



STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT  
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE



## Metodik för översiktlig kartering av risker för stranderosion

Varia 641

Bengt Rydell  
Linda Blied  
Jim Hedfors  
Ann-Christine Hågeryd  
Stefan Turesson

LINKÖPING 2012

<b>Varia</b>	Statens geotekniska institut (SGI) 581 93 Linköping
Beställning	SGI – Informationstjänsten Tel: 013-20 18 04 Fax: 013-20 19 14 info@swedgeo.se www.swedgeo.se
ISSN	1100-6692
ISRN	SGI-VARIA-12/641-SE
Dnr SGI	1.1-1212-0808
Uppdragsnr SGI	14865
Omslagsfoto	Vänster: Råån (Foto: SGI) Övre höger: Åhus (Foto: Kristiansstads kommun) Undre höger: Lomma (Foto: SGI)



STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT  
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE

# Varia 641

## Metodik för översiktlig kartering av risker för stranderosion

Bengt Rydell  
Linda Blied  
Jim Hedfors  
Ann-Christine Hågeryd  
Stefan Turesson



# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD .....	7
SAMMANFATTNING.....	9
1.1 Risker för stranderosion i dagens och framtida klimat .....	11
1.2 Avgränsningar och genomförande.....	11
2 MODELL FÖR HÅLLBAR UTVECKLING .....	13
3 KARTERING AV EROSIONSRISKER.....	15
3.1 Översikt av karteringsmetodiken.....	15
3.2 Översiktlig inventering av erosion – steg 1 .....	15
3.3 Förstudie – steg 2 .....	16
3.4 Huvudstudie – steg 3 .....	16
3.5 Fördjupad utredning – steg 4.....	16
3.6 Dimensionering och genomförande av åtgärder – steg 5 .....	17
4 FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR EROSION .....	18
4.1 Naturliga förhållanden .....	18
4.2 Skydd av stränder .....	24
4.3 Pågående och historisk påverkan .....	25
4.4 Klimatscenarier .....	28
5 VÄRDEN SOM KAN PÅVERKAS AV EROSION .....	31
5.1 Bebyggelse.....	31
5.2 Industrier .....	31
5.3 Kulturhistoriska byggnader och kulturvärden .....	32
5.4 Rekreation och fritid .....	32
5.5 Infrastruktur.....	32
6 BESTÄMNING AV SÅRBARHET FÖR EROSION.....	34
6.1 Metodik och bakgrund.....	34
6.2 Erosionsindex – kuster och kustnära områden .....	36
6.3 Erosionsindex – vattendrag .....	40
7 REDOVISNING AV EROSIONSFÖRHÅLLANDEN.....	44
8 FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE.....	45
REFERENSER .....	46
<b>BILAGOR</b>	
1. B1 metoder för inventering och undersökning	
2. B2 riskanalys - erosion	



## FÖRORD

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

Vägledande för val av de aktiviteter som utförts under 2012 har varit att de ska ha direkt samhällsnytta och möjliggöra förmedling av resultat, slutsatser och erfarenheter från Göta älvutredningen till intressenter inom Göta älvområdet men även kunna tillämpas i övriga delar av landet.

En väsentlig del är klimatanpassning i erosionskänsliga områden. I de kontakter som SGI har med kommuner och länsstyrelser inom sitt nationella samordningsansvar för stranderosion har framkommit att det finns behov av planerings- och beslutsunderlag om risker för erosion längs kuster och vattendrag. Den kunskap som SGI har byggt upp inom sitt nationella samordningsansvar för stranderosion och erfarenheterna från Göta älvutredningen har använts för att utveckla en metodik för översiktlig kartering av erosionsrisker i dagens och framtidens klimat.

Metodik innebär att utredningar av erosionsrisker utförs stegvis med successivt ökad detaljeringsgrad genom översiktliga och detaljerade karteringar. Den metodik som utvecklats behöver tillämpas och verifieras i praktiken för ett kustområde respektive ett vattendrag, där förutsättningar för erosion finns. Resultaten utvärderas och eventuella modifieringar av metodiken görs och sammanställs till en metodbeskrivning.

Under förutsättning att beslut fattas om att en nationell kartering av erosionsrisker ska genomföras och finansiering säkerställts kan en sådan kartering påbörjas med början i de områden där sårbarheten för erosion är störst.

Värdefulla synpunkter på rapporten har lämnats av Karin Lundström och Anders Salomonson, SGI.

Linköping i december 2012

Författarna





## SAMMANFATTNING

### Bakgrund och syfte

Klimatförändringar kommer att öka hotbilderna i strandnära områden, inte minst genom erosion till följd av stigande havsnivåer och ökade flöden i många vattendrag. Detta ställer krav på åtgärder för att skydda befintlig bebyggd miljö liksom underlag för den fysiska planeringen vid bedömning av lämplig markanvändning.

Idag finns inget nationellt sammanhållet planeringsunderlag för kommunerna avseende områden med risker för erosion vid kuster, sjöar och vattendrag. SGI genomför en löpande inventering av stranderosion längs kuster och vattendrag baserad på kommunernas observationer samt en sammanställning över var förutsättningar finns utifrån geologiska förhållanden. Denna inventering är emellertid inte tillräckligt detaljerad för att bedöma risker för bebyggda områden och för områden där bebyggelse planeras. För detta krävs en fördjupad kartläggning av stranderosion som också föreslogs i Klimat- och sårbarhetsutredningen (2007).

SGI har därför utvecklat en metodik för kartering av erosionsrisker för kuster och vattendrag. Kartläggningen ska utgöra underlag för kommunernas fysiska planering och val av åtgärder för att förebygga skador i bebyggd miljö.

Syftet har varit att utveckla en modell för inventering av risker för erosion i områden som kan behöva skyddas med hänsyn tagen till framtida förändringar i klimatet. Utredningar av erosionsrisker föreslås utföras stegvis med successivt ökad detaljeringsgrad

### Översikt av metodik för kartering av erosionsrisker

Karteringen av erosionsrisker föreslås utföras i fem steg, där steg 1-3 ingår i **översiktlig kartering** och steg 4-5 utförs som **detaljerade karteringar**.

- **Steg 1: Översiktlig inventering av erosion** – nationell översikt av förutsättningar och pågående erosion längs kuster, sjöar och vattendrag (pågående arbete vid SGI).
- **Steg 2: Förstudie** – avgränsning av de områden som ska ingå i huvudstudie
- **Steg 3: Huvudstudie** – översiktlig kartläggning av sårbarhet för erosion för stränder vid bebyggda områden och exploateringsområden enligt kommunal översiktsplan.

Resultatet från steg 3 ska bland annat visa områden där detaljerad utredning rekommenderas för att i detalj fastställa risker för erosion.

Inom områden där erosionsrisker har konstaterats tillkommer följande steg:

- **Steg 4: Fördjupad utredning** – klarlägga om erosionsrisker finns och behov av åtgärder
- **Steg 5: Dimensionering och genomförande av åtgärder** – för områden med oacceptabla risker

Steg 1-3 föreslås utföras av en central myndighet, lämpligen SGI eftersom institutet har nationellt samordningsansvar för stranderosion. Steg 4-5 utförs av berörda intressenter, företrädesvis kommuner.

Denna rapport behandlar huvudsakligen utförande av huvudstudie (steg 3).

Huvudstudien utförs som en sårbarhetsanalys där erosionsområden identifieras översiktligt. Huvudstudien ger inga uppgifter om erosionsrisken (dvs. sannolikhet och ekonomiska konsekvenser) utan anger att området är sårbart för erosion, vilket beskrivs med ett **erosionsindex**. Detta används för att prioritera fortsatta utredningar för olika områden.

### **Bestämning av sårbarhet för erosion**

Den föreslagna metodiken utgår från ett synsätt som används i många länder för att beskriva en kusts sårbarhet. Motsvarande metodik för stränder vid vattendrag har inte framkommit vid den litteraturinventering som utförts i utredningen. Nedan anges förslag till erosionsindex för kuster och vattendrag.

Sårbarhetsanalys för kuster och vattendrag utförs genom beskrivning av förhållanden som påverkar sårbarheten, uttryckta i form av tre olika delindex: *Naturliga förhållanden*, *Påverkan* och *Samhällsvärden*. Dessa kombineras därefter till erosionsindex.

I delindexet *Naturliga förhållanden* ingår egenskaper som beskriver stränders känslighet och motståndskraft mot erosion. Exempel på parametrar är geologi, topografiska och batymetriska förhållanden, erosionsförhållanden och markanvändning. *Påverkan* omfattar parametrar som beskriver de påverkande krafter eller processer som bidrar till erosion. t.ex. vattennivå, vattenflöden och exponering för vågor. Delindexet *Samhällsvärden* beskriver förhållanden eller strukturer som kan utsättas för fara eller på annat sätt drabbas av erosionens effekter, t.ex. bebyggelse, infrastruktur och kulturvärden.

Varje parameter klassificeras och tilldelas ett värde 1-3, där 1 innebär minst och 3 störst påverkan. Därefter summeras alla parametrar och viktas för respektive delindex. Medelvärdet av de tre delindexen utgör det slutgiltiga erosionsindexet. Erosionsförhållanden för olika delområden anges genom sårbarhetsklasser på kartor. Beroende på storleken på erosionsindexet kan olika delområden beskrivas ha *låg*, *måttlig* eller *hög sårbarhet* för erosion.

Modellen är uppbyggd på samma sätt för bedömning av såväl kustområden som områden längs vattendrag, men de ingående parametrarna skiljer sig något för kust och vattendrag.

### **Tillämpning och verifiering**

Den metodik som utvecklats i denna förstudie behöver användas och verifieras i praktisk tillämpning. En kartering bör göras för ett kustområde respektive ett vattendrag, där förutsättningar för erosion finns. Resultaten från tillämpningarna utvärderas och eventuella modifieringar av metodiken görs. Den slutliga metodiken sammanställs och redovisas i form av en metodbeskrivning.

Under förutsättning att beslut fattas om att en nationell kartering av erosionsrisker ska genomföras och finansiering säkerställt kan en sådan kartering påbörjas med början i de områden där sårbarheten för erosion är störst.

## **1 BAKGRUND OCH SYFTE**

### **1.1 Risker för stranderosion i dagens och framtida klimat**

#### **Bakgrund**

Många kommuner längs kuster och vattendrag har problem med stranderosion, ras/skred och översvämningar som medför skador på värdefulla markområden, anläggningar och byggnader. Under årens lopp har olika metoder använts för att skydda kustnära områden med varierande framgång såväl tekniskt som ekonomiskt. Nya synsätt och metoder har på senare tid vuxit fram som på ett bättre sätt tar hänsyn till naturens egna processer och samtidigt är kostnadseffektiva.

Klimatförändringarna kommer att öka hotbilderna i strandnära områden, inte minst genom förväntade stigande havsnivåer och ökade flöden i många vattendrag i flera delar av landet. Detta ställer krav på åtgärder för att skydda befintlig bebyggd miljö liksom underlag för den fysiska planeringen vid bedömning av lämplig markanvändning. Eftersom sådana åtgärder ofta behöver utföras i vattenområden eller värdefulla naturmiljöer uppkommer ofta målkonflikter mellan myndigheter, kommuner och enskilda.

En ökad förståelse mellan de som berörs av förändringar i strandnära områden, naturliga förändringar eller av människan orsakade, kan innebära att frågor i strandnära områden behandlas i ett brett perspektiv där lämpliga avvägningar kan göras som i större utsträckning är till nytta för miljö och bebyggelse. En hållbar utveckling innebär att sociala, miljömässiga och ekonomiska förhållanden blir beaktade.

#### **SGI klimatanslag 2012**

Idag finns inget nationellt sammanhållet planeringsunderlag för kommunerna som avser områden med risker för erosion vid kuster, sjöar och vattendrag. SGI genomför en löpande inventering av stranderosion längs kuster och vattendrag baserad på kommunernas observationer samt en sammanställning över var förutsättningar finns utifrån geologiska betingelser. Denna inventering är emellertid inte tillräckligt detaljerad för att bedöma risker för bebyggda områden och för områden där bebyggelse planeras. För detta krävs en fördjupad kartläggning av stranderosion som också föreslogs i Klimat- och sårbarhetsutredningen (2007).

Inom anslaget för klimatanpassning under 2012 har därför SGI utvecklat en metodik för kartering av erosionsrisker för kuster och vattendrag. Kartläggningen ska utgöra underlag för kommunernas fysiska planering och val av åtgärder för att förebygga skador i bebyggd miljö. Parallellt har SGI tagit fram en metodik för erosionsutredningar för vattendrag baserat på erfarenheter från Göta älvutredningen.

### **1.2 Avgränsningar och genomförande**

Syftet med denna utredning har varit att utveckla en modell för inventering av risker för erosion i områden som kan behöva skyddas med hänsyn tagen till framtida förändringar av klimatet. Utredningar av erosionsrisker föreslås utföras stegvis med successivt ökad detaljeringsgrad, vilket närmare beskrivs i kapitel 2. Riskinventeringar är avsedda att användas som underlag för fysisk planering och klimatanpassning i strandnära områden.

Utgångspunkten för denna metodik är att erosion är ett ständigt pågående förlopp och där naturliga förändringar i många områden kan fortgå som ett led i den morfologiska förändringen av landskapet. Där människor eller samhällsviktig verksamhet kan komma att skadas av erosion behöver dock åtgärder vidtas för att skydda liv och egendom.

Klimatförändringar berör många sektorer och förhållanden i samhället, exempelvis jordbruk, skogsbruk, fiske och vattenbruk, kuster och marina ekosystem, djurskydd och växtskydd samt människors hälsa och säkerhet. Samhället behöver möta klimatförändringar på två sätt, både genom att minska de klimatpåverkande utsläppen (*eng. mitigation*) men också genom att anpassa samhället till de klimatförändringar som redan har skett och de som kommer att ske även om utsläppen av växthusgaser minskas (*eng. adaptation*).

Denna utredning har avgränsats till att behandla anpassning till ett förändrat klimat och hur man kan hantera risker för erosion till följd av klimatförändringar både för befintlig bebyggd miljö och vid planering av exploateringsområden.

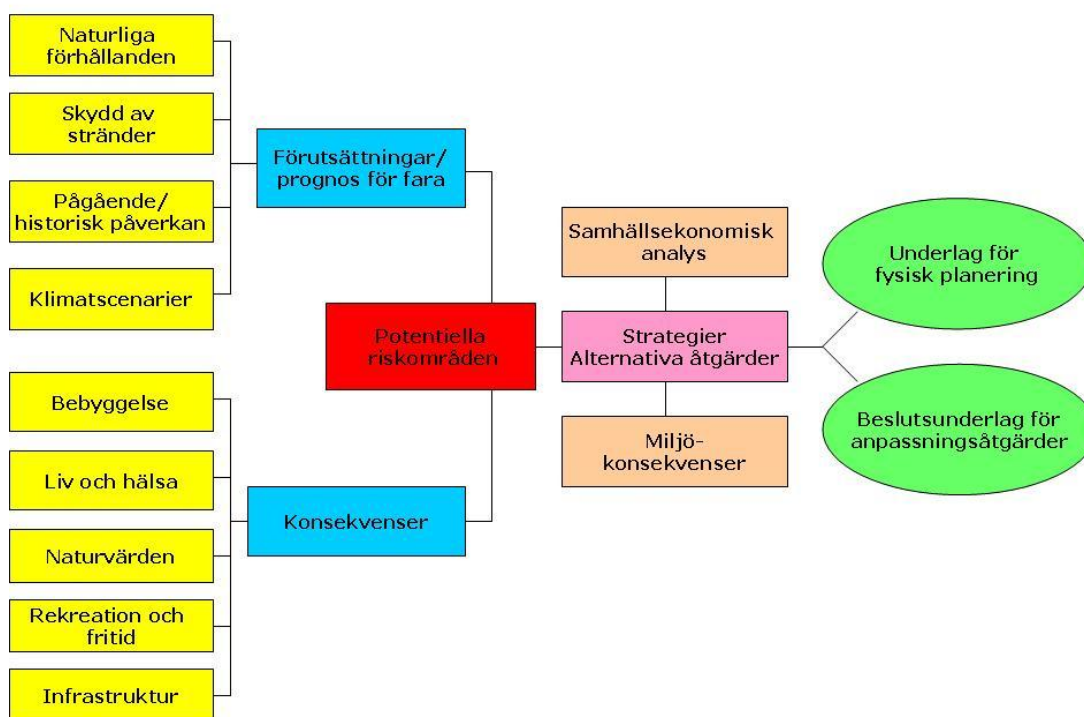
## 2 MODELL FÖR HÅLLBAR UTVECKLING

För att få underlag till planerings- och beslutsunderlag för fysisk planering och anpassning av befintlig bebyggd miljö kan användas en modell som tidigare har utarbetats av SGI (Rydell et al., 2011). Syftet med modellen är att tillhandahålla ett verktyg för att åstadkomma en långsiktig hållbarhet i strandnära områden där det finns risk för erosion eller andra naturolyckor i dagens eller i framtida klimat. En schematisk bild av de olika stegen i modellen framgår av Figur 2-1.

I modellen inventeras förutsättningar/sannolikhet för en naturolycka respektive konsekvenser av en sådan och därmed risker för naturolyckor. Med utgångspunkt från detta kan olika strategier användas för att hantera händelsen och olika åtgärder värderas utifrån samhällsekonomiska analyser och miljökonsekvenser. Med modellen kan ett planerings- och beslutsunderlag tas fram som underlag för såväl fysisk planering som vid anpassningsåtgärder eller för investeringar i kustområden och kan dessutom ta hänsyn till nationella, regionala och lokala förhållanden.

Modellen är avsedd för kommuner, länsstyrelser och tillståndsmyndigheter samt de som medverkar i planering och byggande i kustområden, t.ex. byggherrar, konsulter och entreprenörer.

Metodiken för kartering av erosionsrisker är ett led i en sådan studie. Beroende på i vilket sammanhang som utredningen ska utföras kan studien genomföras med olika detaljeringsnivåer.



Figur 2-1. Modell för sammanställning av planerings- och beslutsunderlag i strandnära områden. (Rydell et al., 2011)

Ett strandområdes sårbarhet eller känslighet för naturlig och mänsklig påverkan kan beskrivas på olika sätt. **Sårbarheten** används i denna rapport som ett uttryck för omfattningen av ett naturligt systems känslighet och förmåga att motstå skadliga konsekvenser av en påverkan, t.ex. vågor eller vattenflöden längs stränderna. **Risk** uttrycks som en sammanvägning av sannolikheten för att en naturolycka inträffar och konsekvensen av en sådan olycka. För att kunna göra en riskanalys erfordras detaljerade uppgifter om såväl förutsättningar/sannolikhet utifrån naturliga förhållanden som en värdering av det som kan komma att påverkas.

Den metodik som redovisas i denna rapport innehåller de grundläggande stegen i modellen ovan för att bestämma potentiella riskområden utifrån en sårbarhetsanalys. Detta ligger sedan till grund för inom vilka områden en detaljerad utredning och riskanalys bör genomföras.

### 3 KARTERING AV EROSIONSRISKER

Syftet med denna utredning har varit att utveckla en metodik för att identifiera riskområden för erosion längs kuster, sjöar och vattendrag. (I denna rapport inkluderas fortsättningsvis sjöar i begreppet kuster.) Karteringen ska utgöra underlag för fysisk planering och anpassning av befintlig bebyggd miljö till förändrat klimat.

Riskområden utgörs av sådana områden där det finns förutsättningar för erosion och värden/konsekvenser som kan komma att skadas vid erosion. Metodiken innebär att potentiella riskområden successivt avgränsas och att kunskapen om erosionsförhållandena efterhand ökar med ökad detaljeringsgrad i utredningarna.

