



VARIA 560:2



Erosion och översvämningar

Underlag för handlingsplan för att förutse och förebygga
naturolyckor i Sverige vid förändrat klimat

Deluppdrag 2

Karin Rankka
Bengt Rydell

Varia	Statens geotekniska institut (SGI) 581 93 Linköping
Beställning	SGI Litteraturtjänsten Tel: 013-20 18 04 Fax: 013-20 19 09 E-post: info@swedgeo.se Internet: www.swedgeo.se
ISSN	1100-6692
ISRN	SGI-VARIA--05/560--SE
Projektnummer SGI	12392
Dnr SGI	I-0502-0100
Foto omslag	Ystads kommun och SGI

FÖRORD

Regeringen har i regleringsbrevet för år 2005 (M2004/4162/A) gett Statens geotekniska institut (SGI) i uppdrag att redovisa en handlingsplan för institutets arbete de närmaste åren med att förutse och verka förebyggande för att förhindra ökad risk för ras och skred med anledning av prognoser för ett förändrat klimat. Uppdraget är begränsat till att innefatta naturolyckor, det vill säga ras, skred, erosion, översvämning och tillhörande miljökonsekvenser. Redovisningen innefattar således inte andra geotekniska konsekvenser såsom påverkan på grundläggning av byggnader och transportinfrastruktur eller VA-frågor till följd av förändrat klimat.

Institutet har valt att som underlag för denna handlingsplan genomföra tre delutredningar för att specifikt beskriva skred och ras, erosion och översvämningar respektive förorenings-spridning. Föreliggande rapport redovisar deluppdraget om erosion och översvämningar och har sammanställts av Karin Rankka och Bengt Rydell, SGI. Yvonne Andersson-Sköld, SGI, har medverkat vid sammanställningen av kapitlet om klimatförändringar.

Författarna vill framföra ett stort tack för de värdefulla synpunkter och kommentarer som har erhållits av Markku Rummukainen, Gunn Persson, Lars Johansson och Johan Andréasson, samtliga SMHI, Barbro Näslund-Landenmark, Räddningsverket och Hans Hanson, Lunds tekniska högskola.

Linköping i september 2005

Karin Rankka

Bengt Rydell

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förord	3
Sammanfattning	6
1 Bakgrund och syfte	8
2 Klimatförändringar	9
2.1 Allmänt	9
2.2 Klimatförändringar i Norden	9
3 Erosion	12
3.1 Hur och varför sker erosion?	12
3.2 Erosion av strömmande vatten	13
3.3 Erosion av strömmande grundvatten	14
3.4 Erosion av vågor	14
3.5 Vinderosion	15
4 Översvämning	17
4.1 Älvar och vattendrag	17
4.2 Kust- och sjöområden	18
5 Praktikfall	20
5.1 Falsterbonäset	20
5.2 Kusten utanför Ystad	22
5.3 Byälven	23
Flöden vid dagens klimat	24
Flöden vid ett framtida klimat	24
5.4 Klarälven	24
5.5 Mälaren	25
6 Omfattning, regional fördelning och konsekvenser	27
6.1 Erosionskänsliga områden i Sverige	27
6.2 Områden känsliga för översvämningar	28
6.3 Konsekvenser för och anpassning av samhället	29
Strandnära områden	29
Fysisk planering och bebyggelse	30
Teknisk infrastruktur	30
Anpassning av samhället	31
7 Kunskapsbehov	32
7.1 Förmedling och tillämpning av befintlig kunskap	32
Klimatanpassning i fysisk planering	32
Planerings- och beslutsunderlag	32
7.2 Behov av forskning och utveckling	33
Inledning	33
Bestämning av lasteffekter	33
Förändring av jordars egenskaper vid ett förändrat klimat	34
Översiktlig kartering av områden känsliga för erosion och översvämning	34
Riskanalys och riskvärdering	34
Metoder för mätning och övervakning	35
Förebyggande och stabiliserande åtgärder	35
7.3 Kunskap för ett hållbart samhälle	35
Referenser	36

SAMMANFATTNING

Syftet med denna rapport är att klargöra, generellt och genom fem praktikfall, hur klimatförändringar kan komma att inverka på erosionsförhållanden och risken för översvämningar. I rapporten anges också de behov av kunskap som erfordras för att kunna förebygga och anpassa samhället till förväntade klimatförändringar.

Erosion

Erosion och sedimentation är en naturlig morfologisk process. En förutsättning är dels tillgång på lösa jordmaterial, dels en flödehastighet som är tillräckligt hög för att loss göra och transportera materialet. Erosion kan uppstå i rinnande vatten som orsakas av regn, strömmande vatten i vattendrag och i jorden strömmande grundvatten. Erosion från vågor kan orsakas av vindvågor, jordbävningar (tsunamier), vid tappning av exempelvis dammar och de kan även orsakas av svallvågor från fartyg. Vinderosion förekommer framförallt i områden som saknar vegetations-täcke exempelvis längs nakna sandstränder och dyner och på åkerjord under våren då fälten saknar skyddande gröda. Flera av dessa faktorer kan komma att påverkas av klimatförändringarna eftersom beräknade klimatscenarier tyder på en ökad nederbördsmängd, en stigande havsvattennivå och även ökade vindstyrkor för flera områden i Sverige.

Ytlig erosion i slänter beror till största delen på nederbördens intensitet (ju högre intensitet desto större lossgörande krafter påverkar jorden), jordarten (fraktionerna finsand och mellansand är mest lätteroderade) och förekomst av skyddande vegetation. Vid byggande i och i närheten av dessa områden krävs god kunskap om problematiken och hur klimatförändringarna kommer att påverka förutsättningarna i framtiden, för att eliminera riskerna.

Erosion i slänter förekommer framförallt i områden med brant lutning och där jorden består av siltig och/eller sandig morän eller finkorniga sediment, såsom silt och finsand. Dessa förhållanden återfinns på flera platser i Sverige, exempelvis längs dalgångar, fjällsluttningar och i kust- och sjöområden. Områden med risk för stranderosion och översvämning i Sverige är lokaliserade främst till stränder runt vattendrag, sjöar och hav.

Det saknas för närvarande en helhetsbild av den totala omfattningen av erosion i Sverige. Med utgångspunkt från de geologiska förutsättningarna föreligger potentiell risk för stranderosion inom flera områden över hela landet såväl längs kuster som vattendrag. De hittills största kända stranderosionsproblemen föreligger längs kusterna i Halland, Skåne och på Öland.

Klimat

Redan idag ställs stundtals låglänta områden längs älvar och vattendrag under vatten. Vid ett förändrat klimat kommer nya och än större områden att bli berörda. Likaså kan låglänta kust- och sjöområden vid höga vattenstånd i kombination med kraftig pålandsvind översvämmas. Även ett område som inte ligger i direkt anslutning till vattendrag kan översvämmas om häftiga skyfall drabbar området. Dessa ofta lokala händelser är kortvariga men kan medföra översvämningar i källare, underminera vägar och järnvägar eller ställa lågpunkter i naturen under vatten.

De klimatscenarier som presenterats kommer att leda till ökade risker till följd av såväl erosion som översvämning till följd av främst ökad nederbördsmängd, intensivare regn och förhöjda havsvattennivåer. Årsnederbörden kan komma att öka upp till 30 % jämfört med dagens mängder i vissa delar av vårt land. Havsytan kan komma att stiga avsevärt längs sydkusten fram till 2100 och flöden i vattendragen kommer att förändras såväl till volym och extremvärden som till deras fördelning i tiden.

Eftersom en stor andel av bebyggelsen är lokaliserad till områden runt sjöar, hav och vattendrag kommer befintliga byggnader och infrastruktur att påverkas. Strandnära områden är känsliga för

hur klimatet varierar och det är nödvändigt att ta hänsyn till framtida förhöjda havsnivåer, bland annat på grund av den globala uppvärmningen som även kan leda till ökade vindhastigheter och våghöjder.

Många delar av samhällets tekniska infrastruktur berörs av klimatförändringar som till exempel vägar, järnvägar, vatten- och avloppsförsörjning, sjöfart, luftfart och energianläggningar. De delar av infrastrukturen som är viktigast att anpassa till klimatförändringar är de som medför störst skador en eventuell olycka samt långsiktiga anläggningsinvesteringar som skall finnas kvar under lång tid.

Klimatfrågans betydelse för den fysiska planeringen diskuteras på många håll, men än finns det få konkreta analyser. Några nationella scenarier om vad som skulle kunna hända har ännu inte arbetats fram. Räddningsverket genomför översiktlig översvämningskartering, som i dagsläget utgår från befintlig klimatvariabilitet och inte tar hänsyn till eventuella effekter av klimatets förändring. Osäkerheter föreligger redan för att beräkna översvämningsrisken vid dagens klimat (se Bergström et al, 2005), varför man vid karteringen inte direkt studerar effekter av klimat-scenarierna.

Flera kommuner som drabbats av översvämningar avser att utreda effekterna av en framtida höjning av havsnivån och ökade flöden i vattendrag för att minska risken för översvämningar. Länsstyrelser arbetar med regionala risk- och sårbarhetsanalyser, men dessa är sällan kopplade till frågan om klimatförändringar. Även i yttranden över detaljplaner och översiktsplaner bör kommunerna ta hänsyn till kommande förändringar av högvattennivåer i ett 100-års perspektiv.

Behov av kunskap

Scenarierna till klimatförändringar ger anledning till frågor om hur skadliga konsekvenser för miljö, samhälle, näringsliv och enskilda kan förebyggas eller mildras. Här finns stora behov av att dels föra ut dagens kunskap till de som är berörda, dels ta fram ny kunskap för att kunna förebygga och anpassa samhället till klimatförändringarna. Behovet av ny kunskap bör ses såväl i ett globalt som nationellt perspektiv.

Kunskap bör förmedlas till flera olika aktörer i samhället både när det gäller hur den fysiska planeringen skall anpassas till klimatförändringarna och vilka åtgärder som kan behöva vidtas för befintliga byggnader och anläggningar.

För att bestämma konsekvenser av och risker till följd av klimatförändringar erfordras forskning och utveckling av geotekniska modeller och verktyg samt kalibrering av dessa. Grundläggande forskning krävs om hur dessa förändringar påverkar jordars egenskaper och erosionsprocesserna. Därefter bör modeller för att översiktligt kartera områden känsliga för erosion och översvämning utvecklas liksom för att värdera risker i känsliga områden. Slutligen krävs utveckling av metoder för mätning och övervakning samt en utveckling av förebyggande och stabiliserande åtgärder.

1 BAKGRUND OCH SYFTE

Som underlag för den handlingsplan för institutets arbete med att förutse och verka förebyggande för att förhindra risker till följd av klimatförändringar har SGI studerat förhållanden och konsekvenser avseende erosion och översvämningar.

Syftet med denna rapport är att klargöra hur klimatförändringar inverkar på erosionsförhållanden och översvämningar generellt och genom exemplifiering i fem praktikfall. I rapporten anges också de behov av kunskap och utveckling som erfordras för att kunna förebygga och anpassa samhället till förväntade klimatförändringar.

2 KLIMATFÖRÄNDRINGAR

2.1 Allmänt

Mycket tyder på att det globala klimatet håller på att förändras och det mest tydliga tecknet på förändring är den uppmätta höjningen av jordens medeltemperatur. Detta konstateras exempelvis av IPCC (2001), EEA (2004) och av WHO (2002). De avsmältningar som uppmätts av exempelvis glaciärer och av havsis på Arktis, stödjer bilden av en pågående global uppvärmning. Den främsta orsaken till uppvärmningen av jorden under de senaste 30–50 åren verkar ha varit utsläppen av växthusgaser. Även det framtida klimatet beror bland annat på omfattningen och typen av utsläpp. Eftersom det är svårt att på kort tid reducera utsläppen tyder de klimatscenarier som gjorts på att det fortsätter bli varmare även under de närmaste 50 till 100 åren (t.ex. IPCC, 2001, SMHI, 2005).

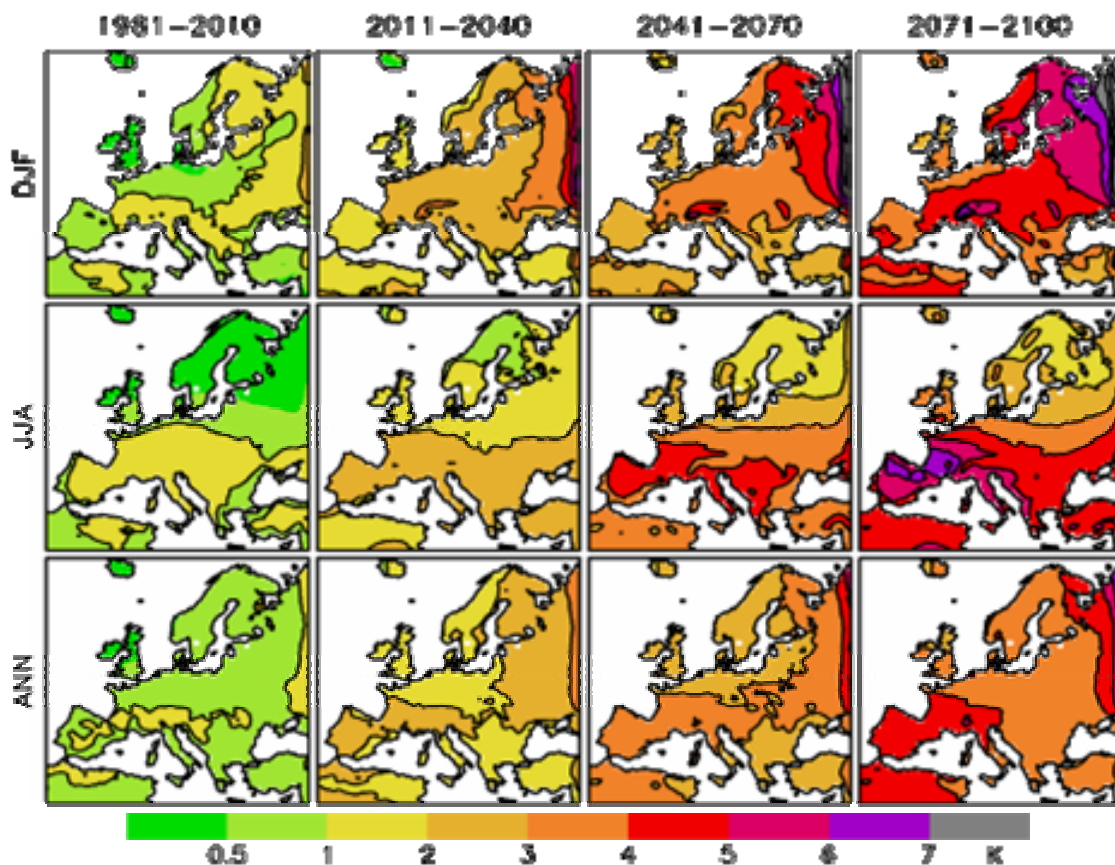
En förhöjd temperatur kan leda till en ökad avdunstning samtidigt som en varmare atmosfär kan innehålla mer vatten. Detta påverkar vattnets kretslopp och möjliggör exempelvis fler och häftigare regn. Det kan också leda till starkare, svåra stormar och förändringar i andra typer av extrema vädersituationer.

