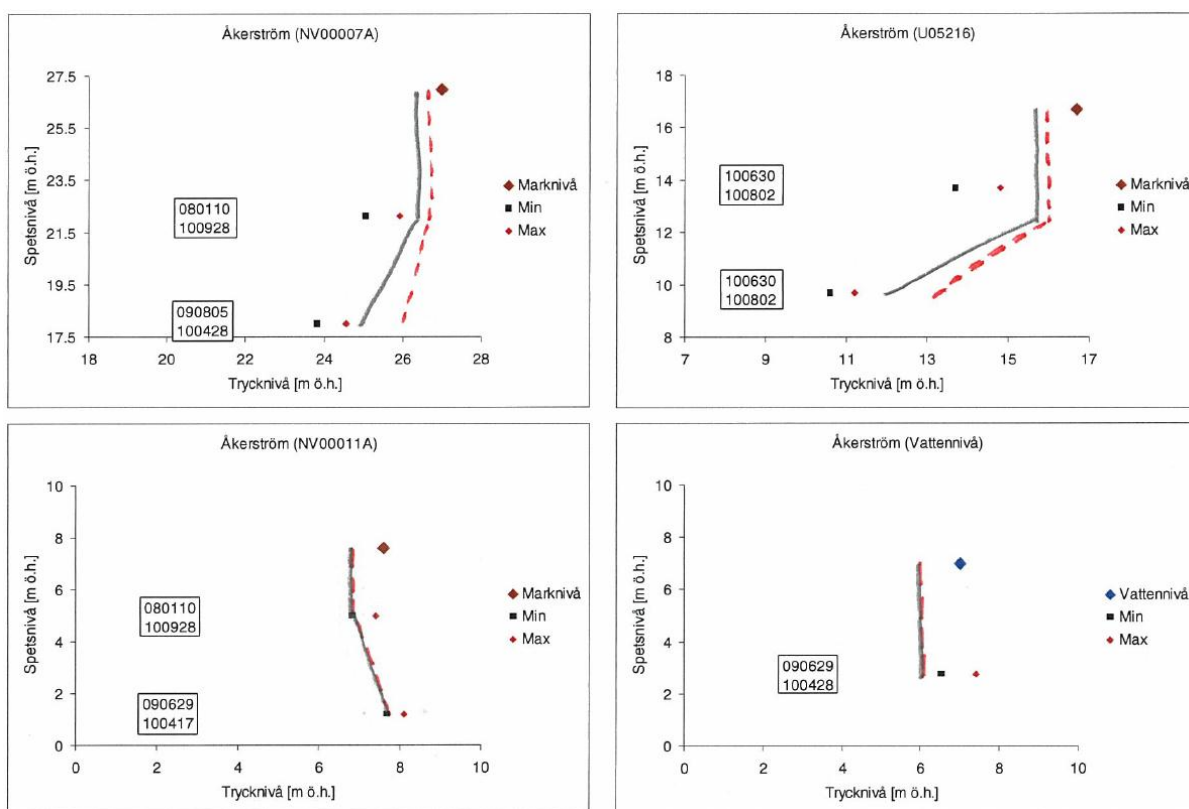
## 5.4 Exempel

Exemplet avser en slänt i Åkerström (sektion V15020) och redovisas i detta kapitel samt i bifogad sektionsritning (Bilaga 1) med bedömd grundvattensituation enligt rådande klimat.

Observerade min- och maxnivåer för samtliga portrycksspetsar redovisas i Figur 5-1 och i Bilaga 1. Mätserierna längd varierar från några månader till ca 2,5 år. Observerade variationer av portrycken i det undre grundvattenmagasinet och vattennivåerna i älven visar att kontakt finns mellan dessa. Även den kraftigt nedåtriktade gradienten i borrhål U05216 visar på detta, då en extrapolering nedåt ger att trycknivån 7 m.ö.h. (älvens nivå) nås vid nivån 6 m.ö.h. (undre grundvattenmagasinets nivå).

Utifrån uppmätta trycknivåer, känslighetsanalys, bedömning av maximala nivåer i det undre grundvattenmagasinet (metod enligt Svensson & Sällfors, 1985) och observerade bräddnivåer, har maximala portrycksprofiler för rådande klimat valts enligt Figur 5-1. Den valda portryckssituationen har även ritats in på bifogade sektionsritningar. Därefter har en känslighetsanalys gjorts enligt avsnitt 5.2, vilken också den visas i Figur 5-1.

