



Myndigheten för  
sällsskydd  
och beredskap

# Klimatförändringar, skred och ras

En forskningsöversikt

**STATENS RÄDDNINGSVERK****Karlstad****Klimatförändringar, skred och  
ras  
En Forskningsöversikt****Slutrapport**

<b>Datum:</b>	2008-11-24
<b>gvcDiariernr:</b>	2-0805-504
<b>Projektnr:</b>	13681
<b>Projektledare:</b>	Bo Lind
<b>Handläggare:</b>	David Bendz, Victoria Svahn, Yvonne Andersson-Sköld, Karin Lundström, Bo Westerberg
<b>Granskare:</b>	Yvonne Rogbeck, Bengt Rydell

SRV  
Karlstad

**Klimatförändringar, skred och ras**  
**En Forskningsöversikt**

---

## Innehållsförteckning

<b>SAMMANFATTNING.....</b>	<b>3</b>
<b>1 INLEDNING .....</b>	<b>3</b>
1.1 AVGRÄNSNING.....	4
<b>2 GENOMFÖRANDE .....</b>	<b>4</b>
<b>3 KLIMAT I FÖRÄNDRING.....</b>	<b>5</b>
<b>4 KLIMATETS PÅVERKAN PÅ SKRED, RAS OCH SLAMSTRÖMMAR .....</b>	<b>6</b>
4.1 JORDENS EGENSKAPER OCH MARKRÖRELSER .....	7
4.1.1 Stabilitet i lerslänter.....	7
4.1.2 Stabilitet i siltslänter .....	8
4.1.3 Slamströmmar.....	9
4.1.4 Berggras.....	9
4.2 NEDERBÖRDENS PÅVERKAN PÅ SKRED, RAS OCH SLAMSTRÖMMAR .....	11
4.3 GRUNDVATTENNIVÅ OCH PORVATTENTRYCK .....	17
4.4 JORDMODELLER .....	18
<b>5 SÅRBARHET OCH RISKANALYSER.....</b>	<b>20</b>
5.1 KLIMATFÖRÄNDRINGAR KRÄVER ÖKAD KUNSKAP .....	20
5.2 RISKANALYSER OCH RISKHANTERING .....	23
5.2.1 Kartering och analys av skred- och rasrisker .....	24
5.3 KLIMATINDEX OCH NATUROLYCKOR .....	29
5.4 ANVÄNDBARHET I SVENSKA KOMMUNER .....	33
<b>6 ANPASSINGSÅTGÄRDER FÖR KLIMATFÖRÄNDRINGAR.....</b>	<b>34</b>
6.1 ANPASSNINGSPÅVERKAN I SVERIGE .....	34
6.2 EN INTERNATIONELL UTBLICK .....	36
6.3 ÅTGÄRDER I EU:S GREEN PAPER OM KLIMAT OCH ANPASSNING.....	37
6.4 EXEMPEL PÅ PÅGÅENDE ANPASSNINGSAKTIVITETER .....	39
<b>7 KUNSKAPSLUCKOR OCH FORSKNINGSBEHOV.....</b>	<b>43</b>
7.1 EFFEKTER AV KLIMATFÖRÄNDRINGAR PÅ SKRED, RAS OCH SLAMSTRÖMMAR .....	44
7.2 RISKANALYS OCH RISKKARTERING .....	45
7.3 BESLUTSSTÖD OCH ANPASSNINGSAÅTGÄRDER.....	45
7.4 INFORMATION OCH KUNSKAPSPRIDNING .....	46
<b>8 REFERENSER.....</b>	<b>47</b>

## SAMMANFATTNING

Den ökning av nederbörd, avrinning och intensiva regn som presenteras i klimatscenarioerna kan förväntas få konsekvenser för markens egenskaper och frågan om klimatförändringens påverkan på skred och ras är idag föremål för forskning över hela världen. Klimatförändringens betydelse för markförhållanden och samhällsbyggande avspeglas bl a i olika presenterade forskningsprogram, t ex Formas och Mistra. Såväl i Sverige som internationellt har forskningsfinansiärer pekat på forskningsbehov kring klimatförändring som bland annat berör markkonsekvenser. Sverige har speciella geologiska förutsättningar och måste utveckla kunskap och metoder utifrån svenska förhållanden.

Inom forskningsöversikten har vi identifierat kunskapsluckor och forskningsbehov inom områdena, Effekter av klimatförändringar på skred, ras och slamströmmar; Riskanalys och riskhantering; Beslutsstöd och anpassningsåtgärder samt Information och kunskaps-spridning. En viktig slutsats är också att FoU-insatser inom klimatområdet kräver både inomvetenskaplig forskning och tvärvetenskapliga angreppssätt. Såväl baskunskap som tillämpad kunskap behöver utvecklas. Samverkan mellan olika forskningsorganisationer, myndigheter och andra samhällsaktörer är centralt.

Generellt saknas de geotekniska aspekterna i de stora pågående klimatrelaterade forskningsprogrammen i Sverige, t ex Mistras och Formas klimatforskningsprogram. Forskningen bedrivs istället i enstaka projekt. En viktig slutsats är att de geotekniska aspekterna i större utsträckning bör in i de breda forskningsprogrammen alternativt att ett eget brett forskningsprogram etableras inom området klimatförändring med koppling till naturolyckor som skred, ras, erosion och översvämning.

## 1 INLEDNING

Enligt Räddningsverkets framtidsstudie (2008) kommer ett förändrat klimat att kräva långtgående anpassning av samhället på ett stort antal områden. Räddningsverket avser därför att i det fortsatta arbetet ha ett ökat fokus på anpassningsåtgärder och höjd beredskap både när det gäller risker förknippade med extremhändelser och för successiva klimatförändringar. Föreliggande forskningsöversikt är tänkt som ett underlag för detta arbete.

På uppdrag av Räddningsverket har SGI sammanställt en översikt över aktuell forskning rörande klimatförändringens konsekvenser för skred och ras med relevans för svenska förhållanden samt vilka sårbarheter som finns i samhället. Vidare har en översiktlig redovisning gjorts av befintliga metoder för riskhantering inom ras- och skredområdet och i rapporten finns också en översiktlig genomgång av anpassningsåtgärder som har identifierats i vetenskapliga studier och som behöver göras före, under och efter ras- och skredhändelser. Slutligen diskuteras kunskaps-, forsknings-, och utvecklingsbehov som finns inom ras- och skredområdet med anledning av den framtida klimatförändringen.

Arbetet har utgått ifrån befintlig vetenskaplig litteratur, nationella och internationella vetenskapliga artiklar, böcker, rapporter och utredningar.

## 1.1 Avgränsning

Rapporten behandlar lerskred, ras i finkorniga jordar samt slamströmmar, dvs. snabba utflytningar av vattenmättade jordmassor, vanligen morän. Rapporten behandlar inte kusterosion eller laviner, vilka båda påverkas av ett förändrat klimat, och som kan sägas ligga inom samma internationella forskningsfält som skred och ras. Erosion är ofta en viktig bidragande orsak till skred och ras men behandlas här inte separat utan som en del av de ”triggande” faktorerna. Bergras berörs endast mycket översiktligt.

De geologiska förhållandena i Sverige och andra områden med omfattande kvartär glaciation skiljer sig från övriga delar av världen. Svenska leror, kvicklorer och moräner är i flera avseenden unika för vår region. Den internationella vetenskapliga litteraturen är därför begränsad. I den internationella litteraturen inkluderas i ”landslide” alla typer av massrörelser i både berg och jord (EU-Glossary of soil terms, 2008). En stor del av forskningen kring ”landslides and climate change” rör det vi kallar slamströmmar, dvs relativt ytliga rörelser av mer eller mindre vattenmättade jordmassor i sluttande terräng. Vår närmaste motsvarighet är slamströmmar i morän.

Vi skiljer i denna forskningsöversikt på skred, som för svenska förhållanden innefattar skred i lera och silt och för internationella förhållanden innefattar en blandning av slamströmmar, lerskred och ras, om inte annat anges. Ett ras är en massa av sand, grus, sten eller block eller en del av en bergslänt, som kommer i rörelse. De enskilda delarna rör sig fritt i förhållande till varandra. Bergras innebär att bergblock bryts loss och faller från fasta bergssidor och specificeras särskilt i denna forskningsöversikt.

## 2 GENOMFÖRANDE

Arbetet har omfattat dels en belysning av den nationella svenska arenan bl a med utgångspunkt från Klimat- och sårbarhetsutredningen, dels en litteratursökning och litteraturgenomgång av svensk och engelskspråkig litteratur. Litteratursökning har gjorts i databaserna;

- SGI-LINE
- Web of Science (ISI Web of Knowledge)
- Science Direct
- Lunds Universitets litteraturbaser och kopplade litteraturbaser
- Diverse sökmotorer och söktjänster på Internet (bl.a Engineering Village)

För den internationella sökningen utnyttjades söksträngen ”landslide and climate change”. Totalt erhöles 198 träffar, vara ett 30 tal citerats i översikten.

Kunskapsluckor och forskningsbehov har också diskuterat vid ett internt telefonseminarium vid SGI samt med Räddningsverket.

Värdefulla synpunkter på koncept har lämnats av Ulrika Postgård och Susanne Edsgård, Räddningsverket.

### 3 KLIMAT I FÖRÄNDRING

Klimatförändringarna innebär idag en dubbel utmaning, dels att motverka fortsatt klimatförändring genom att minska utsläppen av växthusgaser, dels att anpassa samhället till de oundvikliga förändringarna av klimatet som redan är en realitet. Enligt EU:s samlade bedömning kommer klimatförändringar att accentueras och kvarstå under det kommande seklet, även om mycket omfattande insatser görs för att minska utsläppen av växthusgaser (EU, 2007). Klimat- och sårbarhetsutredningen har i sitt slutbetänkande ”Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter” (SOU 2007:60) slagit fast att *”Det är nödvändigt att påbörja anpassningen till klimatförändringarna i Sverige. Huvuddragen i klimatscenarierna är trots osäkerheter tillräckligt robusta för att användas som underlag”*

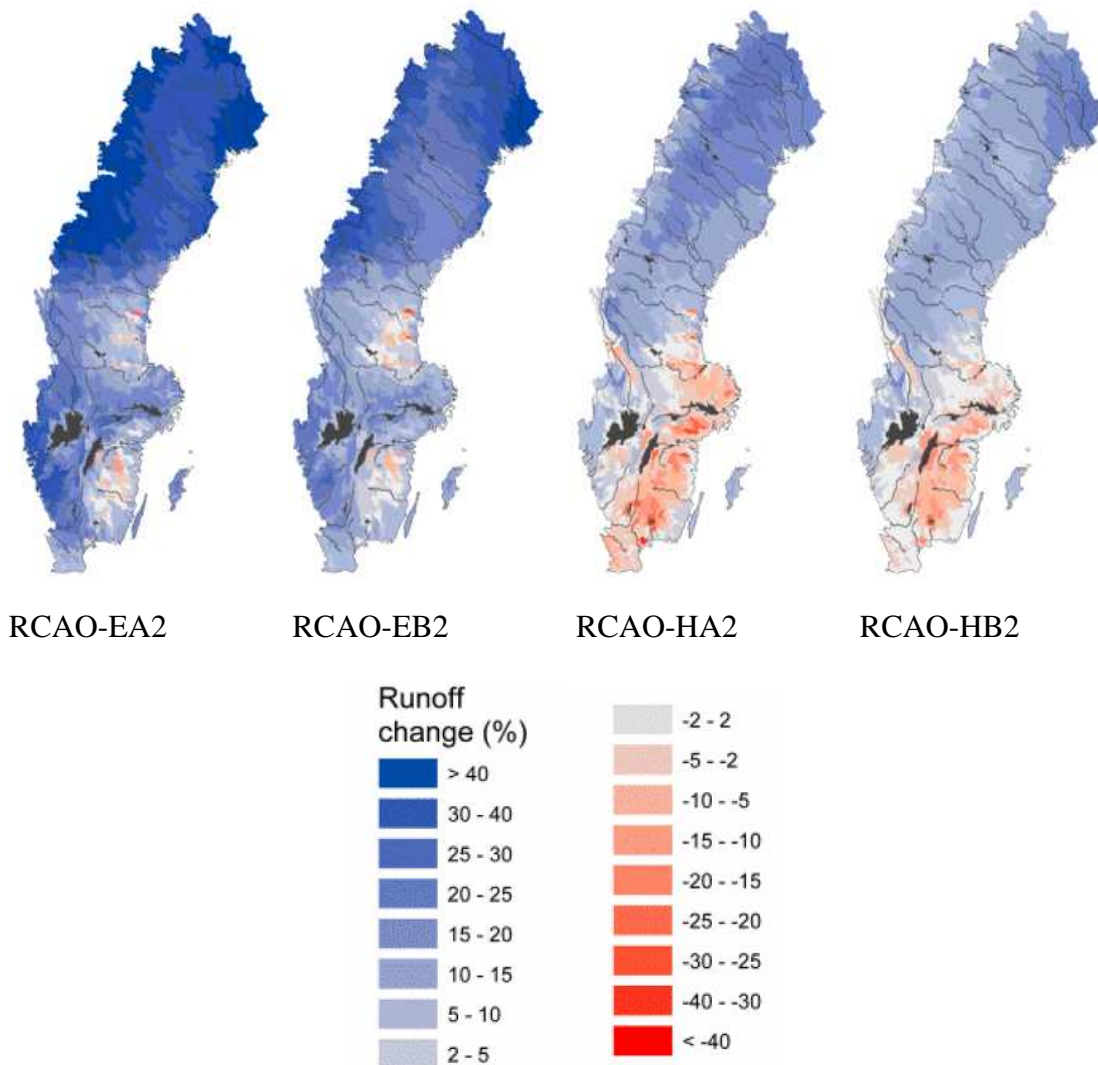
Scenarier över det svenska klimatets förändring presenteras av Rossby Centre, SMHI, som regionala kartor över Europa respektive Skandinavien. Materialet bygger på beräkningar med Rossby Centrets regionala klimatmodell RCA3 och den kopplade RCAO-modellen. Kartorna bygger på en upplösning med gridstorleken 50x50 km i plan.

Uppvärmningen i Sverige förväntas bli större än den genomsnittliga globala uppvärmningen. Medeltemperaturen ökar successivt och klimatzonerna förskjuts norrut. Mot slutet av seklet förväntas medeltemperaturen i Sverige ha stigit med 3-5 grader och under vintermånaderna med 6-7 grader i stora delar av landet, jämfört med perioden 1961-1990.

Klimatscenarierna pekar bl a på 10-40 % ökad årsnederbörd i stora delar av Sverige inom loppet av 70-100 år, samtidigt som frekvensen av intensiv nederbörd ökar. På motsvarande sätt visar scenarierna ökad avrinning. Nettonederbörden och avrinningen speglar viktiga förutsättningar för skred, ras och slamströmmar både beträffande grundvattentryck och markvattenhalt och beträffande underminerande erosion. Scenarier över avrinningens förändring i Sverige ses i figur 1.

För säkrare bedömningar av klimatets konsekvenser för sked och ras finns ett stort behov av förbättrade och mer lokalt anpassade klimatscenarier och de klimatindex som kan kopplas till dessa (höga flöden, intensiva regn, nollgenomgångar etc). Det finns också behov av ny kunskap när det gäller flöden och grundvattenrespons. Vi efterlyser en ökad samverkan mellan geoteknisk- och klimatologisk forskning.

I ett 100-års perspektiv kommer också geologiska processer som landhöjning och förändrad erosionsbas att ha betydelse. Det finns i det sammanhanget ett tydligt behov av mer preciserade scenarier för havsnivåns förändring.



Figur 1. Förändringar av lokal avrinning i Sverige 2071-2100 jämfört med perioden 1961-1990 under ett normalår. Beräknat utifrån de två klimatscenarierna A2 samt B2. (Efter Bergström, et al. 2006, i SOU 2007:60).