Klimatförändringar studeras i olika globala och regionala klimatmodeller. Scenarier för nordiska förhållanden redovisas av SMHI:s Rossby Centre (se SMHI, 2005a, och SMHI, 2005b). Scenarier visar att klimatförändringen kommer att bli särskilt stor i områden med arktiskt klimat men även områden med kalltempererat klimat kommer att få stora förändringar. Framförallt påverkas dessa områden, vilka innefattar de nordiska länderna och Baltikum, vintertid. Längre söderut i Europa beräknas speciellt somrarna bli varmare och torrare.

2.2 Klimatförändringar i Norden

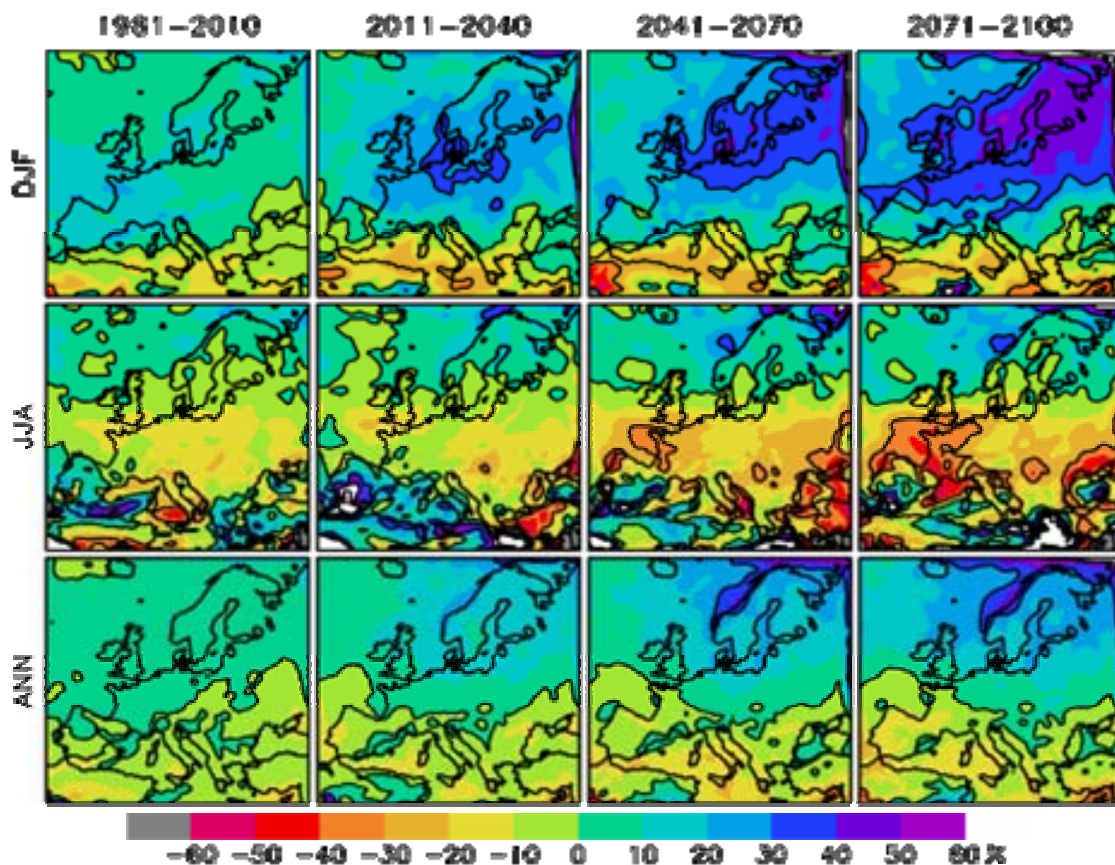
Mellan åren 1996 och 2003 genomfördes ett svenskt regionalt klimatmodelleringsprogram, SWECLIM (Swedish Regional Climate Modelling program). Inom SWECLIM utfördes regionala klimatscenarier utifrån ett par utsläppsscenarier och olika globala modeller. I utvärderingen har simuleringarna jämförts mot mätdata över Sverige. Sedan SWECLIM avslutades, har detta arbete fortsatt vid SMHI:s Rossby Centre. I den svenska klimatmodelleringen har man utgått från dels den tyska globala klimatmodellen ECHAM4/OPYC3 från Deutsches Klimarechenzentrum GmbH (DKRZ) och Max-Planck institutet för meteorologi i Hamburg, dels från globala klimatmodeller vid Hadley Centre i Storbritannien (Hadley Centre, 2005).

Medan de regionala klimatscenarierna som studerades inom SWECLIM avsåg perioden 2071–2100, har man senare vid Rossby Centre tagit fram beräkningar som sträcker sig från dagens klimat (det vill säga perioden 1961–90) fram till 2100 (se SMHI, 2005a). Resultaten visar att årsmedeltemperaturen i Sverige kan komma att öka med mellan 2,5 och 4,5 grader. Jämfört med temperaturökningen för helåret påverkas vintertemperaturen något mer och sommartemperaturen något mindre. Resultatet kan bli att årstiderna förskjuts och att vi får en kortare vintersäsong. De beräknade förändringarna framträder som signifikanta redan vid början av 2000-talet, se *Figur 2-1*.



Figur 2-1. Beräknade regionala temperaturändringar ($^{\circ}\text{C}$) på vintern (DJF, överst), på sommaren (JJA, mellersta raden) och för helåret (ANN, längst ner). Ändringarna visas jämfört med perioden 1961–1990. Dessa regionala beräkningar är gjorda vid Rossby Centre på SMHI med den regionala klimatmodellen RCAO och baseras på en beräkningar med den tyska ECHAM4/OPY3 globala klimatmodellen och ett utsläppsscenario enligt s.k. SRES B2. (SMHI, 2005a).

Beräkningar av nederbördsscenarierna i Norden, bortsett från södra Skandinavien under sommaren, indikerar att en större mängd nederbörd kan förväntas (se **Figur 2-2**). Nederbördens och vattentillgångens årsmedelvärden för hela landet bedöms öka med upp till 30 %. Ökningen orsakas både av fler nederbördsdagar och av häftigare regn. Nederbördsmängderna ökar under höst, vår och vinter. Sommartid ändras nederbördsmängderna mindre i landets norra delar medan de minskar i Sydsverige där nederbörden ändå blir intensivare. För vissa delar av södra Sverige kan den ökade medeltemperaturen dock ge en ökad avdunstning från mark och vatten, vilket kan medföra ett vattenunderskott.



Figur 2-2. Beräknad regional nederbördsförändring (%) jämfört med perioden 1961–1990. Övriga förutsättningar enligt Figur 2-1. (SMHI, 2005a).

Havsnivån kommer att stiga på grund av klimatförändringarna. Detta eftersom en ökad medeltemperatur leder till en avsmältning av glaciärer samt en termisk expansion av världshaven. Redan idag stiger nivån i världshaven med cirka 1–2 mm/år enligt Church et al (2001). De scenarier som redovisas av SMHI för åren fram till 2100 visar att höjningen av havsvattenytans regionala nivå påverkas både av den globala höjningen och lokala effekter. I södra Sverige kan havsytans nivå stiga med över 50 cm. Ett förändrat klimat kommer dessutom även att påverka vindar och vågor längs våra kuster.

3 EROSION

3.1 Hur och varför sker erosion?

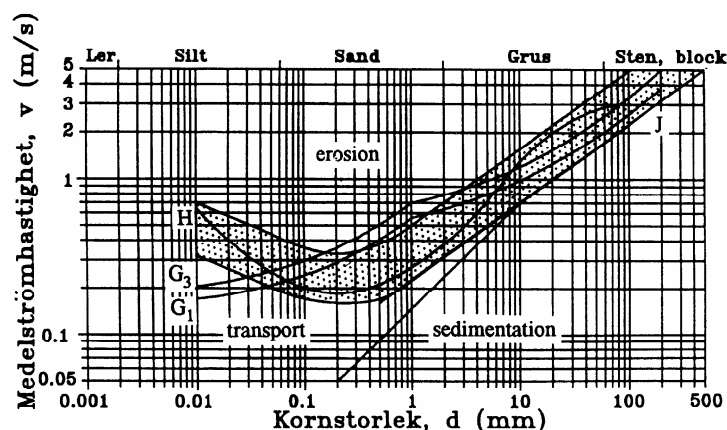
Med erosion menas nötning och skulptering av berggrund och jordtäcke genom inverkan av rinnande vatten, vågor, vind eller is. Eftersom erosion av berggrunden i Sverige på de flesta platser är en mycket långsam process omfattar rapporten enbart erosion i jordtäcket. I den svenska fjällkedjan och den sedimentära berggrunden på exempelvis Gotland kan dock erosionen gå fort.

Erosion och sedimentation är en ständigt pågående naturlig förändringsprocess i landskapet. En förutsättning för processen är dels tillgång på erosionskänsligt jordmaterial, dels en flödes hastighet som är tillräckligt hög för att lossöra och transportera materialet. När flödes hastigheten minskar avsätts materialet igen. Jordens känslighet för erosion påverkas av om den skyddas av exempelvis täckande markvegetation.

När vatten strömmar längs en markyta sker en ömsesidig påverkan mellan flödet och ytans material. Flödet påverkar jordpartiklarna med en skjuvkraft och om denna blir större än den skjuvkraft som kan mobiliseras mellan partiklarna börjar partiklarna att röra sig. Till en början omlagras partiklarna, men är påverkan tillräckligt stor lyfts de upp i vattnet, för att sedan transporteras och så småningom avsätts i områden där strömförhållanden är mindre kraftiga.

Stabiliteten hos partiklarna beror förutom på skjuvkrafter mellan partiklarna även av dessas densitet, form och gradering, bottenmaterialets packningsgrad och ytans lutning. I **Figur 3-1** visas samband mellan strömhastighet, kornstorlek och sedimentets transporttillstånd. Som framgår av figuren är den kritiska strömhastigheten, då kornen kan eroderas, som lägst vid en kornstorlek av cirka 0,2 mm. I jordar med mindre kornstorlekar medverkar elektrokemiska bindningskrafter mellan partiklarna till en större motståndskraft mot erosion.

De mest erosionsbenägna jordarna är ensgraderade, väl sorterade, jordarter med en kornstorleksfördelning motsvarande finsand och mellansand. Erosionsbenägenheten är begränsad i en välgraderad, måttligt eller dåligt sorterad jord, som till exempel morän. I välgraderade jordar leder påverkan av vatten till att sandfraktioner i de ytligaste skikten spolas bort. Grövre fraktioner lämnas kvar i ytan och bildar en så kallad stenspås, som har högre motståndskraft mot fortsatt erosion. Ett naturligt erosionsskydd bildas därmed.



Figur 3-1. Diagram över sambandet mellan strömhastighet, kornstorlek och sedimentets transporttillstånd. Avser ensgraderat material med kompakt densiteten $2,65 \text{ kg/m}^3$ och strömningshastighet uppmätt en meter över botten (Handboken Bygg, Kap 177, 1972).

Erosion genom *rinnande vatten* kan orsakas av regn, strömmande vatten i vattendrag och i jorden strömmande grundvatten. Erosion från *vågor* kan orsakas av vindvågor, jordbävningar (tsunamier), vid tappning av exempelvis dammar eller vid dänningskatastrofer, i samband med att skredmassor når ett vattendrag och de kan även orsakas av fartygsvågor. *Vinderosion* förekommer framförallt i områden som saknar vegetationstäckning exempelvis längs sandstränder och dyner och på åkerjord under vår och försommar, då fälten saknar skyddande gröda. Erosion kan också uppkomma av nötande is från istäcken och isdämmor som utbildats vid isgång i samband med vårfloden i ett vattendrag. Flera av dessa faktorer kan komma att påverkas av klimatförändringarna.

3.2 Erosion av strömmande vatten

Strömmande vatten i vattendrag eller som avrinning på markytan i samband med nederbörd kan orsaka erosion. Vattendragets bottenlutning och en slänts lutning påverkar direkt strömhastigheten så att en kraftigare lutning ger upphov till en högre hastighet. Jordpartiklar i en slänt kan även lossgöras på grund av den kraft som regndroppar slår ner i jorden med.

Naturliga, branta slänter i jordar med stort innehåll av sand och silt är känsliga för erosion av rinnande vatten. Ett vegetationsskikt som verkar skyddande genom att bland annat reducera strömhastigheten och intensiteten med vilken regndroppar träffar jorden, är i dessa slänter väsentligt för att reducera risken för erosion. Detta kan bland annat innebära att större varsamhet måste iaktas vid arbete i erosionskänsliga jordar, att avledning av ytvatten måste säkerställas och att känslig mark skyddas efter bearbetning. Ett förändrat klimat kommer sannolikt att påverka vegetationen, vilket också måste beaktas. Förändringar kan ske både till det bättre och det sämre.