Resultaten från karteringen redovisar erosionsförhållanden men inte eventuella följdefekter som t.ex. ras och skred.

#### 3.1 Översikt av karteringsmetodiken

Karteringen av erosionsrisker föreslås utföras i fem steg, där steg 1-3 ingår i **översiktlig kartering** och steg 4-5 utförs som **detaljerade karteringar**.

- **Steg 1: Översiktlig inventering av erosion** – nationell översikt av förutsättningar och pågående erosion längs kuster, sjöar och vattendrag (pågående arbete vid SGI).
- **Steg 2: Förstudie** – avgränsning av de områden som ska ingå i huvudstudie
- **Steg 3: Huvudstudie** – översiktlig kartläggning av sårbarhet för erosion för stränder vid bebyggda områden och exploateringsområden enligt kommunal översiktsplan.

Resultatet från steg 3 ska bland annat visa områden där detaljerad utredning rekommenderas för att mer i detalj fastställa risker för erosion längs kuster och vattendrag.

Inom områden där erosionsrisker har konstaterats tillkommer följande steg:

- **Steg 4: Fördjupad utredning** – klarlägga om erosionsrisker finns och behov av åtgärder
- **Steg 5: Dimensionering och genomförande av åtgärder** – för områden med oacceptabla risker

Steg 1-3 föreslås utföras av en central myndighet, lämpligen SGI eftersom institutet har nationellt samordningsansvar för stranderosion. Steg 4-5 utförs av berörda intressenter, företrädesvis kommuner.

#### 3.2 Översiktlig inventering av erosion – steg 1

SGI har utfört en översiktlig inventering av erosion längs kuster, de största sjöarna och ett 50-tal vattendrag. Ytterligare karteringar av vattendrag görs löpande. Detta utgör en första avgränsning inom vilka delar av landet där det finns förutsättningar för stranderosion. På kartor redovisas de områden som har störst förutsättningar för erosion.

Resultaten redovisas i kartform med detaljeringsgrad motsvarande kartskala 1:250 000 och finns tillgängliga på SGI:s webbplats [www.swedgeo.se](http://www.swedgeo.se)

### 3.3 Förstudie – steg 2

Förstudien genomförs i samråd med berörd kommun. Dess syfte är:

- att avgränsa de områden, som ska behandlas i kommande huvudstudie
- att inventera tillgängligt underlagsmaterial för karteringen, bland annat digitala eller analoga flygbilder, geologiska kartor, geotekniska utredningar och höjdmätningar såsom batymetriska mätningar etc.

Huvudstudie bedöms normalt inte behöva utföras för exempelvis områden som utgörs av skyddsområden för natur eller mark som inte är aktuella för exploatering av andra skäl.

Resultaten redovisas i kartform med detaljeringsgrad motsvarande kartskala 1:50 000.

### 3.4 Huvudstudie – steg 3

Huvudstudien utförs som en sårbarhetsanalys och där erosionsområden identifieras översiktligt. Detta görs bland annat genom att studera jordarter, topografi, batymetri, vattennivåer och strömningsförhållanden och tidigare erosionspåverkan. Dessutom görs fältkontroller inom särskilt utvalda områden. En bedömning och värdering utförs också av tidigare utförda utredningar inom de aktuella områdena.

Förekommande värden och samhällsviktig verksamhet som kan påverkas av erosion, bland annat bebyggelse, infrastruktur, turism etc. inventeras och beskrivs.

Syftet med huvudstudien är att:

- översiktligt identifiera områden där erosionsförhållandena är acceptabla
- översiktligt värdera områden där erosionsförhållandena inte är acceptabla eller som är otillräckligt utredda.
- markera områden där detaljerade utredningar bedöms som speciellt angelägna

Huvudstudien ger inga exakta uppgifter om erosionsrisken (dvs. sannolikhet och ekonomiska konsekvenser). Metodiken fastställer att ett område är sårbart för erosion, vilket beskrivs med ett **erosionsindex**, vilket närmare beskrivs i kapitel 6. Detta används för att prioritera fortsatta utredningar för de olika områdena. Utifrån detta utförs steg 4 som innefattar kompletterande fältinsatser och beräkningar för att klarlägga erosionsriskerna och eventuella behov av åtgärder.

Resultaten redovisas i kartform med detaljeringsgrad motsvarande kartskala 1:10 000.

### 3.5 Fördjupad utredning – steg 4

Den fördjupade utredningen utförs inom områden som har identifierats i huvudstudien (steg 3). Syftet med en fördjupad utredning är att klarlägga inom vilka delområden det förekommer oacceptabla risker för erosion och fastställa eventuella behov av förstärkningsåtgärder.

Fördjupade utredningar förutsätter detaljerade data för olika förhållanden och utförs som en riskanalys. En beskrivning av hur en sådan analys kan utföras redovisas i Bilaga 2.



### **3.6 Dimensionering och genomförande av åtgärder – steg 5**

Detta steg omfattar dimensionering och genomförande av förstärkningsåtgärder för områden som vid en fördjupad utredning ha visat sig ha oacceptabla risker för erosion.

## 4 FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR EROSION

Det finns ett antal naturliga förhållanden som påverkar förutsättningarna för erosion. Dessa värderas i sårbarhetsanalysen och på vilket sätt de har betydelse redovisas som bakgrund i detta kapitel. Olika metoder för att undersöka och bestämma förhållanden i strandnära områden redovisas i Bilaga 1.

Denna kapitel omfattar förhållanden som påverkar stranderosion vid kuster och i vattendrag. Med stranderosion avses den process som leder till förlust av material, t.ex. sand, grus och sten, från en strand. Med erosion i ett vattendrag avses här den process där botten- och släntmaterial sätts i rörelse genom inverkan av främst strömmande vatten. Förutom de ovan nämnda processerna innebär erosion även transport och sedimentation av det lossgjorda materialet, men dessa behandlas inte vidare här.

### 4.1 Naturliga förhållanden

De förhållanden som är bestämmande för naturhändelser som kan leda till erosion i strandnära områden är terrängens nivåförhållanden (topografi och batymetri), geologi, vattenstånd, vågor, vind och vattenströmmar. I kustområden genererar vinden vågor och orsakar vattenståndshöjningar. Vågor som når stranden kan orsaka erosion på bottnar och stränder, ras och skred eller översvämning av strandnära områden.

Längs vattendrag innebär det strömmande vattnet en påverkan på bottnar och stränder som leder till erosion, att stränder undermineras och att ras och skred uppkommer. Vid stor nederbörd kan exempelvis vattenmängder och vattennivåer öka och då orsaka översvämning av låglänta områden. Stor nederbörd kan även orsaka erosion av markytor och ravinbildning.

Nedan ges en introduktion till kust- och vattendragsmorfologi samt en översikt av vilka naturliga förhållanden som behöver beskrivas för erosionsutredningar för kuster och vattendrag.

#### 4.1.1 Allmänt om kuster och kustmorfologi

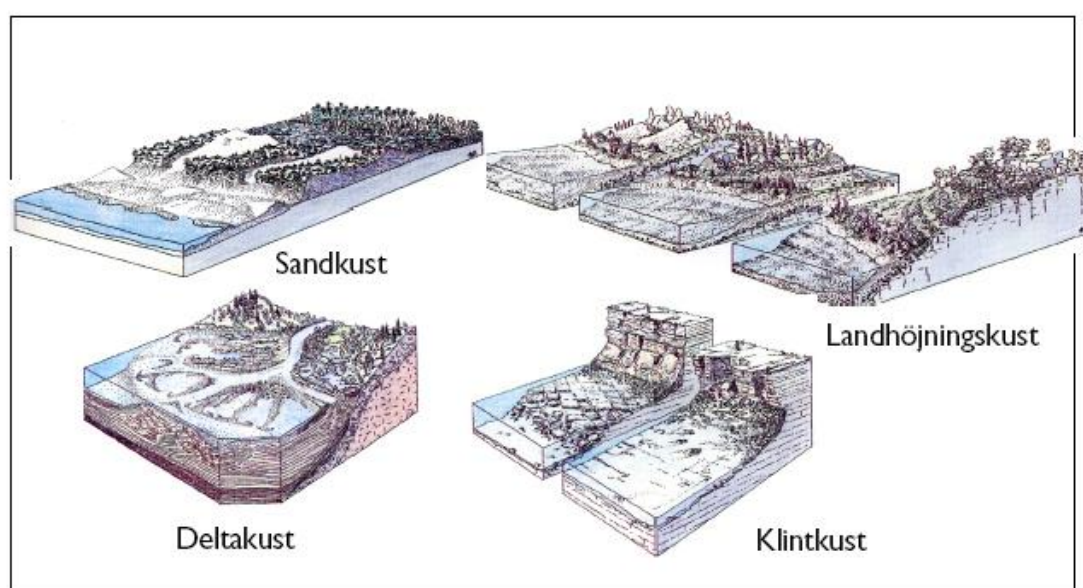
Längs Sveriges kust, från Haparanda vid Bottenviken till Strömstad vid Skagerack, finns olika kustformationer representerade. Ett sätt att dela in kusten i kategorier är att göra det i sandkust, klintkust, deltakust och landhöjningskust, se Figur 4-1.

**Sandkusten** karakteriseras av breda sandstränder med dyner av vindtransporterad sand på olika avstånd från strandlinjen. Sandkust förekommer framförallt i Skåne, Halland och på Öland och Gotland. Ibland förekommer den mellan utskjutande uddar och bildar där bukter, exempelvis Hanöbukten i Skåne och Laholmsbukten i Halland.

**Klintkusten** karakteriseras av en mycket brant slänt i vilken vågor har förorsakat skred och ras. Den största delen av de utrasade massorna har transporterats ut i havet av vågorna. Slänten kan vara uppbyggd av både berg (såväl urberg som kalk- och sandsten) och jord. Klintkust i urbergsförkastning förekommer bland annat vid Hovs hallar och Kullaberg i Skåne. Öland och Gotland har klintkuster i kalksten med raukar skulpterade av vågerosion.

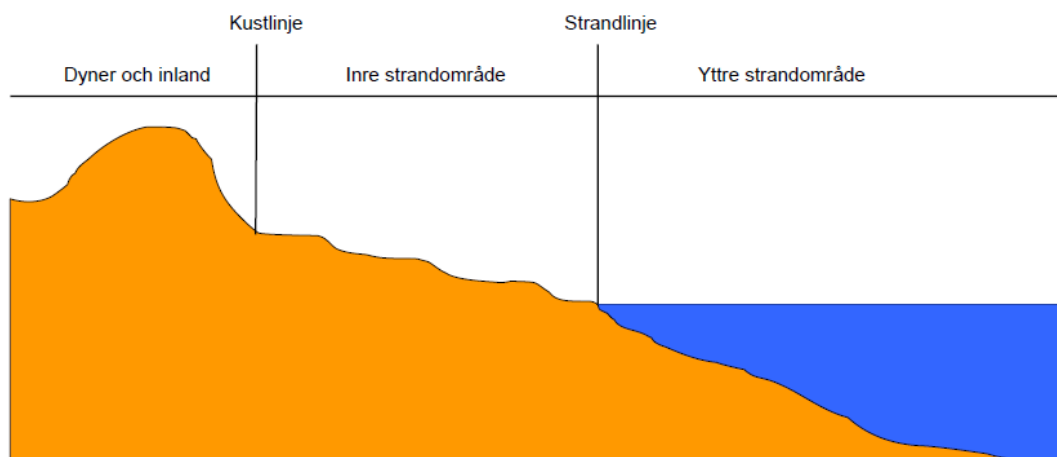
**Deltakust** karakteriseras av det material som älvar och åar avsatt där de mynnar i hav eller sjö. Närmast mynningen avsätts det grövre materialet och längre ut, där strömshastigheten är liten, avsätts det finare materialet. Då tillräckligt mycket material avsatts kommer vattenströmmen att förgrenas och efterhand uppkommer ett trädliknande deltamönster. En av Sveriges mest utbildade större deltakust ligger vid Indalsälvens mynning i Bottenhavet (Sveriges Nationalatlas, 1992).

**Landhöjningskusten** karakteriseras av områden med spår från tider då den relativa havsnivån var mycket högre än dagens nivå. Då havsytan låg högt har exempelvis bergshöjder blivit kalspolade och klappervallar bildats i vågutsatta sluttningar. Exempel på landhöjningskuster är Sveriges skärgårdskust, till exempel Stockholms skärgård och Höga kusten.



**Figur 4-1. Kustformationer i Sverige. (Sveriges Nationalatlas, 1992)**

Förändringar av strandens form kan ske genom erosion, sedimenttransport och ackumulation. För kustområden uppkommer pådrivande krafter från vattenstånd, vågor, vind och strömmar. I djupvattenzonen genererar vinden vågor och orsakar vattenståndshöjningar. Vågor som kommer in i den kustnära zonen påverkas av botten, vilket kan leda till refraktion, diffraktion och vågbrytning. Vågor som träffar kuststräckan i en sned vinkel leder till kustparallella strömmar som kan transportera sediment bort från kuststräckan. Samtidigt som sediment förflyttas bort från ett bottenområde, tillförs sediment från närliggande områden. Erosion sker av strandplan och dyner men även av botten under vattenytan. En brant botten orsakad av erosion medför ett sämre skydd av kusten eftersom mer av vågornas energi kommer att nå strandzonen i framtiden. En beskrivning av mekanismer vid stranderosion ges av Rankka & Rankka, 2003.



**Figur 4-2. Illustration av indelning av en kuststräcka med dynlandskap.**

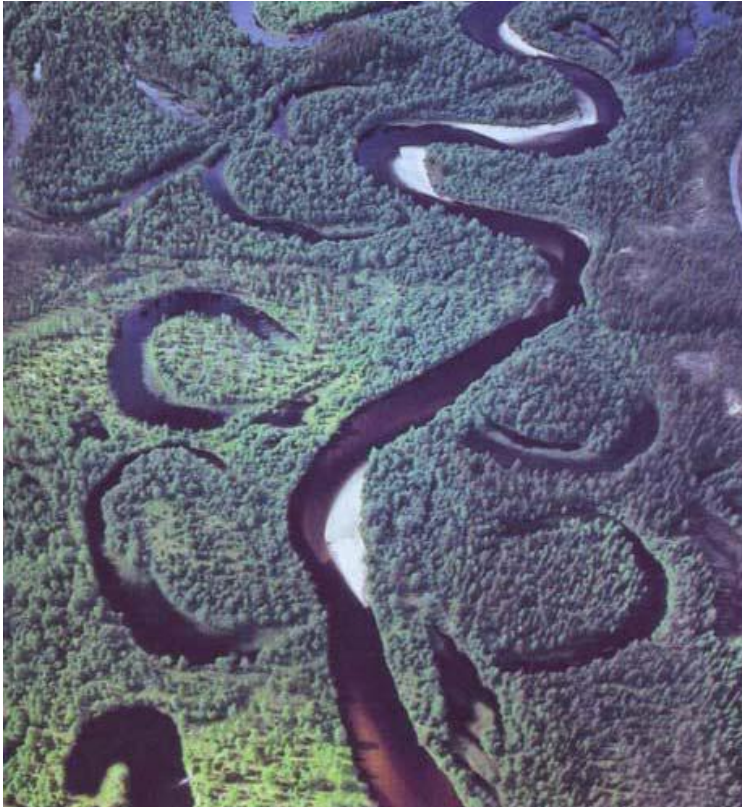
Förhållandena längs en kuststräcka kan vid en sandkust med fördel beskrivas genom dess geomorfologiska utbredning, exempelvis enligt följande, jfr även Figur 4-2.

- Yttre strandområde – strandnära vattenområde som påverkar vågbrytning och sedimentutbyte/transport
- Inre strandområde – området mellan medellågvattenytan och gränsen dit vågor normalt når. Sediment som avsätts på stränder, tidvattenbankar, våtmarker etc. är viktiga för att skydda mot erosion och översvämning
- Dyner och inland/bakomliggande område – fungerar som buffert mot erosion och bidrar med sediment till stranden.

#### **4.1.2 Allmänt om geomorfologi för vattendrag**

Rinnande vattens har stor förmåga att omforma ett landskap, troligtvis den process som har störst påverkan på landskapets förändring. Vattendragens utseende och form beror till stor del på vattenföringen och de berg- eller jordarter som vattnet rinner igenom. En beskrivning av ett vattendrags morfologi och de förhållanden som påverkar denna finns i Andersson et al., 2008.

Ett vattendrag utvecklas successivt i samspel med omgivande terräng. Vanligtvis eroderar vattendrag i sitt övre lopp och ackumulerar material i de nedre delarna, vilket efterhand leder till en utjämning av vattendragets längdprofil. I branta områden med stora höjdskillnader och lätteroderad jord skapas exempelvis lätt raviner, orsakat av stora flödes hastigheter och hög transportkapacitet av sediment. Ett annat exempel är då omgivande terräng är flackare och det förekommer både erosion och deposition, vilket då kan ge ett så kallat meandrande utseende som visas i Figur 4-3.

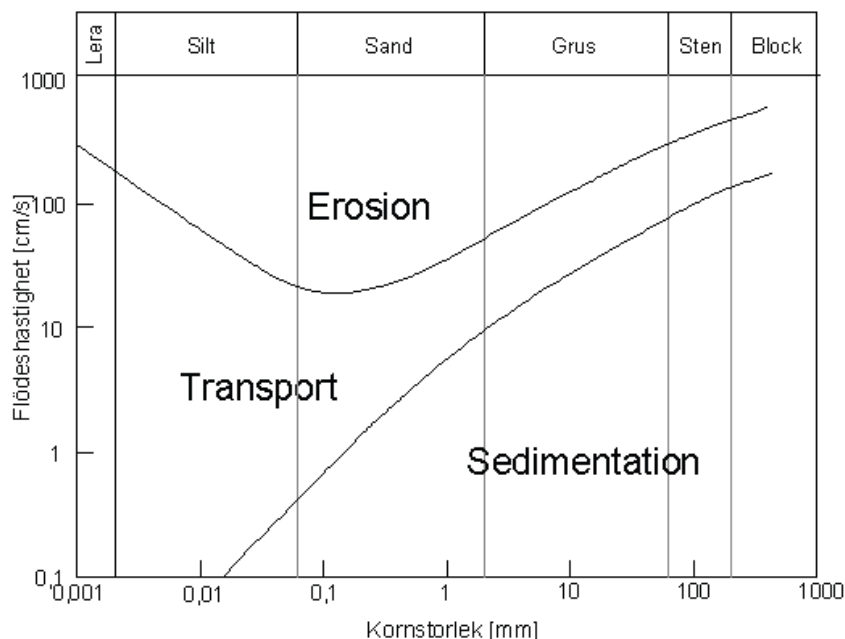


*Figur 4-3. Meandring och korvsjöar längs Öreälven. (Sveriges Nationalatlas, 1995)*

#### **4.1.3 Geologiska förhållanden och erosion**

Som nämnts ovan har det stor betydelse vilken typ av jord- eller bergmaterial som påverkas av vågor eller vattenströmmar. Erosionsförhållandena beror av bottenmaterialens egenskaper och detta kan indelas i kohesiva och icke-kohesiva material. I kohesiva material, exempelvis lera och gyttja, hålls partiklarna främst samman av elektrokemiska krafter. I icke-kohesiva material (också kallade friktionsmaterial), hålls partiklarna samman främst på grund av friktion mellan partiklarna. Exempel på friktionsmaterial är sand och grus. Silt betraktas ofta som ett mellanmaterial, vars egenskaper styrs både av friktion och kohesion mellan partiklarna. Även i ett rent kohesivt material eller friktionsmaterial varierar partikelstorleken inom vissa intervall. Generellt sett är partiklarna större i friktionsmaterial och därför spelar även gravitationen en större roll.