#### 4 KLIMATETS PÅVERKAN PÅ SKRED, RAS OCH SLAMSTRÖMMAR

Sveriges lösa lerjordar utgör en speciell geologisk miljö som förekommer främst i tidigare glaciärade områden. Delar av USA och Kanada har tillsammans med Norge geologiska förhållanden som delvis liknar de svenska. Snabba skred i marina leror förekommer främst i östra Kanada, i fjordar i British Columbia, Skandinavien och i mindre utsträckning i Alaska (Geertsema et al. 2006). Mycket av forskningsarbetet i södra och mellersta Europa är fokuserat på intensiva regn, stormar samt höga flöden och ytliga skred. Eftersom klimatförändringen enligt presenterade scenarier, innebär att årsnederbörden i dessa områden påverkas i mindre grad blir också påverkan på markstabilitet, skred och ras mindre.

Många frågeställningar kring skred, ras och inte minst massrörelser i osorterade jordar (t ex morän) är dock gemensamma för många områden världen över. Det europeiska samarbetet är viktigt men också samverkan med bl a asiatiska länder, t ex Japan där det första "Landslide Forum", som också tar upp klimatfrågan, hålls i november 2008. Forumet arrangeras bl a av ICL, International Consortium on Landslides, ett världsomspännande nätverk för ras- och skredforskning.

#### 4.1 Jordens egenskaper och markrörelser

I grova jordar, friktionsjordar med partikelstorlek över 0,06 mm (gränsen mellan silt och sand), verkar friktionen som den sammanhållande kraften, d v s kontakten mellan partiklarna och friktionen mellan dessa. Friktionskraftens storlek blir då direkt beroende av det vattentryck som finns i jorden mellan jordpartiklarna, det så kallade porvattentrycket. Ju högre porvattentryck som finns i strukturen, desto lägre blir kontaktrycket mellan partiklarna eftersom dessa separeras från varandra. Ett ökat vattentryck i jorden minskar således jordens hållfasthet och benägenhet att motstå deformationer. Eftersom friktionskrafternas storlek står i direkt proportion till normaltrycket mellan partiklarna, ökar krafterna med djupet och därmed ökar även hållfastheten med djupet av jordprofilen.

Hållfastheten i friktionsjord anges i form av en friktionsvinkel och mobiliserad skjuvspänning antas vara en direkt funktion av normalspänningen i brottytan. Friktionsvinkeln uppskattas ofta från empiriska samband men kan också bestämmas genom laboratorieförsök. Faktorer som påverkar friktionsvinkelns storlek är förekomsten av hålrum i kornskelettet, mineralsammansättning och kornform samt omgivningens randvillkor (Larsson, 1989).

En finkornigare jord, av exempelvis ler- eller siltkaraktär, har förutom friktionen som en sammanhållande kraft också kohesionskrafter, som är elektrokemiska bindningar mellan de mycket små partiklarna. Därmed kallas dessa jordar för kohesionsjordar. Vid snabb belastning kan man förenklat säga att finkorniga jordars skjuvhållfasthet endast består av kohesion och denna står i omvänd proportion till portalet i jorden, dvs ökat portal ger minskad kohesion (Hansbo, 1975). Kohesionsjordar har en viss draghållfasthet medan friktionsjord i stort sett anses sakna draghållfasthet (Hansbo, 1975).

Klimatet påverkar flera faktorer av betydelse för skred och ras. Det kan handla om yttre faktorer som vattennivåer och erosion, men också inre faktorer som porvattentryck och jordens hållfasthet. Det kan också handla om temperaturfluktuationer, ändrade förutsättningar för vegetation (mindre eller mer rötter som stabiliserar) samt påverkan genom frostcykler. För svenska förhållanden utgör dock nederbördsförhållandena i de flesta fall, den viktigaste klimatpåverkande faktorn för skred, ras och slamströmmar.

##### 4.1.1 Stabilitet i lerslänter

Stabiliteten i slänter kan beskrivas som en balans mellan pådrivande och mothållande krafter. För att kunna bestämma den säkerhet man skall uppnå vid stabilitetsanalyser används ofta begreppet säkerhetsfaktor. Säkerhetsfaktorn  $F$  är kvoten mellan mothållande och pådrivande krafter i ett markområde.



De säkerhetsfaktorer som ofta föreskrivs vid stabilitetsutredningar i Sverige utgår från de rekommendationer som finns i Skredkommissionens rapport 3:95 (Skredkommissionen 1995). Dessa är framtagna för olika stadier och detaljeringsgrad av utredningar, vilket innebär att det krävs högre säkerhetsfaktorer ju färre undersökningar man har och därmed större osäkerhet i sin indata. Säkerhetsfaktorerna anges som intervall där det högre värdet bör eftersträvas om det finns kvicklera i området.

En av de viktigaste enskilda faktorerna som påverkar jordens hållfasthet,  $\bar{\tau}$ , är det inre grundvattentrycket och porvattentrycket. Markens vattenförhållanden styrs i sin tur av klimatet och här finns således en direkt koppling till klimatförändring.

En jämförelse har utförts av SGU (Engdahl, i Hultén et al. 2005) för att studera hur nederbörden påverkar grundvattennivån och hur snabb effekten blir för olika typer av grundvattenakviferer. Resultaten pekar på att ett nederbördsöverskott på 40 % över det normala ger en förhöjning av grundvattennivån på mellan 0 och 0,9 m i olika geologiska miljöer. Med detta som underlag har ett antal stabilitetsberäkningar utförts där förutsättningarna ändrats med hänsyn till ökad nederbörd vid ett förändrat klimat. Beräkningar har utförts på såväl typslänter som verkliga slänter i kända lägen. Resultaten visar att ökade portryck och grundvattennivåer samt erosion påverkar säkerheten för ras och skred negativt (Hultén et al. 2005; Lind et al. 2006). Slänter som idag har godtagbar, säkerhetsfaktor (ofta > 1,35) kan bli instabila med beräknade säkerhetsfaktorer < 1,0. I områden med jordar där inverkan av ”falsk kohesion”(negativa portryck vilket skapar ett ”undertryck” som verkar stabiliserande på sluttningar) idag bidrar till att höga och branta slänter inte rasar kommer en klimatförändring med ökad nederbörd innebära att stabilitetsförhållandena försämras.

#### 4.1.2 Stabilitet i siltslänter

I många siltslänter sker större eller mindre ras/skred eller finns risker för sådana händelser. Antalet ras/skred i områden med siltslänter antas öka vid klimatförändringar med bl a intensivare och ökad nederbörd. Med dagens kunskap, modeller och anvisningar för utredningar och beräkningar av stabilitet fås ofta (sannolikt orimligt) låga värden på säkerhetsfaktorerna mot stabilitetsbrott hos siltslänter. Dessa värden är enligt gängse krav (Skredkommissionen, 1995) ofta otillfredställande och åtgärder bör då vidtas för att öka säkerheten.

Framräknade säkerhetsfaktorer för siltslänter är i de flesta fall inte fullt relevanta beroende på att de verkliga förhållandena i slänten inte beskrivs på ett rättvisande sätt. Detta beror på att resultaten från fält- och laboratorieundersökningar inte ger tillförlitligt eller tillräckligt underlag samt att använda beräkningsmodeller inte beskriver verkligheten med tillräcklig precision. Vidare kan en alltför snäv generalisering eller förenkling av egenskaper ofta medföra att missvisande slutsatser dras om släntens stabilitet. Markvattenförhållanden i siltslänter kan vara komplexa med flera olika grundvattennivåer och vattentrycken i jorden kan anta såväl negativa som positiva värden och varierar med årstiden. Ett negativt portryck ökar hållfastheten i jorden och stabiliteten i slänten. Negativa portryck bedöms vara huvudorsaken till att många slänter står kvar trots att de beräkningsmässigt borde rasa om inte hänsyn tas till det negativa portrycket.

Internationellt har forskning inom området rapporterats framförallt av Blatz et al. (2004), Fredlund & Rahardjo (1993) och Krahn et al. (1989). För svenska förhållanden har fokus mest varit på geotekniska egenskaper hos jordmaterialet silt bl a Larsson (1995), Knutsson et al. (1998) som också studerade delar av släntproblematiken.

Sammantaget finns en tydlig bild av att det finns behov av att utveckla kunskapen om svenska siltslänters egenskaper och att utveckla metoder och verktyg för en tillförlitligare bestämning av dessa slänters stabilitet. Kunskap behöver tas fram angående verkliga årstidsvariationer av porvattentryck (positiva eller negativa) i vattenmättade och omätade zoner i siltslänter. Undersökningsmetodik och beräkningsmodeller behöver utvecklas för att bl a kunna beskriva olika portryckssituationer och deras inverkan på stabiliteten.

#### 4.1.3 Slamströmmar

Forskningen kring sluttningsrörelser och slamströmmar utförs inom naturgeografi och inom geotekniska och ingenjörsgelogiska dicipliner. Sammantaget är detta ett stort forskningsfält världen över. Omfattande forskning bedrivs bl a i Japan, Alpländerna, USA och Kanada (se t ex Takahashi, 2007; Hungr & Jakob, 2005; Ikeya, 1989; Varnes, 1978).

Som underlag för ingenjörsmässiga tillämpningar av att bedöma faran för snabba massrörelser i moränsluttningar i Sverige har Räddningsverket presenterat en bred sammanställning av kriterier och metodik för stabilitetskartering (SRV, 2002). Fallsvik och Rankka (2005) har senare presenterat utvecklade riktlinjer (guidelines) för detaljerade undersökningar av avrinning och stabilitet hos moränsluttningar och raviner i Sverige. Metodiken kan användas för karteringar och som underlag för konkreta åtgärder.

Slamströmmar inträffar i samband med intensiva regn, oftast vid snösmältning. De flesta spår av slamströmmar i Sverige finns i fjälltrakterna men även utanför fjällen finns många områden utsatta för slamströmmar, exempelvis längs raviner, förkastningsbranter eller moränsluttningar. För att exemplifiera inverkan på slamströmmar av förändrat klimat med ökande nederbördsintensitet har basdata från beräkningar för Mörnviksravinen i Åre kommun utnyttjats (Rankka & Fallsvik, 2004; Hultén et al. 2005). Som exempel användes en 30-procentig ökning av intensiteten för ett 150-års regn, vilket innebar 60 mm/h. Beräkningarna visade att ökad regnintensitet medförde ökat högvattenflöde samt 45 % ökning av den mängd jordmaterial som transporteras (Hultén et al. 2005).

#### 4.1.4 Bergras

Nedanstående avsnitt tar endast upp några få aspekter på bergras och klimat. Avsikten är endast att ge exempel på några aktuella forskningsansatser.

Bergras inträffar i branta bergssluttningar med uppsprucket eller vittrat berg. Klimatpåverkan som exempelvis frostsprängning samt vittring och urspolning av material längs sprickorna förorsakar att bergets hållfasthet successivt försämras. Bergrasen styrs ofta av sprickplanens geometri.

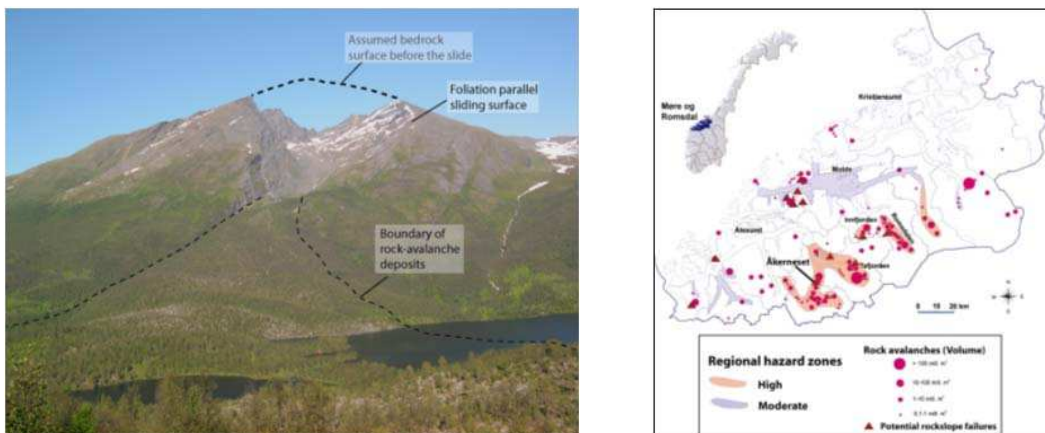
Det finns en allmän konsensus om att ökad nederbörd och ökad frekvens frostcykler (temperaturer som passerar 0 °C) innebär ökad risk för sprickaktivitet och bergspän-

ningar och därmed ökad risk för berggras. Kopplingen mellan berggras och klimatförändringar är dock ännu få. Spekulationer från fackkunniga personer presenteras i media i samband med inträffade berggras, men den systematiserade forskningen är ytterst begränsad. Den forskning som finns inom området handlar huvudsakligen om historiska ras kopplade till skilda klimatförhållanden. Exempelvis har man kunnat visa att flera stora berggras skedde kort efter deglaciationen i Skottland för ca 16 000 år sedan (Ballantyne, 2004).

I vår region är Norge det mest drabbade landet när det gäller berggras och här finns också den mesta nordiska forskningen. International Centre of Geohazards (ICG) vid NGI samlar mycket av den norska forskningen kring skred och berggras. Riskmodeller byggs upp bl a genom att studera hur rasmassorna brett ut sig vid olika ras. Ett brett forskningsprogram kring berggras innefattar fyra teman (ICG hemsida, 2008):

- A. Methods for quantification of rockslide hazard
- B. Development of geological models for rock slopes
- C. Stability Analysis, including sensitivity and probabilistic analysis
- D. Monitoring and deformation processes
- E. Microseismic monitoring
- F. Rockslide dynamics and empirical modelling

Frågan om förändrat klimat har inte fokuserats inom forskningen kring berggras. Fokus ligger istället på seismiska aktiviteter, rikskartläggning, varningssystem och skyddsåtgärder. Exempel på kartläggning av berggras i Norge ses i figur 2.



Figur 2. Exempel på kartläggning av berggras och riskzoner i Norge (ICG hemsida 2008).

En tydlig koppling mellan klimat och berggras förs fram av Geertsema et al. (2006) som beskriver hur avsmältningen av glaciärer i British Columbia, Kanada, frilägger och exponerar dalsidorna för berggras. När mottrycket mot bergssidorna minskar ges utrymme för sprickor att expandera. Som triggnande faktorer för berggrasen nämns intensiva regn och jordskalv.

I forskningsprogrammet STABROCK i Frankrike (Senfaute et al. 2007) studeras klimats inverkan på stabiliteten hos bergssidorna i Alperna. Programmet är en fortsättning på en tidigare undersökning av "Rochers de Valabres" - en uppsprucken bergssluttning i

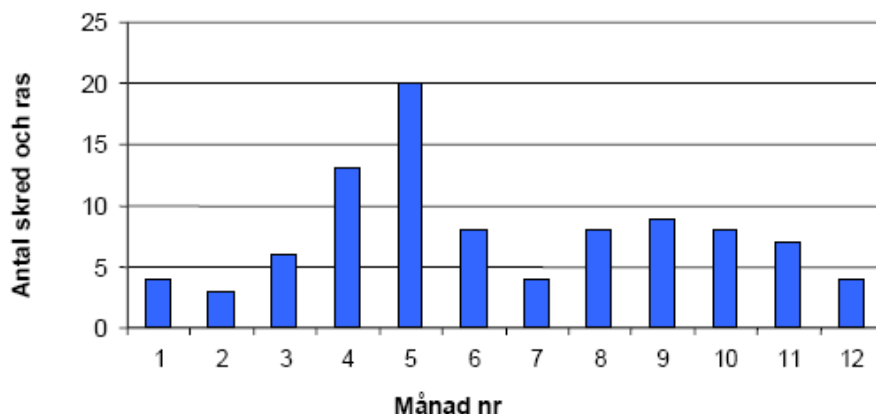
franska Alpena. Inga resultat har ännu publicerats, men ett omfattande mätprogram med bl a studier av mikroseismiska rörelser har genomförts. Som triggnande faktorer för bergras har man tidigare funnit, jordskalv, frys/tö cykler samt kraftiga regn (Senfaute et al. 2007).