Ökad flödeshastighet i vattendrag och ökad frekvens och intensitet av regn leder således till en ökad sannolikhet för erosion. Vid intensiva regn, så kallade konvektiva regn, uppstår lätt en kanalisering av de på ytan strömmande vattenmassorna vilket ger ett koncentrerat flöde med hög hastighet och risk för erosion och även skred, ras och slamströmmar. En litet flöde kan successivt öka i omfattning ner längs en sluttning och orsaka stor förödelse. Efter en tids torka är infiltrationskapaciteten i jorden ofta begränsad och om jorden då utsätts för ett kraftigt regn rinner den största delen av på ytan, vilket kan leda till kraftig erosion.

Vid kraftigare och intensivare nederbördsperioder kan vattenkraftsdammar komma att fyllas snabbare, vilket kan komma att leda till ett ökat behov av tömning av dammarna. Detta i sin tur kan resultera i erosions-skador nedströms dammarna.

I samband med höga flöden under senare år har problem med erosion och ras uppmärksamats. Exempelvis noterades i samband med 1995 års vårflod ras och erosion bland annat längs norra delen av Klarälven, den oreglerade Västerdalälven, Indalsälvens övre lopp samt delar av Ångermanälvens vattensystem (Ekberg et al, 1995). Den mest dramatiska händelsen inträffade i Västra Tandö, söder om Limesforsen vid Västerdalälven. Vid en krök på älven utlöstes ett antal skred som fick tre ekonomibyggnader till en fastighet att glida ner i älven (Ekberg et al, 1995).

Problem kan uppstå på grund av den ökade flödeshastigheten som eroderar känsliga slänters nedre delar. Därigenom minskar de mothållande massorna och en utglidning kan ske av den jordvolym som ligger högre upp i slänten. Problem kan också uppstå efter det att vattnet i ett tidigare översvämmat område drar sig tillbaka medan det kvarstår en hög grundvattennivå i slänten. Ur stabilitetssynpunkt är denna situation allvarlig för slänten och ett ras eller skred kan utlösas.

3.3 Erosion av strömmande grundvatten

Grundvattenerosion, även kallad inre erosion, kan förekomma i finkornig friktionsjord genom att strömmande grundvatten för med sig fina jordpartiklar från ett område till ett annat och på så sätt orsaka materialvandring. Speciellt kan utträngande grundvatten förflytta jordpartiklar i jordlagrens yttre delar. Med tiden kan ett hålrum uppstå och jord rasa in, se **Figur 3-2**.



Figur 3-2. Grundvattenerosion i siltslänt längs Ångermanälven.

Välgraderade jordarter som morän är mer känsliga för grundvattenerosion än ensgraderade. Grundvattenerosion kan exempelvis uppkomma under dammar, i skiktad jord med omväxlande täta och mer genomsläppliga skikt, i jordar med vattenådror och runt avloppsrör och trummor.

Sannolikheten för grundvattenerosion under dammar ökar med ökad höjdskillnad mellan vattennivån uppströms och nedströms dammen. Eftersom klimatförändringarna väntas ge ökad nederbörd kommer troligen de höga vattennivåerna i dammarna att bli högre och ha längre varaktighet. I naturliga jordar ökar sannolikheten för grundvattenerosion om grundvattenflödet ökar och om vegetationen i markytan försvinner exempelvis på grund av erosion av rinnande vatten.

I områden i Sverige där en ökad nederbördsmängd och nederbördsintensitet är att vänta kommer sannolikt även grundvattennivåer och grundvattenströmningar att öka vilket i sin tur kan leda till en ökad grundvattenerosion.

3.4 Erosion av vågor

Vågor längs stränder i större sjöar och längs havskuster kan orsaka stranderosion. Med stranderosion avses den process, som leder till förlust av material, som sand, grus och sten, från stranden och botten i strandområdet. Det är framförallt vattenstånd, vågor och strömmar som ger upphov till erosion.

Stora vågor, så kallade stormvågor, som går in mot en kuststräcka omvandlas till brytande vågor, surf och svall inom strandområdet. Det är i huvudsak denna omvandling som direkt, genom vågrörelse och turbulens, och indirekt, genom vågenererade strömmar, kan leda till erosion. Stora och/eller snabba fartyg som går nära kusten eller i vattendrag kan orsaka kraftig erosion på grund av alstring av vågor, vattenståndsvariationer och strömmar.

Om krafterna från vågor och strömmar är tillräckligt stora leder de till att sediment lyfts upp från botten och kommer i rörelse av vågor eller strömmar. Krafterna kan också sätta sediment i rörelse utmed botten. Sedimenten, som kommit i rörelse, förflyttas med strömmar eller vågrörelser bort från sitt ursprungliga läge eller återfaller till i stort sett samma läge som det lossade från. Samtidigt som sediment förflyttas bort från ett bottenområde kan området tillföras sedi-

ment från närliggande områden. Erosion uppstår då mer material transporteras ifrån ett bottenområde än vad som tillförs området under samma tid.

Bottens och sedimentens egenskaper påverkar strandens förmåga att motstå erosion och det sätt på vilket stranden reagerar på olika typer av skyddsåtgärder. För stränder av friktionsjord gäller allmänt att ju större andel av finsand och mellansand de innehåller desto mer erosionsbenägna är de, se *Figur 3-1*. Branta stränder är därför oftast uppbyggda av grovkornigt sediment medan flacka slänter utgörs av finkornigt sediment.

Storleken på de krafter som leder till erosion och transport av sediment beror av strandens form, sedimentens egenskaper samt vågornas höjd, längd och riktning. Krafterna ökar med ökande våghöjd. Flacka stränder medför att energin från vågorna omvandlas till andra energiformer på en lång sträcka och vågorna leder därmed till mindre påverkan än vid branta stränder. Geologiska förhållanden med erosionsbenägen jord föreligger på många platser längs Sveriges havskuster och insjöar men är särskilt utmärkande för stora delar av kusterna i Skåne, Halland och på Öland.

Längs branta stränder, såsom klintkuster, kan borttransporten av material från slänternas lägre liggande delar leda till att slänten undermineras. Detta kan innebära att ras och skred utlöses.

Fartyg genererar speciella svallvågor, så kallade Kelvinvågor, som fortplantas in mot stranden där deras våghöjd ökar kraftigt när vattendjupet minskar. Stora deplacerande fartyg åtföljs under sin färd också av en avsänkningorsakad av kompensationsströmmarna kring fartyget. Dessa är starkare vid begränsningar i vattendjupet, nära stränder och i kanaler. Denna avsänkning kan vara betydande i en skärgård.

Fartyg påverkar således strändernas stabilitet framförallt på två sätt, dels genom Kelvinvågornas eroderande förmåga, dels genom den snabba avsänkningen av vattenståndet. Vid en sådan plötslig avsänkning av vattenståndet hinner grundvattennivån/portrycket i bakomliggande slänt inte att utjämnas. Det innebär att en utåtgående hydraulisk tryckgradient uppstår i slänten vilket minskar stabiliteten. Därigenom kan erosion och skred/ras uppkomma om slänten redan tidigare har dålig stabilitet. Detta problem är av naturliga skäl endast förekommande i branta slänter och där fartyg går nära strandlinjen. Avsänkningen kan i vikar också initiera så kallade seicher, stående vågor, vilka dock avklingar snabbt.

De ur erosionssynpunkt besvärligaste situationerna uppstår vid högt vattenstånd i kombination med kraftiga vindar. Då kan vågorna slå in på ett under normala förhållanden opåverkat strandområde och dra med sig jordmaterial ut på djupare vatten, där strömmar för det vidare bort från stranden.

Vågrörelsernas inverkan på stränderna kan påverkas tvåfalt av klimatförändringarna. Dels kommer medelvattennivåerna att öka på grund av att havsytan stiger, vilket innebär att vattnet når tidigare opåverkade strandområden. Dels kommer vågamplituderna att bli större på grund av kraftigare vindar, vilket ger större eroderande krafter. Dessutom kan antalet tillfällen med kraftiga vindar och höga vattenstånd komma att öka.

3.5 Vinderosion

Förutom att vinden ger upphov till vågor och strömmar påverkar den även direkt kustformationen genom sin eroderande förmåga. Vind påverkar framförallt sandkuster men även kustformationer i sedimentära bergarter. För att sanden längs en sandstrand skall påverkas krävs en viss minsta vindhastighet, cirka 7 m/s, samt att stranden inte har ett skyddande vegetationstäck (Sveriges Nationalatlas, 1992).

Ökande vindhastigheter och ökat antal tillfällen med kraftig vind leder till att de erosiva krafterna ökar. Detta kan i sin tur leda till en förflyttning av dynområden. Eftersom dyner verkar skyddande för erosion av vattenvågor kan resultatet bli att nya områden utsätts för erosion av dessa vågor.

4 ÖVERSVÄMNING

4.1 Älvar och vattendrag

När ett vattendrag inte klarar av att avbörda det tillrinnande vattnet, exempelvis på grund av ovanligt stor nederbörds mängd i avrinningsområdet, kan områden översvämmas. Vattendragets förmåga att avbörda det tillrinnande vattnet beror av dess geometri (Räddningsverket, 2000).

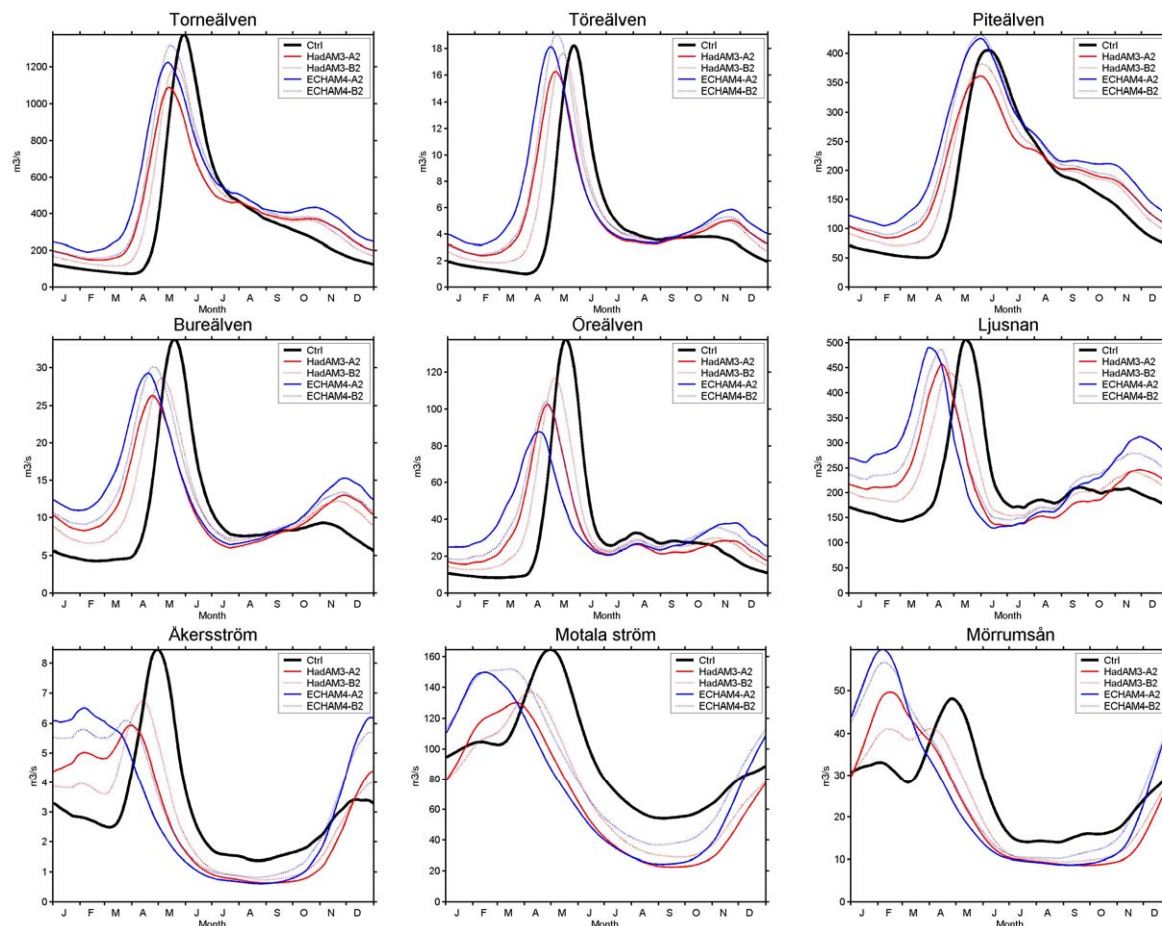
Sannolikheten för översvämning i ett område beror framförallt på förändringar i vattenföringen i det närliggande vattendraget och på områdets höjdläge i förhållande till vattennivån. Vattenföringen, flödet, i vattendraget beror främst på nederbördens mängd, utsträckning och intensitet, avrinningsområdets storlek, snösmältning, markanvändning, regleringar (magasinering och tappning), sjövolym, temperatur, markfuktighet och terrängens lutning. Översvämningar kan också orsakas av isdämningar i älvar och av dammbrott.

Som exempel kan nämnas att vid översvämningar i samband med vårflo den 1995 översvämmades många områden längs vattendragen i mellersta Sverige. Till de höga flödena bidrog en snörik vinter, sen snösmältning i skogsområden på grund av kylig vår, samtidig snösmältning i skog och fjäll som medförde en kombinerad skogsflod och fjällflod samt rikligt med regn under den intensiva snösmältningsperioden (Ekberg et al, 1995).

Havsnivån kommer att stiga på grund av klimatförändringarna eftersom en ökad medeltemperatur leder till en avsmältning av glaciärer samt en termisk expansion av världshaven. Redan idag stiger nivån i världshaven med cirka 1-2 mm/år enligt Church et al (2001). Under de kommande 100 åren beräknas världshavets vattenstånd kunna stiga med mellan 9 och 88 cm. De scenarier som redovisas av SMHI för åren fram till 2100 visar att höjningen av havsvattenytans regionala nivå påverkas både av den globala höjningen och lokala effekter. I södra Sverige kan havsytans nivå stiga med över 50 cm, medan höjningen successivt skulle minska till en oförändrad nivå i området runt Bottenhavet och Bottenviken på grund av att landhöjningen har en kompenserande påverkan. Låglänta områden i södra Sverige och norröver mot Mälardalen riskerar därmed komma att ställas under vatten. Områden runt vattendrag som mynnar i södra Sverige kan få problem eftersom en höjning av havsvattenytan innebär högre vattenstånd även uppe i vattendragen.