Ett materials eroderbarhet minskar med högre friktionskrafter (större partiklar) och med högre kohesionskrafter (mindre partiklar). Detta medför att det är de mellanstora partiklarna, företrädesvis i intervallet mellan grovsilt och mellansand, som är mest känsliga för erosion, se Figur 4-4.



**Figur 4-4. Förutsättningar för erosion, transport och sedimentation vid olika flöden och Jordarter. (Efter Hjulström, 1935)**

I ett vattendrag har generellt sett det strömmande vattnet störst inverkan på erosionen. Dessutom finns andra processer som påverkar erosionen, bland annat genom att friktionsmaterial som transporteras längs älvens botten nöter på underliggande lera och silt, så kallad korrusion. Detta innebär kortfattat att denna nötning får leran att gå i suspension vid bottenskjuvspänningar som är lägre än den kritiska bottenskjuvspänningen för själva lermaterialet.

För översiktliga utredningar är det oftast tillräckligt med att bestämma jord- och bergarter från geologiska kartor, eventuellt kombinerat med översiktliga kontroller i fält. Vid detaljerade utredningar erfordras mer specifika kunskaper om jordens och bergets egenskaper samt grundvattenförhållandena. I ett detaljerat skede kan erfordras såväl geotekniska som geohydrologiska fältundersökningar.

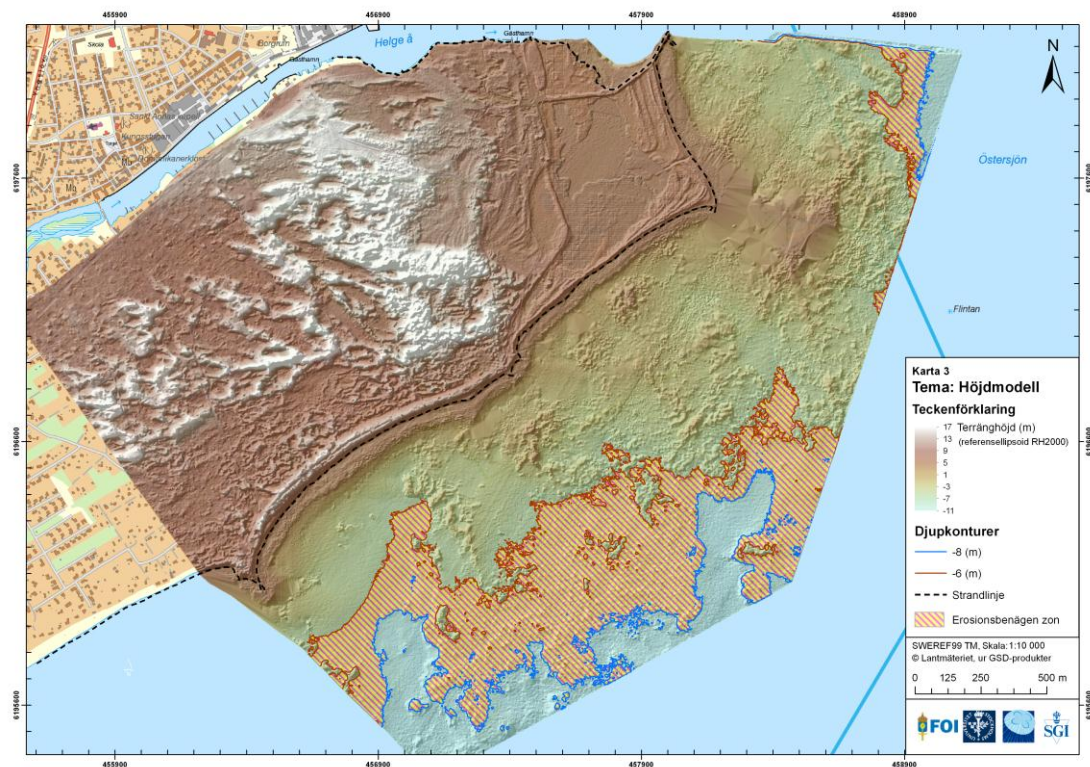
#### 4.1.4 Topografi och batymetri

Nivåförhållanden på land (topografi) och under vatten (batymetri) har stor påverkan på erosionsförhållandena. Flödes hastigheten i ett vattendrag är kopplad till landskapets topografi och i kuperad terräng medför den ökade lutningen en högre flödes hastighet, som ökar erosionen. Vid landhöjning ökar flödes hastigheten ytterligare eftersom gradienten mellan källflödet och havsnivån ökar.

Vid havskuster har nivåförhållanden stor påverkan genom att batymetrin påverkar våghöjden vid stranden och topografin hur långt upp vågorna når på stranden.

Topografi och batymetri kan vid översiktliga utredningar beskrivas utifrån topografiska kartor och sjökort. Den Nya Nationella Höjdmödel (NNH) ger också bra underlag för bestämning av topografin. I de flesta fall bör emellertid mätningar utföras genom t.ex. laserskanning, ekolodning (multibeam) eller avvägning och lodning. Topografiska och batymetriska förhållanden för ett kustområde i Åhus bestämd med laserskanning visas i Figur 4-5.





**Figur 4-5. Topografiska och batymetriska förhållanden vid kusten i Åhus, Kristianstads kommun. (Rydell et al., 2012)**

#### 4.1.5 Vattennivåer och vattenflöden

Havets vattennivå är avgörande för erosionen vid kuster. Vattenstånd sammanställs av SMHI för olika delar av landet och kan användas för mer översiktliga utredningar. Dessa behöver normalt kompletteras med uppgifter från lokala mätningar, t.ex. i hamnar, eller genom utförande av ytterligare mätningar. Det är önskvärt med långa mätserier för att kunna bestämma normala och extrema förhållanden. Normalt används medelvattennivån för den långsiktiga erosionspåverkan men vid samtidig högvattennivå och kraftiga vågor kan lokalt stor erosion uppkomma.

Erosion i vattendrag påverkas främst av strömmande vatten och flödet och hastigheten är bestämmande för erosionen. För vattendrag finns ofta uppgifter om vattenflöden och vattennivåer från mätningar vid t.ex. dammar, hamnar eller andra tekniska system. När det gäller vattendrag bör man klargöra hög-, medel- och lågvattenflöden samt tillhörande vattennivåer.

#### 4.1.6 Vind och vågförhållanden

Det har också stor betydelse hur exponerad en kuststräcka är för vågor. En kust kan skyddas av en skärgård eller genom att utstickande uddar kan dämpa vågenergin.

Mätningar av vågor i havet utförs endast på ett fåtal platser runt Sveriges kust och oftast behöver kompletterande mätningar utföras. Ett annat sätt är att simulera vågklimatet med utgångspunkt från vindklimatet (styrka, riktning, varaktighet) samt den stryklängd och det vattendjup som vågorna fortplantas över. Förhärskande vindriktningar och vindhastigheter kan erhållas från meteorologiska mätningar.

Beroende på skede och typ av utredning kan olika storheter beräknas; vanliga egenskaper är våghöjd, våglängd och höjder för brytande vågor. Tidvatten kan även inverka på erosionen men normalt är tidvattenförändringar i Sverige av sådan begränsad omfattning att den kan försummas. I översiktliga utredningar är det normalt tillräckligt med ersätta vind- och vågdata med en samlad bedömning av hur exponerad kuststräcka är, t.ex. den modell för vindexponering som användes av Naturvårdsverket i SAKU-projektet (Naturvårdsverket, 2006).

För vattendrag är vågberäkningar oftast inte aktuellt, förutom då t.ex. fartygstrafik kan skapa vågförhållanden som kan komma att påverka vattendragets profil genom erosion.

#### 4.1.7 Markanvändning

Markens användning förändras främst genom människans utnyttjande för olika ändamål (t.ex. åkermark, vägar, bebyggelse, flygplatser etc.) I glest bebodda områden brukar man också räkna in den naturliga eller kulturpåverkade vegetationen. Då markanvändningen ändras, t.ex. vid exploatering (hårdgjorda ytor, dränering m.m.) eller om den orsakats av klimatförändring (torrare eller fuktigare förhållanden) ändras också markytans utseende. Även förändringar i markanvändningen kan identifieras med flygbilder från olika tidpunkter.

## 4.2 Skydd av stränder

Åtgärder som utförts för att minska skador och risker från erosion vid kuster och vattendrag påverkar framtida erosion både i anslutning till skydden och områden nedströms skyddet. Olika typer av åtgärder finns för att skydda kuster och stränder längs vattendrag och några exempel finns i Figur 4-7 och Figur 4-7. Uppgifter om hur de har utförts och vilken omfattning de har, såväl över som under vattenytan kan finnas i dokument från projektering och byggande.



*Figur 4-6. Hövder för stabilisering av en kuststräcka. Foto: Kystdirektoratet, Danmark*

I de flesta fall behöver emellertid befintliga skydd inventeras och dess status bedömas eftersom skyddens effekt efterhand förändras genom påverkan från strömmande vatten och vågor.





*Figur 4-7. Erosionsskydd med strandskoning med sprängsten utmed Österdalälven i Mora.  
Foto: SGI*

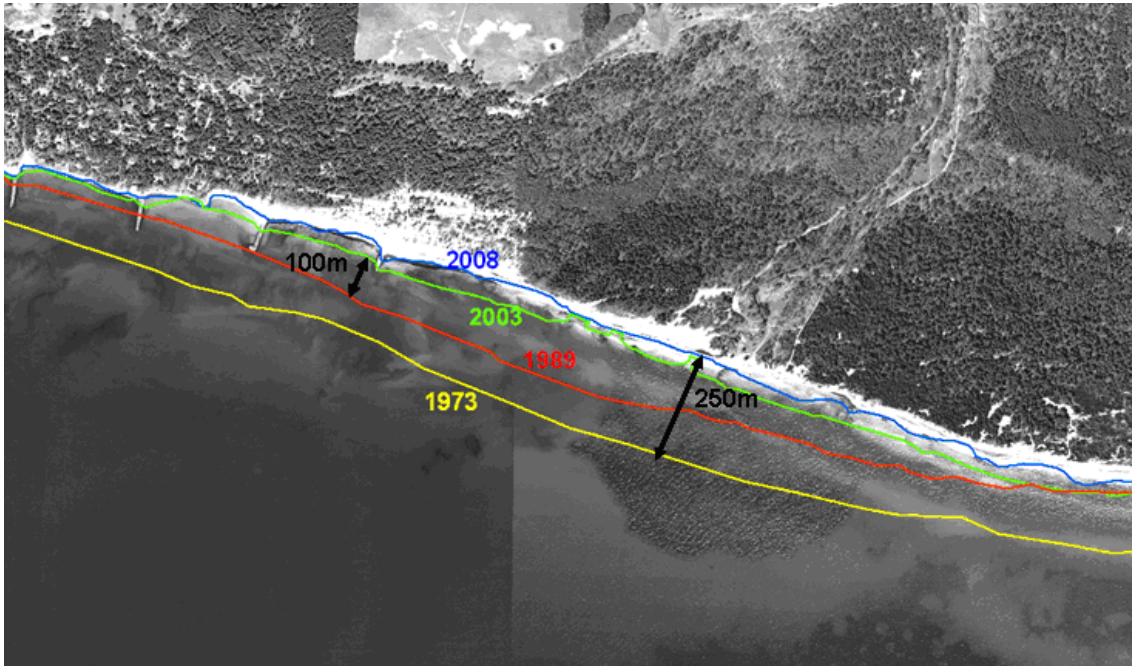
### **4.3 Pågående och historisk påverkan**

Inventering och beskrivning av pågående eller tidigare inträffad erosion är väsentlig för att kunna bedöma förhållandena på platsen. Även tidigare inträffade ras och skred behöver inventeras eftersom de kan vara tecken på erosion. Uppgifter om detta finns exempelvis i SGI:s Skred- och erosionsdatabas med uppgifter om bland annat typ av naturolycka, orsak, datum för händelsen, storlek och omfattning, kostnader för skador på liv och egendom och för åtgärder (SGI, 2012a).

#### **4.3.1 Erosion**

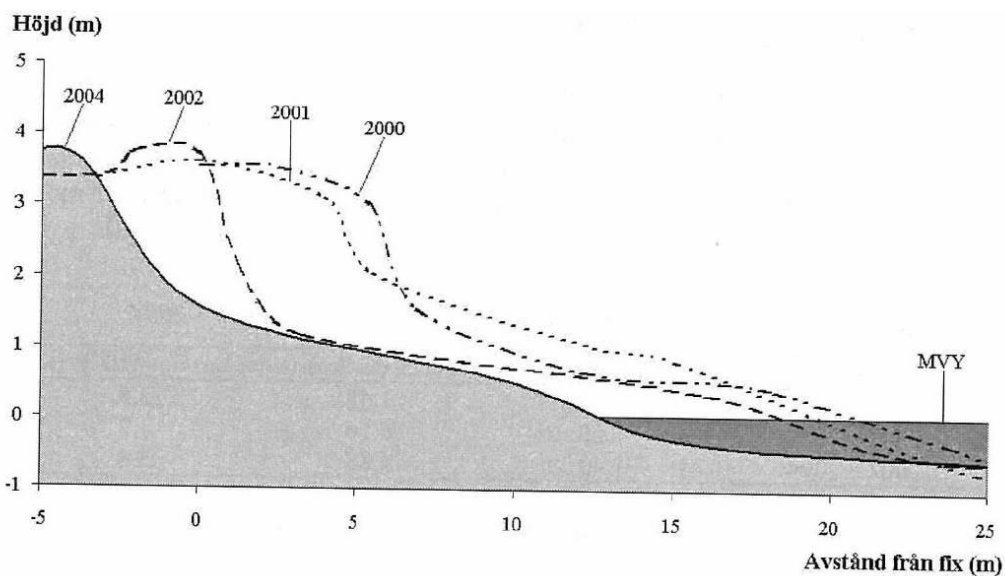
Förändrad markanvändning och annan mänsklig verksamhet påverkar var naturolyckor sker samt vilka konsekvenser de får. Längs kuster kan byggnation av hamnar och anläggning av erosionsskydd reducera den sandtillgång som en gång fanns i sedimenttransportcellen, dvs. det kustavsnitt där det finns ett samspel mellan erosion och ackumulering av sediment. Erosion kan förekomma i dyner och strandplan men även under vattenlinjen kan erosionen vara betydande.

Jämförelser av strandlinjer för kuster och längs vattendrag vid olika tillfällen kan visa hur erosionen har påverkat stranden. Detta kan bland annat göras med hjälp av flygbilder från olika tillfällen. Ett exempel från en sådan analys för kusten i Ystads kommun redovisas i Figur 4-8.



**Figur 4-8. Strandlinjer vid olika tidpunkter för kusten i Ystads kommun. (Rydell et al., 2010)**

I Ystad Sandskog har utförts laserbatymetriska mätningar (Rydell & Nyberg, 2006) men även inmätning av ett antal mätprofiler från vattenytan upp på land (Dahlerus & Egermayer, 2005). Härigenom kan konstateras att det successivt har skett en betydande förändring av strandzonen, varvid foten av sanddynen och strandlinjen båda har förflyttats cirka 8 meter inåt landet under en fyraårsperiod. Dessutom har det vertikala avståndet från vattenytan till sanddynens fot minskat, se Figur 4-9.



**Figur 4-9. Förändringar i strandplanet mellan åren 2000 och 2004 i Ystad Sandskog (Dahlerus & Egermayer, 2005+)**

### 4.3.2 Översvämning

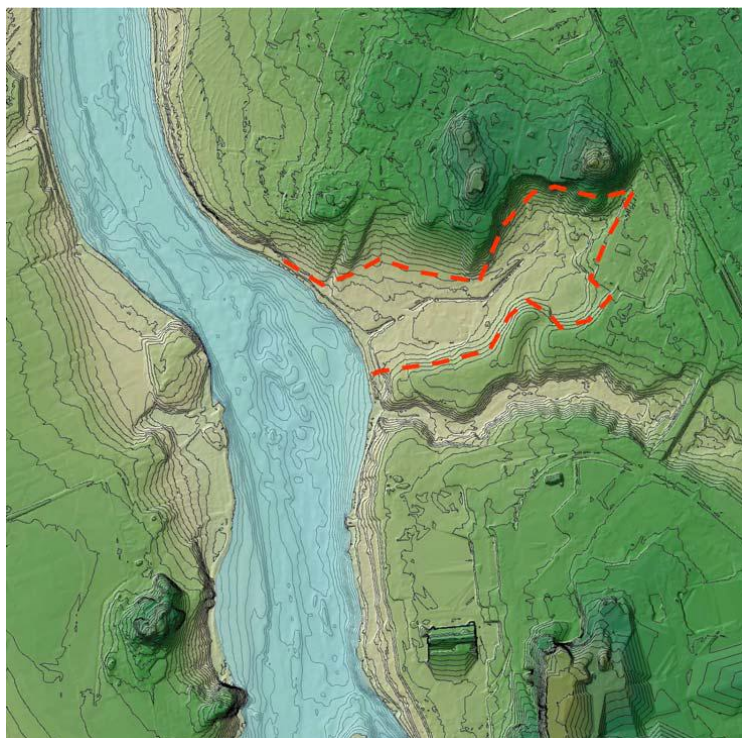
Översvämning kan drabba låglänta områden vid tillfällena med högt vattenstånd och/eller om höga vågor spolar över dynerna. Erfarenheter från tidigare översvämningar vid vattendrag eller vid kustområden tillsammans med de flöden och vattennivåer som då uppmätts kan ge underlag för bedömning av hur ofta översvämningar uppträder.

Tidigare överspolning av dyner vid kustområden bör också inventeras och ställas i relation till vattenstånd och vågklimat.

### 4.3.3 Ras och skred

Tidigare inträffade ras och skred behöver inventeras och beskrivas. Beroende på detaljeringsgrad kan olika metoder användas för att sammanställa uppgifter om tidigare och pågående naturhändelser. Det finns ofta endast begränsade mätningar och dokumentation av inträffade händelser och inventering behöver då göras via indirekta uppgifter, t.ex. intervjuer av lokalbefolkning. Översiktliga uppgifter om stabilitetsförhållanden kan erhållas från MSB:s stabilitetskarteringar som har utförts på många platser runt om i Sverige. På många platser med särskilt svåra förhållanden finns även mera detaljerade studier av stabilitetsförhållandena utförda. Kommunerna har oftast dokumenterat detta och har kunskap om var det har utförts undersökningar.

Genom att inventera historiska dokument och äldre kartor kan man bedöma förändringar av erosionsförlopp. Ett annat sätt att t.ex. kontrollera tidigare inträffade skred är att studera geologiska och topografiska kartor samt flygbilder. Kartor bör ha hög upplösning på nivåkurvorna vilket med fördel erhålls genom laserskanning av området, se exempel i Figur 4-10.