- Maximal grundvattennivå i rådande klimat
- - - Känslighetsanalys för klimatförändring



**Figur 5-1. Bedömd maximal grundvattennivå i rådande klimat, tillsammans med känslighetsanalys för klimatförändringar och observerade min- och maxnivåer i vardera portrycksspets. Datumen invid respektive spetsnivå visar under vilken period mätningarna gjorts. Avbrott i mätserierna har dock ibland förekommit. Orsaken till den större skillnaden mellan maximala uppmätta och valda portrycksnivåer i U05216 än i övriga punkter, är den korta mätperioden i U05216. OBS! Vid denna bedömning av grundvattensituationen fanns inte mätningen i U05216R (spetsnivå 6 m.ö.h.) tillgänglig.**

Beräkningarna med den för rådande klimat valda portryckssituationen och känslighetsanalysen för klimatförändring visar att säkerhetsfaktorn är låg för båda beräkningarna, men däremot är skillnaden mellan dem liten, storleksordningen 1 %, se Tabell 5-1.

*Tabell 5-1. Säkerhetsfaktorns förändring i känslighetsanalysen för klimatförändring för sektion V15020.*

<b>Analys</b>	<b>Säkerhetsfaktor, FS</b>	<b>Ändring av FS [%]</b>
<b>Valt maximalt portryck för rådande klimat</b>	0,947	-
<b>Känslighetsanalys för klimatförändring</b>	0,937	1

## 6 EROSION

### 6.1 Syfte

För ett antal representativa sektioner längs Göta älv ska stabilitetsberäkningar kompletteras med en känslighetsanalys. I detta sammanhang behöver förändringar till följd av erosion beskrivas. Ett förslag till vilka förhållanden som bör analyseras beskrivs nedan. Förslaget utgår från olika typer av påverkan som kan förväntas av erosion, var för sig eller i kombination.

Avsikten är att ange storleksordningar för olika typer av erosion, att ange förutsättningar för olika delar av älvsträckan och för andra förhållanden som kan påverka dessa processer.

En grov indelning med olika förutsättningar har valts för olika sträckor av älven. Utifrån detta föreslås nedan angivna förutsättningar. Angivna måttuppgifter avser förhållandena år 2100.

### 6.2 Typer av erosion

#### **Erosion i botten**

Förändring av nivåer på älvbottnar anges med ett visst mått (m) och för två fall (1 respektive 2 m). En jämn fördelning längs älvbotten antas. Hänsyn tas till områden där muddermassor dumpats, där andra erosionsegenskaper kan förväntas.

#### **Erosion i slänter**

Erosionen kan antas antingen ske med jämn fördelning längs slänten eller med en triangulär och mot botten ökande omfattning, anges med ett visst mått (m).

#### **Erosion från fartygstrafik respektive från högre vattennivå i älven**

Fartygstrafik kan ge upphov till erosion på botten (främst nära stränder) och strandbrinkar. Denna typ av erosion kan påverka även befintliga strandskoningar genom underminering och inre erosion.

Ökade flöden kan medföra högre vattennivåer i älven som kan erodera slänter ovan erosionsskydd.

#### **Erosion på vegetationsfria slänter över vattenytan**

Ansätts med förändring med ett visst mått (m) i horisontalled.

#### **Erosion i slänter under strandskoning**

Ansätts med förändring med ett visst mått (m) i horisontalled och mot djupet.

### 6.3 Typsektioner

Ett antal slänter som representerar olika förhållanden längs älven redovisas som typsektioner i Bilaga 2 och beskrivs närmare i Tabell 6-1.