Beräkningar av hur vattendragens flöden kommer att påverkas enligt de framtagna regionala klimatscenarierna har utförts inom Mistra-projektet SWECLIM (Andréasson et al, 2004). Sammantaget kan man konstatera att kraftiga vårflo den i de flesta fall blir ovanligare, undantagsvis i allra nordligaste Sverige, och att de inträffar mellan 2-4 veckor tidigare. Höga höst- och vinterflöden kan däremot allmänt komma att bli vanligare. I **Figur 4-1** visas exempel på hur effekterna varierar i vattendrag från Torneälven i norr till Mörrumsån i söder.

För reglerade vattendrag kan besvärliga situationer uppstå vid särskilt stora tillrinningar i kombination med fyllda vattenmagasin eftersom det då inte längre finns någon utjämnande förmåga. Med ökande nederbörd kan sådana tillfällen antas bli mer vanligt förekommande om inte dammarnas kapacitet höjs. De oreglerade vattendragen påverkas direkt vid stor tillrinning. Risker i samband med höga flöden eller vattennivåer på en plats kan stå i konflikt med risker på annan plats. Som exempel kan nämnas Vänerens vattenreglering, där sannolikheten för skred i Göta älvdalen måste vägas mot konsekvenserna av höga vattennivåer längs Vänerens stränder.



Figur 4-1. Förändringar i medelvattenföring i nio svenska vattendrag enligt beräkningar utförda inom SWECLIM (Räisänen et al, 2004). Svart kurva visar årlig medelvattenföring för perioden 1961–1990 och övriga kurvor är resultat av olika klimatscenarier för perioden 2071–2100, enligt den regionala klimatmodellen RCAO.

4.2 Kust- och sjömråden

Sannolikheten för översvämning längs kusterna påverkas framförallt av höga vattenstånd. Vattnståndet anges vanligen i förhållande till ett medelvattenstånd. Naturliga vattenståndsvariationer orsakas av lufttrycket, vinden och i Sverige till en mindre del av tidvattnet.

Lufttrycket har ett direkt inflytande på vattenståndet eftersom ett högt lufttryck pressar ner vattenytan och vid lågt lufttryck stiger vattenytan. Sambandet är dock mycket komplext på grund av att framför allt lågtrycken passerar så snabbt att vattenytan inte hinner ställa in sig. Lufttrycksskillnaderna ger upphov till vindar. Ihållande vindar över ett havsområde ger upphov till strömmar som i allmänhet höjer vattenståndet vid den kust mot vilken vinden blåser. Särskilt i södra Östersjön, Öresund och de danska farvattnen är vattenstånden beroende av vindarna. Tidvattenvariationerna är i svenska vatten ganska obetydliga jämfört med övriga effekter. I norra Bohuslän är till exempel den maximala tidvattenskillnaden ca 40 cm mellan låg- och högvatten och i Östersjön saknar tidvattnet all praktisk betydelse

I innanhav som Östersjön och stora sjöar som Vätern och Vättern, kan en egensvängning av vattenståndet uppstå, så kallad seich. Seicher är stående vågor i hav eller sjöar och dess svängningsperiod beror av vattenområdets längd och vattendjup. I Östersjön uppträder till exempel en seich med bukar i inre Finska viken och vid de danska öarna och med noden mellan

Landsort och Libau. Seicher beror av lufttrycksvariationer vilka i ett förändrat klimat kan komma att öka.

Medelvattenståndet är dock inget konstant värde för landets kuststräckor utan det ändras med tiden, i Sverige främst på grund av landhöjning men även på grund av landisarnas avsmältning och förändring av medeltemperaturen i världshaven. Längs norrlandskusten är landhöjningen av betydande storlek, cirka 8 mm per år, medan den för Skånes norra delar är nära noll. Längs sydkusten överstiger havsytans nivåhöjning landhöjningen, vilket innebär en faktisk landsänkning av 0,5 mm/år. En höjning av världshavens medelvattennivå sker på grund av glaciärvsmältningen och på grund av en ökning av temperaturen i havet och därav orsakad volymexpansion. Fram till 2100 beräknas dessa påverka världshavets genomsnittliga vattenstånd med mellan 9 och 88 cm (Church et al, 2001). Regionala förändringar i havsvattenståndet kan dock bli något mindre eller betydligt större. I Sverige riskerar speciellt Skåne att utsättas för en långsiktig och bestående vattenståndshöjning som i sin tur leder till större sannolikhet för erosion längs stränderna.

5 PRAKTIKFALL

5.1 Falsterbonäset

Falsterbohalvön är ett låglänt kustområde, cirka 20 km sydväst om Malmö. Näset omges i norr av Höllviken och i söder av Falsterbobukten och Kämpingebukten. Framförallt den västra kustlinjen är utsatt för erosion och områdets kustprocesser har redovisats i flera utredningar, se bland annat Hanson och Larson, 1993, Blomgren och Hansson, 1999. Då stora arealer endast ligger någon meter över havsytans medelvattennivå är området känsligt för en höjning av havsvattennivån.

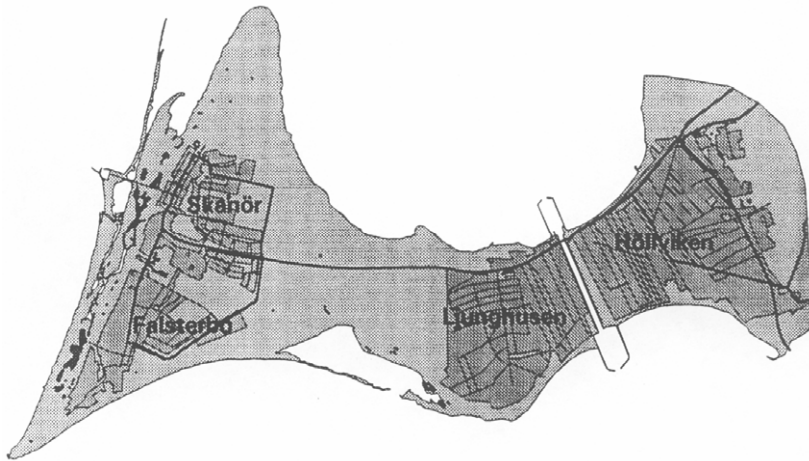
Erosionen i området beror till viss del på mänsklig påverkan. Skanörs hamn anlades 1860. Hamnen har påverkat Falsterbohalvöns västra del så att sand har magasineras söder om hamnen och erosion har skett norr om hamnen speciellt vid området kallat Badreveln (Hanson och Larson, 1993). Måkläppen, i områdets sydvästra del, är en så kallad strandsporre som bildats genom att sediment som transporterats utmed kuststräckan har avsatts i strandlinjens förlängning i läområdet bakom udden.

Hanson och Larson (1993) undersökte hur en vattenståndshöjning vid Falsterbonäset skulle påverka de låglänta områdena. En digital terrängmodell upprättades och olika värden på vattenståndsökningar analyserades. Dels analyserades en vattenståndshöjning av 1,0 m runt näset, vilket motsvarar en situation som, med dagens klimatsituation, sker med cirka 4 års mellanrum. Dels analyserades en höjning av 2,0 m, vilket antogs representera en situation med en medelvattenyta 0,5 m över dagens medelvattenyta samt ett tillfälligt högvatten på +1,5 m. Ett tillfälligt högvatten av 1,5 m inträffar statistiskt med en återkomsttid av cirka 60 år. En medelvattenyta som är 0,5 m över dagens medelvattenyta för södra Sverige motsvarar, en tänkbar medelvattenyta på grund av den globala uppvärmningen inom kortare tid än 100 år (enligt Staudt et al, 2004).

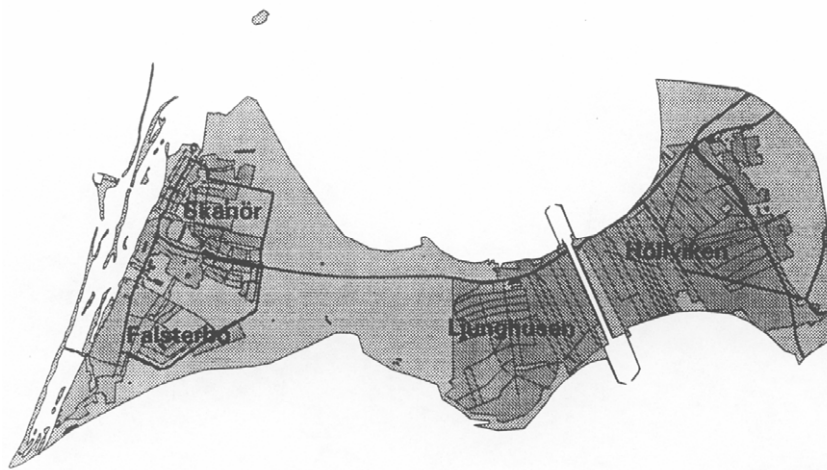
Analysen visade att vid en höjning av 1,0 m översvämmas de låglänta områdena i väster och söder och kring Flommarna, se *Figur 5.1* och *Figur 5.2*. Vid en höjning av 2,0 m översvämmas hela bebyggelsen vid Skanör och Falsterbo, medan däremot bebyggelsen vid Ljunghusen och Höllviken undviker översvämmning, se *Figur 5.3*. Blomgren och Hanson (1999) visade också att vid en vattenståndsökning av 1,5 m översvämmas omkring 18 % av bebyggelsen i Skanör/Falsterbo. Motsvarande siffra vid en vattenståndsökning av 2 m är 42 %.

En höjning av medelvattenytan innebär inte enbart att områden kan komma att ställas under vatten utan även att risken för erosion ökar. Ett strandområde befinner sig ofta i jämvikt med det rådande vågklimatet. Material kan visserligen eroderas och föras ut under stormar men ofta förs det sedan in igen under lugna perioder. En vattenståndshöjning innebär dock att strandprofilen kommer ur jämvikt med vågklimatet och att ett nytt jämviktstillstånd måste bildas. Det leder till att material kommer att transporteras ut till djupare vatten. Dessutom leder en vattenståndsökning till en permanent höjning av grundvattenståndet, vilket i sin tur kan leda till försämrad stabilitet hos dynerna, ökad ytvattenavrinning och därmed ökad erosion.

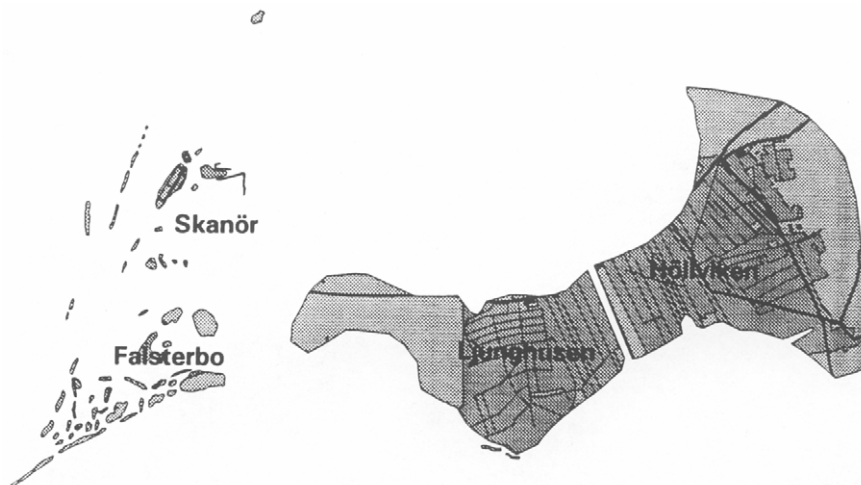
Med hjälp av Bruuns lag kan man kvalitativt beräkna konsekvenserna på stranderosionen av en vattenståndshöjning. Beräkningen bygger på att strandprofilen är i jämvikt. Om vattennivån stiger kommer det att ske en materialförflyttning från strandområdet ut till djupare vatten, där bottenprofilen höjs, se *Figur 5-4*. Sand eroderas från profilens inre del och deponeras längre ut på djupare vatten. Beräkningar enligt Bruuns lag på Falsterbonäset visar att en höjning av medelvattenståndet med 50 cm skulle leda till att sandstränderna skulle flyttas 50 m in mot land (Hanson och Larsson, 1993). Beräkningarna är överslagsmässiga och i verkligheten kommer erosionen att variera mellan olika kustavsnitt, men de visar ändå på de problem som skulle kunna drabba området.



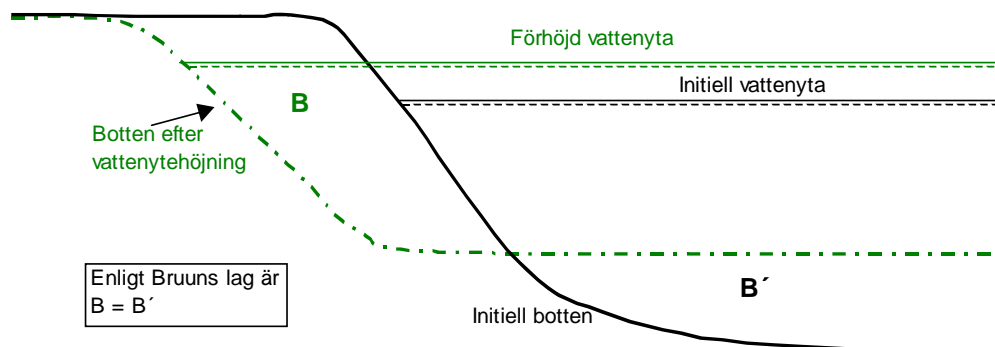
Figur 5.1. Falsterbonäsets utseende vid normalt vattenstånd i dagens klimat (efter Hanson och Larson, 1993).



Figur 5.2. Falsterbonäsets utseende vid en höjning av vattenståndet med 1,0 m över dagens normala vattenstånd (efter Hanson och Larson, 1993).



Figur 5.3. Falsterbonäsets utseende vid en höjning av vattenståndet med 2,0 m över dagens normala vattenstånd (efter Hanson och Larson, 1993).



Figur 5-4. Skiss över schematiska förändringar av strandprofilen enligt Bruuns lag, efter Hanson och Larson, 1993.