*Figur 4-10. Exempel på topografisk karta för identifiering av skred i Göta älvdalen. (Fallsvik, 2007)*

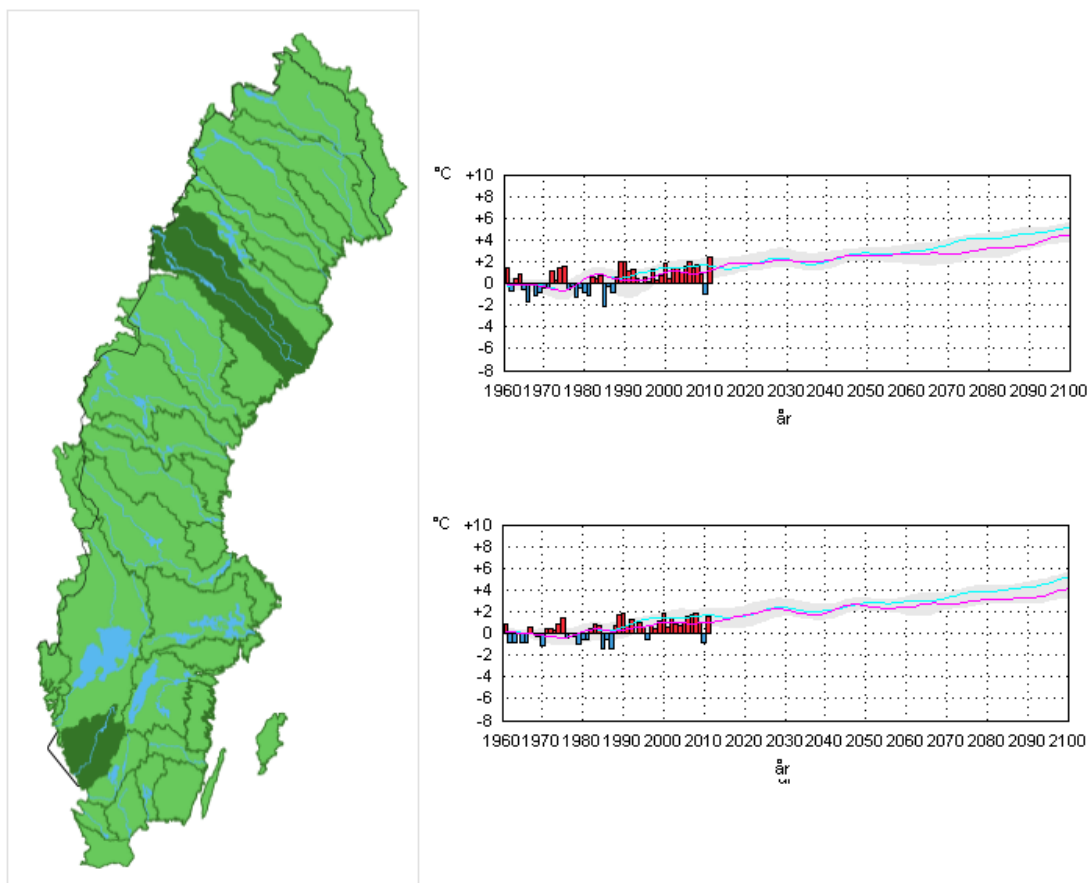


## 4.4 Klimatscenarier

De aspekter av klimatförändringen som har störst påverkan på erosionen längs vattendrag är de som rör flöden och vattenstånd och för kuster havsnivån. Klimatscenarier visar att framtida klimatförändringar innebär ökad nederbörd i stora delar av landet, vilket i sin tur medför ökad vattenavrinning och högre flöden i vattendrag. Den globala havsnivån beräknas även fortsätta öka och med ökad takt mot detta sekels slut. I Klimat- och sårbarhetsutredningen (2007) redovisades klimatscenariokartor fram till år 2100 och dessa har därefter uppdaterats inom vissa regioner. Exempel på tillgängliga data ges i Figur 4-11.

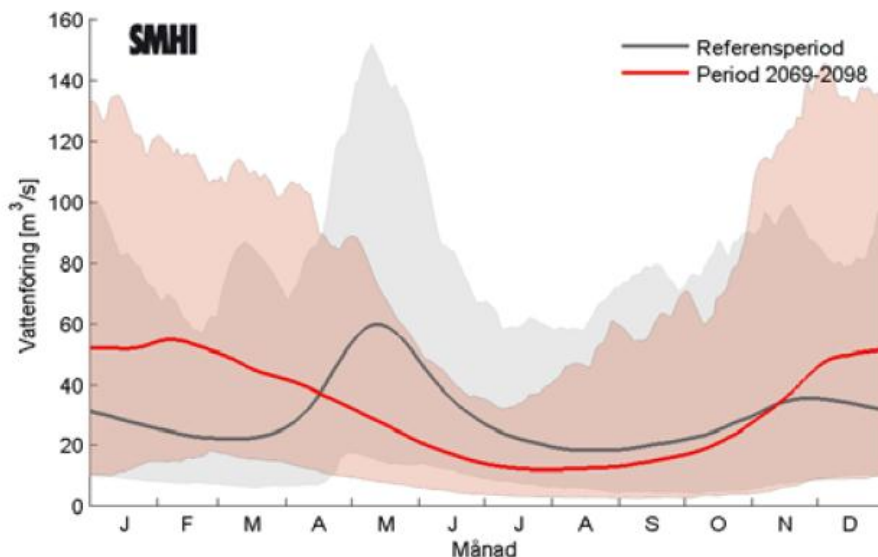
Fram till 2100 bedöms Sveriges **årsmedeltemperatur** öka med mellan 2,5 och 4,5° C, jämfört med referensperioden, 1961-1990. Temperaturökningen är som störst under vintern vilket medför en minskning av snötäckets utbredning, en kortare period med sammanhängande snötäcke samt en minskning av det maximala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

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



*Figur 4-11. Exempel på klimatscenarier för Sveriges huvudavrinningsområden (mindre huvudavrinningsområden har aggregerats för att ge stabilare scenarierberäkningar). Till höger ses uppmätt (staplar) och förväntad (kurvor) förändring av årsmedeltemperaturen för Umeälven och kringliggande vattendrag (överst) samt för Nissan och kringliggande vattendrag (nederst). Den turkosa och den cerise kurvan motsvarar utsläppsscenario A2 respektive B2. (SMHI, 2011)*

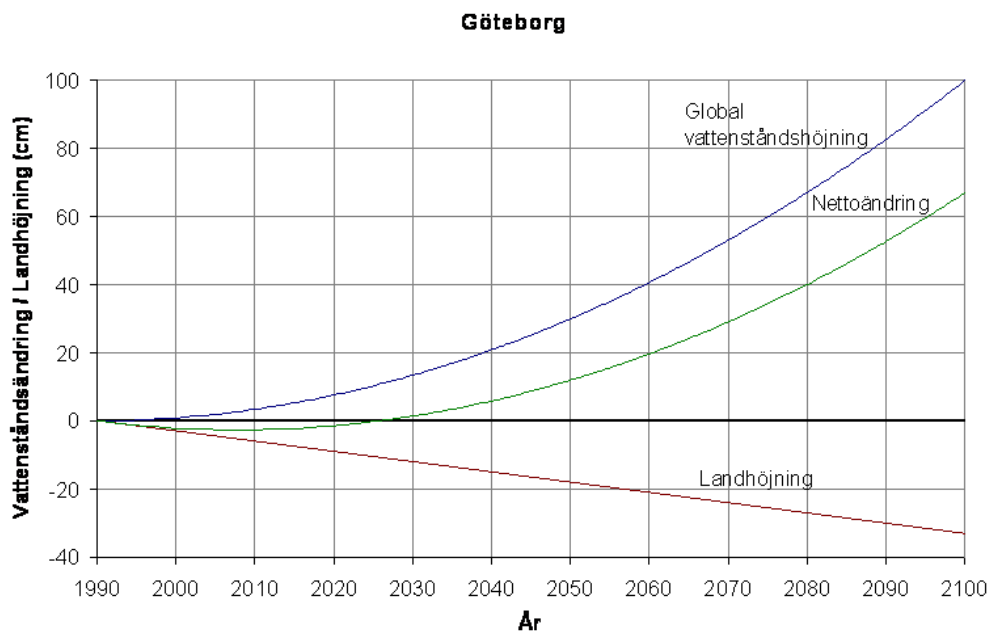
Den ökade temperaturen vintertid leder till ett ökat flöde under hela vinterhalvåret (mindre vatten binds som snö) men en minskad vårflood. En ändrad årsrytm förväntas också där vårflooden kommer att utjämnas, se Figur 4-12 .



*Figur 4-12. Exempel på säsongsvariation av förväntad daglig vattenföring i Kolbäckån. (Persson et al., 2012)*

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

Globalt väntas **vattenståndet i havet**, till följd av ökade temperaturer, höjas med ca 1 m till år 2100. De regionala skillnaderna kan vara stora och i Östersjön väntas en större höjning som en följd av kraftigare västvindar. För stora delar av Sverige motverkas havsnivåhöjningen av landhöjningen, se Figur 4-13. Mot slutet av detta sekel bedöms dock hav och land stiga med ungefär samma hastighet så långt norrut som till Uppland.



**Figur 4-13. Nettohöjning i havet, exempel från Göteborg fram till 2100 under antagande av en global havsnivåhöjning på 0,3 m till år 2050 respektive 1 m till år 2100. (Bergström et al., 2011)**

I syfte att bedöma erosionen behöver en utredning om lokala förändringar av framtida havsvattennivåer göras för den aktuella kuststräckan. Ett exempel på resultat från en sådan utredning för Skåne visas i Tabell 4-1. Nivåerna bygger på en global havsnivåökning med 0,59 m och ett lokalt tillägg för Östersjön med 0,20 m som kompenseras för landhöjningen. Statistiskt sett kan det inom de närmaste hundra åren tillfälligt förekomma havsnivåer på mer än 2 m över dagens medelvattenyta. Till detta kommer effekter av vågor som i kombination med höga vattennivåer ytterligare kan medföra risk för översvämning.

**Tabell 4-1. Beräknade återkomstnivåer för årshögsta vattenstånd längs kusterna i Skåne för framtidens klimat (2070-2100) och olika återkomsttider. 95 % konfidensintervallet återfinns som kursiverad text. (Nerheim, 2007)**

	2 år	10 år	50 år	100 år
<b>Viken</b>	168 <i>161-176</i>	198 <i>187-217</i>	220 <i>204-259</i>	229 <i>210-280</i>
<b>Barsebäck</b>	143 <i>137-150</i>	170 <i>164-180</i>	185 <i>177-200</i>	189 <i>181-207</i>
<b>Klagshamn</b>	157 <i>151-163</i>	187 <i>180-196</i>	203 <i>194-223</i>	208 <i>198-233</i>
<b>Skånör</b>	180 <i>163-180</i>	203 <i>193-214</i>	209 <i>204-220</i>	
<b>Ystad</b>	165 <i>162-169</i>	194 <i>187-202</i>	217 <i>207-238</i>	227 <i>214-255</i>
<b>Simrishamn</b>	160 <i>152-168</i>	180 <i>174-189</i>	187 <i>182-199</i>	189 <i>184-204</i>
<b>Kungsholmsfort</b>	136 <i>133-139</i>	161 <i>157-168</i>	180 <i>172-195</i>	186 <i>177-206</i>

## 5 VÄRDEN SOM KAN PÅVERKAS AV EROSION

Inom områden nära kuster och sjöar eller längs vattendrag, där det finns förutsättningar för erosion som kan leda till olyckor, behöver de olika värden eller tillgångar som finns där beskrivas och studeras ur ett samhällsekonomiskt perspektiv. Sådana värden kan utgöras av bland annat byggnader, infrastruktur, rekreationsområden eller naturvärden.

Eftersom sårbarhetsanalysen för erosion inte beaktar naturvärden som har områdesskydd eller obebyggd mark ingår dessa inte i värderingen. Nedan beskrivs kortfattat de värden som används i analysen som ingår i metodiken för huvudstudie av erosion.

### 5.1 Bebyggelse

Bebyggelse kan utgöras av bostäder i tätorter eller glesbygd, fritidshus och byggnader för offentlig service. Förutom fastigheternas värden är det avgörande hur många människor som kan komma att påverkas vid skador av byggnader. Det gäller boende i olika områden, elever i skolor och arbetsplatser. Användning av GIS gör det möjligt att beskriva bebyggelsen i strandnära områden utifrån Lantmäteriets Fastighetskarta.



*Figur 5-1. Strandnära bebyggelse i anslutning till Göta älv. Foto: SGI*

### 5.2 Industrier

Industrier kan i många fall historiskt vara lokaliserade nära vattendrag eller kuster för att utnyttja vattenkraft eller transportmöjligheter med fartygstrafik. Erosionen kan skada byggnader eller anläggningar som används för industriella processer. Om miljöfarlig verksamhet förekommer finns risk att farliga ämnen kan läcka ut till vattenområden.

### 5.3 Kulturhistoriska byggnader och kulturvärden

Kommuner och/eller länsstyrelserna har uppgifter om kulturhistoriska byggnader. Exempel på byggnader är kyrkor som omfattas av kulturminneslagen, områden som klassas som riksintresse för kulturmiljövård och byggnader och miljöer som av respektive kommun anses vara viktiga kulturmiljöer.

### 5.4 Rekreation och fritid

Erosion av attraktiva strandområden kan medföra att stränder vid kustområden kan försvinna eller minska i bredd, vilket innebär att förutsättningarna för turism och friluftsliv avsevärt försämras. Värdefulla rekreations- och strövområden kan försvinna och därmed även turismen. Platsens varumärke kan skadas då det ofta förknippas med möjlighet till fritids- och rekreationsmöjligheter på stränderna. Detta leder till ekonomiska förluster hos näringsidkare inom turism på platsen.



*Figur 5-2. Fritidsaktiviteter vid Åhusstranden.*

### 5.5 Infrastruktur

#### 5.5.1 Vägar och järnvägar

Erosion kan orsaka skador på vägar och järnvägar genom att t.ex. en bank eller banvall raseras, se Figur 5-3. Förutom kostnader för att reparera en skadad väg eller järnväg bör hänsyn tas till samhällets kostnader för störningar i transportförsörjningen. Långvariga störningar/avbrott leder till att stora samhällsekonomiska konsekvenser uppstår. Till konsekvenser inom vägtransportsystemet räknas direkta kostnadsökningar för restid, fordon, trafikolyckor, emissioner, drift och underhåll på grund av störningar och trafikavbrott.





*Figur 5-3. Underminering av järnväg vid Väja, Kramfors. Foto: SGI*

### **5.5.2 Vatten- och avloppsförsörjning**

Anläggningar för vatten- och avloppsförsörjning är en samhällsviktig verksamhet och naturolyckor kan orsaka allvarliga störningar för enskilda och samhället. Vilka konsekvenser som uppstår beror på vilken naturolycka som drabbar VA-systemet. Tillfälliga översvämningar innebär övergående problem, medan ras, skred och permanent vattennivåhöjning i hav, sjöar eller vattendrag innebär att anläggningar måste återuppbyggas för att den tekniska VA-försörjningen ska kunna vidmakthållas. Erosion kan vara ett hot mot VA-anläggningar där anläggningar är belägna nära hav eller vattendrag.

## 6 BESTÄMNING AV SÅRBARHET FÖR EROSION

### 6.1 Metodik och bakgrund

Huvudstudien i den föreslagna metodiken utförs som en sårbarhetsanalys, där erosionsområden identifieras översiktligt. Huvudstudien ger inga exakta uppgifter om erosionsrisken (dvs. sannolikhet och ekonomiska konsekvenser). Resultatet anger att olika områden kan vara sårbara för erosion, vilket beskrivs med ett erosionsindex. Detta används för att prioritera fortsatta utredningar för de olika områdena. Utifrån detta utförs i steg 4 kompletterande fältundersökningar och beräkningar för att klarlägga erosionsriskerna och eventuella behov av åtgärder.

Den föreslagna metodiken utgår från ett synsätt som används i många länder för att beskriva en kusts sårbarhet. Ett sätt att uttrycka detta är att beräkna ett index, Coastal Vulnerability Index (CVI), för olika delar av kusten. Motsvarande metodik för stränder vid vattendrag har inte framkommit vid den litteraturinventering som utförts i förstudien. Nedan anges bakgrunden till CVI och det förslag till anpassning som utarbetats i förstudien för kuster och vattendrag.

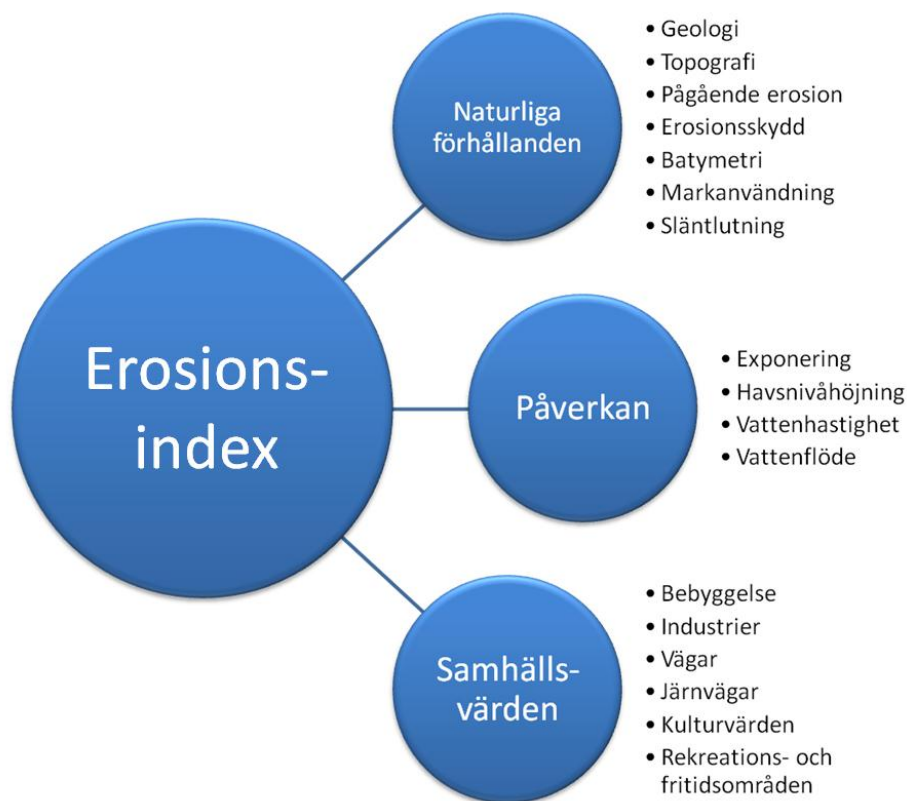
#### 6.1.1 Bakgrund till CVI

Mot bakgrund av framtida klimatförändringar har European Environment Agency (EEA) utvecklat ett verktyg för analys och bedömning av kusters sårbarhet (EEA, 2011). EEA:s verktyg behandlar ett antal olika analysmodeller och processer. En sådan analysmodell för att beskriva sårbarhet för kustområden kallas CVI, Coastal Vulnerability Index. CVI är en relativt enkel och vanligt förekommande modell för att uppskatta sårbarhet med avseende på erosion samt nivåförändringar till följd av ändrad havsnivå och/eller landnivå (Gornitz et al., 1991).

Modellen finns i flera varianter, där den enklaste benämns enbart CVI och omfattar 6-7 parametrar som kan varieras efter behov, men som i princip beskriver kustens egenskaper samt påverkande förändringsprocesser. Varje parametrar bedöms och ges ett relativt värde. Värdena summeras i en enkel numerisk modell som ger ett index.

#### 6.1.2 Anpassad modell - Erosionsindex

För huvudstudier (steg 3) har valts en anpassad variant av ”Multi-Scale CVI” för sårbarhetsanalys för kuster och vattendrag. Denna modell utgörs av en viktning och sammanslagning av olika delindex. I denna utredning används tre sådana delindex: **Naturliga förhållanden**, **Påverkan** och **Samhällsvärden**. För vardera av dessa beräknas delindexet som sedan kombineras till ett **erosionsindex**. Ett antal parametrar har valts för respektive index, anpassade till den översiktliga nivån i huvudstudien och för svenska förhållanden har, se Figur 6-1.



*Figur 6-1. Ingående förhållanden och parametrar som ingår i en sårbarhetsutredning för erosion. Resultatet bildar ett erosionsindex som ligger till grund för indelning i sårbarhetsklasser för olika områden.*

- I delindexet **Naturliga förhållanden** ingår egenskaps- och karaktärsbeskrivande parametrar som beskriver stränders känslighet och motståndskraft mot erosion.
- I delindexet **Påverkan** ingår parametrar som beskriver de påverkande krafter eller processer som bidrar till erosion.
- Slutligen ingår i delindexet **Samhällsvärden** variabler som beskriver förhållanden eller strukturer som kan utsättas för fara eller på annat sätt drabbas av erosionens effekter.