**Tabell 6-1. Beskrivning av typsektioner och geometriska förändringar vid erosion.**

Typsektion	Geometriska förändringar till följd av erosion
A1 – Slänt utan undervattenshylla, med erosions-skydd i vattenbrynet	<p><i>Botten i farleden sänks 1 respektive 2 m.</i></p> <p><i>Ingen erosion vid underkant erosionsskydd. Slänt eroderas från underkant erosionsskydd med triangulär fördelning mot djupet ned till farledens botten (efter erosion). Ingen förändring av geometrin för slänt vid eller ovanför erosions-skyddet.</i></p>
A2 – Slänt utan undervattenshylla och utan erosions-skydd i vattenbrynet	<p><i>Botten i farleden sänks 1 respektive 2 m.</i></p> <p><i>Slänt eroderas horisontellt med 1 och 2 m vid vattenbrynet med anpassning till farledens botten (efter erosion).</i></p> <p><i>Slänt ovanför vattenytan ges lutningen 32 grader och med vidare anslutning till befintlig släntlutning.</i></p>
B1 – Slänt med undervattenshylla och erosions-skydd i vattenbrynet	<p><i>Två alternativ föreslås (B1-1 respektive B1-2). För vissa sektioner beräknas endast den ena och för vissa kan båda alternativen bli aktuella.</i></p> <p><i>Typsektion B1-1</i></p> <p><i>Botten i farleden sänks 1 respektive 2 m.</i></p> <p><i>Slänt mellan undervattenshylla och botten i farleden eroderas vertikalt med 1 och 2 m.</i></p> <p><i>Undervattenshyllan eroderas med triangulär fördelning från land mot hyl-lans släntkrön (efter erosion). Ingen erosion vid erosions-skydd.</i></p> <p><i>Ingen förändring av geometrin för slänt ovanför erosions-skyddet.</i></p> <p><i>Typsektion B1-2</i></p> <p><i>Botten i farleden sänks 1 respektive 2 m.</i></p> <p><i>Ingen erosion vid undervattenshyllans släntkrön. Triangulär fördelning mot djupet ned till farledens botten (efter erosion). Ingen förändring av geometrin på undervattenshylla eller för slänter över vattenytan</i></p>
B2 – Slänt med undervattenshylla, utan erosions-skydd i vattenbrynet	<p><i>Två alternativ föreslås (B2-1 respektive B2-2). För vissa sektioner beräknas endast den ena och för vissa kan båda alternativen bli aktuella.</i></p> <p><i>Typsektion B2-1</i></p> <p><i>Botten i farleden sänks 1 respektive 2 m.</i></p> <p><i>Slänt mellan undervattenshylla och botten i farleden samt undervattenshyllan eroderas vertikalt 1 och 2 m.</i></p> <p><i>Slänt vid vattenbrynet eroderas horisontellt med 1 och 2 m med vidare anpassning till släntfot.</i></p> <p><i>Slänt ovan vattenbrynet ges lutningen 32 grader och med vidare anpassning till befintlig släntlutning.</i></p> <p><i>Typsektion B2-2</i></p> <p><i>Botten i farleden sänks 1 respektive 2 m.</i></p> <p><i>Ingen erosion vid undervattenshyllans släntkrön. Triangulär fördelning mot djupet ned till farledens botten (efter erosion).</i></p> <p><i>Ingen förändring av geometrin på och ovan undervattenshyllan eller för slänter över vattenytan.</i></p>

## REFERENSER

Bergström, S, Andréasson, J, Losjö, K, Stensen, B & Wern, L (2011). Hydrologiska och meteorologiska förhållanden i Göta älv dalen – slutrapport. Statens geotekniska institut, SGI. Göta älvutredningen, GÄU. Delrapport 27. Linköping. Även publicerad som SMHI Rapport nr 2010-81.