Områdets känslighet för ett förändrat klimat har även studerats av Blomgren och Hanson (1999). De drar bland annat följande slutsatser från sina studier:

- Extrema högvattenstånd kommer troligen att bli allt vanligare i framtiden. Statistiskt sett kan vattenståndet förväntas överskrida 1,5 m över dagens medelvattenstånd i genomsnitt vartannat år runt år 2050.
- Den långsiktiga höjningen av medelvattenytan kommer sannolikt att leda till mer frekventa grundvattenöversvämningar, främst vid Skanörs Ljung samt vid gränsen mellan Skanör och Falsterbo längs Falsterbovägen.
- Inga direkta tecken på begynnande kusterosionsproblem har kunnat identifieras. Med reservation för kraftiga förändringar av vågklimat och/eller tillgängliga sandmängder kommer troligen inte några svårare kusterosionsproblem att uppstå inom de närmaste decennierna.

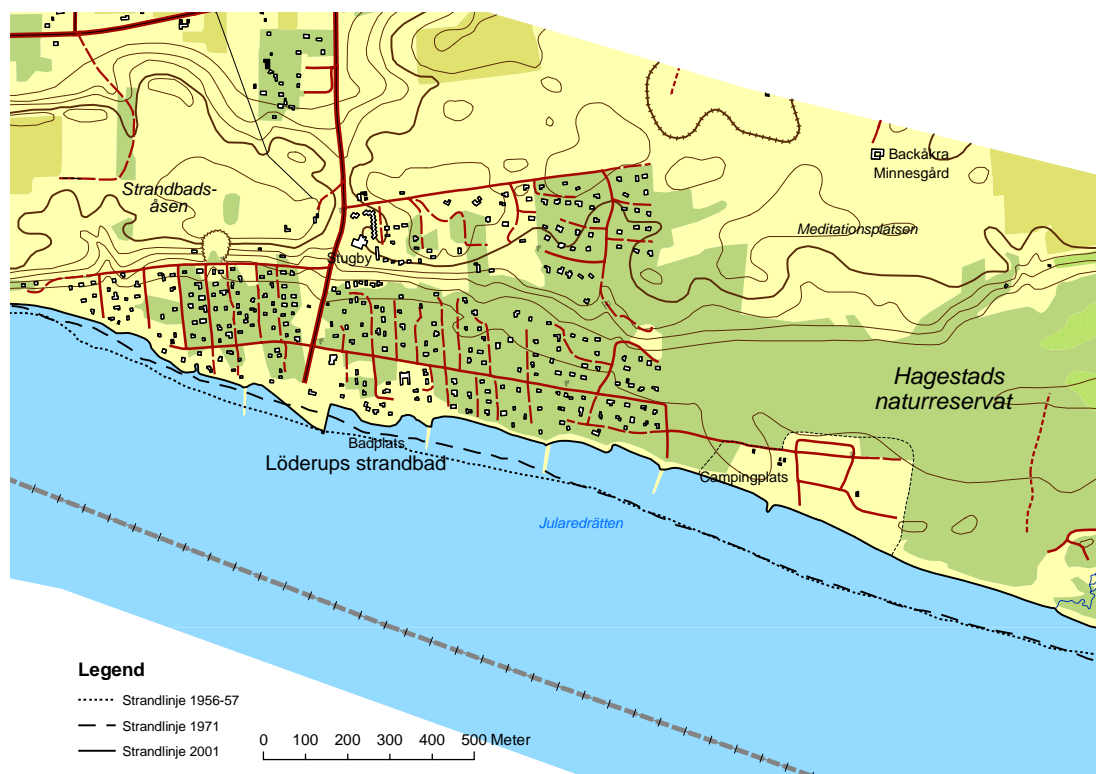
5.2 Kusten utanför Ystad

Problemen med stranderosion är störst i södra Sverige och mest frekventa längs Skånes sydkust. Stranderosion har här konstaterats sedan 1820-talet. En omfattande exponering från vind och vågor samt jordarter som är känsliga för erosion, gör att kusterna i Ystad kommun har fått omfattande skador under många år, framförallt vid Löderups strandbad och Ystads Sandskog. De svåraste skadorna har uppkommit vid högvattensituationer och sydostliga vindar, då strandlinjen förskjutits tiotals meter. Strandlinjens förskjutning mellan åren 1971 fram till 2001 har studerats av Rankka et al (2005). I Löderups Strandbad har exempelvis uppmätts en förskjutning av strandlinjen inåt land till följd av kraftig erosion på över 150 meter enbart under perioden 1971–2001, se **Figur 5-5**.

I områdena kring Ystad sker dessutom en landsänkning relativt havsnivån och denna effekt kommer att förstärkas till följd av klimatförändringar. Antalet stormdagar synes ha ökat under 1900-talet även om det statistiska underlaget är begränsat. Framtida förändringar av vindförhållandena är inte lika entydiga men i samband med högre vattennivåer finns risk för ökad erosion av stränderna.

Konsekvenserna för kustområdena längs Skånes sydkust kan komma att bli omfattande med de klimatscenarier som framtagits. Inom områden där inga byggnader eller anläggningar finns som är värda att bevara kan naturen ha sin gång och en kontinuerlig omvandling av landskapet genom erosion äga rum. Omfattande åtgärder erfordras däremot för bebyggda områden och infra-

struktur som skall bevaras. Det gäller att helst i samspel med naturliga förlopp säkerställa dyn-områden och stränder både för att motverka förlust av mark och för att förhindra översvämning av känsliga områden. Det finns även risk för saltvatteninträngning i brunnar för vattenförsörjningen.



Figur 5-5. Strandlinjens förändring vid Löderups Strandbad under perioden 1956/57 till 2001, efter Rankka et al, 2005.

5.3 Byälven

Byälven rinner i sydvästra Värmland mellan Glafs fjorden och Väneren. Älvens avrinningsområde omfattar cirka 4 800 km² vilka till största delen utgörs av oreglerade avrinningsområden men också av två reglerade kraftstationer i Jössefors och Glava.

Vid Glafs fjorden ligger Arvika, som under senhösten 2000 och efterföljande vinter översvämmades. Vattennivån steg mer än tre meter över medelvattenståndet, vilket fick konsekvenser för både infrastruktur och fastigheter i området. Ett omfattande arbete med invallning och pumpning krävdes för att förhindra stora negativa konsekvenser.

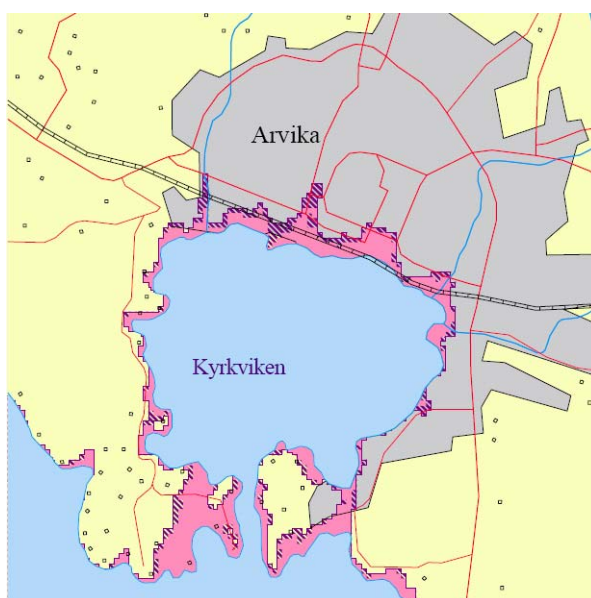
Översvämningen 2000 orsakades av en lång sammanhängande period med nederbörd. Under oktober och november föll 388 mm i Arvika, vilket är mer än 3 gånger den normala nederbördsmängden (Midböe och Persson, 2004). Svensson et al (2002) har analyserat översvämningens orsaker och effekter och värderat olika möjligheter att lindra effekter av liknande händelser i framtiden. Utredningen visar att orsaken till händelsen var ihållande, kraftiga regn i kombination med en begränsad avbördningskapacitet nedströms Glafs fjorden.

Midböe och Persson (2004) har utfört hydrauliska simuleringar av flödet i Byälvens nedre del. Syftet var att identifiera flödesbegränsande faktorer och att simulera förändringar av dessa för att beskriva ökad avbördningsförmåga i älven, vilket skulle minska sannolikheten för höga vattenstånd längre upp i älvsystemet. Simuleringarna har utförts i huvudsak för dagens klimatsituation men även för ett efterlikna tänkbara effekter av den globala uppvärmningen. Resultaten presenteras kort nedan.

Flöden vid dagens klimat

För att minska vattenståndet i Glafs fjorden och Säffle simulerades ett antal åtgärder såsom ökat flöde genom slussen i Säffle, ökat flöde genom dämnet i Säffle, ökad muddring och vidgning av Hökeströmmen. Med realistiska åtgärder kan en minskning med 50 cm erhållas av maxnivåerna i Glafs fjorden, jämfört med situationen 2000. Detta skall relateras till att vattenståndet under perioden 2000 var drygt 3 m över normalvattenståndet i Glafs fjorden och 1,9 m över vad som bedömts vara högsta acceptabla vattenstånd för att allvarliga skador skall uppstå (enligt Hydro Terra, 2002). Således är området runt Glafs fjorden även under dagens klimat och med realistiska åtgärder utsatt för översvämningsrisker.

Enligt den översiktliga översvämningskarteringen längs Byälven (Räddningsverket, 2002) ligger de flesta strandnära områdena runt Kyrkviken vid Arvika i översvämningszoner vid ett 100-årsflöde enligt dagens klimat, se **Figur 5-6**.



Figur 5-6. Översiktlig översvämningskartering runt Kyrkviken i Arvika. Efter Räddningsverket, 2002. (Copyright Räddningsverket).

Flöden vid ett framtida klimat

Simuleringar har även gjorts av Midbøe och Persson (2004) med avrinning och kraftstationstappning korrigerad för att efterlikna tänkbara effekter av den globala uppvärmningen. Resultaten visar på en kraftigt förvärrad översvämningsituation. Den maximala vattennivån i Glafs fjorden kan förväntas stiga till mellan 0,3 och 1,2 m, beroende på vilken klimatmodell och vilket klimatscenario som använts. Även för Byälven visar simuleringar på allvarliga konsekvenser med ett ökad vattenstånd av 60 cm. Osäkerheten i indata och skillnader i kalibreringsvärden för modellen ger stora osäkerheter i resultaten, men de visar ändå på att situationen längs Byälven och i Glafs fjorden kommer att förvärras i ett framtida förändrat klimat.

5.4 Klarälven

Klarälven, som rinner upp i Hedmark i Norge, och mynnar i Karlstad, är cirka 460 km lång. Avrinningsområdet utgörs av ett sprickdalssystem som domineras av skogs- och fjällmark. På flera ställen rinner älven i ett meandrande förlopp med erosion längs strandbrinkarna och sedimentation i lugnområden.

Jordlagren längs älven bildades i samband med och efter landisens tillbakadragande. Sand och silt avlagrades i dalgångens mitt av utmynnande isälvar och senare av den bildade Klarälven. Där älven mynnade i den dåvarande havsytan bildades deltan. I och med landhöjningen som startade efter isens tillbakadragande bildades nya deltan. När landet höjdes ytterligare eroderade älven i deltaområdena och så småningom bildades dagens älvfåra med branta brinkar och meandrande förlopp på ett flertal ställen.

Lindquist (2005) har utrett erosionsförhållandena vid Krusmon söder om Ambjörby i Torsby kommun och följande text är ett referat ur hans rapport.

Krusmon är det mest utvecklade meanderområdet i Klarälven. Älven gör här flera kraftiga svängar och erosion förekommer i brinkarnas ytterkurvor. Erosionen medför ständiga ras i brinkarna vilka har en brant lutning. Inom det erosionsdrabbade området ligger en spånskivefabrik och riksväg 62.

Erosionen påverkas av flödes hastigheten i älven, förekomst av erosionskänsliga jordar och av det meandrande förloppet. Vattenhastigheten och skjuvspänningen mot jordytan är olika i olika delar av älvfåran då denna går i ett meandrande förlopp. Den största skjuvspänningen uppstår i ytterkurvorna och den ökar vid ökad vattennivå.

Enligt den översiktliga översvämningskarteringen längs Klarälven (Räddningsverket, 2001a) ligger de flesta områden runt Ambjörby i översvämningszoner vid ett 100-årsflöde.

SWECLIM:s klimatscenarier (www.smhi.se), med RCAO-modellen utförda år 2002, visar för Klarälvdalen på en ökad årsnederbörd (varierar mellan 0 och 30 % beroende på antaget scenario) och att denna förväntas inträffa med en högre intensitet. Detta leder till ett ökat flöde och en högre vattennivå i Klarälven, vilket i sin tur leder till större sannolikhet för erosion, översvämnings, skred och ras.

5.5 Mälaren

Ändringar i vattennivån för Mälaren har stor betydelse för bebyggelse och infrastruktur i Stockholm och i andra kommuner belägna längs stränderna. Storleksordningen 2,5 miljoner människor lever i närheten av sjön och Mälaren är också vattentäkt för flera av kommunerna. Mälaren avvattnas till Östersjön via fyra utlopp varav två i centrala Stockholm. Den genomsnittliga höjdskillnaden mellan Mälaren och Östersjön är 0,66 m och för att erhålla en balanserad vattennivå är Mälaren reglerad. Det finns också luckor som begränsar inflödet från Östersjön till Mälaren när vattenstånden är högre i Östersjön.

Enligt Räddningsverkets översiktliga översvämningskartering för Mälaren (Räddningsverket, 2001b) framgår att stora områden kan komma att översvämmas under dessa förutsättningar, som baseras på nuvarande klimatförhållanden. En större avbördningskapacitet behövs för att angivna regleringsgränser skall kunna bibehållas. Kartläggningen är översiktlig och redovisas på kartor med översvämningszoner vid 100-års vattenstånd och beräknat högsta vattenstånd i Mälaren.