Modellen bygger på att varje parameter klassificeras och tilldelas ett värde 1-3 beroende på hur den påverkar sårbarheten för erosion, där 1 innebär minst och 3 störst påverkan. Därefter summeras alla parametrar för varje delindex och en normaliserande och viktande beräkning utförs vilket ger ett delindex. Därefter beräknas medelvärdet av de tre delindexen, vilket utgör det slutgiltiga erosionsindexet. För olika områden anges sådana index och sårbarheten klassas i tre nivåer: hög, medel eller låg sårbarhet för erosion.

Resultaten från karteringen redovisar erosionsförhållanden men inte eventuella följdefekter som t.ex. ras och skred.

Analysen utförs genom så kallad rastermatematik i GIS-miljö där de olika delindexen sammanställs till ett lägesbundet erosionsindex. Den slutliga kartan redovisar på så sätt, förutom utredningsområdet, de olika sårbarhetsnivåerna som en normaliserad summa av alla ingående delindex. Indata hämtas antingen från tillgänglig digitalt underlagsmaterial eller genom digitalisering av kartdata från fältkontroll eller på annat sätt.

Modellen är uppbyggd på samma sätt för bedömning av såväl kustområden som områden längs vattendrag, men de ingående parametrarna skiljer sig något för kust och vattendrag och redovisas nedan i separata avsnitt.

## 6.2 Erosionsindex – kuster och kustnära områden

Kartering av erosion utförs inom de områden som identifierats i förstudien (steg 2). Områden där geologiska kartor anger kristallint berg och/eller där marknivån överstiger +3 m.ö.h. exkluderas i analysen, dock omfattar analysområden minst 300 m från strandlinjen.

Områden som ingår i analysen indelas i delområden utifrån de förutsättningar som gäller för varje parameter och ges ett klassificeringsvärde enligt tabeller nedan. Om information om en parameter saknas, sätts värdet 3. De olika parametrarna beskrivs närmare nedan efter respektive tabell. Bakgrundsinformation om hur dessa påverkar erosionen finns i kapitel 4 och 5 och metoder för att bestämma förhållanden beskrivs i Bilaga 1.

### 6.2.1 Delindex Naturliga förhållanden - kust

Tabell 6-1. Kuster - Klassificeringstabell för delindex Naturliga förhållanden.

Parameter/Värde	1	2	3
<b>Geologi</b>	Fast material eller liten känslighet för erosion. (sedimentärt berg, morän, lera)	Måttligt eroderbart material (grus, grov sand, siltig morän, lerig silt, siltig lera och torv)	Lätteroderat material (fin- och mellansand, silt och svämsediment)
<b>Topografi/nivå</b>	>3 m.ö.h.	1-3 m.ö.h.	0-1 m.ö.h.
<b>Batymetri</b>	> 500 m	200-500 m	< 200 m
<b>Pågående erosion</b>	Liten eller ej synlig erosion	Måttlig erosion	Stor erosion
<b>Erosionsskydd</b>	Finns	Delvis och/eller med brister	Saknas
<b>Markanvändning</b>	Skog/bebyggelse/hårdgjorda ytor. Rikligt med marktäckande växter/buskage	Åker. Något marktäckande och/eller träd	Ej brukad åker/annan öppen mark. Mycket sparsam marktäckning eller bar jord

Tabellen innehåller 6 parametrar som poängsätts från 1 till 3. Alla valda parametrar i tabellen summeras till en poängsumma.

#### Geologi

Denna parameter utgår från att jordarter i intervallet silt till mellansand samt svämsediment är mest erosionsbenägna. De blandkorniga jordarterna siltig morän, lerig silt samt siltig lera bedöms tillhöra måttligt eroderbara jordar. Observera att lera bedöms som klass 1 och silt som klass 3, men kombinationer av lera och silt tillhör klass 2. I de fall underlag saknas för att avgöra om en jord består av lera eller siltig lera etc., bör en bedömning på säkra sidan (högre värde) göras. Områden med fyllning klassas enligt underliggande jordart. Som underlagsmaterial används jordartskartor från SGU eller annat geologiskt/geotekniskt underlag samt fältkontroll.

### Pågående erosion

Aktiv eller pågående erosion är ett tydligt tecken på att förutsättningar för erosion finns. Exempel på detta är utrasad jord eller att vegetation saknas. Beskrivning av dessa förhållanden görs främst genom tolkning av flygbilder kompletterad med fältkontroll. Om sedimentation av material förekommer sätts värdet 1.

### Topografi

Topografin inom ett område har stor betydelse för i vilken omfattning våginducerad erosion kan förekomma. Områden på nivåer högre än + 3 m.ö.h. har inledningsvis exkluderats från analysen. Topografin beskrivs företrädesvis utifrån NNH-data eller andra höjdbestämmingar eller lokala mätningar.

### Batymetri

Det yttre strandområdet (se Figur 4-2) påverkar i vilken utsträckning stranden är utsatt för vågornas krafter. Ett flackt och långgrundt yttre strandområde reducerar vågenergin och minskar känsligheten för erosion. Här uttrycks detta som avståndet till förändringsdjupet (det djup där vågorna inte påverkar botten) och har valts till 6 m. Detta kan erhållas genom batymetriska mätningar eller från sjökort.

### Erosionsskydd

Befintliga erosionsskydd minskar risken för erosion. Förekomst av skydd och dess beskaffenhet bestäms utifrån flygbilder och vid fältkontroll.

### Markanvändning

Vegetation binder mark och minskar därmed risken för erosion. Bäst skydd fås med marktäckande vegetation i kombination med gles förekomst av buskar. För en översiktlig bild av vegetationen inom ett område fås information ur Fastighetskartan och genom flygbildstolkning, kompletterad med fältkontroll.

## 6.2.2 Delindex Påverkan - kust

Tabell 6-2. Kuster - Klassificeringstabell för delindex Påverkan.

Parameter/Värde	1	2	3
<b>Exponering</b>	Ultraskyddad, extremt skyddat eller mycket skyddat	Skyddat – moderat exponerat	Exponerat eller mycket exponerat och/eller starka strömmar
<b>Apparent havsnivåhöjning 2100</b>	<0 m	0-0,5 m	>0,5 m

Tabellen innehåller 2 parametrar som poängsätts från 1 till 3. Alla valda parametrar i tabellen summeras till en poängsumma.

### Exponering

Vågor utgör en pådrivande kraft för erosion och en kuststräcka som är exponerad för vind och vågor är mer erosionsbenägen än en skyddad kust. Denna parameter anges utifrån en nationell kustexponeringsmodell från Naturvårdsverket. I denna anges 7 klasser av exponeringsgrad från *ultraskyddat* till *mycket exponerat* samt även begränsad information om botten typ och vattendjup (Naturvårdsverket, 2006). För respektive del-

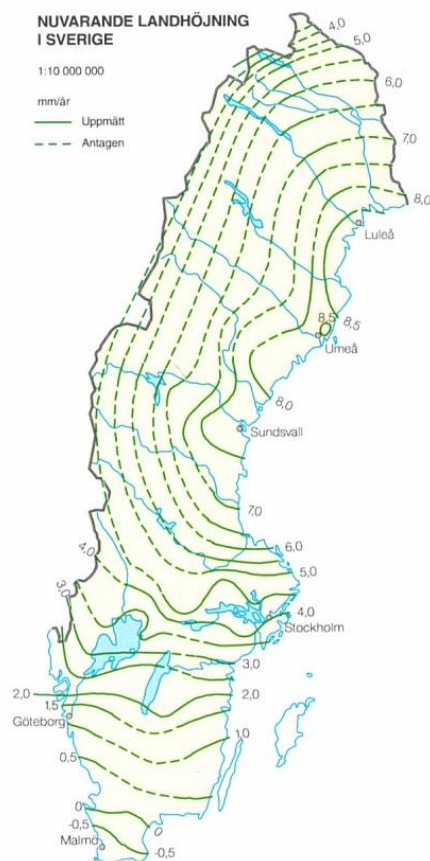


område tilldelas hela området mellan strandlinje och utredningsgräns samma exponeringsvärde.

### Apparent havsnivåhöjning

Den apparenta havsnivåhöjningen är ett uttryck för skillnaden mellan en havsnivå i ett nytt klimat och den höjning av markytan som landhöjningen ger under en viss tidsperiod. I en analys av erosion måste därför väljas för vilken tidsperiod analysen utförs. Eftersom de värden som kan hotas av erosion normalt har lång livstid bör sårbarhet och risker bedömas för den minst den tid som det finns tillgängliga klimatscenarier, för närvarande fram till 2100. Vid bestämning av erosionsindex föreslås därför att ett 100-årsperspektiv tillämpas.

Enligt avsnitt 4.4 bedöms den globala havsnivån öka med ca 1 m fram till 2100 med en successiv ökning mot slutet av seklet. Undersökningsområdets geografiska läge har betydelse för landhöjningens storlek, se Figur 6-2. Landhöjningen motverkar höjda vattenstånd och motverkar därmed också erosionen.



Figur 6-2. Landhöjning i Sverige uttryckt i mm/år. (Sveriges Nationalatlas, 1998)

### 6.2.1 Delindex Samhällsvärden - kust

Tabell 6-3. Kuster - Klassificeringstabell för delindex Samhällsvärden.

Parameter/Värde	1	2	3
<b>Bebyggelse</b>	Ingen bebyggelse	Gles bebyggelse	Tät bebyggelse och/eller skola eller sjukhus
<b>Industrier</b>	Inga industrier	Enstaka industrier	Flera industrier och/eller med miljöfarlig verksamhet
<b>Vägar</b>	Lokala och enskilda vägar	Länsvägar	Riks- och Europavägar
<b>Järnvägar</b>	Ingen järnväg	-	Järnväg
<b>Kulturvärden</b>	Kulturvärden saknas	-	Värdefulla kulturvärden
<b>Rekreations- och fritidsområden</b>	Saknas	Liten omfattning	Stor omfattning

Sårbarhetsanalysen är översiktlig och alla förekommande värden och förhållanden föreslås inte beaktas i huvudstudien. Det som inte beaktas i värderingen är:

- sjöfartstrafik
- energi och teleledningar
- VA-anläggningar
- naturmiljö
- förorenade markområden

Tabellen innehåller 5 parametrar som poängsätts från 1 till 3. Alla valda parametrar i tabellen summeras till en poängsumma, se avsnitt 6.2.4.

#### **Bebyggelse**

Gles bebyggelse omfattar låga och enstaka byggnader och fritidshus. Tät bebyggelse omfattar hög och sluten bebyggelse. Om det finns byggnader för offentlig service som skolor, sjukhus etc. anges värdet 3.

#### **Industrier**

Industriområden klassas efter om det finns enstaka industrier som ligger glest eller flera industrier som ligger samlat. Om det förekommer miljöfarlig verksamhet ges området värdet 3 oberoende av antalet industrier.

#### **Vägar**

Vägar klassas utifrån vägnummer, eller så kallad KKOD efter samhällsbetydelse som återfinns i Lantmäteriets fastighetskarta eller kommuners primärkarta. Tillhörande konstbyggnader ingår.

#### **Järnvägar**

Denna parameter anger förekomst av järnväg eller inte. Tillhörande konstbyggnader ingår.

#### **Kulturvärden**

Denna parameter anger förekomst av värdefulla kulturvärden eller inte. Underlag erhålles från Riksantikvarieämbetet (RAÄ) och länsstyrelser.

## Rekreations- och fritidsområden

Områden som innehåller värdefulla rekreations- och fritidsområden kan utgöras av badstränder, strövområden, campingplatser eller annan fritidsverksamhet. En bedömning görs utifrån i vilken utsträckning området används och är tillgängligt för allmänheten.

### 6.2.2 Sammanvägning av Erosionsindex för kust

1. Bedöm varje parameter och poängsätt enligt beskrivning ovan.
2. Beräkna summan av alla valda poäng i respektive tabell, så att en poängsumma för tabell CC, en för tabell CF respektive en för tabell SE erhålls.
3. Beräkna ett delindex för respektive kategori enligt följande:

$$\text{CC delindex: } [ ((\text{poängsumman i CC}) - 6)/12 ] \times 100$$

$$\text{CF delindex: } [ ((\text{poängsumman i CF}) - 2)/4 ] \times 100$$

$$\text{SE delindex: } [ ((\text{poängsumman i SE}) - 6)/12 ] \times 100$$

På detta vis erhålls en normalisering av varje delindex, så att antalet parametrar inte ska påverka ”tyngden” för ett delindex, dvs. ett delindex med två parametrar ska inte bli mindre värt än ett index med sex parametrar.

4. Erosionsindexet bestäms genom att beräkna medelvärdet av summan av delindexen:

$$\text{EI} = (\text{CC delindex} + \text{CF delindex} + \text{SE delindex}) / 3$$

Beroende på storleken på erosionsindexet kan olika delområden beskrivas ha låg, måttlig eller hög sårbarhet för erosion med följande indelning:

Erosionsindex	Sårbarhetsklass
0-20	Låg
20-40	Måttlig
40-60	Hög

Sårbarhetsklasser redovisas på kartor och ett exempel på redovisning anges i kapitel 7.

### 6.3 Erosionsindex – vattendrag

Kartering av erosion utförs inom de områden som identifierats i förstudien (steg 2). Områden där geologiska kartor anger kristallint berg exkluderas från analysen. Utredningsområdet begränsas till 100 m på varje sida om vattendraget

Vattendraget indelas i delsträckor med liknande förhållanden och ges ett klassificeringssvärde för respektive parameter enligt tabeller nedan. Om information om en parameter saknas, sätts värdet 3. De olika parametrarna har i huvudsak samma innehåll som för kuster (avsnitt 6.2) men där avvikelser eller annat betydelse finns beskrivs dessa nedan efter respektive tabell. Bakgrundsinformation om hur dessa påverkar erosionen finns i kapitel 4 och 5 och metoder för att bestämma förhållanden beskrivs i Bilaga 1.



### 6.3.1 Delindex Naturliga förhållanden - vattendrag

Tabell 6-4. Vattendrag - Klassificeringstabell för delindex Naturliga förhållanden.

Parameter/Värde	1	2	3
<b>Geologi</b>	Fast material eller liten känslighet för erosion. (sedimentärt berg, morän, fast lera)	Måttligt eroderbart material (grus, grov sand, siltig morän, lerig silt, siltig lera och torv)	Lätteroderat material (fin- och mellansand, silt och svämsediment)
<b>Pågående erosion</b>	Liten eller ej synlig erosion	Måttlig erosion	Stor erosion
<b>Släntlutning</b>	Flackare än 1:3	1.1,5 - 1:3	Brantare än 1:1,5
<b>Erosionsskydd</b>	Finns	Delvis och/eller med brister	Saknas
<b>Markanvändning</b>	Skog/bebyggelse/hårdgjorda ytor. Rikligt med marktäckande växter/buske	Åker/hårdgjorda ytor. Något marktäckande och/eller träd	Ej brukad åker/annan öppen mark. Mycket sparsam marktäckning/bar jord

Tabellen innehåller 5 parametrar som poängsätts från 1 till 3. Alla valda parametrar i tabellen summeras till en poängsumma.

Angivna parametrar har samma innebörd som för kuster, avsnitt 6.2.1, med följande komplettering.

#### Släntlutning

Parametern anger hur branta vattendragets slänter är ovan vattenytan och bestäms från flygbilds- och kartdata kompletterad med fältkontroll. Slänters lutning under vattenytan är ofta okänd och kan oftast anta ha samma lutning som ovan vattenytan. Om detta inte bedöms troligt eller är osäkert sätts värdet 3.

### 6.3.2 Delindex Påverkan - vattendrag

Tabell 6-5. Vattendrag - Klassificeringstabell för delindex Påverkan.

Parameter/Värde	1	2	3
<b>Vattenhastighet</b>	<0,2 m/s	0,2 – 0,7 m/s	>0,7 m/s
<b>Vattenflöde</b>	Minskning eller ökning <10 %	Ökning 10- 40 %	Ökning > 40 %

Tabellen innehåller 2 parametrar som poängsätts från 1 till 3. Alla valda parametrar i tabellen summeras till en poängsumma.

För använda parametrar gäller följande.

#### Vattenhastighet

Ett vattendrags vattenhastighet påverkar erosionen genom att ju högre hastighet desto större partiklar kan lyftas och förflyttas av strömmen. Vattenhastigheten varierar stort inom ett vattendrag men i denna anges ett medelvärde för respektive delsträcka. Hastigheten anges för medelvattenföringen för dagens klimat. Vattenhastigheter kan hämtas från mätningar eller beräknas med utgångspunkt från vattenföring och vattendragets

sektionsarea. Uppgifter finns också tillgängliga för vissa större vattendrag via SMHI:s vattenwebb (SMHI, 2012).

### Ökning av vattenflödet

Ökad nederbörd i avrinningsområdet eller ändrade regleringsförhållanden kan leda till en ökning av flödet. I en analys av erosion måste väljas för vilken tidsperiod analysen utförs. Eftersom de värden som kan hotas av erosion normalt har lång livstid bör sårbarhet och risker bedömas för minst den tid som det finns tillgängliga klimatscenarier, för närvarande fram till 2100. Vid bestämning av erosionsindex föreslås därför att ett 100-årsperspektiv tillämpas. Parametern anger förändring av vattenflödet för medelvattenföringen jämfört med dagens flöden

### 6.3.3 Delindex Samhällsvärden - vattendrag

Tabell 6-6. Vattendrag - Klassificeringstabell för delindex Samhällsvärden.

Parameter/Värde	1	2	3
<b>Bebyggelse</b>	Ingen bebyggelse	Gles bebyggelse	Tät bebyggelse
<b>Industri</b>	Inga industrier	Enstaka industrier	Flera industrier och/eller med miljöfarlig verksamhet
<b>Vägar</b>	Lokala och enskilda vägar samt gångvägar	Länsvägar	Riks- och Europavägar
<b>Järnvägar</b>	Ingen järnväg		Järnväg
<b>Kulturvärden</b>	Kulturvärden saknas		Värdefulla kulturvärden

Sårbarhetsanalysen är översiktlig och alla förekommande värden och förhållanden föreslås inte beaktas i huvudstudien. Det som inte beaktas i värderingen är:

- sjöfartstrafik
- energi och teleledningar
- VA-anläggningar
- naturmiljö
- förorenade markområden

Angivna parametrar har samma innebörd som för kuster, avsnitt 6.2.3, med följande komplettering.

#### Vägar

Utöver det som anges i avsnitt 6.2.3 gäller inkluderas i värde 1 även gångvägar, strandpromenader och motsvarande i anslutning till vattendraget.

Tabellen innehåller 5 parametrar som poängsätts från 1 till 3. Alla valda parametrar i tabellen summeras till en poängsumma.

#### 6.3.4 Sammanvägning av Erosionsindex för vattendrag

Beräkna Erosionsindex enligt samma metodik som för kuster. Observera att antalet ingående parametrar är annorlunda än för ”kust”, vilket påverkar normaliseringen enligt steg 1 nedan.