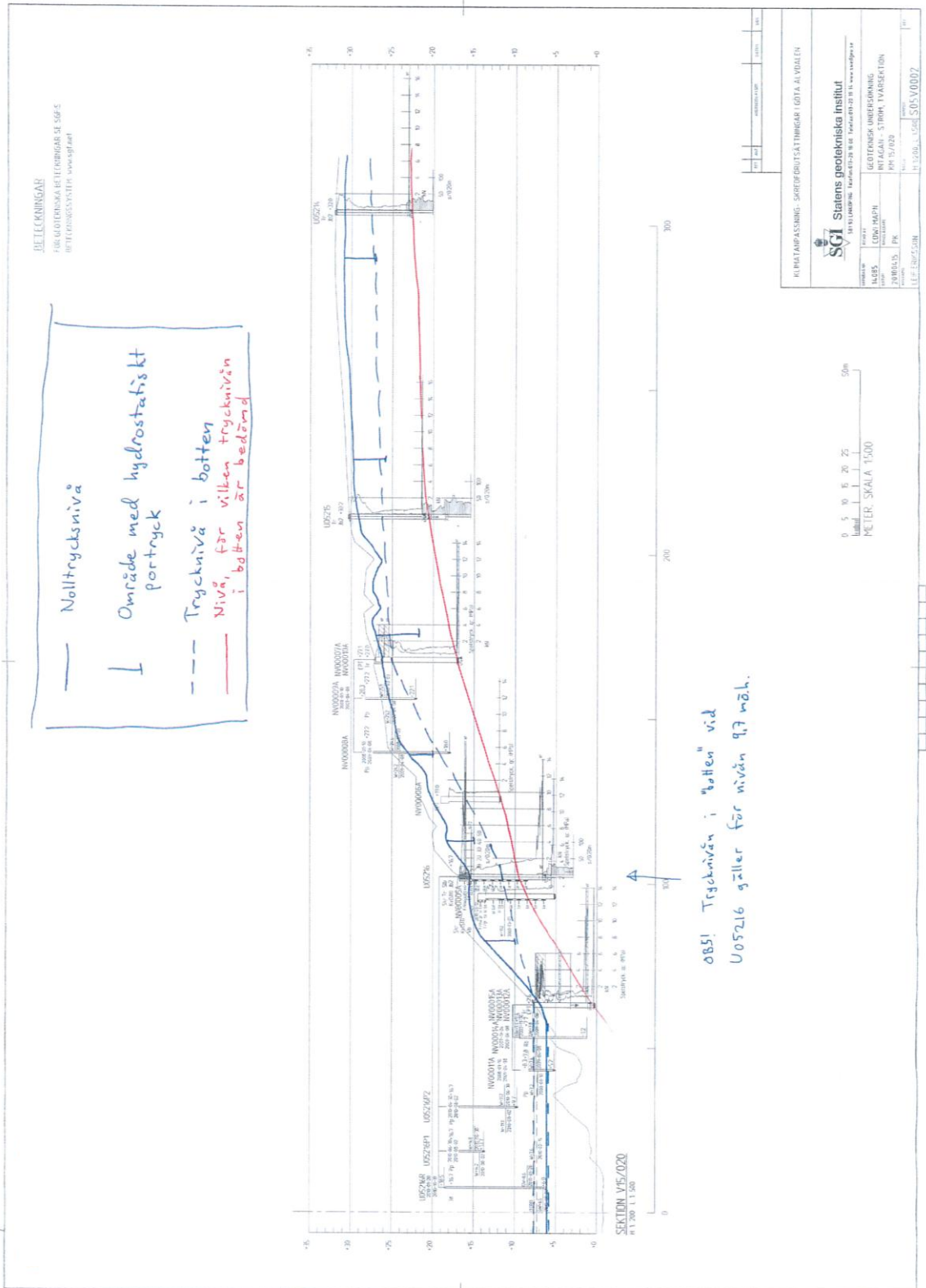
Projektör (2000). Väg 45: Delen Angeredsbron-Älvängen. Beräkning av återkomsttider för vattennivåer längs sträckan Angeredsbron-Älvängen. Projektör. Projekt nr 3000-1.

Svensson, C & Sällfors, G (1985). Beräkning av dimensionerande grundvattentryck - 1. Göteborgsregionen. Chalmers tekniska högskola. Geohydrologiska forskningsgruppen. Meddelande 78. Göteborg.

Åström, S, Eklund, D & Lindahl, S (2011). Hydrodynamisk modell för Göta älv. Underlag för analys av vattennivåer, strömhastigheter och bottenskjuvspänningar. Statens geotekniska institut, SGI. Göta älvutredningen, GÄU. Delrapport 3. Linköping. Även publicerad som SMHI Rapport nr 2011-36.

# BILAGA 1

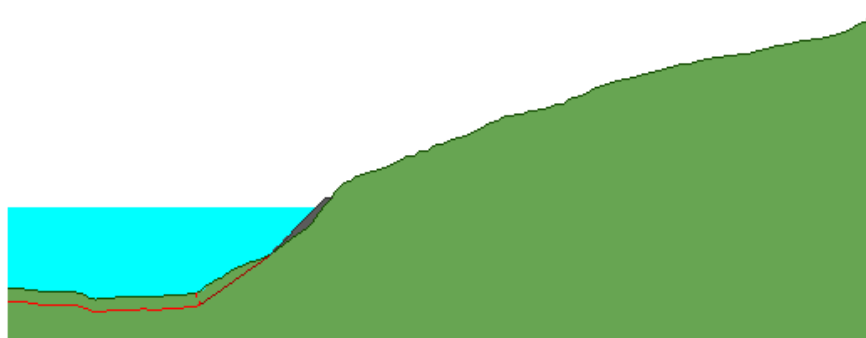
## Redovisning av grundvattensituation i sektion V15020 vid Åkerström