Kartorna redovisar emellertid inte förhållandena vid ett förändrat klimat. SMHI har inom SEAREG-projektet (se Staudt et al, 2004) studerat konsekvenserna av klimatförändringarna i såväl Östersjön som Mälaren. Dessa visar att årsrytmen i tillflödena till Mälaren ändras kraftigt. Året kommer att karakteriseras av två säsonger, en blöt vinter och en längre och torrare sommarsäsong jämfört med dagens klimat. Man kommer troligen att under den blöta perioden uppleva fler perioder med höga nivåer. Låga nivåer under den torra perioden kommer förmodligen också bli mer av ett problem.

Trots regleringen översteg vattenståndet under vintern 2000-2001 den högsta föreskrivna nivån i regleringsbestämmelserna. Studier vid Rossby Centre på SMHI (Graham et al, 2005) indikerar

att det framtida inflödet till Mälaren kan komma att bli högre än vad det är idag, något som skulle kunna innebära ännu högre vattennivåer i Mälaren.

En omfattande översvämning av Mälarens stränder kommer att få konsekvenser för infrastruktur och bebyggelse. Händelsen år 2000/01, då nivån översteg tillåtna gränser, var inte särskilt anmärkningsvärd; liknande och till och med värre situationer har inträffat flera gånger förut. En översvämning idag kommer emellertid att få mycket större konsekvenser än en översvämning under första hälften av 1900-talet eftersom stränderna kring Mälaren idag är mer bebyggda än tidigare. Ytterligare ett förhållande som gör Stockholm mera sårbart idag att infrastrukturen inte är anpassad till potentiella översvämningar.

En av orsakerna till att översvämning uppstår är att avbördningen genom sjöns utskov är för liten. Att försöka skydda Stockholm mot vattnet med hjälp av skyddsmurar och invallning skulle sannolikt bli alltför kostsamt. Ett alternativ som finns är att öka avtappningskapaciteten genom slussarna.

Sammantaget innebär detta att ett förändrat klimat kan komma att, utöver områden som översvämmas, också ge ökade vattennivåer och ökad avrinning vilket kan medföra risk för större erosion längs stränder och vid utloppen till Östersjön. Omfattningen av denna erosion är inte känd. I den inventering av stranderosion som SGI för närvarande genomför kommer strandområdena kring Stockholm och Södertälje att redovisas under hösten 2005 och övriga stränder kring Mälaren under 2006.

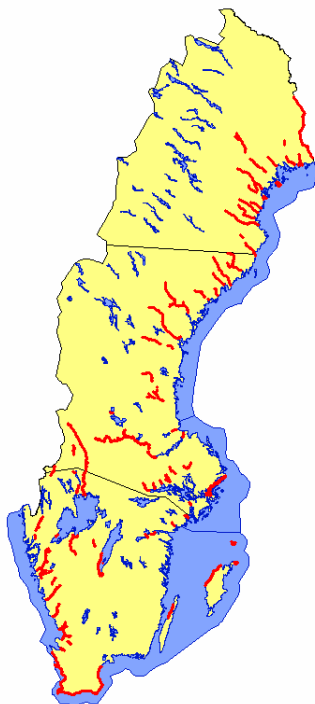
6 OMFATTNING, REGIONAL FÖRDELNING OCH KONSEKVENSER

6.1 Erosionskänsliga områden i Sverige

Erosion i slänter förekommer framförallt i områden med brant lutning och där jorden består av siltig eller sandig morän eller finkorniga sediment, så som silt och finsand. Dessa förhållande är vanliga i Sverige, exempelvis längs dalgångar, fjällsluttningar och i kust- och sjöområden.

Stranderosion förekommer såväl längs landets havskuster och sjöstränder som längs vattendrag. Dessutom förekommer erosion genom avrinnande ytvatten och grundvattenströmning. Erosionsförloppen har beskrivits närmare i Kapitel 3.

Det saknas för närvarande en helhetsbild av den totala omfattningen av erosion i Sverige. En översiktlig bild av var erosion kan förekomma framgår av **Figur 6-1**. På uppdrag av SGI gjorde Sveriges geologiska undersökning (SGU) en sammanställning av områden med risk för erosion med utgångspunkt från de geologiska förhållandena. I rapporten har hänsyn inte tagits till förväntade klimatförändringar.



Figur 6-1. Områden med risk för erosion. (Sveriges geologiska undersökning, 2003)

Härav framgår att förutsättningar för stranderosion föreligger inom flera områden över hela landet såväl längs kuster som vattendrag. SGI har inom flera av dessa områden kommit i kontakt med erosionsfrågor i samband med bland annat ras och skred, vid konstruktioner i vatten och i samband med fysisk planering vid vattenområden.

För att få en uppfattning om stranderosionens omfattning har SGI som samordningsansvarig myndighet påbörjat en översiktlig kartläggning av stranderosion längs landets havskuster. Avsikten har varit att sammanställa ett underlag till grund för bedömning av omfattningen av stranderosion, behov av förstärkningsåtgärder och underlag för fysisk planering.

Kartläggningen baseras dels på inventering av kända erosionsförhållanden med utgångspunkt från uppgifter lämnade av berörda kommuner, dels en kartläggning över var förutsättningar för stranderosion i övrigt kan finnas med utgångspunkt från de geologiska förutsättningarna.

Inventeringsarbetet har hittills genomförts för kuststräckan från norra Bohuslän, via sydkusten och upp till Kalmar län samt Öland och Gotland. Kartläggningen pågår och fortsätter norrut längs Östersjökusten. Samtliga kuststräckor bedöms vara inventerade under 2006. Resultaten visar att av de kuststräckor hittills undersökts finns förutsättningar för stranderosion främst i Halland, Skåne, på Öland och Gotland. Hänsyn har inte tagits till framtida klimatförändringar i denna sammanställning.

6.2 Områden känsliga för översvämningar

Flera platser i Sverige har drabbats av översvämningar de senaste åren. I **Tabell 6-1** ges exempel på några av dessa områden. Efter översvämningarna sommaren 2004 har på uppdrag av regeringen länsstyrelserna i Jönköpings län, Kronobergs län och Västerbottens län, Räddningsverket och Statens geotekniska institut redovisat sina erfarenheterna av händelserna. I rapporterna (Länsstyrelsen i Jönköpings län, 2004, Länsstyrelsen i Kronobergs län, 2004, Länsstyrelsen i Västerbottens län, 2004, Räddningsverket, 2004, Statens geotekniska institut, 2004) framgår bland annat att för främst kommunerna Värnamo, Alvesta och Ljungby kom vattennivåerna upp till motsvarande 25- års flöden och ställde till skador hos enskilda och samhällets infrastruktur. Översvämningarna berodde på stora nederbördsmängder, upp till mellan 150 och 200 mm, som föll under några dagar. I Jönköpings län var det Lagans avrinningsområde som drabbades värst men mycket höga nivåer noterades också bland annat i Huskvarnaåns, Nissans och Emåns flöden. Ovädren medförde omfattande och kostsamma översvämningar framför allt i Värnamo och Sävsjö kommuner.

Tabell 6-1. Exempel på områden som drabbats av översvämningar de senaste åren (se bland annat SMHI:s hemsida, www.smhi.se)

Område	År	Vattenområde	Övrigt
Arvika	2000	Glafs fjorden	Vattenståndet nådde rekordnivå
Kristianstad	2002	Hamarsjön och Helge å	
Mälaren	2002	Mälaren	Högsta nivån på 40 år (Mannheimer et al, 2004)
Ljungby	2004	Lagan	
Värnamo	2004	Lagan	
Södra Lappland	2004	Umeälven (hela sträckan) Vindelälven (hela sträckan) Ångermanälven (övre delen)	Vindelälven är oreglerad medan de två andra är reglerade
Göteborg	2005	Göta älv	Höga vattenstånd under stormen Gudrun

Stora nederbördsmängder drabbade även södra Lappland och främst Umeälven och Vindelälven drabbades av höga flöden. I den övre delen av Umeälvens tillrinningsområde föll ca 180 mm regn under perioden vilket kan jämföras med den normala månadsnederbörd på ca 40 mm. I de reglerade vattendragen fylldes utjämningsmagasinen och tappning var nödvändig. Översvämningar drabbade inte bara samhällen utan även bönderna som fick problem med förorenat vatten och översvämmande åkrar. I takt med att vattennivåerna sjönk konstaterades tilltagande risker för ras längs strandbrinkarna och i vissa områden infördes restriktioner för att säkra människor mot olyckor.

Översvämningar kan även inträffa vid kraftig pålandsvind. Detta inträffade senast under stormen Gudrun i januari 2005, då bland annat Göteborg och Falkenberg fick höga vattenstånd. Vattnet vid Tingstadstunneln i Göteborg var endast en decimeter från att rinna in i tunneln och

Götatunneln, som nu byggs, var endast fyra-fem decimeter från att vattenfyllas (Hellgren, 2005).

I Jönköping stiger vattennivån i Vättern med 1,4 mm/år (Persson, 2005) på grund av att landhöjningen är större i norra änden än i södra änden av Vättern. Detta i kombination med ökade förväntade flöden i vattendrag kan ge ökad erosion längs stränderna i södra Vättern.

Frekvensen av översvämningar har minskat under andra delen av 1900-talet på grund av de stora vattenregleringarna i Norrlandsälvarna och i de stora mellansvenska sjöarna (Mannheimer och Svensson, 2004). Det är speciellt vårflodsöversvämningarna som dämpats medan det vid kraftiga sommar- och höstregn finns en liten säkerhetsmarginal eftersom regleringarna syftar till att fylla magasinen inför vintern. Ett ökad flöde och en förändring i tiden av flödestopparna (till att även inträffa på hösten) innebär att marginalerna i dagens dammar kan vara för snåla.

6.3 Konsekvenser för och anpassning av samhället

SGI har med utgångspunkt från geotekniska förhållanden studerat hur klimatförändringar påverkar olika delar av samhället och vilket kunskapsbehov som föreligger (Rydell et al, 2003). En översikt har också gjorts av Rummukainen et al. (2005a). SGI har också redovisat en nationell översikt avseende området stranderosion samt inriktningen av institutets arbete som samordningsansvarig myndighet inom detta område (Rydell, 2003). Dessa rapporter ligger till grund för den sammanfattande beskrivningen nedan.

Strandnära områden

Kustområden och övriga strandnära områden är attraktiva för både bebyggelse, fritidsändamål och näringslivet. Trots att stora områden flera gånger drabbats av översvämningar och stranderosion har efterhand nya byggnader och anläggningar tillkommit nära stränder. Höga och extrema flöden i vattendrag är sällsynta men de senaste årens översvämningstillfällen visar att stora problem kan uppstå och att även nyuppförd bebyggelse på flera håll lokaliserats till områden som kan drabbas av översvämningar. Flera städer ligger på låglänta, strandnära områden vilket gör att risken för översvämning är stor. Enligt SCB ligger 426 000 (cirka 12 %) av Sveriges totalt 3,5 miljoner byggnader inom 100 meter från kust- eller strandlinjen (Mannheimer och Svensson, 2004). Samhället har blivit mer sårbar för dessa händelser och medvetenheten är många gånger inte tillräcklig bland beslutsfattare och allmänhet.

Strandnära områden är mycket känsliga för hur klimatet varierar och det är då nödvändigt att ta hänsyn till framtida förhöjda havsnivåer, bland annat på grund av den globala uppvärmningen, men också ökade vindhastigheter och vågor.

Kustlandskapet rymmer stora sociala och ekonomiska värden. Dessa förhållanden har t.ex. studerats för Ystad kommun (Jönsson och Lindberg, 2003). I studien påpekas att kustlandskapet är en viktig del av Ystads kollektiva identitet och att kusten är en tillgång för Ystad kommun. De ekonomiska aspekterna visar sig bland annat genom att taxeringsvärdet på fastigheter påverkas kraftigt av närheten till kusten och att arbetstillfällen genereras av turism och andra kustrelaterade aktiviteter. Studien pekar på behov av bedömningar och prognoser av strandlinjens förändring så att kustlandskapet kan utnyttjas och skyddas på bästa sätt.

När klimatet ändras kan olika intressen komma i konflikt, till exempel kraftindustrins dammläggningar eller sjöregleringar, där behov av ändrad avbördning och vattennivåer kan påverka bebyggelsen runt stränderna. Vid de stora regnmängderna för några år sedan i Vänerens omgivning ställdes detta på sin spets. Riskerna för skred i Götaälvdalen genom en ökad avtappning av stora flöden måste då vägas mot konsekvenserna av höga nivåer runt Vänerens stränder. Det finns liknande förhållanden på flera ställen i landet, bland annat längs Dalälven och runt Mälaren, där inte minst Stockholm berörs, jämför avsnitt 5.5.

Fysisk planering och bebyggelse

Klimatförändringar kommer att i många områden leda till ökad nederbörd och ökad risk för erosion, ras och skred. Stabiliteten hos slänter är i hög grad beroende av grundvattennivån och jordens portryck och därmed kan en ökning av nederbörden, och motsvarande höjning av grundvattennivån, innebära att slänter, som idag har godtagbar stabilitet, blir instabila och leda till erosion, ras eller skred. Problemen med ras och skred beskrivs närmare av Hultén et al (2005).

Problemen med höga portryck och försämrad stabilitet kan accentueras ytterligare genom att en stor del av nederbördsökningen i form av regn förväntas ske under vintern, när avdunstningen är låg och grundvattenbildningen hög. En hög grundvattennivå innebär att vattnet har sämre förmåga att infiltrera ner i jordlagren och därmed kommer en större del att rinna av på ytan, vilket ökar risken för erosion. Möjligheten för erosion påverkas i hög grad även av om marken är skyddad av vegetation. I ett förändrat klimat kan vegetation komma att förändras både när det gäller naturliga arter, utbredning och dessas växtsäsong. En ökat förekomst av lämplig vegetation kan minska erosionen samtidigt som exempelvis högre och större träd verkar hämmande på en tät, och på det sättet skyddande, markvegetation.

Klimatscenerierna visar på ett varmare klimat där nederbörden i de flesta områden ökar genom färre men mer intensiva regn. Det innebär troligen att perioderna mellan nederbördstillfällena blir fler och längre. I sydöstra Sverige förutspås en minskad nederbörds mängd och därmed ett torrare klimat. Detta kan leda till att jordlagren närmast markytan torkar och att infiltrationskapaciteten därmed minskar. Om ett intensivt regn faller över en uttorkad jordyta blir ytvattenavrinningen stor och de eroderande krafterna på jordpartiklarna stora. Erosion ökar därmed.