1. Beräkna ett delindex för respektive kategori enligt följande:

$$\text{CC delindex: } [ ((\text{poängsumman i CC}) - 5)/10 ] \times 100$$

$$\text{CF delindex: } [ ((\text{poängsumman i CF}) - 2)/4 ] \times 100$$

$$\text{SE delindex: } [ ((\text{poängsumman i SE}) - 5)/10 ] \times 100$$

2. Erosionsindexet beräknas genom att ta medelvärdet.

$$\text{EI} = (\text{CC delindex} + \text{CF delindex} + \text{SE delindex}) / 3$$

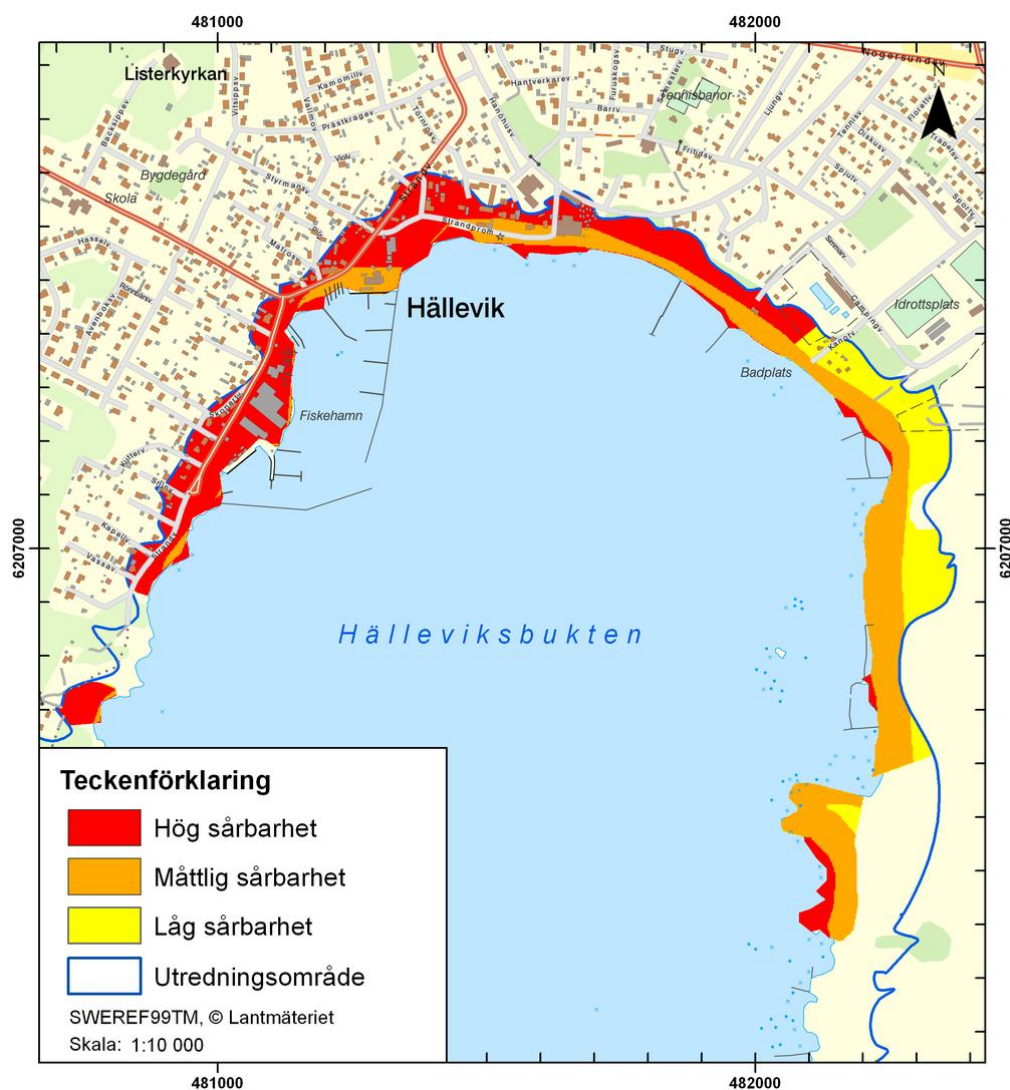
Beroende på storleken på erosionsindexet kan olika delområden beskrivas ha låg, måttlig eller hög sårbarhet för erosion med följande indelning:

Erosionsindex	Sårbarhetsklass
0-20	Låg
20-40	Måttlig
40-60	Hög

Sårbarhetsklasser redovisas på kartor och ett exempel på redovisning anges i kapitel 7.

## 7 REDOVISNING AV EROSIONSFÖRHÅLLANDEN

Resultaten från huvudstudien redovisas på kartor, där sårbarhetsklasser för kuster respektive vattendrag anges för olika delområden utifrån beräknade erosionsindex. Ett exempel på redovisning av sårbarheten för erosion för ett kustområde visas i Figur 7-1.



*Figur 7-1. Exempel på redovisning av sårbarhetsklasser för ett kustområde baserat på en sammantagen klassning utifrån beräknat erosionsindex. Illustrationen beskriver en testkörning av GIS-analys för Hälleviksbukten, Blekinge län.*

Beroende på storleken på det sammanvägda erosionsindexet har olika delområden **låg**, **måttlig** eller **hög sårbarhet** för erosion enligt följande indelning:

Erosionsindex	Sårbarhetsklass
0-20	Låg
20-40	Måttlig
40-60	Hög

## 8 FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE

Den metodik som utvecklats i denna förstudie behöver användas och verifieras i praktisk tillämpning. En kartering bör göras för ett kustområde, preliminärt i Skåne där förutsättningar för erosion har identifierats i SGI:s översiktliga inventering. På samma sätt tillämpas metodiken för ett vattendrag, där förutsättningar för erosion finns. Förslagsvis görs denna tillämpning för något av de vattendrag där det föreslagits genomföra en skredriskartering enligt principerna från Göta älvutredningen.

Resultaten från tillämpningarna utvärderas och eventuella modifieringar av metodiken görs. Den slutliga metodiken sammanställs och redovisas i form av en metodbeskrivning. SGI medverkar i två pågående studier över användningen av Ny nationell höjdmodell (NNH) som underlag för erosionsutredningar för kuster respektive vattendrag. Erfarenheterna från dessa studier liksom från tidigare utvecklingsprojekt om satellitbilder och laserskanning av land och vatten kommer att användas i arbetet.

Under förutsättning att beslut fattas om att en nationell kartering av erosionsrisker ska genomföras och finansiering säkerställts kan en sådan kartering påbörjas med början i de områden där sårbarheten för erosion är störst. I samband med detta bör informationsmaterial sammanställas och en informationsinsats till kommuner och länsstyrelser genomföras.

## REFERENSER

- Ahlberg, P (1995). Skredriskanalys i södra Göta älvdalen. Statens geotekniska institut. Varia 439, Linköping.
- Andersson, M, Lundström, K, Rankka, W & Rydell, B (2008). Erosion och sedimenttransport i vattendrag. SGI Varia 592. Statens geotekniska institut. Linköping.
- Bergström, S, Andréasson, J, Losjö, K, Stensen, B & Wern, L (2011). Hydrologiska och meteorologiska förhållanden i Göta älvdalen – slutrapport. Statens geotekniska institut, SGI. Göta älvutredningen, GÄU. Delrapport 27. Linköping.
- Dahlerus, C.-J & Egermayer, D (2005). Uppspolning och klittererosion längs Ystads kusten – Situationen idag och framtida scenarier. Examensarbete ISRN LU:2005:11. Avdelningen för Teknisk Vattenresurslära. Lunds tekniska högskola. Lund.
- EEA (2011). Methods for assessing coastal vulnerability to climate change. European Topic Centre on Climate Change Impacts, Vulnerability and Adaption, ETC CCA.
- Fallsvik, J (2007). LIDAR data for slope stability analyses - Deliverable 6. SGI Varia 579. Statens geotekniska institut. Linköping.
- Gornitz, V.M, White, T.W & Cushman, R.M (1991). Vulnerability of the U.S. to future sea-level risk. In Proceedings of Seventh Symposium on Coastal and Ocean Management. Long Beach, CA (USA), 1991, pp. 2354-2368.
- Hjulström, F (1935). Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the river Fyris. Doctoral Thesis. Uppsala University. Bulletin of the Geol. Inst., vol 25, pp 221-527. Uppsala.
- Klimat- och sårbarhetsutredningen (2007). Sverige inför klimatförändringarna- hot och möjligheter. Slutbetänkande av Klimat- och sårbarhetsutredningen. SOU 2007:60.
- Messina (2006). Monitoring and modelling the shoreline. Managing the European Shoreline and Sharing Information on Nearshore Areas. [www.interreg-messina.org](http://www.interreg-messina.org)
- Naturvårdsverket (2006). Sammanställning och Analys av Kustnära Undervattensmiljö (SAKU). Naturvårdsverket Rapport 5591.
- Nerheim, S (2007). Framtida medel- och högvattenstånd i Skåne och Blekinge. SMHI Rapport 2007-53. Norrköping.
- Persson, G, Sjökvist, E, Gustavsson, H, Andréasson, J & Hallberg, K (2012) Klimatanalys för Västmanlands län. SMHI Rapport Nr. 2012-10.
- Rankka, K & Rankka, W (2003). Mekanismer vid stranderosion. SGI Varia 533. Statens geotekniska institut. Linköping.
- Rydell, B & Nyberg, H. (2006). Mätning av bottenpografi och kustlinjer med laserbatymetri. Pilotstudie. SGI Varia 563. Statens geotekniska institut. Linköping
- Rydell, B, Arvidslund, O & Fallsvik, J (2007). Undersökningar i strandnära områden –Mätning av topografi och batymetri. Tillämpning för erosion och släntstabilitet. SGI Varia 573. Statens geotekniska institut. Linköping.
- Rydell, B, Törnqvist, O, Wiman, S, Hågeryd & A.-C (2010). CoastSat – fjärranalys med satellitbilder för uppföljning av erosion i kustområden. SGI Varia 616. Statensgeotekniska institut. Linköping.

Rydell, B, Persson, M, Andersson, M & Falemo, S (2011) Hållbar utveckling av strandnära områden. SGI Varia 608. Statens geotekniska institut, SGI. Linköping.

Rydell, B, Blied, L, Tulldahl, M, Skånes, H, Wikström, S, Hedfors, J & Granholm, A-H, (2012). Kustzonsprojekt – tillämpning i Åhus. Environmental Mapping and Monitoring with Airborne laser and digital images. Preliminär rapport.

SGI (2012a). Skred- och erosionsdatabas - skred, ras och övriga jordrörelser i Sverige . <http://gis.swedgeo.se/skred/>

SGI (2012b). Skredrisker i Göta älvdalen i ett förändrat klimat. Göta älvutredningen, GÄU. Slutrapport Del 2 - Kartläggning. Statens geotekniska institut, SGI, Linköping.

SMHI (2011). Klimatanalyser. Sveriges framtida klimat. <http://www.smhi.se/klimatdata/klimatscenarioer/klimatanalyser>

SMHI (2012). Vattenwebb - information om sötvatten och kustvatten i Sverige. <http://vattenwebb.smhi.se>

Sveriges Nationalatlas (1992). Hav och kust. Temared. Sjöberg, B. Bra Böcker, Höganäs.

Sveriges Nationalatlas (1995). Klimat, sjöar och vattendrag. Temared. Raab, B & Vedin, H. Bra Böcker, Höganäs.

Sveriges Nationalatlas (1998). Berg och jord. Temared. Fredén, C. Bra Böcker, Höganäs.

## BILAGA 1

### B1 METODER FÖR INVENTERING OCH UNDERSÖKNING

Metoder för inventering och undersökning av stränder vid hav och sjöar omfattar studier av redan befintligt underlag och inhämtning av ny information. Befintligt underlag kan utgöras av analoga eller digitala kartor, flygbilder, satellitbilder, snedbilder, databaser och arkiverade geotekniska undersökningar. Nya data kan förvärfvas genom kompletterande mätningar med hjälp av både fjärranalys och in situ fältmätning.

#### B1-1 Kartor

Kartor ger en god beskrivning över de topografiska, geologiska och hydrologiska förhållandena inom ett område samt eventuella specialkartor, som visar ras och skred etc. Allt underlag kan nå antingen via myndigheternas webbplatser eller via Geodatasamverkan, [www.geodata.se](http://www.geodata.se).

##### B1-1.1 Topografiska kartor

Topografiska kartan eller terrängkartan omfattar hela landet utom inre Norrland. Den ges ut i skala 1:50 000. Fastighetskartan i skala 1:10 000 är rikstäckande, med undantag för delar av fjällkedjan. Information om de olika kartornas omfattning finns på Lantmäteriets webbplats, [www.lm.se](http://www.lm.se).

##### B1-1.2 NNH-data

Lantmäteriet utför sedan 2009 en rikstäckande laserskanning av hela Sveriges yta som underlag för en Ny Nationell Höjdmodell (NNH). Den nya höjdmodellen har en klart bättre upplösning än den äldre (upplösningen i plan är 2x2 meter) och ger därmed en mycket detaljerad bild av terrängen. NNH kan till exempel användas till att identifiera branta slänter samt till att hitta nya strandlinjer för olika vattennivåer. Det är viktigt att notera att NNH-data inte redovisar nivåskillnader under vattenytan och därför inte kan användas för att bestämma batymetrien.

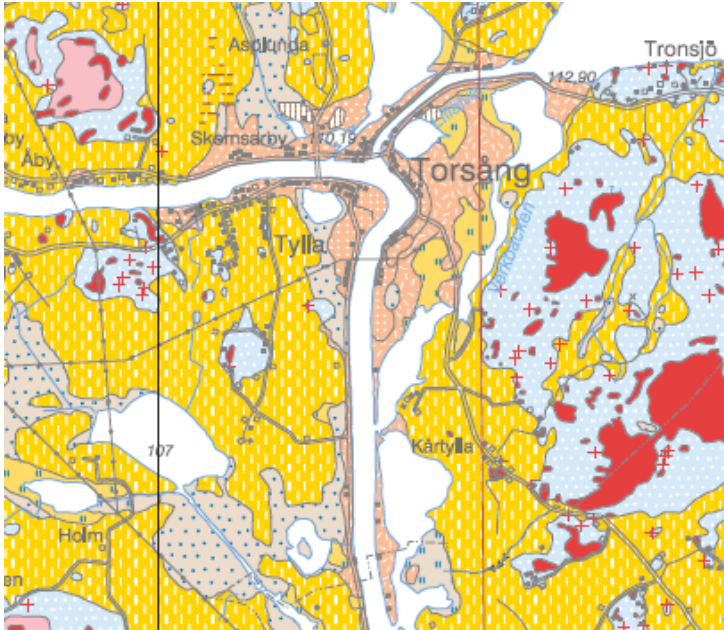
Data finns att hämta från [www.geodata.se](http://www.geodata.se)

##### B1-1.3 Geologiska kartor

Eftersom förutsättningen för erosion är kopplad till jordart är SGU:s jordartskartor ett bra hjälpmedel för att hitta de områden där det finns förutsättningar för erosion. SGU ger ut geologiska jordartskartor och hydrogeologiska kartor. Kartorna ges vanligtvis ut i skala 1:50 000 men i vissa delar av Sverige finns endast mindre detaljerade översiktskartor i skala 1:100 000 - 1:250 000. Inom vissa områden finns även geomorfologiska kartor i skala 1:50 000. Vid studier av förhållandena under vattnet kan information användas från maringeologiska kartor i skala 1:100 000, vilka visar jord- och bergarters utbredning på havsbotten. SGU:s kartor finns SGU:s webbplats

[http://maps2.sgu.se/kartgenerator/maporder\\_sv.html](http://maps2.sgu.se/kartgenerator/maporder_sv.html)





**Figur B1-1. Utdrag ur SGU:s jordartskarta över Dalälven i Borlänge kommun. (Efter Kartgeneratorn, [www.sgu.se](http://www.sgu.se))**

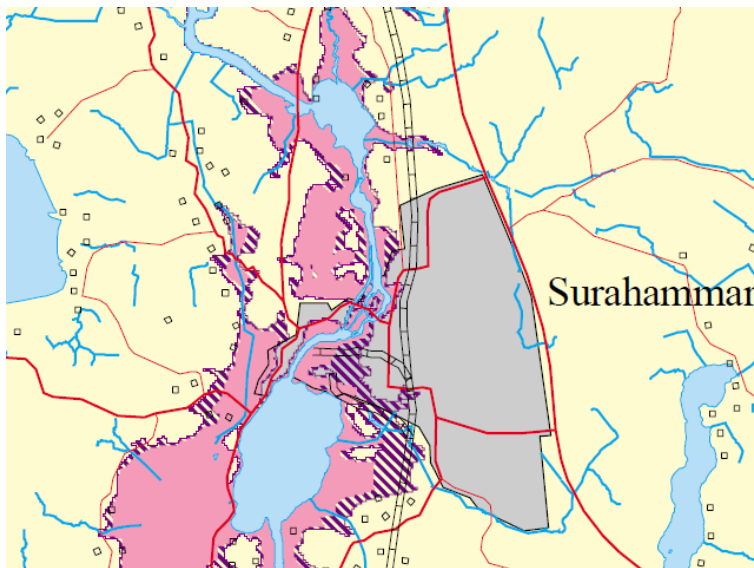
SGU har också lokala jordartgeologiska kartdatabaser med information om jordarternas utbredning, uppbyggnad och egenskaper, samt förekomsten av block i markytan. Insamlingen grundar sig på omfattande fältarbete kompletterad med flygbildstolkning och provtagning och har pågått sedan 1960-talet.

Ytterligare information om SGU:s jordlagerdatabas finns i nedanstående länk:  
[http://www.sgu.se/sgu/sv/search\\_sgu.html?q=jordlagerdatabas&search=S%C3%B6k](http://www.sgu.se/sgu/sv/search_sgu.html?q=jordlagerdatabas&search=S%C3%B6k)

#### **B1-1.4 Översiktliga översvämningsskarteringar**

Förutsättningen för erosion ändras när vattennivån vid kuster och vattendrag förändras. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) har regeringens uppdrag att förse landets kommuner och länsstyrelser med översiktlig översvämningsskartering av områden utmed landets vattendrag. De översiktliga översvämningsskarteringarna visar de områden som hotas av översvämning vid 100-årsflödet samt Beräknade högsta flödet för respektive vattendrag.

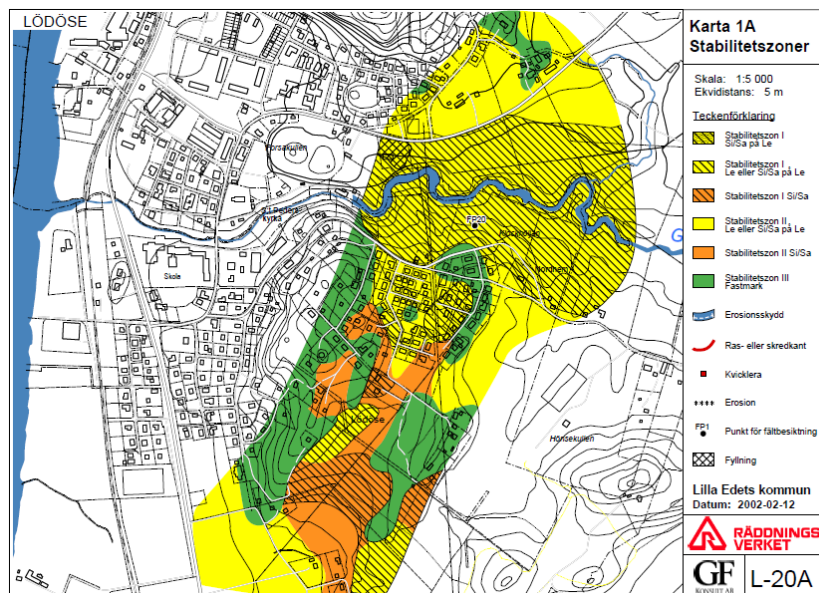
Information om de karterade vattendragen finns på  
<https://www.msb.se/sv/Forebyggande/Naturolyckor/Oversiktlig-oversvamningskartering/>.