#### 4.2 Nederbördens påverkan på skred, ras och slamströmmar

Orsakerna till skred, ras och slamströmmar brukar anges om en kombination av existerande förutsättningar och de faktorer som utlöser ("triggnar") sådana händelser. Moore et al. (2007) skiljer på *interna faktorer* som leder till reduktion av jordens skjuvhållfasthet och *externa faktorer* som leder till ökade skjuvspänningar. Man slår också fast att det finns en stark koppling mellan nederbörd, markrörelser och skred i södra England. För den studerade Ventnor Undercliff på Isle of Wight, har man funnit att det starkaste sambandet mellan markrörelser och nederbörd föreligger för 4 månaders ackumulerad effektiv nederbörd (Moore et al. 2007).

Frågan om klimatförändringens påverkan på skred och ras är idag föremål för forskning över hela världen. I Europa finns bl a nätverket, Climate Impact Forecasting For Slopes (CLIFFS), som drivs av Loughborough University i England. Inom nätverket har man bl a diskuterat hur skredfrekvensen i England är beroende av nederbördssituationen och att frekvensen är episodisk, i den meningen att den följer klimatets växlingar. CLIFFS, som arbetar med klimatförändringens konsekvenser för släntstabilitet, har i sina diskussioner i hög grad lyft fram frågan om portrycksförändringar och dess inverkan på stabiliteten. Man pekar på nödvändigheten av att utveckla nya modeller baserade på sannolikhetsredovisning men påpekar också att det återstår många frågor för forskningen: ; t ex hur väl vi förstår portrycksförändringar i komplexa geologiska miljöer samt i vilken utsträckning sommartorka innebär ökade torksprickor som bidrar till ökad risk för triggnande porvattentryck vid våtare perioder, (Dijkstra & Dixon, 2007).

Den vanligaste och tydligaste påverkan av klimatförändringar är nederbörd. Sedan lång tid finns kvantitativa jämförelser mellan nederbörd och skredaktivitet. Såväl snabba som långsamma skred påverkas. Dixon och Brook (2007) har tagit fram en modell som visar hur ett pågående långsamt jordskred i England påverkas av nederbörden. Klimatscenarioer har kopplats till statistiska utvärderingar av nederbörd och markrörelser. Resultaten visar att återkomsttiden för kritisk "triggnande" nederbörd kortas. För Sverige finns hittills endast översiktliga sådana jämförelser. Redan 1951 sammanställde Carl Gustav Wenner 30 kända daterade Svenska skred och visade att det fanns en topp med högre skredfrekvens under höstmånaderna, september-november (Wenner, 1951). Senare har Viberg m fl (2001) genom analys, av uppgifter i SGI:s skreddatabas, sammanställt 99 daterade skred vilket visar förhöjd skredfrekvens både på våren och hösten, se figur 3 nedan. En analys av de 370 skred som idag finns i skreddatabasen visar att skredfrekvensen varit tämligen konstant under de senaste 100 åren, möjligen med en viss ökning efter 1950 (Hågeryd et al. 2007).



Figur 3. Månadsfördelning för 99 daterade skred i Sverige (Viberg et al. 2001).

Motsvarande sammanställning för norska förhållanden visar en mer svårtolkad bild, figur 4. Vid utvärdering av 60 stora skred ( $> 60\,000\text{ m}^2$ ) kunde man inte hitta någon tydlig korrelation till speciella nederbördssituationer men ett ökat antal skred inträffade under våta säsonger och under våren (IGC 2008, Karlsrud Project 5). För kanadensiska förhållanden har också Lebuis et al. (1983) utifrån historiska data funnit att mer än 60 % av skreden under perioden 1840-1980, skedde under april och framförallt maj samt med en mindre koncentration under november.

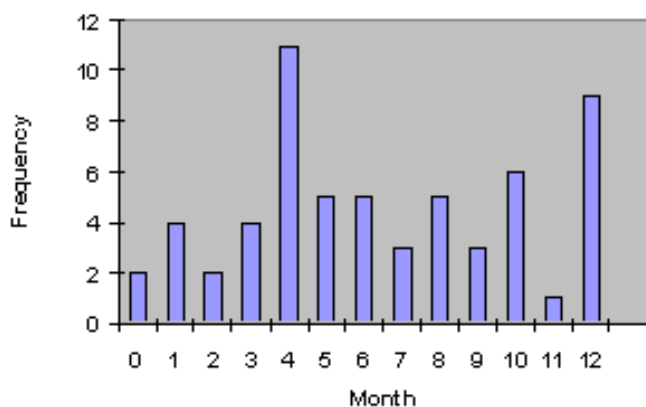


Figure 4. Månadsfördelning för 60 stora skred i Norge ( $> 60\,000\text{ m}^2$ ). Från, Kjell Karlsrud (NGI), IGC Project 5, <http://www.geohazards.no/projects/stabsoilslopes.htm> (30)

Forskning kring nederbörd och markstabilitet har mot bakgrund av klimatfrågan fått förnyad aktualitet. Den moderna forskningen innefattar mer omfattande statistiska analyser och också upprättande av modeller för att fastställa kritiska nederbördsperioder. Forskningen kring massrörelser i morän och siltiga jordar, vilka ofta sker successivt – som en typ av jordflytning omfattar flera aspekter. En aspekt utgörs av geografiska studier av landskapets utveckling i ett historiskt perspektiv, bl a med hjälp av dendrokronologi och geomorfologi. En annan aspekt kan sägas bestå av markstabilitetens påverkan

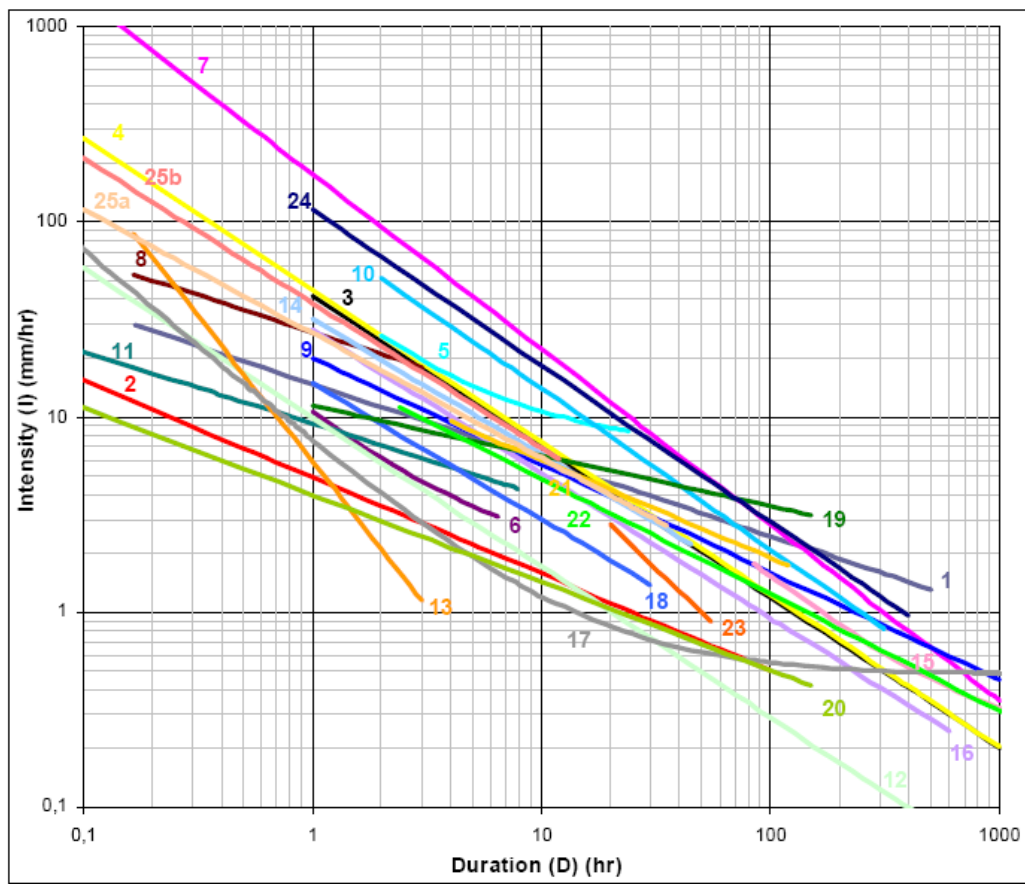
av nederbörd, grundvattentryck och porvattentryck. Man kan i någon mån tala om en geografisk och en geoteknisk inriktning.

Schmidt & Dikau (2004) har med utgångspunkt från analyser av trädringar, studerat klimathistoria och skredaktivitet kring Bonn i Tyskland och dragit slutsatsen att det inte nödvändigtvis är de mest skredkänsliga områdena som också är mest känsliga för klimatförändring. Lokala faktorer som t ex speciella marklager har ofta mer utslagsgivande betydelse. Buma (2000) samt Buma & Dehn (2000) har genom dendrokronologi studerat skred och klimat i Frankrike. Man kunde hitta en korrelation mellan skred och netto-nederbörd, men drar samtidigt den generella slutsatsen att det inte är fruktbart att studera endast en parameter - det är många samverkande faktorer som triggar ett skred.

Många "landslides" i alregionen sker som långsamma jordkrypningar över årtionden. Stora områden kan påverkas. I en studie av 15 pågående skred (jordkrypningar) i Schweiz visade man att krypningen påverkades av nederbörden (Bonnard & Noverraz, 2001). Mycket styrs av lokala förhållanden ("each landslide is an individual") men det kunde ändå fastställas att de flesta stora skred ökade sin rörelsehastighet med ökad nederbörd. Det var dock inte kortvariga nederbördstillfällena som var trigande utan långa ökningarna över flera år. Man drog därför slutsatsen att det är årsnederbörden som har störst betydelse för denna typ av storskaliga, långsamma jordrörelser. Eftersom årsnederbörden i Schweiz inte förändras mycket enligt de klimatscenarier över de närmaste 100 åren som presenterats (det kan emellertid bli säsongsvisa förändringar) menar man att man inte kan förvänta en framtida ökning av jordskredskatastrofer i framtiden. När det gäller slamströmmar (debris flows) är dock kopplingen till kortare nederbördssituationer tydlig och här bör man studera risker och skyddsåtgärder mer intensivt (Bonnard & Noverraz, 2001). Motsvarande studie av ett långsamt skred i Dolomiterna, Italien, pekar med framtida klimatscenarier också på minskande jordrörelser, främst till följd av lägre grundvattennivå under våren (Dehn et al. 2000). Liknande slutsatser har dragits av Collison et al. (2000) som studerade en sluttning i Kent i sydöstra England som historiskt varit utsatt för rörelser. Klimatscenarierna pekar på små nettonederbördsförändringar och därmed också små modellerade skillnader i jordrörelser. Den framtagna GIS-baserad modellen visade istället på snabbare omsättning i grunda vattenmagasin vilket kan leda till minskad frekvens av ytliga skred i denna region över de kommande 80 åren.

Modaressi (2006) konstaterar att klimatförändringar kan bidra till att öka instabiliteten i sluttningar i Frankrike, både direkt genom nederbörd och snösmältning men också indirekt genom ändrad markanvändning (skogsavverkning, bevattning etc.) och att det ibland kan vara svårt att urskilja vilken faktor som verkar mest trigande.

Att det existerar en mycket tydlig koppling mellan grunda skred respektive slamströmmar (debris flows) och nederbörd visas klart av Guzzetti et al. (2005). Inom det EU-finansierade Interregprojektet CADSES presenteras en sammanställning över "skred-trösklar" med avseende på nederbördens varaktighet och intensitet, figur 5 och tabell 1. Figuren beskriver analyserade nederbördssituationer före skred och varje linje har dragits på basis av ett, ofta stort, antal skred. Figuren visar gränsen för när regnintensitet och varaktighet kan verka trigande för skred.



Figur 5. Olika författares presenterade värden för nedre tröskelvärde för initiering av skred (anm. ytliga) med avseende på nederbördens intensitet och varaktighet. Författarna sammanställda i tabell 1. (Från Guzzetti et al. 2005).

Tabell 1. Författare med presenterade tröskelkurvor för (anm. ytliga) jordskred i figur 5. (Från Guzzetti et al. 2005).

ID	AUTHOR	ZONE	EXTENT	TYPE OF LANDSLIDE	EQUATION
18	Marchi et al. (2002)	Moscardo Torrent, Northern Italy	Local	All	$I = 15 \cdot D^{-0.70}$ $1 \text{ hr} < D < 30 \text{ hr}$
19	Ahmad (2003)	Eastern Jamaica	Regional	Shallow landslides	$I = 11.5 \cdot D^{-0.26}$ $1 \text{ hr} < D < 150 \text{ hr}$
20	Jakob and Weatherly (2003)	North Shore Mountains of Vancouver, British Columbia	Regional	Shallow landslides	$I = 4.0 \cdot D^{-0.45}$ $0.1 \text{ hr} < D < 150 \text{ hr}$
21	Aleotti (2004)	Piedmont Region, Italy	Regional	Shallow landslides	$I = 19 \cdot D^{-0.50}$ $4 \text{ hr} < D < 120 \text{ hr}$
22	Floris et al. (2004)	Valzangona, Northern Apennines, Italy	Local	All	$I = 68.645 \cdot D^{-0.5929}$ where $I$ is in mm/days and $D$ in days
23	Baum (2005)	Seattle Area	Local	Shallow landslides	$I = 82.73 \cdot D^{-1.13}$ $20 \text{ hr} < D < 55 \text{ hr}$
24	Chen et al. (2005)	Taiwan	Regional	All	$I = 115.47 \cdot D^{-0.80}$ $1 \text{ hr} < D < 400 \text{ hr}$
25	Giannecchini (2005)	Apuan Alps, Italy	Local	All	a: $I = 26.87 \cdot D^{-0.64}$ $0.1 \text{ hr} < D < 35 \text{ hr}$ b: $I = 38.36 \cdot D^{-0.74}$ $D \leq 12 \text{ hr}$

Samma resultat som ovan, men i något bearbetad form presenteras också i den vetenskapliga tidskriften *Landslides* (Guzzetti, 2007). Baserat på 2 626 ytliga skred och nederbördsanalyser spridda över hela världen, föreslår man en global modell för koppling mellan nederbörd och slamströmmar/ytliga skred. Med stöd av bl a Bayesiansk statistik har man upprättat åtta diagram med kritiska intensitets-varaktighets kurvor för olika delar av världen. För vår del av världen "mountain climate" eller "mild marine west coast" visar kurvorna för 10 timmars regnvaraktighet en kritisk medelintensitet på 2- 3 mm/tim, dvs ca 20-30 mm samlad nederbörd under 10 tim är kritiskt för slamströmmar.