Allt detta ställer krav på en fysisk planering som på allvar tar hänsyn till Plan- och bygglagens krav på att bebyggelse skall "lokaliseras till mark som är lämpad för ändamålet" (PBL 2, kap 3§).

Teknisk infrastruktur

Många delar av samhällets tekniska infrastruktur berörs av klimatförändringar som till exempel vägar, järnvägar, vatten- och avloppsförsörjning, sjöfart, luftfart och energianläggningar. De delar av infrastrukturen som är viktigast att anpassa till klimatförändringar är de som medför störst skador vid olyckor samt långsiktiga anläggningsinvesteringar som skall finnas under lång tid.

Samhällets infrastruktur drabbas ofta hårt vid översvämningar. Avskurna vägar och bortspolade broar medför att vägar och järnvägar måste stängas för trafik under lång tid. Utrymning av människor och transport av utrustning och reparationsmaterial till insatsområden fördröjs eller kan komma att förhindras helt. I broar finns ofta ledningar för elförsörjning och telekommunikation och slås dessa ut är situationen allvarlig eftersom de drabbade isoleras från omvärlden.

Vägnätet påverkas också av ändrade vattenförhållanden och måste dimensioneras efter hur klimatet varierar. Vägverket har efter inventering av totalt 200 skadefall, som inträffat mellan 1995 och 2002, konstaterat att "betydande delar av vägnätet har ur stabilitetssynpunkt inte dimensionerats för förhöjda portryck som uppstår efter långvariga regn" och att "skredrisken efter långvariga regn är oacceptabelt hög..." (Vägverket, 2002).

Förekomst av tjäle och tjälperiodens längd påverkar såväl avrinning som grundvattenbildning. Ökad medeltemperatur kommer att minska snösäsongens och på sikt tjälperiodens längd och dess fördelning över året och därmed grundvattenbildningen och avrinningsförhållandena

Ökad nederbörd medför större vattenavrinning samt högre yt- och grundvattennivåer, som ställer krav på fungerande avvattningssystem, i annat fall kan detta innebära överspolning, erosion, skred eller ras i branta slänter. Trummor och broar måste kunna släppa igenom tillräckligt med vatten under extrema förhållanden så att framkomligheten kan upprätthållas.

I kommunerna är dagvattensystemens dimensionering och kapacitet kritiska faktorer för att begränsa skadorna vid extrem nederbörd. Redan idag leder underdimensionering till stora skador och kostnader för försäkringsbolag och enskilda. Om frekvensen av extrem nederbörd ökar i ett framtida klimat så får detta omedelbart återverkningar på denna typ av problem. Översvämningar kan också drabba det kommunala vattenförsörjningssystemet genom att råvattentäkten, grund- som ytvatten, förorenas eller att själva reningsverket slås ut på grund av olämplig placering.

Översvämningar kan ge upphov till erosion, ras och skred. Effekterna kan bli allvarliga. I bebyggda områden kan infrastrukturen drabbas, byggnader raseras och vattnet grumlas så att dricksvattenintag måste stängas.

När jordbruks- och skogsområden läggs under vatten kan markägare drabbas av stora kostnader på grund av förstörda skördar och bortspolad jordmån. Risken finns att översvämningar förändrar området för lång tid.

Anpassningsbehov i samhället

SMHI (Rummukainen et al., 2005b) har på uppdrag av Naturvårdsverket genomfört en kartläggning av hur olika aktörer i samhället har börjat arbeta med anpassningsåtgärder med hänsyn till förväntade klimatförändringar. Här framgår att bland annat att det finns ganska få konkreta åtgärder som planerats eller genomförts när det gäller anpassning till klimatförändringar.

Klimatfrågans betydelse för den fysiska planeringen diskuteras på många håll, men än finns det få konkreta analyser. Remissbehandling och bedömning av anslag för förebyggande åtgärder mot naturolyckor har i viss mån belyst frågorna. Några nationella scenarier om vad som skulle kunna hända har dock inte arbetats fram än. Räddningsverket genomför översiktlig översvämningsskartering, som dock utgår från dagens klimatvariabilitet och inte tar hänsyn till eventuella effekter av klimatets förändring.

Flera kommuner som drabbats av översvämningar avser att utreda effekterna av en framtida höjning av havsnivån för att minska risken för översvämningar, dock utifrån dagens hotbild. Länsstyrelser arbetar med regionala risk- och sårbarhetsanalyser, men dessa är inte alltid kopplade till frågan om klimatförändringar. Även i detaljplaner och översiktsplaner bör kommunerna ta hänsyn till kommande förändringar i högvattennivåer och högvattenflöden i ett 100-års perspektiv.

För att förebygga risker i översvämningshotade områden bör ett samarbete etableras mellan regioner eftersom frågorna ofta berör flera kommuner och länsstyrelser. På den lokala nivån kan nivåvärdena för lägsta golvnivå behöva anpassas till 100-årsflöden och extremvärden för vattenståndet i sjöar och hav.

Torrare somrar och ändringar i havsnivån kan påverka risken för saltvatteninträngning till vattentäkter och VA-nät. I samband med översvämningar kan också miljöfarliga ämnen komma i omlopp när industriområden och deponier berörs. Denna risksituation behandlas i en separat rapport (se Nilsson et al, 2005).

7 KUNSKAPSBEHOV

De scenarier till klimatförändringar som presenteras ger anledning till frågor hur skadliga konsekvenser för miljö, samhälle, näringslivet och allmänheten kan förebyggas eller mildras. Fokus på mark- och vattenfrågor bör främst läggas på ett lokalt eller regionalt perspektiv. Generellt gäller behovet av en samhällsutveckling som kännetecknas av en övergång till energisystem med minskad användning av fossila bränslen, en anpassning på kort och lång sikt till ett förändrat klimat samt att människors livsstil och beteende till följd av detta kommer att förändras. Här finns behov av att dels föra ut dagens kunskap till de som är berörda, dels att ta fram ny kunskap för att kunna förebygga och anpassa samhället till klimatförändringarna.

Klimatförändringar kommer att påverka alla samhällssektorer i varierande grad. SGI:s utredning gör inte anspråk på att belysa behoven av kunskap och forskning inom alla dessa sektorer utan förutsätter att andra forskningsområden identifierar sina behov. Huvuddelen av klimatfrågorna med koppling till mark och vatten har betydelse för offentliga verksamheter som myndigheter, kommuner, länsstyrelser, räddningstjänsten etc. men även för kraftföretag, näringslivet och försäkringsbranschen. En utvidgad dialog och samarbete mellan olika discipliner är nödvändigt för att få en samlad bild och effektivt angreppssätt för olika samhällssektorer. Detta gör att slutanvändarna måste medverka i att klargöra problemställningar och bidra till lösningar.

7.1 Förmedling och tillämpning av befintlig kunskap

En annan viktig aspekt är att redan nuvarande klimatförhållanden motiverar insatser inom flera av de identifierade problemområdena nedan. Detta medför att förmedling av dagens kunskap är väsentlig för att på kort sikt kunna vidta åtgärder mot skadliga konsekvenser av extrema väderförhållanden. Med utgångspunkt från dagens kunskap finns ett antal angelägna åtgärder som bör vidtas.

Klimatanpassning i fysisk planering

Konsekvenserna av klimatförändringar bör beaktas bland annat i översikts- och detaljplanering liksom vid planering av energiförsörjning, vägar och järnvägar. Byggnader och infrastruktur har ofta en livslängd på 100 år eller mer. Hänsyn till detta måste tas vid samhällsplanering och exploatering. En angelägen fråga när det gäller strandnära områden är genomförandet av en integrerad förvaltning av kustområden i Europa enligt rekommendation från Europaparlamentet och rådet (EU, 2002) och hur en nationell strategi kan utvecklas. Kommuner och länsstyrelser är här viktiga aktörer.

För befintlig bebyggelse och befintliga anläggningar bör riskerna vid extrema väderförhållanden i dagsläget bedömas och eventuella åtgärder vidtas för att förhindra skador.

Planerings- och beslutsunderlag

För att tidigt kunna ta hänsyn till risker för naturolyckor i planprocessen – idag och vid förväntade klimateffekter – krävs bättre planeringsunderlag, bland annat genom sammanställning, värdering och förmedling av befintliga förhållanden i mark och vatten. Det finns hos statliga myndigheter, länsstyrelser och kommuner ett omfattande material om olika förhållanden som är relevanta vid naturolyckor. Den som behöver uppgifter i ett akut läge eller i samband med samhällsplanering saknar emellertid ofta kunskap om var data finns och informationen är ofta spridd på olika förvaltningar eller avdelningar inom olika organisationer. Det finns ett stort behov av att klargöra vilken information som finns och att göra den lätt tillgänglig för användarna, förslagsvis genom digitala databaser integrerade i organisationernas GIS-system.

Naturolyckor bör även redovisas i de handlingsprogram som kommunerna skall upprätta för den förebyggande verksamheten i arbetet med skydd mot olyckor. Riskfaktorer behöver identifieras och förslag till åtgärder för att förebygga och motverka skador sammanställas.

SGI har en strategi för hur geotekniska data kan göras tillgängliga och har för regeringen föreslagit en satsning för detta, exempelvis en översiktlig kartdatabas över skredförutsättningar i ler- och siltjordar. Ett annat exempel är att SGI, inom ramen för samordningsansvaret för stranderosion, för närvarande gör en översiktlig kartläggning av kuststräckor med erosionskador och kuststräckor med naturliga förutsättningar för stranderosion. Informationen är samlad i en databas som kan samordnas med annan planeringsinformation. Denna kartläggning är ett annat exempel på nödvändigt planeringsunderlag för att tidigt kunna ta hänsyn till förutsättningar och risker för naturolyckor i samhällsplaneringen.

7.2 Behov av forskning och utveckling

Inledning

Det finns ett behov av ytterligare kunskap när det gäller hur de förväntade klimatförändringarna kommer att påverka förutsättningarna för erosion och översvämning. Med utgångspunkt från förväntade förändringar av exempelvis vattenstånd och grundvattennivåer, behöver metoder utvecklas bland annat för att riskområden skall kunna identifieras och nya dimensioneringsregler skall kunna fastställas. Grundläggande forskning krävs bland annat om hur olika jordars egenskaper påverkas av ett förändrat klimat.

Forsknings- och utvecklingsbehovet är även ett globalt intresseområde. Inom EU:s arbete med en tematisk markstrategi (EU, 2004) har bland annat identifierats ett antal områden i behov av forskning och utveckling. När det gäller erosion och översvämningar handlar det främst om de drivande krafterna bakom processerna, metoder för mätning och övervakning, jordars egenskaper vid förändrade vattenförhållanden samt kunskapsförmedling och utbildning och ökad medvetenhet hos flera grupper i samhället.

Vid byggandet av nya vägar och bebyggelse måste en anpassning till ett förändrat klimat göras. Detta kan bland annat innebära att större varsamhet måste tas vid arbete i erosionskänsliga jordar, att avledning av ytvatten måste tillses i större utsträckning, extra säkerhetsmarginaler måste användas etc.

Forsknings- och kunskapsbehovet inom det geotekniska området kan indelas i sex delområden: bestämning av lasteffekter, förändring av jordars egenskaper, översiktlig kartering av känsliga områden, riskanalys och riskvärdering, metoder för mätning och övervakning samt förebyggande och stabiliserande åtgärder.

Bestämning av lasteffekter

I ett inledningsskede bör en bestämning av "lasteffekter" utföras. Med lasteffekter menas här storleken på de förändringar som kan förutses eller alternativt antas. En förändrad nederbörd och temperatur kommer att påverka grundvattenförhållanden och markfuktigheten. Storleken på dessa förändringar i olika typer av jordar och grundvattenmagasin behöver modelleras och analyseras. Vågor och strömmar kommer sannolikt att förändras i framtiden. Storlek och riktningar måste studeras, modelleras och analyseras. Beräkningsmodeller och analysverktyg behöver i vissa fall kalibreras mot både nuvarande svenska förhållanden och nya klimatförhållanden. Sannolikheten för höga vattenstånd i samband med höga flöden i vattendrag behöver klargöras. Hydrauliska simuleringar måste utföras där effekter av olika åtgärder kan analyseras, liksom sannolikheten för höga vattenstånd i kombination med kraftiga vindar. Förändringar av vegetation på grund av ett varmare, fuktigare (alternativt torrare) klimat och ett förändrat nederbörds-mönster måste analyseras. Nya arter, dessas täckningsgrad, effekter vid skogsbruk samt skötsel av vegetationen för att minska ytavrinningen behöver studeras.

En bestämning av lasteffekter kräver forskning, utveckling och samverkan mellan olika myndigheter och organisationer. En förutsättning för ett bra resultat i detta arbete är tillgång till detaljerade regionala klimatscenarier.

För både enkla uppskattningar och avancerade beräkningar av lasteffekter är det värdefullt med noggranna mätningar vid dagens förhållanden. Tillräcklig statistisk saknas ofta och mätningar är dyrbara. Nya beräkningsmodeller och analysverktyg behöver tas fram för alla effekter.

Förändring av jordars egenskaper vid ett förändrat klimat

De identifierade lasteffekterna kommer att leda till en påverkan på jordmaterialet. Grundläggande forskning krävs för att klargöra hur erosionsprocesserna påverkas av lasteffekterna. För att nå framgång i denna forskning krävs samverkan mellan flera discipliner, så som hydrologi, geoteknik, geohydrologi, meteorologi, jord- och skogsbruk.

Översiktlig kartering av områden känsliga för erosion och översvämning

När lasteffekter av klimatförändringar är klarlagda bör en översiktlig inventering av områden som kan vara känsliga för erosion och översvämning göras med utgångspunkt från storleken på förändringar av nederbörd, yt- och grundvattenförhållanden, vind, strömmar, vågor och temperatur.