**Figur B1-2. Utdrag ur översiktlig stabilitetskartering för Kolbäckån. Kartan visar 100-årsflöde respektive Beräknat högsta flöde. (www.msb.se)**

### B1-1.5 Översiktliga stabilitetskarteringar

Stabilitetsproblem kan i vissa fall bero på eller förstärkas av erosion som ändrar släntgeometrin och därmed kan orsaka ras och skred. MSB utför på uppdrag av regeringen översiktliga stabilitetskarteringar med syfte att översiktligt kartlägga markens stabilitet inom bebyggda områden. I samband med stabilitetskarteringar inventeras även förekomst av erosion och erosionsskydd, vilket markeras på kartor. Inventeringen utförs genom flygbildstolkning kompletterad med fältkontroll.



**Figur B1-3. Översiktlig stabilitetskartering i Lödöse, Lilla Edets kommun Karta 1A.**

Information angående stabilitetskarteringar finns att hämta på MSB:s webbplats:

<https://www.msb.se/sv/Forebyggande/Naturolyckor/Oversiktlig-stabilitetskartering/>

### B1-1.6 Erosionsförhållanden och förutsättningar för erosion

För att få en uppfattning om omfattningen av stranderosion i Sverige har Statens geotekniska institut (SGI) utfört en översiktlig kartläggning av var erosion förekommer och var förutsättningar för erosion finns i Sverige. Uppgifterna är ett underlag för planering och vidare inventering av riskområden. Hittills har samtliga svenska kustkommuner samt stränderna i kommuner runt de sex största sjöarna (Vänern, Vättern, Mälaren, Hjälmaren, Storsjön och Siljan/Orsasjön) inventerats. För närvarande pågår en inventering av förutsättningarna för erosion utmed de 60 största vattendragen i Sverige. Kartorna redovisas i skala 1:250 000.

Informationen finns att hämta från SGI:s webbplats:

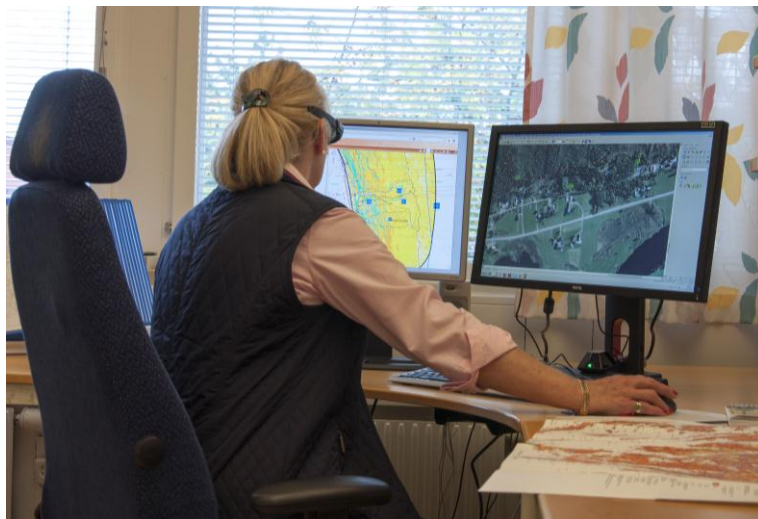
[http://www.swedgeo.se/templates/SGIStandardPage\\_1056.aspx?epslanguage=SV](http://www.swedgeo.se/templates/SGIStandardPage_1056.aspx?epslanguage=SV)

## B1-2. Fjärranalys

### B1-2.1 Flygbilder

Flygbilder har en mängd användningsområden som kan vara nyttjas vid bedömning av erosion, exempelvis vid tidssekventiella studier, observation av jordart, morfologi, vegetation, strandlinjer, ackumulation, ras, skred, erosion, erosionskydd och människans påverkan men även vid fotogrammetrisk mätning och sektionering. Flygbilder är speciellt användbara för att bedöma förändringar över längre tidsperioder, exempelvis mellan olika årstider eller under flera år.

Vid arbete med flygbilder är skalan 1:10 000 lämplig då tillräckligt många detaljer framträder utan att överblicken blir för begränsad.



*Figur B1-4. Digital flygbildstolkning i datormiljö. Foto: SGI*

Äldre analoga flygbilder i pappersformat tolkas i spegelstereoskop medan digitala flygbilder är avsedda för tolkning i datormiljö. Beroende på tolkningens syfte används olika typer av flygbilder, t.ex. bilder i färg, svart-vita eller infraröda flygbilder samt ortofoton eller snedbilder.

Information om flygbilder kan hämtas från [www.lm.se](http://www.lm.se) eller [www.geodata.se](http://www.geodata.se)

### B1-2.2 Satellitbilder

Satellitbilder kan bland annat användas för att visuellt tolka erosions- eller ackumulationsprocesser samt förändring av strandlinjer. Även markrörelser i exempelvis slänter kan identifieras förutsatt att de har sådan omfattning att de kan observeras i satellitbilder. För en överblick av ett område är fjärranalysteknik vanligen den mest kostnadseffektiva metoden.

Satelliter är i konstant omlopp, och till skillnad mot flygbilder uppdateras satellitbilder av ett specifikt geografiskt område regelbundet och med relativt korta tidsintervall (Messina, 2006). Satellitbilder kan därför beställas från specifika tidpunkter exempelvis före och efter en storm. Vissa satelliter kan även registrera olika våglängder av den reflekterade strålningen och kan på detta sätt detektera olika typer av vegetation på bottnar genom "supervised/unsupervised classification" eller tränad/otränad datorklassificering samt multivariabel rasteranalys. Inom multivariabla studier innebär de vanligaste metoderna en principalkomponentsanalys, maximal-sannolikhetsberäkning eller isoklusterung. Tidssekventiella undersökningar innebär någon sorts "feature-tracking", eller objektspårning som t.ex. identifiering av förändringar i topografi.

Vanliga plattformar idag utgörs av t.ex. Landsat 7, Aster, TerraSAR-X, SPOT, QuickSCAT och RADARSAT II.



*Figur B1-5. Urvalet av satellitdata är stort och det är viktigt att hitta rätt plattform för specifika uppgifter. Illustrationen belyser några av de moderna satelliter som idag är i drift hos NASA.*



## B1-3. Databaser

### B1-3.1 MSB:s Naturolycksdatabas

I Naturolycksdatabasen som MSB ansvarar för finns dokumentation om orsaker, händelseförlopp, hantering och lärdomar från naturolyckor. Databasen tillgängliggör befintlig information om inträffade naturolyckor inklusive erosion i Sverige. Databasen ger kommuner och andra myndigheter eller organisationer hjälp och stöd vid fysisk planering och planering för effektiva räddningsinsatser och sammanfattar orsak, händelseförlopp och lärdomar från inträffade naturolyckor.

Information från MSB:s Naturolycksdatabas finns att hämta under denna länk:

<https://www.msb.se/sv/Forebyggande/Naturolyckor/Naturolycksdatabas/>

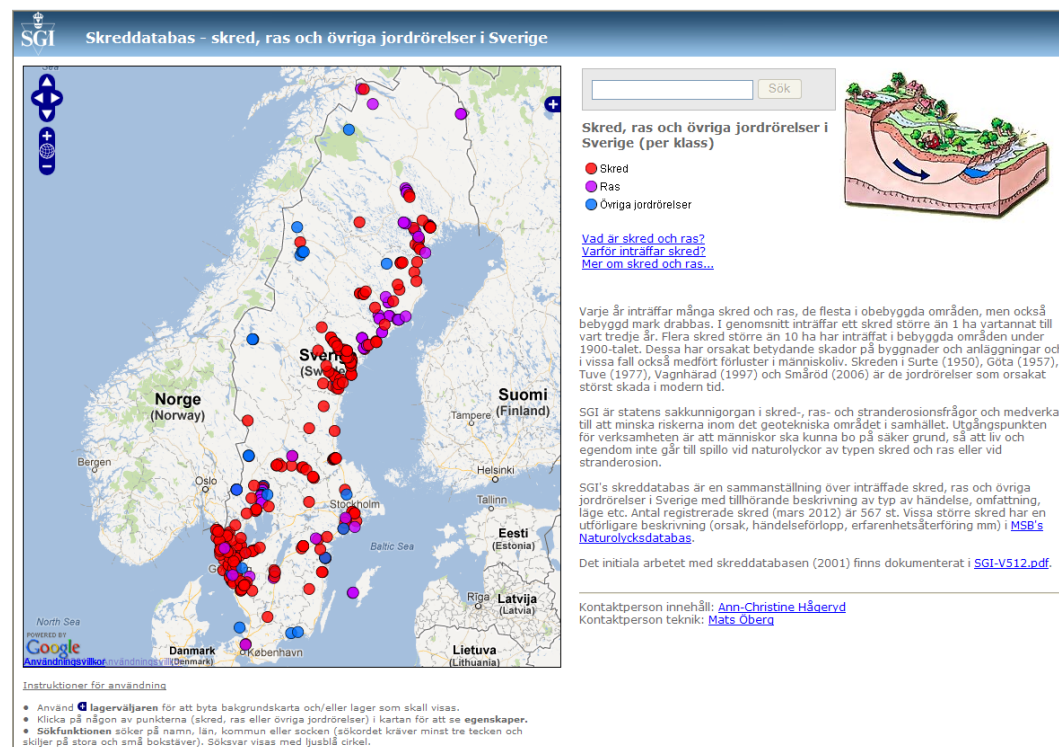
### B1-3.2 SGI:s Skred- och erosionsdatabas

Varje år inträffar skred och ras, de flesta i obebyggda områden, men också bebyggd mark drabbas. I genomsnitt inträffar ett skred större än 1 ha vartannat till vart tredje år.

SGI:s Skred- och erosionsdatabas är en sammanställning över inträffade skred, ras, erosion och övriga jordrörelser i Sverige med tillhörande beskrivning av typ av händelse, omfattning, läge etc. Antal registrerade händelser (mars 2012) är 567 st. Redovisning av uppgifter om erosion har påbörjats under 2012 och kommer successivt att kompletteras.

Information från SGI:s Skred- och erosionsdatabas finns att hämta under denna länk:

<http://gis.swedgeo.se/skred/>



Figur B1-6. Utdrag från SGI:s skred- och erosionsdatabas.

### **B1-3.3 Geodataportalen och Geoteknisk sektorsportal**

En nationell portal med tillgång till geografiska data, Geodataportalen, har etablerats och finns tillgänglig via [www.geodata.se](http://www.geodata.se). I portalen ingår Geoteknisk sektorsportal, en nationell datainfrastruktur för tillgång till genomförda geotekniska undersökningar.

Den Geotekniska sektorsportalen kommer att innehålla redovisning på metadatanivå och redovisning av faktiska undersökningsresultat ("detaljerad nivå"). Redovisning på metadatanivå visar **var** en geoteknisk undersökning har utförts och **vad** som utförts via tillhörande metadatafält. Redovisning av faktiska undersökningsresultat på detaljerad nivå innebär att tillhandahålla uppgifter (helt eller delvis) om borrhåls lägen och id i plan, typ av undersökning, utförare, geoteknisk symbol samt andra rådata, t.ex. laboratorieundersökningar, speciella mätningar etc.

### **B1-3.4 SGU:s Brunnsarkiv**

Vid Brunnsarkivet på SGU lagras brunnsuppgifter om grundvattenförhållanden som insamlats i samband med brunnsborrning. Brunnsarkivet innehåller uppgifter från drygt 450 000 brunnar och växer med ca 25 000 brunnsuppgifter varje år.

Det finns också separata databaser med uppgifter om källor och om grundvattnets beskaffenhet liksom ett manuellt arkiv med utredningar om grundvattenförhållanden. Ytterligare information finns i nedanstående länk:

<http://www.sgu.se/sgu/sv/samhalle/grundvatten/brunnar-och-dricksvatten/brunnsarkivet.htm>

## **B1-4. Geotekniska undersökningar och erosionsundersökningar**

### **B1-4.1 Undersökning i fält och på laboratorium**

#### *Geotekniska fältundersökningar*

För att bestämma jordens egenskaper används traditionella geotekniska fält- och laboratorieundersökningar. Vikt- och CPT-sonderingar samt kolvborrprovtagning och vingförsök, med påföljande laborationsanalyser, ger uppgifter om jordart, jordens lagring och skjuvhållfasthet. Läs vidare i Geoteknisk fälthandbok (SGF, 1996).

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



*Figur B1-7. Ekmanhuggare för provtagning av hårdare bottensediment (www.hydrobios.de)*

#### **B1-4.2 Undersökning av erosionsegenskaper**

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

Det pågår en utveckling av provtagare och de är mer eller mindre beprövade och lämpliga för svenska förhållanden. Inom Göta älvtutredningen utvärderades några metoder som kortfattat beskrivs nedan.

##### ***In-situ metoder***

###### ***ISEF-provtagare***

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

###### ***Bottenlandare***

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

##### ***Laboratoriemetoder***

###### ***SETEG-analys***

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



### *HET (Hole Erosion Test)*

HET är en välkänd metod som utförs i laboratoriemiljö för att bestämma erosionen i kohesiva material. Metoden går ut på att i ett ostört sedimentprov borra ett hål med diametern 6,35 mm längs axeln på provet och att ett successivt ökande flöde sätts genom hålet. Den eroderade mängden sediment mäts och erosionsegenskaperna kan då bedömas.

## **B1-5. Mätning av vattenstånd och strömhastighet**

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

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

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

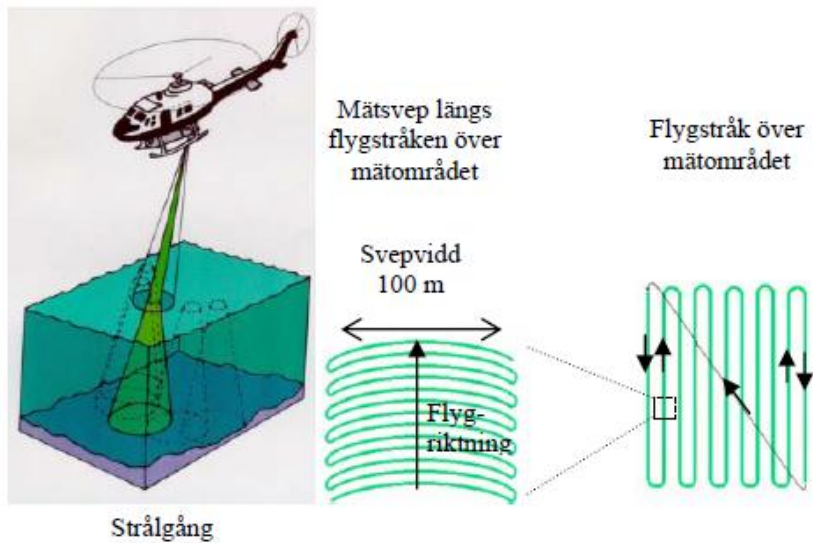
För att mäta vattnets strömhastigheten i ett tvärsnitt används vanligtvis en hydrometrisk flygel och mätvärden tas i en matris tvärs över vattendraget samt ner på djupet. Vid val av tvärsektion för mätning bör platser undvikas där snedström/bakström förekommer samt platser med en strömhastighet som faller inom det intervall för vilket mätinstrumentet är avsett. Idag används även modernare metoder som till exempel Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) som med dopplerteknik mäter strömmens hastighet på flera nivåer.

## **B1-6. Mätning av topografi och batymetri**

### **B1-6.1 Laserskanning**

Laserskanning eller LIDAR (Light Detection and Ranging) är ett flygburet system som producerar miljontals koordinatpunkter som beskriver markytans topografi eller botten i vattenområden i plan och höjd. Laserskanning kan ge underlag för bland annat översvämningsrisk längs sjöar och vattendrag, släntstabilitetskartering, inmätning av kusterosion etc.

Topografisk LIDAR, som endast kan mäta topografin på land, baseras på en laser där IR-ljus används. Med laserbatymetri kan mätas såväl topografin (höjder på land) som batymetrin (nivåer på havsbotten), se vidare i Rydell & Nyberg (2006).



Figur B1-8. Principer för laserbatymetri.

#### B1-6.2 Multispektrala mätningar

Vid multispektrala mätningar, som utförs från flygplan, används ett antal kameror som registrerar olika våglängdsområden av den reflekterade elektromagnetiska strålningen från jordytan. Läget för de avbildade områdena på markytan bestäms med hög precision med hjälp av GPS. Kamerorna kan samla in information för återgivning i stereo med svart/vit eller färg kompletterat med infrarött eller i verklig färg med hög precision och upplösning.

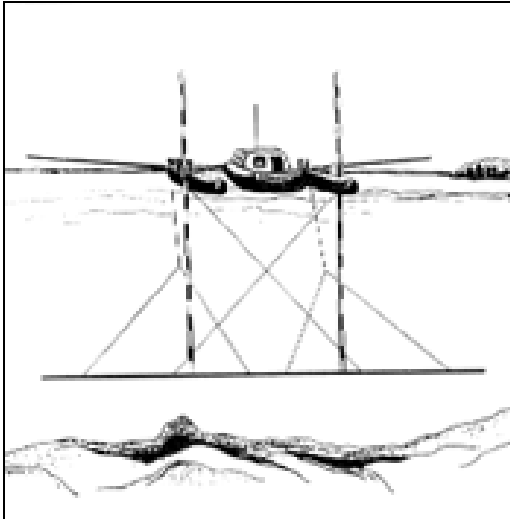
Användningen av multispektrala mätningar har inte analyserats för tillämpning i strandnära områden men möjliga tillämpningsområden kan vara att finna våglängdsband för klorofyll för vegetation som kräver stor vattentillgång. På detta sätt skulle man kunna indikera släntavsnitt med höga portryck i jordlagren som uppstår vid utströmningsområden för grundvatten. Förekomst av höga portryck minskar jordens hållfasthet vilket kan orsaka skred och ras.

#### B1-6.3 Handlodning

Handlodning är en enkel men väl beprövad metod för djupmätning. Tekniken kräver ett lod fäst på ett avståndsmarkerat snöre eller wire alternativt en mätlatta. Lodet sänks ner till botten och djupet avläses samtidigt som positionen fastläggs. Tekniken är bäst lämpad för strandnära vattenområden ner till ca 10 m djup. Metoden kan vara ett bra alternativ till mer avancerade tekniker som inte kan mäta grundare områden.

#### B1-6.4 Ramning

Ramning är en metod för att kontrollera vattendjup genom att med ett fartyg föra en ramkonstruktion längs botten. Ramen förs sedan ned till önskat djup och fartyget sveper med ramen över aktuellt område. Slår ramen i något föremål eller botten registreras detta och positionen noteras.



**Figur B1-9. Undersökning genom ramning av botten.**([www.fma.fi](http://www.fma.fi))

Metoden används med fördel för att kontrollera minsta djup inom ett område, till exempel farleder eller hamnar men kan inte användas för volymlräkningar av massor eller upprättande av ett sjökort. Metoden är endast ett sätt att mäta minsta djup och noggrannheten av mätningen bör inte ha lägre osäkerhet än  $\pm 0,1$  m. Mer information finns i Rydell et al. (2007).

#### **B1-6.5 Ekolod, enkelstråligt**

Ett ekolod sitter oftast monterat på skrovet på ett fartyg och mäter tiden det tar att sända en ljudsignal från båten ner till botten och tillbaka. Instrumentet sänder en ljudpuls ned mot botten och registrerar ljudpulsens närhet till botten när den kommer tillbaka till instrumentet med en receiver (mottagare). Med hjälp av ljudets hastighet i vatten kan djupet beräknas.