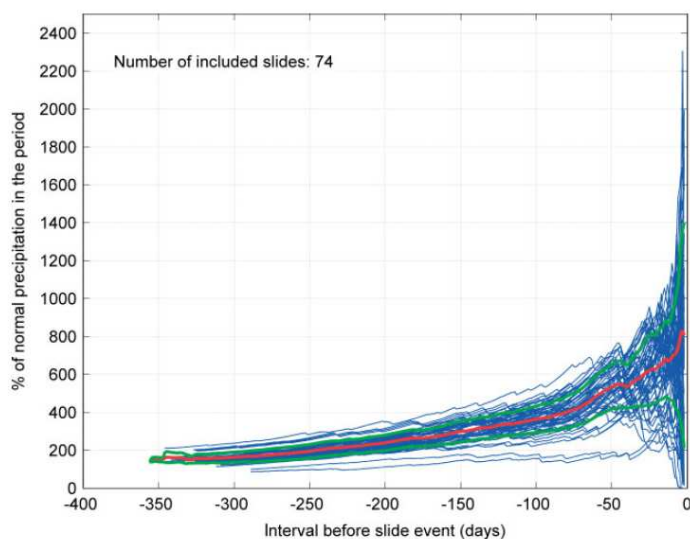
Ökad frekvens av intensiv nederbörd i Sverige kan alltså leda till ökad risk för slamströmmar. En liknande studie från Italien (Gregori et al. 2006) har presenterat en modell för ytliga skred och tröskelvärden för relativt kortvariga nederbördsperioder. Salciarini & Conversini (2007) presenterar en analytisk modell, TRIGRS (Transient Rainfall Infiltration and Grid-based Slope-stability), där man har utvärderat en serie skred i Umbrien i norra Italien. Studien visade att den viktigaste triggnande faktorn för slamströmmar (debris flows) var häftiga regn med mellan 12 och 24 timmars varaktighet, med liten topp också för mycket intensiva regn med mindre än en timmes varaktighet. Modellen kan enligt författarna utnyttjas för att prediktera risken för ytliga skred och slamströmmar i ett förändrat klimat. Samma modell har också utnyttjats i USA (Salciarini et al. 2008).

En annan studie från samma region i Italien (Mallet et al. 2007) identifierar två typer av nederbördssituationer för ytliga skred: A) karakteriserad av intensivt 1-dags regn efter en 30-dagars torrperiod och B) kraftig kumulativ nederbörd under 30 dygn. Den upprättade modellen över nederbördssituation och skredaktivitet applicerades på framtida klimatscenarier för perioden 2070-2089. Resultaten sammanfattas i två punkter; 1) på sydsluttningar leder ökad evapotranspiration och minskad markvattenhalt till minskad risk för instabilitet, 2) på nordsluttningar är inverkan av klimatförändring begränsad. Man pekar dock också på stora osäkerheter i scenarierna men menar sig ändå kunna peka på intressanta trender för slamströmmar ("mudslides") (Mallet et al. 2007).

Bo et al. (2008) konstaterar i en nypublicerad artikel att klimatförändringarna kommer att påverka flera faktorer av direkt betydelse för släntstabiliteten. Man lyfter särskilt fram förlust av vegetation och rötternas stabiliserande förmåga, förhöjd grundvattennivå och förhöjt portryck, ökad avrinning och slänterosion, ökad jordtemperatur och tining av permafrost som leder till ökad permeabilitet.

I Norge finns en detaljerad studie över 90 skred som utlöstes under den extremt regnrika hösten 2000 (Jaedicke & Kleven, 2007). Resultaten visar att den ackumulerade nederbörden under 53 dygn hade den största signifikansen för inträffade skred, figur 6.





Figur 6. Ackumulerad nederbörd föregående 74 daterade skred under hösten 2000 i Norge, normaliserad efter normal månadsnederbörd för samma period. Notera kurvornas brytning vid omkring 50 dagar, (från Jaedicke & Kleven 2007).

Den norska studien visar att nederbörden måste överstiga det normala under flera månader för att öka skredaktiviteten. Detta indikerar att det inte var de häftiga regnen före skredtillfällena i sig som var kritiska utan den ackumulerade nederbörden och grundvattnivån under längre tid. Ett möjligt varningssystem för skred måste således samla data under flera månader. Om 3-månaders nederbörden överstiger det normala med mer än 250 % innebär det hög sannolikhet för nya skred. Detta värde måste ökas till 450 % om vi ser till en period av endast 30 dagar (Jaedicke & Kleven 2007).

I en deskriptiv artikel av Geertsema et al. (2006) beskrivs 38 stora ( $> 0,5 \text{ Mm}^3$ ) kanadensiska berggras samt skred i marina leror, morän och lakustrina sediment. Det konstateras att frekvensen av stora skred i British Columbia tycks ha ökat under de senaste decennierna och det antyds en koppling till förändrat klimat, inte minst avsmältning av glaciärer som blottlägger dalsidor exponerade för skred och berggras. Skreden innebär ofta problem med uppdämning av vattendrag. Kopplingen till varmare och våtare klimat antyds men det konstateras samtidigt att de flesta skred triggas av bankerosion (Geertsema et al. 2006). Andra triggningsfaktorer som framhålls är jordskalv och pålast (bl a Rissaskredet i Norge).

I Sverige pågår en översiktlig analys av nederbördssituationen före ett 20-tal väl daterade skred (Lundström, SGI). Studien förväntas ligga klar under hösten 2008.

Modellutveckling för att beskriva kopplingen mellan nederbörd och skred, såsom slamströmmar och jordflytningsprocesser har pågått under mer än 20 års tid. Under de senaste 10 åren har dessa modeller kopplats till ett förändrat klimat. Flera modeller syftar till att hitta kritiska nederbördsmönster som underlag för skredvarningssystem, ibland tillsammans med övervakningssystem för markrörelser. När det gäller snabba skred i lera, av den typ som förekommer i Sverige, saknas motsvarande forskning. För svenska förhållanden finns ett behov av bättre utvecklade modeller för hur progressiva brott, med följande bakåtgripande eller framåtgripande skred i lera kan utvecklas med hänsyn till markegenskaper och geometri.

### 4.3 Grundvattennivå och porvattentryck

Gravitationen och de kapillära krafterna styr tillsammans vattnets fördelning och rörelser i en slänt. Den kapillära potentialen är ett undertryck som i ett poröst medium ökar med minskande vatteninnehåll. Den kapillära kraften kommer därmed att vara orienterad från regioner med högre vatteninnehåll mot regioner med lägre vatteninnehåll. Ett materials kapillära egenskaper kan beskrivas av en s k retentionskurva (även kallad pF kurva eller karakteristisk kurva). Retentionskurvorna kan användas för att uppskatta andra parametrar för den omättade jorden som beror av vatteninnehållet, som t ex (omättad-) hydraulisk konduktivitet och skjuvhållfasthet (Öberg, 1997, Lu & Likos, 2004). Analytiska retentionsmodeller (matematiska formler) anpassas ofta till den experimentella datan och modellernas anpassade parametervärden används sedan för att beskriva materialets retentionsegenskaper. Den kanske vanligaste empiriska modellen har presenterats av van Genuchten (1980). Att bestämma ett materials retentionskurva i laboratorium kräver speciell utrustning och är relativt tidsödande vilket är anledningen till att standardkurvor baserade på empiriska modeller används. I det enskilda fallet kan dessa vara missvisande vilket kan leda till en felaktig bedömning av stabilitet.

Forskning för att klarlägga grundvattennivåns och porvattentryckets förändringar till följd av ett förändrat klimat är viktig för att upprätta tillförlitliga modeller över förutsättningarna för skred och ras. Ökad vattenkvot kan öka hållfastheten hos torra siltiga och sandiga jordar, men för de allra flesta fall i det svenska humida klimatet med fuktiga jordar innebär ökad vattenkvot också ökat porvattentryck som minskar jordens hållfasthet. Högre nederbörd kan också leda till ökad avrinning och erosion, vilket i sin tur påverkar stabiliteten i sluttande terräng. En svårighet är dock att förutsäga den direkta grundvattenförändringen och inte minst grundvattentryckets genomslag på porvattentrycket i olika geologiska miljöer. Den praxis som utnyttjas i branschen idag innebär mätning av grundvattennivåer och/eller porvattentryck under en kortare period (ofta enstaka värden under 1-3 månader) som jämförs med uppgifter från SGU:s grundvattennät eller med erfarenheter från andra projekt. Använda maximala trycknivåer baseras sällan på längre mätserier.

Problematiken med att för ingenjörsmässiga tillämpningar upprätta prognoser för maximala grundvattentryck och porvattentryck med hänsyn till ett förändrat klimat behandlas ingående i ett doktorandprojekt vid SGI och Chalmers. Inledande resultat som visar HBV-modellens möjligheter att återge grundvattenfluktuationer har presenterats (Persson et al. 2007). Det fortsatta arbetet innefattar bl a uppföljning i fältstationer med mätning av grundvatten- och porvattentryck i lerområden. Andra bidrag har presenterats av McInnes (2007), Moore et al. (2007), Dijkstra et al. (2007) och Mallet et al. (2007).

Behovet av långa och tillförlitliga mätserier understryks också i en nyligen publicerad bok av Geological Society of London "Climate Change and Groundwater" (Dragon & Sukhija, eds 2008). Boken innehåller en exposé främst över grundvattenbildning och grundvattentillgångar i olika delar världen och man understryker att "the importance of the relationship between groundwater and climate change cannot be overestimated". Det konstateras också att det finns ett starkt samband mellan släntstabilitet och vattentrycket i porer och sprickor och därför också grundvattnet. Man drar slutsatsen att i områden

med ökad grundvattenbildning kommer instabilitet att öka medan det motsatta sker i områden med minskande grundvattenpåfyllning, (Dragon & Sukhija 2008)

Rahardjo et al. (2008) har studerat hur nederbörden påverkade porvattentryck och släntstabilitet på fyra platser med mäktiga residualjordar i Singapore. De fann att för jordar med låg permeabilitet hade regnperiodens längd stor betydelse och den mest kritiska portryckprofilen uppträdde när den ackumulerade nederbörden under 5 dagar nådde ett maximum, under en i övrigt våt period.

De klimatbetingade faktorer som påverkar erosionen längs vattendrag är främst höga vattenflöden, dels de extrema flödena som återkommer sällan men som kan ställa till stor förödelse när de inträffar, dels de mer frekventa flödestopparna som står för den fortgående erosion som successivt kan leda till skador. Samma faktorer, dvs. extrema flöden till följd av långa perioder med hög nederbörd som mättat marken, samt intensiva regn som ger erosionsangrepp, bidrar också i hög grad till ravinutvecklingen i siltiga jordar. Även benägenheten för moränskred och slamströmmar påverkas av intensiva regn som kan vattenmätta jordlagren. Riklig nederbörd utdraget över sommarmånaderna, när marken är otjälad, ökar här förutsättningarna för moränskred och slamströmmar.

Klimatscenerierna pekar på att nederbördsökningen i Sverige blir störst under vintern, när vegetationen är i vila och avdunstningen låg. Detta ger hög markfuktighet och höga vattennivåer i sjöar och vattendrag. När sommaren sedan kommer sjunker vattennivån i vattendragen medan vattentrycket i marken kan sjunka långsammare och fortfarande kan vara något förhöjt. När vattendragens mothållande effekt på så sätt minskar samtidigt som vattentrycket i marken är högt är risken för skred förhöjd. Detta kan dock inte sägas vara en generell situation som med säkerhet uppstår utan beror i hög grad på släntens geologiska beskaffenhet och tidsperspektivet inom vilket vattensituationen i och kring slänten förändras.

Det är viktigt att skilja på ett övre grundvattenmagasin i ytsprickorna respektive ett undre grundvattenmagasin i friktionslager under finkorniga sediment. Ny forskning (Persson, Alén, Berggren muntl komm) pekar på att det övre magasinet kan ha stor betydelse för ytliga skred också i Svenska leror. En speciell risksituation kan uppkomma efter en långvarig nederbördsrik period, som skapar höga grundvattentryck i det undre magasinet, efterföljt av ytterligare påspädning med häftig nederbörd som fyller ytmagasinet. Detta samspel mellan övre och undre grundvattentryck är en viktig framtida forskningsfråga.

#### 4.4 Jordmodeller

I dagsläget utförs till största delen beräkningar med stabilitetsprogram där jordmodellen beskrivs med cirkulär-cylindriska eller plana glidytor. För mer komplexa situationer med t ex bakåtgripande skred i kvicklera eller för komplexa portryckssituationer krävs ofta mer avancerade modeller som kan modelleras med numerisk simulering. Westerberg och Edstam (2007) har sammanställt forskningsfronten och utvecklingen kring materialparametrar och numerisk simulering. Detta är en av de viktiga grunderna för modern geoteknisk forskning bl a kring skred i lösa leror.

Grunden för rationella bedömningar av jordens respons (t.ex. rörelser och/eller portrycksförändringar) vid belastning utgörs av traditionella geotekniska fält- och laboratorieförsök kompletterade med specificerade laboratorieförsök, varav triaxialförsök utgör en av de mer avancerade metoderna. Baserat på försöksresultaten formuleras en matematisk modell (konstitutiv modell, materialmodell, jordmodell) som efterliknar det uppmätta beteendet. Från mitten av 1900-talet har mer sofistikerade materialmodeller successivt utvecklats, huvudsakligen baserat på allt mer avancerade laboratorieförsök och erfarenheter från konstruktioners beteende. Sådana modeller medför dock så komplicerad matematik att analytiska lösningar normalt saknas för praktiska tillämpningar. Samtidigt har dock datorernas beräkningskapacitet ökat vilket möjliggjort en utveckling av avancerade beräkningsverktyg för praktisk tillämpning. Sådana beräkningsverktyg baseras ofta på en approximativ numerisk lösningsmetod. De idag vanligaste approximativa lösningsmetoderna är finita elementmetoden (FEM) och finita differensmetoden (FDM).

### **Kunskapsläge och erfarenheter**

Utvecklingen av geotekniska materialmodeller och tillhörande avancerade beräkningsverktyg genomfördes till en början huvudsakligen i England och USA. I Sverige har forskning och kunskapsuppbyggnad inom området inom geotekniken med fokus på numerisk modellering, konstitutiva modeller och materialparametrar bedrivits på 80- och 90-talet vid Luleå tekniska universitet och vid Chalmers. Vidare har laboratorieprovning (huvudsakligen triaxialförsök) med syfte att beskriva (lös) jords egenskaper, spänningstöjningssamband och utvärdera materialparametrar bedrivits under de senaste decennierna framförallt vid Chalmers och Luleå tekniska högskola. I Sverige har man huvudsakligen inriktat forskningen på numeriska modeller och metoder eller experimentell provning och materialkaraktärisering.

Det finns ett antal doktorandprojekt/forskningsprojekt utförda i Sverige inom området jordmekanik där materialparametrar, konstitutiva ekvationer och numeriska metoder behandlas, exempelvis Fredriksson (1984), Yu (1993), Erlingsson (1993), Edstam (1995), Mattsson (1999), Westerberg (1999), Hall (2000), Baker (2000), Bahrekazemi (2001), Ahadi (2004), Smith et al. (2007) och Kullingsjö (2007). Det finns också några numeriska studier utförda för att simulera beteende hos konstruktioner (huvudsakligen järnvägskonstruktioner) bestående av olika konstruktionselement där jordmekaniska egenskaper inte primärt varit i fokus, exempelvis Bolteus (1984), Ekevid (2000), Karlström (2006), Lane (2007) och Lundqvist (2005). Numerisk analys av stabilitet och lokalisering av deformation i jord ha behandlats av exempelvis Tano (2001) och Larsson et al. (2002).

### **Pågående utveckling**

Utveckling och tillämpning av avancerade numeriska modeller (FEM och FDM) och materialmodeller pågår inom samtliga ingenjörsvetenskapliga områden (geoteknik, strukturmekanik, kemi, fysik, etc.). Det som huvudsakligen skiljer geoteknik från övriga områden är de materialmodeller som används, vilket i sin tur även ställer delvis speciella krav på de numeriska lösningsmetoder som erfordras vid geotekniska tillämpningar.

Trots att det finns svårigheter att använda avancerade numeriska analyser av geotekniska problem har sådana modeller potential att bli ett tillförlitligt analysverktyg med ökad användning (Potts, 2006). Sverige ligger vid en internationell jämförelse efter inom det-

ta område och det behövs ökade insatser för att kunna använda avancerade beräkningsmodeller för att förutse konsekvenser av ett förändrat klimat på känsliga områden i finkorniga jordar. Ett pågående doktorandprojekt vid SGI och Chalmers studerar med numerisk modellering hur effekterna av ett förändrat klimat, i form av höjda porvattentryck och ökad erosion, kan komma att påverka val av förstärkningsåtgärder.