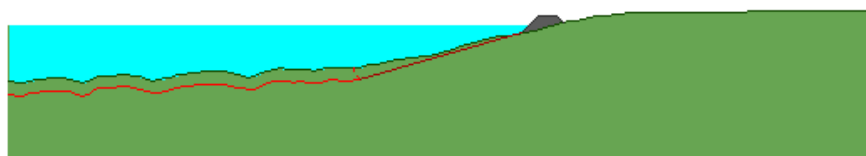


## BILAGA 2

### Typsektioner för beräkning av erosionspåverkan

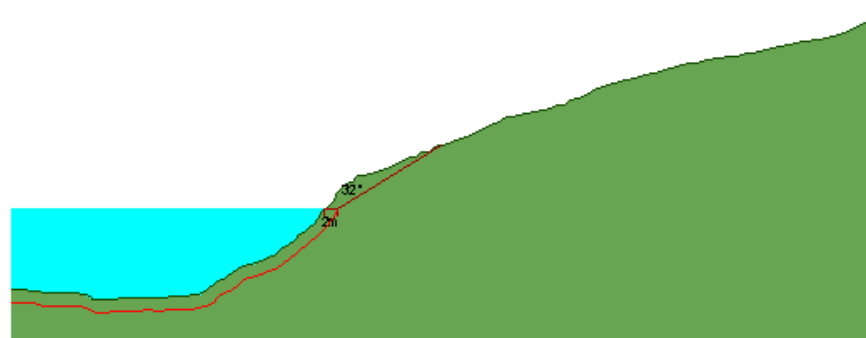


Exempel från sträckan Trollhättan-Lilla Edet



Exempel från sträckan Lilla Edet-Bohus

**Figur 1. Typsektion A1 – slänt med erosionsskydd.**



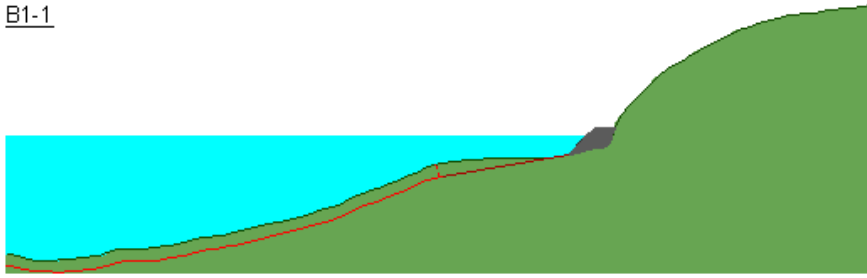
Exempel från sträckan Trollhättan-Lilla Edet



Exempel från sträckan Lilla Edet-Bohus

**Figur 2. Typsektion A2 – slänt utan erosionsskydd.**

B1-1



Exempel från sträckan Trollhättan - Lilla Edet



Exempel från sträckan Bohus-Marieholm

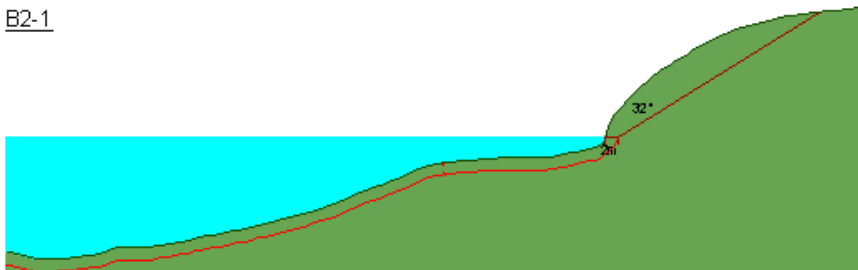
B1-2



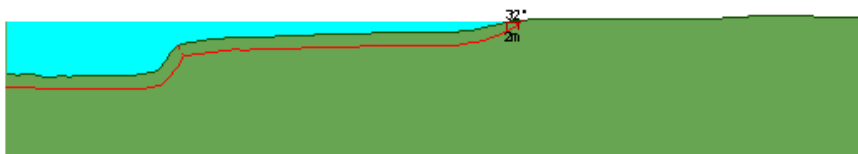
Exempel från sträckan Bohus-Marieholm

**Figur 3. Typsektion B1 – slänt med undervattenshylla, med erosionsskydd.**

B2-1



Exempel från sträckan Trollhättan - Lilla Edet



Exempel från sträckan Bohus-Marieholm

B2-2



Exempel från sträckan Bohus-Marieholm

**Figur 4. Typsektion B2 – slänt med undervattenshylla, utan erosionsskydd.**





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)