Detta är en kompletterande del i det arbete som pågår med att kartera risker för naturolyckor för dagens klimat. I detta sammanhang genomför Räddningsverket en översiktlig kartläggning av stabilitetsförhållandena inom bebyggda områden och en översiktlig översvämningsskartering längs vattendrag. SGI utför en översiktlig inventering av stranderosion och har även utvecklat en prototyp för en nationell kartdatabas över förutsättningar för ras och skred.

Detta är ett stort och omfattande arbete och avgränsningar måste med nödvändighet göras i mindre, väl definierade projekt, till exempel kuststräckor, vägar/järnvägar, byggnader, släntstabilitet etc. Sannolikt kan man även göra geografiska indelningar, där landet kan delas in i områden där större eller mindre påverkan av klimatförändringar kan förväntas. På så sätt kan en prioritering göras, på liknande sätt som idag görs vid skredriskkarteringar. I de områden som i den översiktliga inventeringen visar på förekomst av risker, bör en detaljerad kartering utföras.

Risikanalys och riskvärdering

Risk används normalt för att beskriva framtida osäkra händelser. En identifiering av risker samt en bedömning av risknivåer behandlas normalt i en riskanalys. I riskanalysen söker man svar på frågorna vad som kan hända och hur troligt detta är. Traditionell riskbedömning inom riskanalys utgår i regel från definitioner av risk som innebär en kombination av sannolikhet och konsekvens (Davidsson et al, 2003). Vanligt är att man uttrycker det matematiskt som produkten av sannolikheten för och konsekvensen av en oönskad händelse.

Många svårigheter föreligger dock vid omsättning av denna i praktiken, inte minst när det gäller naturolyckor. Exempelvis är det inte helt enkelt att objektivt uttrycka alla konsekvenser i jämförbara enheter och att jämföra konsekvenser av skilda slag. Bestämning av sannolikheten kan också medföra svårigheter och lämpliga metoder finns inte inom alla områden. Den översiktliga översvämningsskarteringen utförs dock med en statistisk metod där sannolikheten för två olika flöden redovisas.

En annan viktig frågeställning är kombinerade risker, exempelvis geotekniska risker och miljörisker. Otillfredsställande stabilitet och erosion i strandnära områden med förorenad mark förstärker riskbilden. Situationen föreligger redan idag och kan förväntas bli än mer accentuerad vid en förändrad klimatsituation. Metoder för identifiering och värdering av kombinerade risker bör tas fram och detta arbete kräver samarbete mellan olika myndigheter och kompetenser.

Det finns således ett behov av att utvärdera/utveckla metoder för riskanalys och värdering av risker för området erosion och översvämning vid ett förändrat klimat. Metoder behöver tas fram för att bedöma osäkerheten vid beskrivningar av konsekvenser och sannolikhetsberäkningar. Identifiering och värdering av risker kan göras för olika samhällssektorer som bebyggelse, transportsystem, strandnära områden och förorenad mark. Skillnader i olika delar av landet bör studeras.

Metoder för mätning och övervakning

Befintliga metoder behöver vidareutvecklas och nya metoder tas fram för mätning och analys av data nödvändiga för riskvärdering, beslut om förebyggande åtgärder eller fysisk planering inom området erosion och översvämning. Metoder behövs både för information om dagens situation och för övervakning av förändringar.

Här finns behov av dels metoder som ger en yttäckande information om exempelvis topografin på land och under vattenytan. Det handlar om geofysiska metoder, flygbaserad laserteknik, satellitteknik, flygfotoanalys etc.

Det krävs metoder som kan mäta och övervaka förändringar av specifika parametrar, som portryck, grundvattennivåer, flöden, föroreningar, tjäle, havsvågor, strömmar, sedimenttransport och markfuktighet.

Det är dessutom viktigt att ny teknik som utvecklas och nya metoder som kommer ut på marknaden, testas och att erfarenheterna förmedlas till berörda aktörer i samhället.

Förebyggande och stabiliserande åtgärder

Efter att områden med risk för erosion och översvämning har identifierats utförs systematiska analyser för att värdera konstruktionernas känslighet för prognostiserade förändringar, samt, vid behov förslag till förbättringsåtgärder. I detta sammanhang är det viktigt att ge utrymme för såväl beprövade metoder som nya oprövade metoder.

Utifrån behov relaterade till klimatförändringar finns behov av utprovning och utvärdering av nya metoder för förstärkning av olika konstruktioner. Långt ifrån alla befintliga konstruktioner är dimensionerade med sådan säkerhetsmarginal att de kan under acceptabla förhållanden utsättas för det tillskott i lasteffekt som klimatförändringarna kan ge upphov till. Det kommer således att uppkomma ett behov av effektiva och väl fungerande förstärkningsmetoder.

7.3 Kunskap för ett hållbart samhälle

Anpassning till klimatförändringar berör de flesta samhällssektorer och ekosystem. En viktig fråga är begreppet systemtänkande som omfattar kopplingen mellan arbetet med att begränsa och minska de klimatpåverkande utsläppen, generell miljövard och åtgärder för samhällets anpassning till klimatförändringar.

Agerandet i klimatfrågan måste således baseras på kunskaper om hur klimatet utvecklas och hur det påverkas - såväl av naturliga faktorer som mänskliga aktiviteter. För att åtgärder och anpassning ska kunna komma till stånd behövs ytterligare informations- och kunskapsuppbyggnad i samhället. En tydlig dialog mellan forskare, beslutsfattare, myndigheter, företag och allmänheten krävs för att kunna genomföra en effektiv och nödvändig förändringsprocess. Forskning och ökad kunskap om konsekvenser, som kan leda till bättre anpassning och vidtagande av åtgärder, kan mildra överraskningarna och därmed väsentligt minska samhällets kostnader. Det är alltså viktigt att ta klimatförändringarna på allvar – både på kort och lång sikt för att kunna bygga ett hållbart samhälle. Myndigheter, kommuner och industrin bör därför skaffa sig insikt om förhållanden som berör det egna ansvarsområdet, bygga upp kunskap och avsätta resurser för att bedöma risker och genomföra erforderliga åtgärder.

REFERENSER

- Andréasson, J., S. Bergström, Carlsson, B., Graham, L.P., Lindström, G. (2004).** Hydrological Change - Climate Change Impact Simulations for Sweden. *Ambio* 33(4-5): 228-234.
- Bergström, S., Brandesten, C-O., Mill, O., Sjödin, G. (2005).** Dammsäkerhet. Dimensionerande flöden för stora sjöar och små tillrinningsområden samt diskussion om klimatfrågan. Elforsk AB. Rapportnummer: 05:17. Stockholm.
- Blomgren, S., Hanson, H. (1999).** Hydrografiska och morfologiska processer runt Falsterbohalvön. Nuvarande situation, framtida scenarier och föreslagna åtgärder. Rapport 3226. Institutionen för teknisk vattenresurslära. Lunds Tekniska Högskola. Lund.
- Church, J.A., Gregory, J.M., Huybrechts, P., Kuhn, M., Lambeck, K., Nhuan, M.T., Qin, D., Woodworth, P. (2001).** Changes in Sea Level. In: Houghton, J.T. et al (eds). *Climate Change 2001. The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press. Cambridge.
- Davidsson, G, Haeffler, L., Ljungman, B., Frantzych, H. (2003).** Handbok för riskanalys. Räddningsverket. Karlstad.
- EEA (2004).** Mapping the impacts of recent natural disasters and technological accidents in Europe. Environmental issue report No 35, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.
- EU, (2002).** Genomförandet av en integrerad förvaltning av kustområden i Europa. Rekommendation från Europaparlamentet och rådet (2002/413/EG).
- EU, (2004).** The Thematic Strategy for Soil Protection. Reports of the Technical Working Groups. EUR 21319 EN/1.
- Eklberg, L., Harrami, O., Åkesson, O. (1995).** Utvärdering av den kommunala räddningstjänsten i samband med översvämningarna våren 1995. Publikation P22-115. Räddningsverket. Karlstad.
- Graham, L.P., Andréasson, J. och Persson, G. (2005).** Impacts of future climate change and sea level rise in the Stockholm Region: Part I - The effect on water levels in Lake Mälaren. Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut. Norrköping.
- Hadley Centre (2005).** Hadley Centre for Climate Prediction and Research, Met Office, UK, www.met-office.gov.uk/index.html
- Handboken Bygg, (1961).** Byggmästarens förlag. Stockholm.
- Hanson, H., Larson, M. (1993).** Sandtransport och kustutveckling vid Skanör/Falsterbo. Rapport 3166. Institutionen för Teknisk Vattenresurslära. Lunds tekniska Högskola. Lund.
- Hellgren, L-G, (2005).** Ny Teknik, Vol 75, nr 9 (2005-03-02).
- Hultén C., Olsson, M., Rankka, K., Svahn, V., Odén, K., Engdahl, M. (2005).** Släntstabilitet i jord- konsekvenser av ett förändrat klimat. Delrapport inom uppdraget Jordskred och Ras i Klimatförändringens Spår. Varia 560 - 1. Statens geotekniska institut. Linköping.
- Hydro Terra (2002).** Förstudie – Invallning av Kyrkviken. Karlstad.
- IPCC (2001).** Climate change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability. IPCC WGII report, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Lindquist, H. (2005).** Strömstyrande fenor. En metod för förhindrande av erosion i älvbrinkar. En förstudie. Räddningsverket. Forsknings- och utvecklingsrapporter. Karlstad.
- Jönsson, J., Lindberg, R. (2003).** Kustlandskapets värde. En studie av kustens sociala och ekonomiska betydelse för Ystads kommun. Institutionen för Kulturgeografi och ekonomisk geografi, Lunds universitet. Lund

- Länsstyrelsen i Jönköpings län (2004).** Erfarenheter av sommarens översvämningar. Beteckning 452-9656-04.
- Länsstyrelsen i Kronobergs län (2004).** Översvämningar sommaren 2004 – erfarenheter från Kronobergs län. PM.
- Länsstyrelsen i Västerbottens län (2004).** Uppdrag att redovisa erfarenheter av sommarens översvämningar. Beteckning 452-8883-2004.
- Mannheimer, J., Svensson, T. (2004).** Skyddet mot översvämningar måst organiseras bättre. Debattartikel i DN 15 juli 2004. Stockholm.
- Midbøe, F., Persson, H. (2005).** Simulering av översvämningar i Byälven. Department of earth sciences. Uppsala University. Uppsala. (in press)
- Nilsson G., Rosqvist H., Starzec P., Andersson-Sköld Y., Norrman J. (2005).** Förorenings-spridning - konsekvenser av ett förändrat klimat. Delrapport inom uppdraget Jordskred och Ras i Klimatförändringens Spår. Varia 560-3. Statens geotekniska institut. Linköping.
- Persson, G. (2005).** Ta hänsyn till översvämningsrisker. Miljöforskning, nr 2.
- Rankka, K., Hågeryd, A-C, Rankka, W., Rosqvist, H. (2005).** Strandmorfologi. Studie av kuststräckan från Ystad till Sandhammaren. Statens geotekniska institut. Varia 554. Linköping.
- Rummukainen M., Bergström S., Persson G., Ressner E. (2005).** Anpassning till klimatförändringar. Kartläggning av arbete med sårbarhetsanalyser, anpassningsbehov och anpassningsåtgärder i Sverige till framtida klimatförändring. SMHI Reports Meteorology and Climatology No. 106, SMHI, SE-601 76 Norrköping.
- Rummukainen, M., Rydell, B., Sellberg, B., Lind, B. (2005).** Klimatförändringar kräver anpassning av samhällsbyggnad och infrastruktur – börja nu! Väg- och Vattenbyggaren No1, 2005.
- Rydell, B. (2003).** SGI:s samordningsansvar för stranderosion. Varia 529. Statens geotekniska institut. Linköping.
- Rydell, B., Fallsvik, J., Johansson, L., Lind, B., Ottosson, E., Rankka, K., Andersson-Sköld, Y. (2003).** Förslag till geotekniskt FoU-program inom klimatområdet. SGI Varia 530. Linköping.
- Räddningsverket (2000).** Översvämning. Karlstad
- Räddningsverket (2001a).** Översiktlig översvämningskartering längs Klarälven. Sträckan från Höljes till Karlstad. Rapport 2. Karlstad.
- Räddningsverket (2001b).** Översiktlig översvämningskartering för Mälaren. Rapport 22. Karlstad.
- Räddningsverket (2002).** Översiktlig översvämningskartering längs Byälven. Sträckan från Glafs fjorden till utloppet i Väneren. Rapport 25. Karlstad.
- Räddningsverket (2004).** Rapport över översvämningar sommaren 2004. Diarienummer 019-3573-2004. Karlstad.
- Räisänen et al. (2004).** European climate in the late twenty-first century: Regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. *Climate Dynamics*, 22: 13-31.
- SMHI (2005a).** Klimatscenarier från 2005, R&D, Rossby Centre, SMHI, www.smhi.se/sgn0106/if/rc/clmscen05.htm
- SMHI (2005b).** Klimatscenarier från 2005, R&D, Rossby Centre, SMHI, www.smhi.se/sgn0106/klimat/klimscen.htm

Statens geotekniska institut (2004). Erfarenheter av översvämningar i Sverige sommaren 2004. Diarienummer 3-0407-0508. Linköping.

Staudt, M., Kallio, H., Schmidt-Thomé, P. (2004). Modelling a future sea level change scenario affecting the spatial development in the Baltic Sea Region – First results in the SEAREG project. Coastline Reports 2.

Svensson, T., Andersson, J-O., Blumenthal, B., Forsberg, J., Hedelin, B. (2002). Projekt Byälven. Översvämningrisker, förebyggande åtgärder och konsekvenser. Rapport Nationellt centrum för älvskadeteknik och Karlstad Universitet. Karlstad.

Sveriges Geologiska Undersökning (2002). Översikt av områden med risk för erosion längs kusterna , större insjöar och vattendrag. Dnr 08-1389/2002.

Sjöberg, B. (1992). Hav och kust. Sveriges nationalatlas. Höganäs.

Vägverket (2002). Ökade vattenflöden – behov av åtgärder inom väghållningen. Publikation 2002:156. Vägverket. Borlänge.

WHO (2002). Floods: Climate change and adaptation strategies for human health. Report on a WHO meeting, London, UK, 30 june-2 july 2002. EUR/02/5036813.



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 Internet: www.swedgeo.se