De prognosmetoder som idag normalt används vid stabilitetsbedömningar är osäkra och utveckling av nya metoder krävs för att kostnadseffektivt kunna utföra rätt förstärkningsåtgärder. För att värdera hur olika nederbördsökningar, t ex kraftiga skyfall eller långvarig nederbörd påverkar olika typer av jordar krävs det ökad kunskap (Hultén et al. 2005).

Det ingenjörsmässig arbetet med att beräkna stabilitet och utforma geokonstruktioner bygger på ett antal regelverk och anvisningar som nu håller på att förändras. Det arbete som nu pågår med att införa europastandarder (Eurokoder) för dimensionering och utformning av geokonstruktioner innebär bl a ett nytt sätt att utföra stabilitetsberäkningar, där partialkoefficienter används på olika parametrar istället för totalsäkerhet som används idag enligt Skredkommissionens anvisningar. I Sverige har Implementeringskommissionen för Europastandarder, IEG, bildats för att ge stöd till branschen vid införandet av de nya standarderna för geotekniska undersökningar och beräkningar. Inom IEG drivs ett antal projekt för att ge vägledning för hur Eurokoden skall tillämpas för olika geokonstruktioner, bl a rörande slänter och bankar där hänsyn skall tas till framtida klimat. Detta arbete är dock ännu ej avslutat.

## 5 SÅRBARHET OCH RISKANALYSER

Samhällets sårbarhet och behov av anpassning till ett förändrat klimat beror på hur väl man lokalt har anpassat sig till olika förändringar, det vill säga vilken hänsyn som tagits i den fysiska planeringen och i utformningen av infrastruktur och byggnader. Klimatförändringen kan leda till både ökad sårbarhet, minskad sårbarhet eller helt nya sårbarheter (Rummukainen et al. 2005). Ju längre period planeringen avser desto större spännvidd av tänkbara klimatförhållanden finns att ta ställning till.

I Sverige har huvuddelen av problemen med massrörelser berört områden med ler- eller siltjordar. De största konsekvenserna har uppträtt i områden med kvicklera. Översiktliga stabilitetskartering i bebyggda områden där det finns förutsättningar för jordrörelser (ler- och siltområden samt morän och andra grövre jordar med förutsättningar för ravinbildning) utförs av Räddningsverket.

### 5.1 Klimatförändringar kräver ökad kunskap

Den ökning av nederbörd, avrinning och intensiva regn som presenteras i klimatscenerierna kan förväntas få konsekvenser för markens egenskaper. Klimatförändringens betydelse för markförhållanden och samhällsbyggande avspeglas bl a i presenterade forskningsprogram som översiktligt refereras nedan.

SGI har tidigare i ett förslag till geotekniskt FoU-program inom klimatområdet översiktligt beskrivit möjliga konsekvenser samt kunskapsbehovet för fyra samhällssektorer: Säkert boende, Transportsystem och urban teknik, Strandnära områden samt Förorenad mark. Genomgången visade att samtliga dessa områden kan komma att påverkas av förändrade stabilitetsförhållanden, dvs. ras, skred, erosion och slamströmmar (Rydell et al. 2003). Behov av forskning för att anpassa samhället till ett förändrat klimat har också lyfts fram i de Geotekniska kunskaps- och forskningsstrategier som tagits fram gemensamt inom den geotekniska branschen (SGI 2004, 2007). Det konstateras att *"här finns behov av ny kunskap om grundläggande samband mellan klimatförändringarna och förhållandena i mark, t.ex. stigande grundvatten, ökande vattenföring och erosion för att kunna förebygga och förhindra skador på bebyggelse och infrastruktur"*. FoU-behovet inom detta fält finns också uttryckta i SGI:s förslag till handlingsplan för åren 2007-2009 *"På säker grund för hållbar utveckling – förslag till handlingsplan för att förutse och förebygga naturolyckor i Sverige vid förändrat klimat"*. Följande övergripande forskningsområden har där pekats ut:

- Processer och egenskaper i mark
- Kartläggning av skredrisker
- Riskområden som underlag för dimensionering
- Utprovning och utvärdering av förstärkningsmetoder
- Utveckling av erosionsskydd
- Implementering och kunskapsförmedling.

En viktig slutsats är också att FoU-insatser inom klimatområdet kräver både inomvetenskaplig forskning och tvärvetenskapliga angreppssätt. Såväl baskunskap som tillämpad kunskap behöver utvecklas. Samverkan mellan olika forskningsorganisationer, myndigheter och andra samhällsaktörer är centralt.

I sin forskningsstrategi för 2009-2012 pekar Formas ut *"Klimat och energi"* som ett av fem teman som är angelägna för samhällets utveckling. Man anger bl a att angelägen forskning gäller effekter på människan, naturen och samhället, behovet av anpassning inom samhällets olika områden och lämpliga styrmedel.

På motsvarande sätt har Mistra i sin nyligen lanserade utlysning *"Urban Futures"* pekat ut klimatfrågan som en av fem prioriterade teman, Mistra formulerar temat som *"Reshaping Cities in Response to Climate Change: Risks, Mitigation and Adaptation"*.

Inom pågående utlysning i EU:s 7:e ramprogram finns ett tema 6 *"Environment - Including Climate Change"*. Inom detta tema har man bl a pekat ut forskningsbehov rörande:

*"Integrated methodology providing a common platform for an improved assessment of climate change impacts, vulnerability and related cost effective adaptation measures"*. Målet är att utveckla metoder för bedömning av klimateffekter för olika nyckelområden på Europnivå, samt kostnader för anpassningsåtgärder.

*"Options for adaptation strategies integrating sectorial and cross-sectorial measures in view of post-2012 climate initiatives"*. Målet är att utveckla strategier och metoder för klimatanpassning med hänsyn till ekologiska, sociala och ekonomiska kostnader och nyttor.

*"Climate Change impacts and respons"*. ERA-NET project för samverkan för att upprätta nationella forskningsagendor i samverkan mellan EU-länder.

*"Costs of natural hazards"*. Utveckla bättre metoder för beräkning av kostnaderna för olika naturolyckor.

*"Risk, prevention and management of urban floods"*. Utveckla medium- långsiktiga strategier för analys och hantering av riskerna för urbana översvämningar (bl a till följd av hårdgörning av markytor).

Situationen för infrastruktur och bebyggelse har tagits upp i Klimat- och sårbarhetsutredningens slutbetänkande och i de tekniska rapporter som ligger till grund för slutbetänkandet (SOU 2007:60). Det konstateras bl a att den kommunala fysiska planeringen enligt PBL är det viktigaste instrumentet för att undvika att ny bebyggelse kommer till stånd inom områden som är eller kan bli hotade av ras och skred och att utvecklad geoteknisk och miljögeoteknisk kunskap kommer att krävas till stöd för planering och byggande. Utredningen konstaterar att, *"En ökad kunskap om förändrade förutsättningar för erosion, ras och skred i ett förändrat klimat är grundläggande. En viktig uppgift är att anpassa befintlig bebyggelse. En annan är att anpassa samhällsutvecklingen och utforma nya konstruktioner"*.

Klimat- och sårbarhetsutredningen pekar ut sex områden med behov av utökade samlade forskningsinsatser;

- Utveckling av klimatmodeller
- Samhällets tekniska system och fysisk planering
- Markecosystem, miljöeffekter och areella näringar
- Ekosystem i hav, effekter på ekosystemtjänster, turism och fiske
- Smittspridning och hälsa
- Klimatförändringar i Sverige och omvärlden, socioekonomiska effekter, anpassningsåtgärder och påverkan på samhällsekonomin.

Inom dessa områden utpekas flera forskningsbehov med direkt koppling till skred och ras, t.ex;

- Forskning kring erosions-, ras- och skredrisker i ett förändrat klimat,
  - lokala prognosmetoder för att bedöma samband mellan grundvattentryck och portryck
  - metoder för kartering av jordrörelser
  - utveckling av varningssystem.
- Översvämningar och kombinationsrisker som risk för spridning av föroreningar
- Dammsäkerhet
- Forskning om processer och konsekvenser av ökad vattenfärg och ökade humushalter.

I den översiktliga sårbarhetsanalysen för översvämning, skred, ras och erosion i bebyggd miljö i ett framtida klimat, som tagits fram som underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU 2007: 60, bilaga B 14) gjordes avgränsningen att förändrade förutsättningar för skred är viktiga att studera i första hand inom de områden som redan idag har förutsättningar för sådana jordrörelser. Eftersom problem med skred i huvudsak uppstår i närheten till vatten avgränsades en 100 m bred zon från sjö, vattendrag eller hav för att få en uppfattning av värdet på de fastigheter och byggnader som kan komma

att påverkas. Det bör dock påpekas att skred och ras kan beröra även andra områden och att skred, särskilt i kvicklera, också kan sträcka sig betydligt längre än 100 m från angränsande vatten.

Boverket har i regleringsbrev för 2008 fått i uppdrag att utveckla metoder för hur planering och byggande, med stöd av plan- och bygglagen, kan anpassas till klimatförändringarna med hänsyn till riskerna för översvämningar, ras, skred och erosion. Uppdraget skall redovisas senast den 1 juni 2009.

Den klimatrelaterade geotekniska forskningen med inriktning på ett förändrat klimat inleddes omkring mitten av 1990-talet, men är ännu relativt begränsad. Kopplingen mellan jordskred, nederbörd och klimatförändringar är dock väl känd och diskuteras över hela världen. En internetsökning på kombinationen "*climate change landslide*" genererar mer än en halv miljon träffar. Huvuddelen av materialet är av översiktlig karaktär som beskriver sambandet mellan främst nederbörd och skred i allmänna termer, medan vetenskapliga analyser eller kvantifieringar av ändrade risker ännu är få.

Av ovanstående översiktliga genomgång av identifierade forskningsbehov framgår att detta fält fortfarande befinner sig i en uppbyggnadsfas. Ännu återstår mycket forskning innan vi kan förstå och kvantifiera konsekvenserna av klimatförändring för ras, skred och slamströmmar.

## 5.2 Riskanalyser och riskhantering

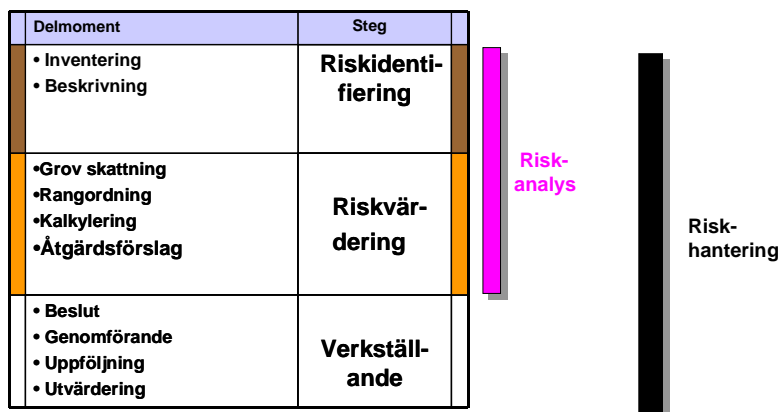
Att beskriva benägenheten eller sannolikheten för skred och ras kräver kunskap om geologiska förhållanden (inkl klimatet), modeller för jordens egenskaper och uppträdan samt yttre förhållanden som laster och annan mänsklig aktivitet. Man kan beskriva tre olika förutsättningar för hantering av geotekniska risker:

- processerna är kända och kan stoppas - t ex genom att motverka skred genom att anlägga erosionsskydd eller genom att minska det inre vattentrycket genom dränering,
- processerna är kända men inte kan stoppas - t ex en tsunami, där ett varningssystem kan minska risker för personskador,
- processerna är dåligt kända och endast kan mötas med erfarenhet – t ex flytta verksamheten från ett bedömt riskområde.

Förutsättningarna för riskanalys kring klimatförändringar, skred och ras i Sverige kan i någon mening sägas omfattas av alla dessa tre förutsättningar.

Det finns olika definitioner av vad som avses med *riskhantering*. Ofta används begreppet för att beteckna den beslutsfas som kommer efter riskbedömningen. Det finns dock ingen klar distinktion mellan riskbedömning och riskhantering och frågan är därför ofta föremål för diskussion. I Sverige används ofta termen riskhantering som benämning på alla de aktiviteter som kan ingå när man vill bedöma en risk och fatta beslut om riskreducerande åtgärder, se t ex Vägverket, figur 7.





Figur 7. Vägverkets riskhanteringsmodell (Vägverket publ 2005:54).

Termen riskhantering omfattar då en uppskattning av risken, beslut om huruvida risken är acceptabel respektive lämpliga åtgärder för att minska risken för de fall där risknivån inte kan tolereras. Vid val av riskreducerande åtgärder är det nödvändigt att väga kostnader mot nytta. Ras- eller skredrisken för en slänt kan ses som en uppskattning av möjligheten att ett ras eller skredet orsakar en viss skada inom en viss tidsperiod. Av praktiska skäl beräknas risken ofta som produkten av sannolikheten för att en ogynnsam händelse inträffar (till exempel 1 av 10 000 per år) och konsekvensen av en sådan händelse (t.ex. personskada eller dödsfall). Van Westen et al. (2006) har uttryckt det med följande formel för skredrisker, som kan sägas representera en gängse uppfattning:

$$\text{Risk} = \sum (H \sum (VA))$$

Där:

H står för "Hazard" dvs faran uttryckt i sannolikheten att ett skred inträffar inom en viss referensperiod.

V, "Physical vulnerability" dvs vilka tillgångar som kan komma till skada

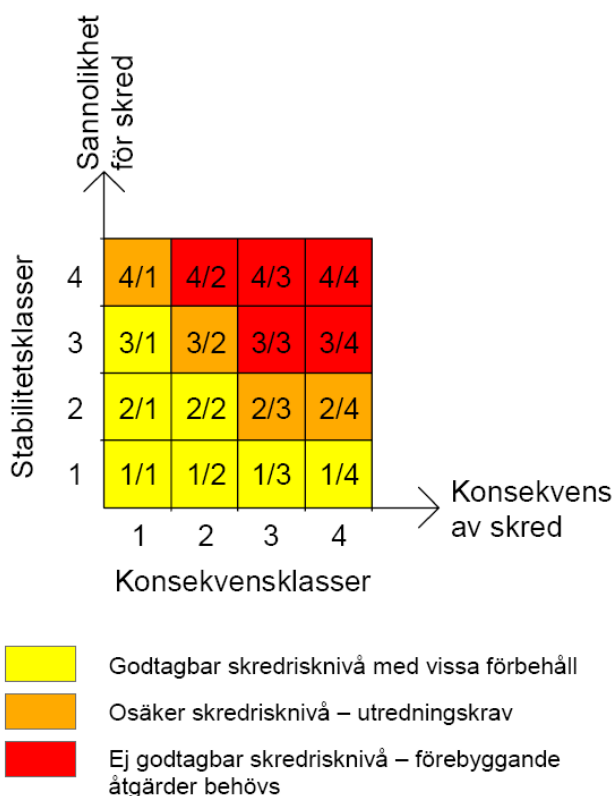
A, "Amount of cost" dvs kostnaden för de tillgångar som kan beröras.

(Van Westen et al. 2006)

### 5.2.1 Kartering och analys av skred- och rasrisker

Som stöd för planering och anpassning finns behov av metoder för riskanalys och riskhantering. Forskningen inom fältet kan sägas innefatta två delar, dels konceptualisering och utveckling av metoder för riskanalys och dels utveckling av metoder för kartläggning

Som planeringsunderlag har utvecklats en metod för skredriskanalys för tillämpning längs Göta älv. Metoden bygger på en analys av markens brottsannolikhet, uppdelad i fyra stabilitetsklasser och konsekvenserna, också uppdelade i fyra klasser (från lindriga till katastrofala). Resultatet redovisas i en riskmatris med markerade risknivåer, figur 8. Risken kan minskas genom att minska sannolikheten för skred eller minska konsekvenserna vid eventuellt skred.