**Figur B1-10. Ekolod som visar bottenprofilen.**([www.garmin.se](http://www.garmin.se))

#### B1-6.6 Multistråleekolod (Multibeam)

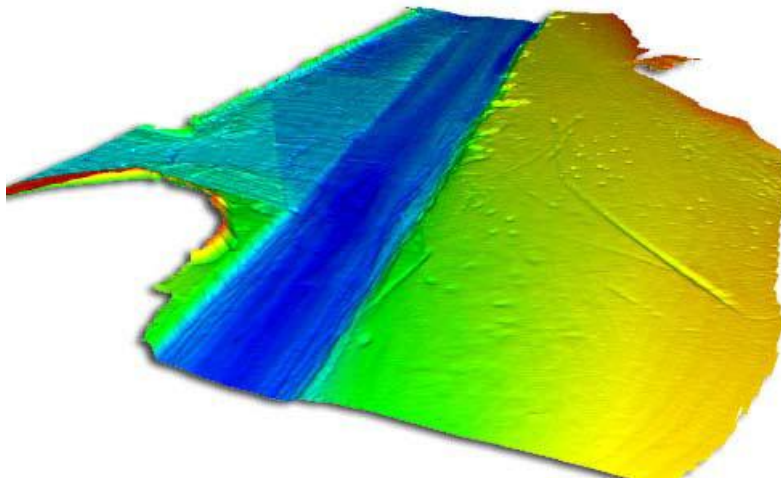
Multistråleekolod kallas även Multibeam (av det engelska Multibeam Echosounder) och fungerar i princip som ett vanligt ekolod men istället för en enkel ljudstråle så sänder instrumentet ut multipla ljudstrålar, till exempel 254 strålar. Samtliga strålar utgår från samma källa men sprids med en bestämd vinkel och bildar ett solfjäderlikt mönster ned mot botten. Strålarna reflekteras mot botten och tillbaka till instrumentets receiver, där tidsåtgången registreras.



*Figur B1-11. Illustration av strålar från ett fartygs multiekolod mot bottenprofilen.*  
([www.kongsberg.com](http://www.kongsberg.com))

Multistråle kan användas till ett flertal olika uppgifter. Då instrumentet är relativt litet kan det monteras på små, grundgående båtar som kan gå in i vikar och åar. Vid större djup använder man sig även av ubåtar (ROV) för att komma tillräckligt djup och få bättre upplösning. Metoden används för sjökartering, volymsberäkningar av muddermassor, kartering av botten vid byggnation och stabilitetsberäkning, och i viss mån vid sökning efter föremål.

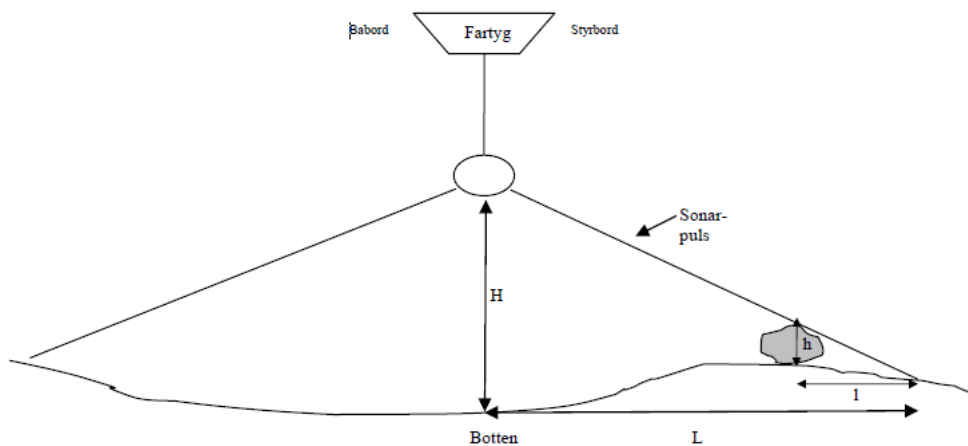
En multistråleundersökning har fördelen av att skanna av ett större vinkelrätt område mot färdlinjen. Täckningen är ca 6 – 8 gånger djupet, det vill säga om undersökningen utförs på 10 m djup erhålls ca 35 m täckning av botten både styrbord och babord om fartyget. Detta medför att ett större område relativt snabbt kan undersökas och en 3D-modell presenteras. Ett kuperat undersökningsområde kan kräva smalare undersökningslinjer.



*Figur B1-12. Visuell presentation av en multistråleundersökning i Göteborgs hamn med farleden och spår efter grundstötningar och ankare. ([www.mmtab.se](http://www.mmtab.se))*

#### **B1-6.7 Sidotittande sonar**

Sidotittande sonar används framför allt för sökning av föremål på botten samt kartläggning av sedimenttyper/formationer/områden på botten. En hård reflektor innebär att en kraftig puls reflekteras, vilket betyder en träff på ett hårt föremål. Denna funktion används för att kartlägga olika typer av botten där en hård botten, t.ex. morän eller berg i dagen ger en hård kraftig puls medan en lös lera ger en svag reflektion.

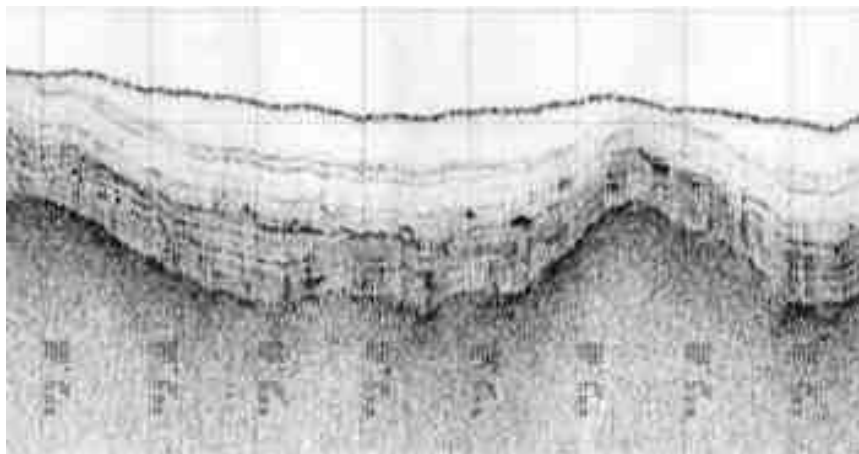


*Figur B1-13. Princip för höjdmätning av föremål med sidescan sonar.*

#### **B1-6.8 Sediment ekolod (penetrerande ekolod, sub-bottom profiler)**

Mätning med penetrerande ekolod utförs ofta i kombination med multistråle och sidotittande sonar och tillsammans kan de olika metoderna ge ytterligare upplysningar om bottenförhållandena. Exempelvis kan information om ett område med berg i dagen, som har identifierats med sidotittande sonar, följas ner genom sedimenten via data från det penetrerande ekolodet. Instrumentet är också mycket användbart för tolkning av sedimentmaktighet eller för att upptäcka dolda föremål under sedimenten, såsom minor, stenar eller vrak. Det kan även användas vid tolkning av geologi och stratigrafi.

Signalen från ekolodet kan tränga ner ett par tiotal meter ner i sedimenten, men penetrerar inte berg eller grov morän. Om det förekommer gas i sedimenten släcks signalen ut. Data erhålls endast från en linje rakt ner under sonaren och därför körs normalt ett flertal linjer över ett område med till exempel 25 m linjeavstånd.



*Figur B1-14. Bilden visar den stratigrafiska lagerföljden i sedimenten under färdlinjen ([www.rsoperations.com](http://www.rsoperations.com))*

#### **B1-6.9 Fixerade observationer/videoövervakning**

Övervakning av stränder och slänter kan utföras med 4-5 videokameror som tillsammans täcker 180° av ett område upp till 4-6 km avstånd. Bilder från kamerorna samlas under 10-15 minuter varje timma till en datalogger och utvärderas därefter i särskilt bearbetningsprogram.

Metoden kan användas för att följa och analysera kustens utveckling och effekter av kustskyddsåtgärder. Genom att studera när och var vågorna bryter kan den underliggande bottenpografin bestämmas. Även variationer i strandlinjen kan följas och genom att studera vågutbredningen kan även vattendjup och därmed bottens förändring studeras.

Det är också möjligt att studera sedimenttransport i anslutning till pirar, vågbrytare och andra konstruktioner. Även påverkan på sanddyner till följd av stormar kan utvärderas med detta system. Den största fördelen med detta övervakningssystem är att det ger möjlighet att kontinuerligt och på långa avstånd följa utvecklingen av stranden och vattenområdet nära stranden.

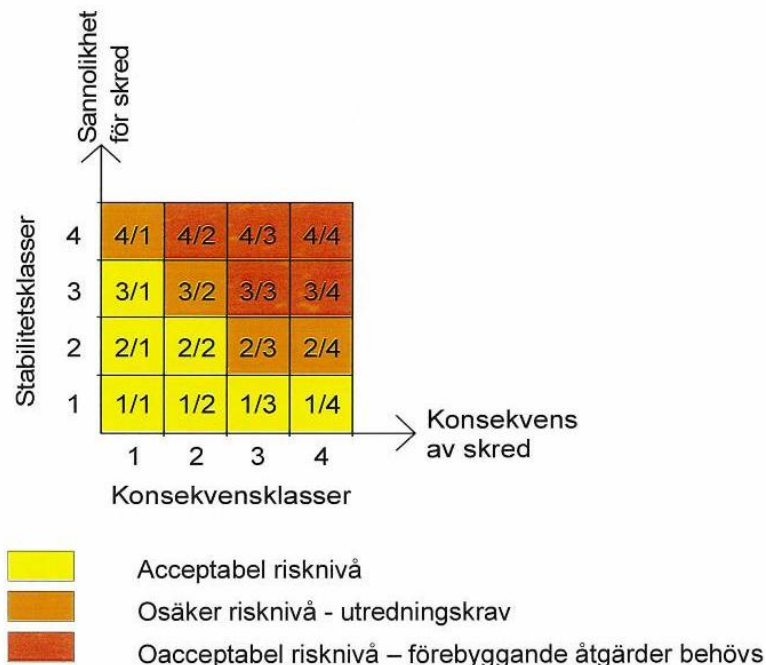
## B2 RISKANALYS - EROSION

### B2-1 Principer för riskanalys

Genom att kombinera sannolikhet med de konsekvenser en naturolycka kan medföra kan potentiella **riskområden** identifieras. Risk kan uttryckas på olika sätt, i relativa termer eller i monetära begrepp. När förutsättningarna ändras t.ex. till följd av klimatförändringar kan sannolikheten öka liksom risken för skador på tillgångar.

För att kunna utföra en riskanalys krävs detaljerade uppgifter (kvalitativa eller kvantitativa) för att kunna beräkna sannolikheten för en händelse liksom för konsekvenserna av en sådan händelse. En riskanalys av erosion görs därför normalt i steg 4 och 5 i den modell för kartering av erosionsrisker som anges i kapitel 3.

Figur B2-1 visar ett sätt att värdera risken för en naturolycka, här exemplifierad för skred. Motsvarande klassindelning kan göras för erosion och översvämning. *Sannolikheten* eller förutsättningar för en naturolycka beror av naturliga geotekniska och topografiska förhållanden, tillsammans med naturliga variationer i t.ex. havsvattenstånd eller nederbörd. *Konsekvenser* är de värden som drabbas av en olycka, t.ex. skador på människor och egendom eller värdefull natur. *Riskerna* uttrycks som en sammanvägning av sannolikhet/förutsättningar för naturolyckor och konsekvenser redovisat på en översiktlig nivå.



**Figur B2-1. Illustration av risker för skred som en kombination av sannolikhet och konsekvens. (Ahlberg, 1995)**

Där sannolikheten för skred (eller annan naturolycka) är stor och samtidigt konsekvenserna är omfattande är risken oacceptabel och åtgärder behöver vidtas (de röda fälten i figuren). Om risknivån är osäker (orange fält) behöver utredningar utföras för att klar-



göra risknivån. Om risknivån är acceptabel för dagens förhållanden (de gula fälten) kan en ökad sannolikhet för skred till följd av klimatförändringar innebära att en osäker eller oacceptabel risknivå uppkommer. Detsamma gäller om konsekvenserna ökar, t.ex. om ett områdes värde ökar till följd av exploatering i ett område med risk för naturolyckor.

Om å andra sidan åtgärder vidtas för att minska sannolikheten för en naturolycka genom att förstärkningsåtgärder utförs kan riskerna minskas eller elimineras.

Hantering av risker berör flera samhällssektorer och kan hanteras på olika nivåer i samhället. När det gäller risker som tar hänsyn till klimatförändringar är det viktigt att beakta i vilket tidsperspektiv som riskanalysen utförs.

## **B2-2 Exempel på riskanalys – Göta älvutredningen**

För att illustrera en riskanalys redovisas här kortfattat för den skredriskanalys som har utförts för Göta älv dalen inom Göta älvutredningen (GÄU). En närmare beskrivning av underlag, beräkningar och metodik finns i Göta älvutredningens Slutrapport 2 – Kartläggning (SGI, 2012b)

Metodiken för skredriskanalysen har varit att kombinera sannolikhet för skred med förväntade konsekvenser för att erhålla ett mått för skredrisknivån. Skredrisknivån för ett område beror både av de lokala stabilitetsförhållandena och av hur området används eller exploateras:

- Geoteknik, geologi, topografi, belastning → **sannolikhet** för skred.
- Påverkan på befintliga fastigheter och anläggningar, markanvändning → **konsekvenser**.

### **B2-2.1 Sannolikhet**

Sannolikheten för skred har baserats på en metodik för att beskriva säkerhetsmarginalen som en funktion av ett antal styrande förhållanden för slänter. Sannolikheten för skred har uttryckts genom en indelning i fem sannolikhetsklasser med utgångspunkt från brottsannolikhet och säkerhetsfaktor, från Klass S1: Försumbar sannolikhet ( $<10^{-6}$ ) till Klass S5: Påtaglig sannolikhet ( $>10^{-1}$ ).

Förändring av sannolikheten för skred vid ett framtida klimat har analyserats och redovisas genom en indelning i tre klasser, liten påverkan, måttlig påverkan respektive stor påverkan.

### **B2-2.2 Konsekvenser**

För att bedöma konsekvenser inom de områden som kan drabbas av skred har de värden som kan hotas beskrivits ur ett samhällsekonomiskt perspektiv och uttryckts i monetära termer. De konsekvenser som beaktats i utredningen är bebyggelse, människoliv, väg och järnväg, energi- och ledningssystem, VA-system, miljöfarliga verksamheter och förorenade områden samt näringsliv.

Kostnaderna av konsekvenserna inom varje ruta (1 hektar (100 x 100 m) har summerats och därefter delats in i fem konsekvensklasser K1-K5 enligt Tabell B2-1.

**Tabell B2-1. Ekonomiska intervall för värdeklasser och konsekvensklasser uttryckta i MSEK. (SGI, 2012b)**

Värdeklass och konsekvensklass	1	2	3	4	5
Ekonomiska intervall (MSEK)	<6	6-35	35-150	150-650	>650

### B2-2.3 Riskanalys

Klassningen av Sannolikhet för skred respektive Konsekvensbedömning har resulterat i att varje enskilt område inom utredningsgränserna har tilldelats en sannolikhetsklass (S-klass) från 1 till 5 samt en konsekvensklass (K-klass) från 1 till 5.

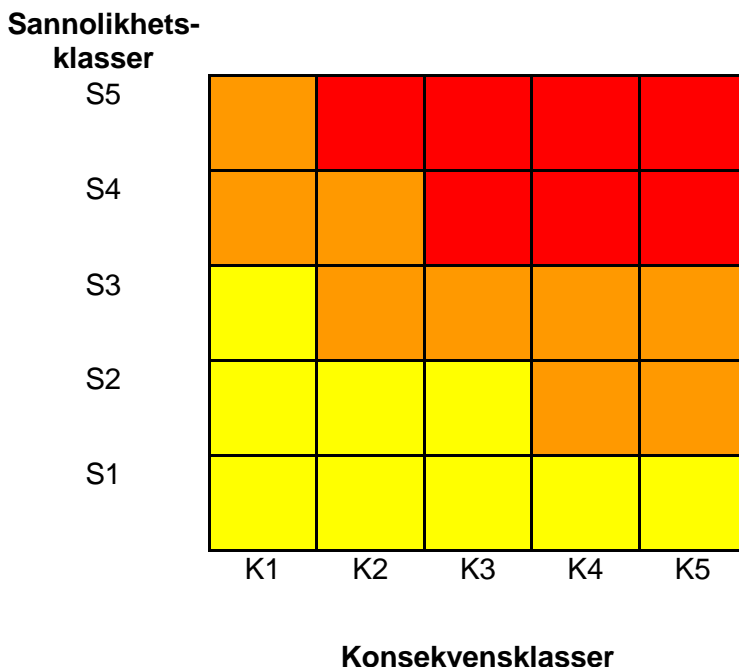
Varje enskilt område kan därför beskrivas med ett talpar ”S/K” som representerar kombinationen Sannolikhet/Konsekvens. Visualisering av denna kombination av sannolikheter och konsekvenser kan presenteras i en matris för olika kombinationer, se Figur B2-2. Skredrisken i varje område kan utifrån matrisen beskrivas som kombinationen av sannolikhet för skred (från försumbar till påtaglig) och konsekvenserna av ett skred (från lindriga till katastrofala). Detta innebär att varje talpar utgör en riskklass med specifika förutsättningar för skred (sannolikhet och konsekvenser).

Sannolikhet	S5 - Påtaglig					Påtaglig sannolikhet för skred med katastrofala konsekvenser
	S4 - Tydlig					
	S3 - Viss					
	S2 - Låg		Låg sannolikhet för skred med stora konsekvenser			
	S1 - Försumbar					
		K1 - Lindriga	K2 - Stora	K3 - Mycket stora	K4 - Extremt stora	K5 - Katastrofala
		Konsekvens				

**Figur B2-2. Matris för skredriskklassning – kombination av sannolikhet för skred och dess konsekvenser. Exemplet visar talparen S2/K2 och S5/K5. (SGI, 2012b)**




Matrisen i Figur B2-2 visar att sannolikheter och konsekvenser kan förekomma i totalt 25 kombinationer av riskklasser (5x5). För att kunna klassa de olika delområdena på ett överskådligt sätt och framförallt beskriva dem i ett överskådligt kartmaterial, måste antalet grupper (risknivåer) begränsas. Riskmatrisen delas därför upp i tre olika ytor motsvarande låg risk, medelhög risk och hög risk, se Figur B2-3.

Detta innebär att varje del av den i Figur B2-2 redovisade matrisen, som karakteriseras av ett talpar (S/K) av sannolikhetsklass och konsekvensklass, nu även får en färg som motsvarar en risknivå baserat på riskmatrisen i Figur B2-3.



*Figur B2-3. Matris med skredrisknivåer baserad på sannolikhet för skred och dess konsekvenser. (SGI, 2012b)*

Baserat på matrisen i Figur B2-3 kan riskkartor tas fram för olika delar av ett utredningsområde. På kartor anges risknivåer för olika områden enligt följande:

-  områden med **låg** risknivå
-  områden med **medelhög** risknivå
-  områden med **hög** risknivå

På kartor över olika delområden längs älven redovisas kombinationer av sannolikheten för ett skred och de primära konsekvenserna av ett sådant skred, det vill säga förluster av människoliv och skador på befintliga fastigheter och anläggningar på land.

Vid värdering av klimatpåverkan på riskerna har hänsyn tagits enbart till förändringar av sannolikhet för naturolycka, medan konsekvenserna av en framtida olycka har åsatts samma värden som idag. Det är normalt inte varit möjligt att förutsäga hur konsekvenserna kommer att förändras fram till 2100. Detta beror på att den tidsperiod som utredningen omfattar, cirka 100 år framåt i tiden, är längre än den planeringshorisont som normalt används i samhällsplaneringen.



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)