Figur 8. Skredriskmatris med indelning i tre skrednivåer. (Från SGI 2004)

Vägverket har utnyttjat samma typ av riskmatris för att analysera riskerna längs det allmänna vägnätet. I denna metod ingår ett sätt att bedöma risker för naturolyckor som skred, ras, erosion och översvämning (Vägverket publ 2005:55). I rapporten anges att: ”Vid en översiktlig bedömning av skred- och rasrisker finns inga möjligheter att uppskatta påkänningar och hållfastheter så att sannolikheten för skred/ras kan bestämmas med tillräcklig noggrannhet. I bedömningen måste också yttre tecken på instabilitet och pågående förändringar av belastningar och hållfastheter vägas in.

Skredriskbedömning bör därför göras i följande steg:

1. inventering av förutsättningar för skred och skredrisk (kontorsarbete)
  - a. geologiska och hydrogeologiska kartor och flygbilder
  - b. utförda geotekniska undersökningar / förstärkningar
  - c. dokumentation av äldre skred och sättningar
  - d. sträckor där konsekvens av skred kan bli allvarliga
  - e. tidigare utförda skredriskarteringar, exempelvis inom bebyggda områden utförda genom Räddningsverkets försorg
2. val av områden där skredrisk ska bedömas. Inte enbart närområdet till vägen bör bedömas eftersom skred kan initieras på längre avstånd från vägen och därefter gripa bakåt och omfatta vägen. Även om vägen i sig är stabil kan skredmassor från omgivningen blockera vägen.
3. bedömning av sannolikhet för skred (besiktning i fält och kontorsarbete)
  - a. beskrivning av geometri och yttre belastningar
  - b. bedömning av jordlagerföljd och hållfasthet
  - c. överslagsberäkning av säkerhetsfaktor

- d. bedömning av tecken på instabilitet och tidigare skred
  - e. bedömning av pågående förändringar i påkänningar och hållfastheter
  - f. samlad bedömning av skredsannolikhet
4. beskrivning av konsekvenser
  5. beskrivning av skredrisk

Karlstads universitet har under våren 2008 inrättat Centrum för klimat och säkerhet (CCS). CCS bedriver forskning och samverkan inom området klimatrelaterade risker, särskilt översvämningar. CCS medverkar tillsammans med en lång rad andra svenska och europeiska organisationer i EU-projektet SAWA som handlar om översvämningshantering. CCS uppger på sin hemsida att *"Hantering av extrema väderhändelser med plötsliga förlopp och skadebringande konsekvenser kommer att bli en viktig del av anpassningsarbetet till ett förändrat klimat i Sverige och i andra länder. Genom lärande från inträffade händelser kan vår forskning ge kunskaper om hur samhällets sårbarhet kan minska"*. Centrat kan därmed komma att bidra med klimatrelaterad riskforskning av vikt även för skred och ras.

Den internationella forskningen inom området kan sägas följa tre utvecklingslinjer – dels att utveckla metodiken att beräkna sannolikheter och konsekvenser för olika faror, dels att utveckla metoder för riskkartering och dels att bredda riskanalysen till att omfatta även organisatoriska frågor. Det engelska Highways Agency har utvecklat en metod för riskanalys av vägar med hänsyn till klimatförändring (Highways Agency 2008). Man konstaterar där att *" whilst the Highway Agency's assets are receptors of climate events, it is, for example, the way in which these assets are designed, maintained and operated that are defined as vulnerabilities. This definition of vulnerabilities has been used to reflect the fact that it is the way the Highway Agency works that needs to be adopted to meet the challenges of a changing climate"*

Metodutvecklingen kring riskanalys inriktas bl a på att utnyttja statistiska metoder. Konceptualiseringen av risk som en händelsekedja kan ses som ett beskrivande verktyg, även om kedjan av händelser kan göras mer formell med händelse-orienterade modeller, så som t.ex. händelse-träd, eller Bayesian nätverk eller interaktionsmatriser (Hudson, 1992; Nilsson et al, 2004). Händelseorienterade eller logiska modeller beskriver förutsättningarna för att händelserna ska uppstå och de är sammansatta av villkorssatser och logiska termer, vanligen med ett binärt resultat (Nilsen & Aven 2003). Det handlar i stor utsträckning om att beskriva och ta ställning till osäkerheter. Kostnads-nyttoanalyser beträffande olika åtgärdsalternativ har börjat utvecklas för skredrisker i ett förändrat klimat (SGI-pågående projekt tillsammans med Länsförsäkringar) men här behövs ytterligare metodutveckling för olika åtgärder.

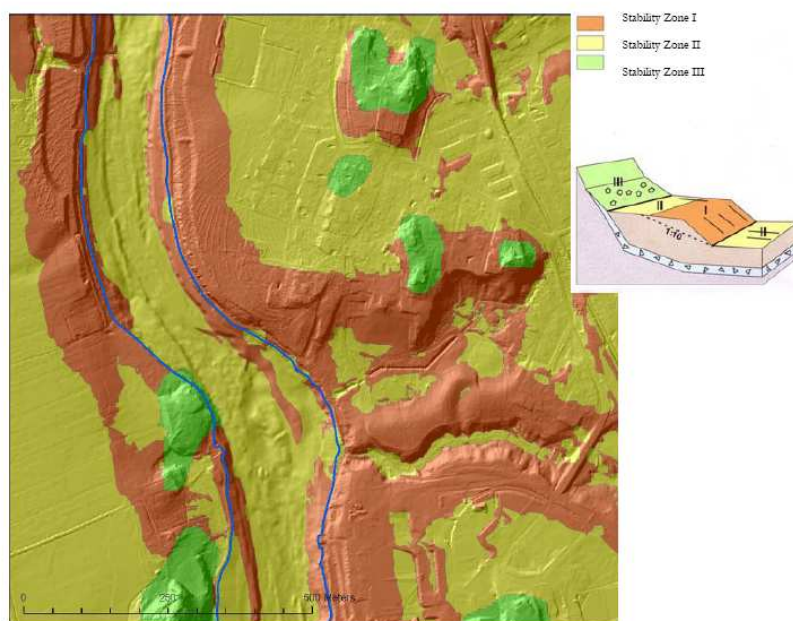
Norges Geotekniska Institut (NGI) är värd för INTERNATIONAL CENTRE for GEOHAZARDS (ICG) – ett excellenscentrum basfinansierat av det Norska forskningsrådet och med internationellt samarbete. Centrat driver forskning inom 12 områden relaterade till geo-risker bl a skred och ras, dock inget direkt inriktat på klimatförändring. En stor del av arbetet inriktas på att utveckla karteringsmetoder och varningssystem. Forskningen vid ICG har ännu ingen stark knytning till svenska förhållanden.

Statens vegvesen i Norge bedriver ett fyraårigt forsknings- och utvecklingsprojekt "Klima og Transport" under 2007 - 2010. Budgeten är 20 MNOK. Syftet med projektet är att förbättra rutiner och regelverk för planering, projektering, byggande och drift av väg

vid förändrat klimat. Det finns 7 delprojekt, däribland fyra som direkt berör skred och ras; Skredrisk; Skredsikring og prioriteringsmodell; Metoder for skredsikring; Kvikkleire; Vannrelaterte skredtyper.

I projektet arbetar man inom delområde ”Snö-, sten-, jord-, slamströmmar och kvikkle-reskred” med hur utlösningen och frekvensen av skreden kan påverkas av ändrade klimatförhållanden. En viktig del av arbetet är att ange hur stor skredrisk som kan accepteras för vägnätet. Det får konsekvenser för skredriskplaneringen och skredvarning på utsatta vägsträckningar. En bättre förståelse krävs av kopplingen mellan väder och olika skredtyper. Delprojektet ska utreda om existerande skredutsatta vägsträckningar får ändrade skredförhållanden och om nya områden kan bli utsatta för skred. Data ska vara lätt tillgängliga för vidare analyser för att kunna göra en riktig prioritering av skredsäkring-såtgärder i framtiden. Åtgärder bör dimensioneras utifrån olika skredtyper. Målet är att få en översikt över behovet av åtgärder och ett verktyg som kan användas vid dimensionering och prioritering.

Inom EU-projektet Risk Mitigation for Earthquakes and Landslides (LESSLOSS) utnyttjades laserskanning för att bygga upp digitala terrängmodeller (LS DTM) som grund för stabilitetsberäkningar (Fallsvik, 2007). Metoden är ännu relativt kostsam men kan i ett GIS-system ge underlag för zonerade skredriskkartor, se figur 8:



Figur 8. Göta älvs dalgång vid Lilla Edet. Skredrisk-zonering med hjälp av laserscannat topografiskt underlag (Från Fallsvik 2007). Röda områden, Zon I, har förutsättningar för skred och bör utredas ytterligare.

Inom EU-projektet Prevention, Information and Early Warning (PREVIEW) arbetar 58 olika partners i 15 länder med att utveckla förbättrade geoinformationstjänster för riskhantering av naturolyckor (stormar, kraftiga regn, översvämningar, skogsbränder, jordbävningar, vulkanutbrott och skred). Räddningsverket, Metria och SGI arbetar med att ta fram en webb-baserad plattform som hjälp för att förutsäga och /eller övervaka skredrörelser. Svenska testområden finns i Vagnhärad och Sundsvall. Relevanta svenska resultat avser stabilitetskartering, stabilitetsklasskarta samt prioritering av utredningsbe-

hov baserat på konsekvenser. Det har också konstaterats att snabba lerskred av den typ som förekommer i Sverige inte kan förvarnas genom att övervaka ev markrörelser med satellit. Bedömningen är att satellitövervakning passar bättre för långsamma långvariga sluttningsprocesser (<http://www.preview-risk.com/en/index.php>)

Det kanadensiska nätverket "Canadian Impacts and Adaptation Network" etablerades 2001 av den kanadensiska regeringen. Kanada har i flera avseenden likartade problem som Sverige när det gäller skred och ras, bl a finns likartade kvickleror. Nätverket, som avslutades juni 2007, hade i uppgift att stödja och utveckla forskning kring klimatpåverkan och anpassning samt stödja och utveckla samarbeten mellan berörda parter. Nätverket har producerat en rad posterutställningar och allmänt informationsmaterial bl a om skred och ras "Vulnerability of Landslide Risk to Climate Change, C-Ciarn, 2004", baserat på en nationell kanadensisk workshop (Tanuja & Stevens 2004). Inom nätverket har det också producerats sex regionala rapporter. Inom nätverket har man bl a identifierat behov hos beslutsfattare att: kunna 1) beskriva kopplingen mellan klimatförändring och skred i termer av magnitud, frekvens och lokalisering; 2) upprätta regionala och en nationell skreddatabas; 3) upprätta riskkartor. Några specifika riskkartor har dock inte publicerats. I Kanada finns dock ett system för "terrängstabilitetskartering" (Terrain Stability Map, TSM) som utnyttjas inom skogsbruket och beskriver skredrisker i fem terrängklasser utifrån jord- och bergförhållanden, topografi och skredhistoria (Gertsema & Schwab, 2006). Systemet utnyttjas för att bedöma riskerna för skred och ras i samband med skogsavverkning och vägbyggnation.

Dai et al. (2002) har i en övergripande analys av skredriskhantering pekat på att skredrisken på många håll ökar genom:

- Urbanisering och byggande i skredkänsliga områden
- Avskogning i skredkänsliga områden
- Ökade nederbördsmängder till följd av klimatförändring

För samhället, på kommunal, regional och nationell nivå, finns ett antal olika strategier att välja mellan då risken för skred skall hanteras (Dai et al, 2002):

- *Planering och kontroll* är det effektivaste och mest ekonomiska sättet att förebygga skredrisk. Exempel på åtgärder är restriktioner för byggande i skredkänsliga områden, anvisningar för hur mark- och byggarbeten får utföras eller att bygga om eller avveckla infrastruktur eller byggnader i skredkänsliga områden.
- *Tekniska åtgärder* kan utföras för att förbättra släntstabiliteten eller för att kontrollera och styra skredet om det väl inträffar. Alla typer av tekniska åtgärder är kostsamma och riskreducering enligt detta alternativ är därför det dyrt. Exempel på tekniska åtgärder för att öka stabiliteten hos slänten är dränering av yt och grundvatten, anläggande av mothållande strukturer, förstärkning av slänt (jordspikning, mikropålar, grouting etc) och modifiering av slänters geometri genom schaktning.
- En kommun eller samhälle kan *acceptera* viss risk under förutsättning att risken är väl känd och förstådd och att det finns uppenbara fördelar med att acceptera denna risk. En tolerabel risknivå måste då definieras och det finns ett antal kriterier som en sådan bör uppfylla (Fell & Hartford, 1997).
- *Övervakning och varningssystem* kan användas för slänter med låg stabilitet. Potentiella berörda av ett skred kan varnas och evakueras för att undgå skada. Detta kan vara en lämplig åtgärd för vissa slänter där andra åtgärder inte är tekniskt

möjliga eller ekonomiskt försvarbara (Kwong et al., 2004). Målsättningen med ett övervakningssystem är bedöma det nuvarande tillståndet och registrera avvikelser utifrån det. Övervakning kan innebära mätning av deformationen med inklinometrar, GPS (Huabin et al. 2005), eller mätning av porvattentryck, eller meteorologiska variabler.

För svenska förhållanden tillkommer frågor kring landhöjning och förändrade förutsättningar för erosion.

Topografiska förhållanden är en av de viktigaste parametrarna för kartering av skredrisker och därför finns behov av goda terrängmodeller. Metodutvecklingen rörande riskartering inriktas i stor utsträckning på att utnyttja GIS-verktyg och olika typer av ytkarakterisering genom fjärranalys med hjälp av flygbilder, satellit- och radarbilder. Som underlag för riskkartor rörande skred och ras i ett förändrat klimat, måste det finnas en föreställning om vilka klimatrelaterade faktorer som är viktiga samt hur dessa kan tänkas förändras. Skred och ras är vanligen lokala fenomen som för riskanalyser kräver detaljerad kunskap. Detta gör riskinventering och riskartering för skred, ras och slamströmmar arbetskrävande och metodutveckling för att bättre kunna utnyttja fjärranalys. Med hänsyn till klimatförändring krävs också ytterligare forskningsinsatser för att identifiera och koppla relevanta klimatfaktorer till riskanalyser och åtgärder.

Geotekniska egenskaper hos lerjordar studeras också ur ett geologiskt perspektiv. Avsikten är bl a att kartläggningen med hjälp av borrhning och provtagning skall kunna kompletteras med geologiska modeller över sedimentavsättning och markkemiska processer. Forskning som studerat utlakning och porvattenkemi hos leror (Andersson-Sköld et al., 2005) och annan forskning tar upp sedimentationsmiljöer (Stevens opubl.). Kopplingen av geologiska modeller och geotekniska egenskaper hos lerjordar kan bli ett konstruktivt bidrag till karteringen av kvicklera och skredrisker.

### 5.3 Klimatindex och naturolyckor

Rosby Centre vid SMHI har i anslutning till Klimat- och sårbarhetsutredningen framställt fler än 10 000 kartor över olika klimatvariabler. Marken är ett komplex system av fasta partiklar, porgas och porvatten som hela tiden interagerar med atmosfärens luft, vatten och temperatur. I någon mening påverkar nästan samtliga klimatrelaterade faktorer, som t.ex molnighet och vindar också marken och dess egenskaper. I praktiska sammanhang rörande skred, ras och slamströmmar är det dock relevant att skilja ut några klimatrelaterade faktorer, eller klimatindex, med störst inverkan.

I Klimat- och sårbarhetsutredningens underlagsrapport med översiktlig sårbarhetsanalys för översvämningar, skred, ras och erosion i bebyggd miljö(SOU 2007:60, Bilaga B14) har följande klimatfaktorer pekats ut som mest kritiska för skred och ras:

- Nederbörd
- Temperatur
- Höga flöden
- Flödestoppar
- Intensiva regn
- Sommarnederbörd

Baserat på tillgängliga klimatindex framtagna av Rossby Centre har följande urval gjorts beträffande jordrörelser och klimat, tabell 3, (SOU 2007:60, Bilaga B14). Tabellen 2 visar också vilken vikt som lagts vid olika index 1(minst)- 3(störst).

*Tabell 2. Influens på jordrörelser från olika utvalda tillgängliga klimatindex framtagna av Rossby Centre. Tabellen visar även hur arbetsgruppen har bedömt hur influensen från dessa utvalda klimatindex är för de olika studerade jordrörelserna. Från SOU 2007:60, Bilaga B14.*

Jordrörelse	Påverkande förhållande	Valt index (differenskartor) Förändrad:	Differenskartans beteckning (Differens mellan 1961-1990 och 2071-2100)	Influens, inbördes bedömd viktning
Erosion	• Intensiva regn	• Frekvens av intensiva regn (>25 mm/dygn)	DIFF_Precip_nGT 25_A2_ECHAM4	1
	• Höga flöden	• Frekvens av hundraårsflöde	Förändring i hundraårsflöde ECHAM/A2	1
Skred och ras i ler- och siltslänter	• Portryck	• Avrinning	Flöde ECHAM/A2	1
	• Erosion	• Erosion (enligt denna utredning)	Figur 4.1 (enligt denna utredning)	1
Ravinutveckling	• Erosion	• Frekvens av intensiva regn (>25 mm/dygn)	DIFF_Precip_nGT 25_A2_ECHAM4	1
		• Frekvens av hundraårsflöde	Förändring i hundraårsflöde ECHAM/A2	1
Moränkskred och slamströmmar	• Intensiva regn	• Frekvens av intensiva regn (>25 mm/dygn)	DIFF_Precip_nGT 25_A2_ECHAM4	3
	• Säsongsnederbörd	• Säsongsnederbörd (sommar)	DIFF_Rainfall_sum_A2_ECHAM4_RCA3_JJA (juni, juli, augusti)	1

Förklaringar:

- A2 scenariot innebär fortsatt stora utsläpp av koldioxid, från dagens 8 miljarder ton/år till nära 30 miljarder ton/år 2100.
- ECHAM4 är en klimatmodell från Max-Planck institutet i Tyskland
- Resultaten från de globala modelleringarna har tolkats till regional skala av Rossby Centre, SMHI, med hjälp av Rossby Centers regionala modell, RCA3.
- Beräkningar av avrinningen baseras på HBV-modellen, SMHI.

Förändringen i benägenheten för skred och ras i ler- och siltslänter på grund av klimatförändringen framgår av Figur 9. Bedömningarna bygger på en överlagring, eller sammanvägning, av underlagskartor och klimatindex där hänsyn också tagits inbördes vikt för respektive klimatindex. För att avgränsa områden med benägenhet för skred och ras har använts underlag generaliserat från SGU:s översiktliga karta ”Frekvensen av skred

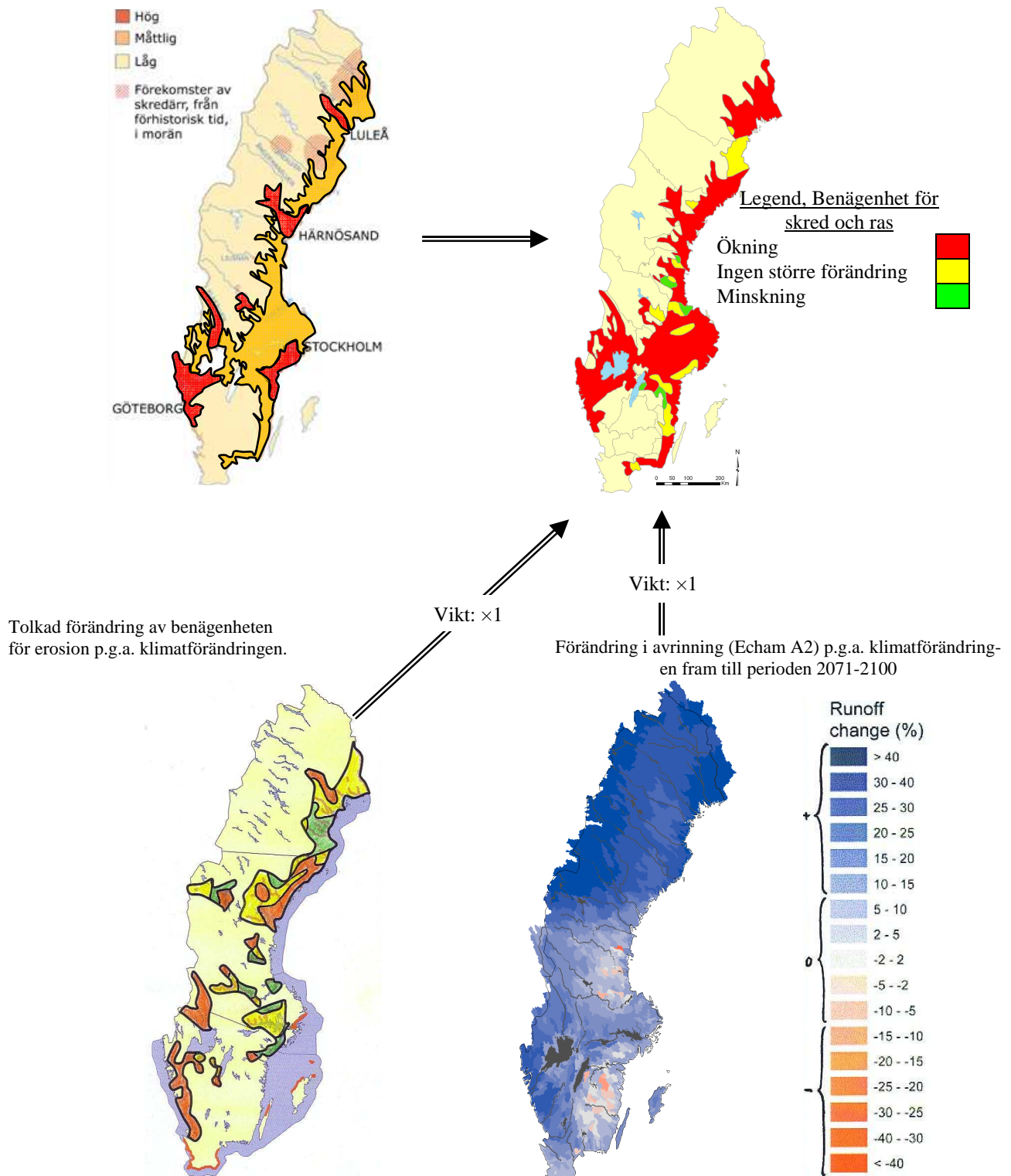
och ras i Sverige”, (se även SGI, SGU, Räddningsverket, 2006). Det bedöms att för ca 1 % av Sveriges yta finns förutsättningar för uppkomst av spontana jordskred (Preview, 2008)

Den klimatbetingade förändring som påverkar benägenheten för skred och ras i ler- och siltslänter är bl a portrycksförhållandena som påverkas av fluktuationerna i grundvattenbildning och grundvattennivå. Indexkartor saknas för porvattentryck eller grundvattenförhållandena, men det bedömdes att avrinningen, som till största delen består av grundvattenutflöde, kan tjäna som en indikator. Därför valdes förändringar i flöde samt erosion som underlag. Kartan i figur 3 visar områden som redan idag kan ha förutsättningar för skred och ras. Der bör understrykas att det handlar om *förändring i benägenhet* utifrån dagens situation, som inom vissa områden kan innebära låg sannolikhet för skred och ras även vid klimatförändringar.



Underlagskarta – Områden med risk för skred och ras i områden med jordlager med lera och silt (från Figur 3.3)

Resultatkarta: Förändring av benägenheten för skred och ras p.g.a. klimatförändringen fram till perioden 2071-2100



Figur 9. Sammanvägning, områden med benägenhet för skred och ras. Förändrad benägenhet för skred och ras på grund av ökad avrinning som leder till ökat portryck och erosion beroende på klimatförändringen fram till perioden 2071-2100, jämfört med 1961-1990. (Något redigerad från, Fallsvik et al. 2007).

Banverket anger i sin underlagsrapport till Klimat- och sårbarhetsutredningen (Bilaga B2, Svensson et al., 2007) att de klimatfaktorer eller väderhändelser som bedöms ge störst konsekvenser för järnvägssystemet och samtidigt är mest sannolika att inträffa är:

- Högre temperaturer (i kombination med mer nederbörd ger detta dessutom högre luftfuktighet och därmed större korrosion).
- Fler nollgenomgångar under vinterperioden.
- Vanligare förekomst av kraftigare åska
- Större mängder nederbörd (surt regn ger dessutom ökade korrosionsskador samt leder till övergödning)
- Vanligare förekomst av plötsliga stora flöden
- Större snömängder (Framst i Övre Norrland)
- Kraftigare regn av tropisk karaktär
- Ökad vind

På motsvarande sätt har Vägverket i sin utredning till Klimat- och sårbarhetsutredningen (Bilaga B1, Nordlander, 2007) pekat på att de klimatfaktorer som mest påverkar vägssystemet bedöms vara:

- Temperatur
- Nederbörd
- Vind
- Isbeläggning
- Flöden
- Havsnivån

Såväl Banverket som Vägverket har inlett ett arbete med riskanalyser och funktionssäkring med anledning av ett förändrat klimat. Banverket har bl a konstaterat att de största problemen och de största kostnaderna och utmaningarna för järnvägen framförallt finns i gamla järnvägar som till mångt och mycket vilar på gamla rustbäddar från 1800-talet och tidigt 1900-tal (Larsson, 2008). Liknande reflektion görs av Vägverket som konstaterar att det redan idag finns problem med klimatet och att anläggningarna till viss del är dimensionerade för låga flöden, *"ras skred, slamströmmar och översvämningar har vi redan och kommer att få i större omfattning om vi inte gör något åt detta"* (Lindblad, 2008). Vägverket har nyligen färdigställt översiktliga riskanalyser avseende skred, ras, erosion och översvämning för en stor del av större vägarna i landet.

#### 5.4 Användbarhet i Svenska kommuner

Litteraturinventeringen kring skredriskkartering visar på en hel del utveckling under de senaste 10-15 åren (se t ex sammanställningar av Van Westen et al., 2006 och Dai et al, 2002), men få arbeten tar ännu upp ändrade förutsättningarna i ett förändrat klimat. De flesta riskmodeller är ännu kvalitativa och bygger i stor utsträckning på expertbedömningar. Kvantitativa riskzonkartor, som beskriver sannolikheter och kostnader tycks ännu vara ett stycke bort även om sådana nu börjar finnas för enstaka platser eller objekt (Van Westen et al. 2006).

Det pågår i Sverige flera utvecklingsprojekt tillsammans med kommuner som står inför en planeringssituation eller har behov av anpassning, där klimatförändringar behöver beaktas. Med utgångspunkt från tillgängliga klimatscenarier studerar exempelvis Kristianstads kommun förutsättningar för befintlig bebyggelse och för eventuell utbyggnad av området vid Åhuskusten. Ystads kommun arbetar med att anpassa befintlig bebyggd miljö vid sina kustområden och klargöra behov av skydd mot naturolyckor (pågående projekt vid SGI, Rydell et al. (a) 2008)

Sammantaget blir bilden att det i dagsläget finns metoder för riskinventering och riskanalys på översiktlig nivå men att underlaget behöver utvecklas. Yttäckande karteringar och zoneringsmetoder, med kvantitativa metoder, med redovisade sannolikheter och kostnadsnyttoanalyser saknas. Detta är en av de viktiga forskningsutmaningarna för framtiden.

## 6 ANPASSINGSÅTGÄRDER FÖR KLIMATFÖRÄNDRINGAR

Anpassning till ett förändrat klimat kräver planerings- och beslutsunderlag för fysisk planering för dels områden som kommer att bebyggas, dels för befintlig bebyggd miljö där anpassningsåtgärder kan behövas. Dessutom behövs ny teknik och nya metoder för konkreta anpassningsåtgärder. Det anpassningsarbete som påbörjats berör alla dessa delar.

Avsikten med nedanstående kapitel är att ge en översiktlig bild av anpassningsarbetet i Sverige och i ett internationellt perspektiv.

### 6.1 Anpassningsarbete i Sverige

Det pågående anpassningsarbete i Sverige sker ibland i samverkan med forskare t ex EU-projekten SAWA (Strategic Alliance for integrated Water Management Actions) och CPA (Climate proof areas) och det Formas-finansierade projektet *Att förstärka städernas kapacitet att hantera sårbarhet inför klimatförändringar*, "GÖTA ÄLV.

Dessa forskningsrelaterade projekt innefattar anpassningsåtgärder avseende ras och skred i senare delar av respektive projekt. CPA innefattar dessutom redan planerade klimatanpassningsåtgärder som kommer att initieras under projektets gång. Dessa utgör dock snarare enbart skydd mot översvämning och erosion såsom utökning eller skapande av våtmarker eller skapande av strand och rekreationsområden. Åtgärder mot ras och skred kommer att beaktas baserat på inledande sårbarhetsanalyser.

Samtliga tre projekt hanterar inledningsvis en riskidentifiering för risker för ras och skred vid förändrade klimatförhållanden under dagens förhållande avseende stadsplanering och befintlig infrastruktur och bebyggelse. Baserat på denna riskidentifiering är steget därefter att identifiera och översiktligt bedöma potentiella anpassningsmöjligheter och åtgärder under olika klimatscenarier. Bedömningen kommer att innefatta inverkan på planerad och befintlig infrastruktur och bebyggelse, miljökonsekvenser och kostnader. I det Formasfinansierade projektet ingår även en bedömning av den sociala sårbarheten och anpassningsförmågan. Inom samtliga tre projekt baseras riskbedömningen på

övergripande geotekniska underlag, motsvarande det som ingick i SGI:s underlagsrapporter för klimat- och sårbarhetsutredningen. I SAWA samt CPA kommer liknande analyser att utföras baserat på uppdaterade meteorologiska underlag och i CPA kommer bedömningar för Arvika stad även att baseras på uppdaterad topografiska underlag, hydrologisk och hydraulisk modellering och resulterande översvänningskartering. För mer djupa analyser i övriga områden längs Göta älv och även i andra högrisk områden i Sverige krävs förbättrade underlag i form av topografiska bedömningar, sammanställning av geologisk och geoteknisk information samt ökad kunskap kring hur markegenskaper påverkas av förändrat klimat och de anpassningsåtgärder som kan vidtas.

Det är redan idag känt att klimatförändringarna innebär ökade risker för naturolyckor och för att möta detta krävs förebyggande åtgärder och ökad beredskap i form av övervaknings- och varningssystem samt aktionsplaner för kriser och olyckor. Naturvårdsverket anger på sin hemsida konkreta möjliga anpassningsåtgärder (endast de som relaterar till naturolyckor) t ex anpassning genom riskbedömningar och fysisk planering.

*Klimat- och sårbarhetsutredningen* lämnar i sitt slutbetänkande en lång rad förslag på stöd och styrmedel för minskad sårbarhet. De förslag som primärt rör skred och ras är (ej direkta citat – endast betydelsen för skred och ras angiven):

- Upprättande av nationell kartdatabas över skredförutsättningar.
- Översiktlig kartering av erosionsrisker ska genomföras.
- Upprätta allmänna råd för lokalisering och höjdsättning av nybebyggelse med hänsyn till ökade risker för översvämning, ras, skred och erosion i ett förändrat klimat.
- Upprätta allmänna råd för skydd av befintlig bebyggelse mot översvämning, ras, skred och erosion samt vatteninträngning i avloppssystem
- PBL bör kompletteras så att möjlighet ges att fastställa krav i detaljplan på skadeförebyggande åtgärder rörande bl a skred, ras och erosion.
- Stöd till kommuner och länsstyrelser i planeringen i frågor avseende ras, skred och erosion.
- Anslaget för förebyggande åtgärder mot naturolyckor bör bibehållas på nivån 40 miljoner kr per år och en översyn av kriterier för anslaget bör göras. Anslaget ska också kunna användas för åtgärder mot erosion.
- Kommunernas ansvar för detaljplaner bör utökas till 20 år vad avser skadeståndskrav för översvämning, ras, skred och erosion.
- Ett anslag för investeringar med syfte att förebygga naturolyckor instiftas i statsbudgeten.
- Långsiktig lösning för ökade avtappningsmöjligheter i Vänern.

Tillgången på relevanta data är ett generellt problem inom forskningen inte minst när det gäller klimatanpassning. För Sveriges del har det konstaterats brister i tillgängligheten av data för svensk klimat- och miljöforskning och det har i en utredning nyligen föreslagits att Vetenskapsrådet bör verka för att klimat- och miljöforskningens behov av data tillgodoses (Vetenskapsrådet, 2008).

Stöd för kommuner och länsstyrelser i deras anpassningsarbete har samlats i Klimatanpassningsportalen som förvaltas av SMHI ([www.smhi.se](http://www.smhi.se)).

För Sveriges del har arbetet med planering för klimatanpassning påbörjats i flera kommuner och länsstyrelser, bl a i Skåne, Blekinge, Västra Götalands, Värmlands och Gäv-

leborgs län. Det handlar om riskidentifiering och riskvärdering och också konkreta anpassningsåtgärder som t ex anpassning av byggnivåer.

Exempelvis har länsstyrelsen i Östergötland sammanställt en översiktlig inventering av risker för naturolyckor i dagens och framtida klimat. Många kommuner har börjat uppmärksamma och redovisa risker för naturolyckor i översiktsplaner, t.ex. har Göteborgs stad gjort en omfattande analys av de hot som förekommer till följd av klimatförändringar. I Mora kommun pågår en utredning av hur samhället ska skyddas och anpassas till risker för erosion, stabilitet och översvämning vid Österdalälven (pågående projekt Rydell et al.(b) som avslutas under 2008).

Det pågår också flera utvecklingsprojekt med praktisk tillämpning i kommuner. Kristianstads kommun har analyserat risker för ras, erosion och översvämning i samband med detaljplaneläggning av kustområdet vid Åhus. I andra fall pågår anpassningsarbete i samverkan med forskare t.ex. genom att studera städers kapacitet att hantera sårbarhet inför klimatförändringar med tillämpning i Lilla Edets och Göteborgs kommuner.

## 6.2 En internationell utblick

Ett av de viktigaste intrycken från den internationella genomgången av anpassningsåtgärder är att få konkreta åtgärder ännu är genomförda. Myndigheterna har pekats ut som huvudansvarig för anpassningen, men att privata och enskilda insatser också krävs. Såväl forskning som myndigheternas anpassningsarbete fokuserar för närvarande på metodutveckling, kartläggning och riskanalyser.

Behovet av anpassning till klimatförändringar och ökade risker för naturolyckor såsom översvämningar, ras och skred nämns såväl av IPCC (2007) som av europeiska miljöbyrån (EEA, 2005) som uttrycker att nederbördsförändringar, framförallt extrema väderlekssituationer (torra, översvämningar), påverkar turism, transporter och naturolyckor. Det har också i olika sammanhang påpekats att bl a ras och skred redan i dag allt oftare orsakar skador på infrastruktur och bebyggda områden (Bader & Kunz, 1998 och Steininger & Weck-Hannemann, 2002, i EEA, 2005). Ett förändrat klimat ökar ytterligare risken för ras, skred och ökad sedimentbelastning i sjöar och vattendrag (Haeberli & Beniston 1998 och Haeberli et al., 1998, i EEA, 2005). Man konstaterar att det finns ett behov av allmänna investeringar för att förbättra skyddet av bebyggd miljö och infrastruktur mot naturolyckor såsom laviner, översvämningar, ras, skred och farliga is- och morän- dämnda sjöar (Haeberli & Beniston, 1998, och UBA, 2004, i EEA, 2005). Här ges dock inga förslag på konkreta åtgärder utan man pekar endast på behovet.

Ett stort FN-arbete pågår för att förebygga naturolyckor och minimera effekterna av dem. Samtliga medlemsländer har åtagit sig att följa Hyogodeklarationen och Hyogo Framework for Action och bland annat inrätta en så kallad nationell plattform för sitt arbete med naturolyckor senast år 2015. FN-arbetet hålls ihop av FN-organet International Strategy for Disaster Reduction, ISDR (<http://www.unisdr.org>). I Sverige etablerades en nationell plattform under 2007 och för närvarande deltar 17 myndigheter och organisationer i samarbetet. Räddningsverket driver plattformens sekretariat och ansvarar för administration och koordinering.

I flera EU länder har sammanställts sektoriella sårbarhetsanalyser, t.ex. i Sverige de som ingår i Klimat- och sårbarhetsutredningen, som skall ligga till grund för bedömningar och beslut om anpassningsbehov, prioriteringar och åtgärder. Ett annat exempel är den senaste nationella klimatförändringskonferensen i Italien som var inriktad på anpassning och där konferensen utgjorde en kick-off för en nationell anpassningsstrategi (Carraro & Sgobbi, 2008). Ytterligare ett exempel på initiativ som tagits är UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) handlingsprogram vars syfte är att hjälpa framförallt utvecklingsländer med att definiera och implementera nationella klimatanpassningsåtgärder.

Carraro och Sgobbi (2008) menar att ras och skred har fått relativt lite uppmärksamhet i litteratur som berör klimatförändringar. En möjlig förklaring till detta kan vara dess lokala karaktär såväl avseende konsekvenser och risker som förändringar i förutsättningar till följd av klimatförändringar. Carraro och Sgobbi (2008) påpekar också att konsekvenserna av översvämningar, ras och skred kan innefatta allt från dödsfall till förluster av kulturarv och befintliga ekosystem, spridning av sjukdomar och föroreningar, orsaka skador på grödor och jordbruksmark och de kan påverka den biologiska mångfalden utöver de skador de kan innebära för byggd miljö och infrastruktur. Det finns ett stort behov av att bedöma denna risk, men idag finns inga bedömningar av potentiella risker till följd av förändrad riskbild vid klimatförändringar i flera länder, såsom till exempel Italien, trots att man har som nationellt mål att minska riskerna för dessa naturolyckor i de mest sårbara områdena.

Det finns något fler bedömningar av översvämningrisker och kostnaderna för dessa t.ex beräknade av Carraro och Sgobbi (2008). Huvudresultat av dessa studier är att anpassningsåtgärder mot klimatförändringar kan signifikant minska riskerna till en relativt låg optimerad kostnad. Dessa resultat är också i överensstämmelse med de resultat som presenteras i Sternrapporten (Stern 2006), det vill säga att anpassning och anpassningsåtgärder kan reducera kostnaderna under förutsättning att det finns politiska instrument och policys som kan överbrygga de privata trösklar och kostnader detta skulle kunna innebära. Marknadskrafterna kan inte förväntas själva skapa en effektiv anpassning till följd av de stora osäkerheterna samt brist på finansiella resurser (Stern, 2006). Under förutsättning att det finns politiska verktyg och policys kan kostnadseffektiva lösningar tas fram. Tidiga anpassningsåtgärder innebär då klara ekonomiska fördelar genom att motverka och förebygga potentiella skador och minska hot (EU green paper 2007; Stern 2006).

### 6.3 Åtgärder i EU:s Green Paper om klimat och anpassning

Behovet av anpassningsåtgärder för att förbättra skyddet mot naturolyckor påpekas från många håll. Till exempel EU:s *Green Paper on Climate Change and Adaptation (2007)* visar hur EU spelar en ledande roll inom klimatanpassningsarbetet genom att många medlemsländer engagerar sig i frågan på olika sätt. Kommissionen definierar anpassning enligt nedan:

**What is adaptation?**

Adaptation actions are taken to cope with a changing climate, e.g. increased rainfall, higher temperatures, scarcer water resources or more frequent storms, at present or anticipating such changes in future. Adaptation aims at reducing the risk and damage from current and future harmful impacts cost-effectively or exploiting potential benefits. Examples of actions include using scarce water more efficiently, adapting existing building codes to stand future climate conditions and extreme weather events, construction of flood walls and raising levels of dykes against sea level rise, development of drought tolerant crops, selection of forestry species and practices less vulnerable to storms and fires, development of spatial plans and corridors to help species migrate. Adaptation can encompass national or regional strategies as well as practical steps taken at community level or by individuals. Adaptation measures can be anticipatory or reactive. Adaptation applies to natural as well as to human systems. Ensuring the sustainability of investments over their entire lifetime taking explicit account of a changing climate is often referred to as 'climate proofing'. (*More adaptation related terms are explained in Annex 5.*)

*Ur Green Paper (COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES Brussels, 29.6.2007 COM(2007) 354 final GREEN PAPER FROM THE COMMISSION TO THE COUNCIL, THE EUROPEAN PARLIAMENT., THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS Adapting to climate change in Europe – options for EU action {SEC(2007) 849} [http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2007/com2007\\_0354en01.pdf](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2007/com2007_0354en01.pdf)*

EU:s Green paper om klimat och anpassning (EU 2007) redovisar generella åtgärder för anpassning till ett förändrat klimat. EU:s affärs-, industri- och servicesektorer liksom de enskilda invånarna kommer att behöva möta konsekvenserna av klimatförändringar liksom de kan spela en stor roll för att vidta anpassningsåtgärder. För närvarande är erfarenhet och tillgång på expertis begränsad när det gäller design av anpassningsstrategier och implementering av policys, varför information och erfarenhetsutbyte av olika åtgärder är av stor betydelse. Konkreta åtgärder som än så länge endast föreslås kan variera, och ett urval exempel anges som förslag på olika åtgärder som kan vidtas:

- Mjuka, relativt billiga åtgärder, som vattenskydd, förändrad växt(grödor) cykel och tid för sådd, planering och ökad medvetenhet.
- Dyra skydds- och omlokaliseringsåtgärder, som till exempel att öka höjden på vallar och fördämningar, omlokalisering av hamnar, industri och hela städer och byar från låglänta kust- och översvämningsområden, ombyggnad eller nybyggnad av kraftverk till följd av felaktigheter i vattenkraftstationer eller till följd av haveri.

Det påpekas emellertid i Green Paper att anpassningen förväntas resultera i nya ekonomiska möjligheter inklusive nya arbetstillfällen och marknader för nya produkter för till exempel klimatsäkra byggtekniker samt material och produkter. Hantering av försäkringspremier kan medverka till privat anpassning. Anpassningen berör hela samhället och kräver ett engagemang från enskilda individer och organisationer på alla nivåer. Ytterligare exempel på anpassningsåtgärder som föreslås i EU:s Green Paper:

- Arbetet och resurser för olycksförebyggande åtgärder bör ökas på nationell nivå.
- Riskhanteringsverktyg skall förbättras och uppdateras samt ny- och vidareutvecklas inom områden som karteringar, risk förutsättningar och prognoser, riskbedömningar, riskvärderingar, miljöbedömningar och -värderingar, bedömningar av ekonomiska och sociala konsekvenser, satellitobservationer och andra övervakningsverktyg och -metoder samt varningssystem behöver utvecklas och implementeras. Den fy-

siska planeringen behöver anpassas och tekniska handböcker behöver utvecklas och uppdateras. Även management tekniker behöver utvecklas och de goda exemplen, fallstudier och praktikfall behöver liksom den goda praxisen tas fram, belysas och förmedlas samt delas med av.

- Medvetenheten och kunskapsnivån hos medborgarna samt tjänstemän och beslutsfattare på olika nivåer behöver öka avseende de lokala förhållanden och riskerna, inklusive människors och naturens anpassningsmöjligheter och kapacitet, för att öka anpassningsförmågan och minska sårbarheten.
- Tekniska åtgärder på individnivå liksom på kommunal eller högre beslutsnivå kan göras genom att till exempel anpassa VA systemet till förväntade klimatförändringar.

#### 6.4 Exempel på pågående anpassningsaktiviteter

Det finns få konkreta anpassningsåtgärder som vidtagits relaterade till klimatförändringar med koppling till skred och ras och som dessutom publicerats. Av de tiotusentals träffar som fås vid en sökning på Internet på ord som *adaptation and climate change* är det snarare arbetet med en anpassningsstrategi som redovisas. De första stegen i en sådan strategi är riskidentifiering, karteringar samt framtagning av en plan och strategi för hur man bör gå till väga för att ta fram beslutsunderlag avseende behov och förslag till åtgärder. Nedan anges exempel från olika länder på aktiviteter med relevans för skred och ras:

##### **Schweiz** (Hugo & Raetzo, 2006)

- För närvarande pågår arbete med riskkartering och riskbedömning, det kommer även att göras prioriteringar, åtgärdsanalyser och anpassningsåtgärder.
- Identifierade problem är mer intensiv markanvändning och högre ekonomiska markvärden i områden där klimat och miljö förändras och i områden med ökande sårbarhet för byggnader och infrastruktur.
- I bergsområdena finns dessutom begränsat utrymme, vilket innebär att säkra platser och plaster med hög risk kan ligga nära varandra. Tillgängligheten vid en katastrof är ofta problematisk.
- I vissa områden är det främst översvämningsförebyggande åtgärder som kommer att vidtas. Bland dessa ingår en integrerad strategi som innefattar följande delar;
  - plantering av skog och ökad infiltration inom avrinningsområdet,
  - strukturella skyddsåtgärder såsom ökad avrinningskapacitet, vallar och diken,
  - markanvändningsåtgärder såsom retentionsområden och skydd av enskilda strukturer,
  - beslut om mål och riskacceptans,
  - akuta åtgärder innefattande prognoser, räddningsinsatser och temporära åtgärder,
  - beredskap som baseras på utbildning, träning, aktionsplaner och varningssystem mm.

Man påpekar betydelsen av att inte enbart fokusera på säkerhetsaspekter utan även miljö- och ekologiska aspekter vid vidtagande av anpassningsåtgärder. Där nyckelaspekten vid översvämningsåtgärd är att ge utrymme för floden eller vattendraget.



**Kanada - Canadian Climate Impacts and Adaptation Research Network (C-CIARN)** (Kulkarni & Blais-Stevens 2004; C-Carin 2007)

Huvudfrågor:

- Anpassning/Risk Management:
  - Hur kan klimatanpassning avseende ras och skred komma med på agendan för fysisk planering?
  - Vilken information behövs för beslutsfattare för att minska riskerna i deras kommuner?
- Framtida behov:
  - Vägbeskrivning/strategi (road-map) för vad som är nästa steg?
  - Vilka är de viktigaste forskningsfrågorna som behöver besvaras avseende klimat och ras- och skred?
- Den viktigaste information som krävs bedöms vara följande;
  - skreddatabas och grundläggande data,
  - samarbete kring data för att förfinna befintliga klimatmodeller,
  - geografisk inventering av potentiella framtida riskområden,
  - detaljerade fallstudier av interaktionen mellan klimat och skredrisker,
  - information om direkta och indirekta kostnader och en utställning för ekonomisk motivering för proaktiva åtgärder,
  - robusta verktyg och metoder för beslutsfattare,
  - en ekonomisk modell för anpassning.

De viktigaste aspekterna och forskningsfrågorna för framtiden;

- förstå hur väder och klimat kommer att påverka lokala områden och specifika områden och regioner,
- ras- och skred inventering - sammanställning av befintliga mindre inventeringar,
- detaljerade fallstudier av nyligen inträffade händelser med ras och skred och under vilka klimatförhållanden som gällt- finna de triggnande faktorerna innefattande geologiska faktorer och tidsaspekter och förändringar med tiden (inklusive permafrost),
- bestäm de klimatologiska faktorer som kan resultera i jordskred genom att betrakta historiska data- och sårbarhetsbedömningar, bestäm vilka parametrar som påverkar specifika jordskredstyper,
- använd fjärranalys och andra karteringstekniker för att skapa och underhålla ett "jordskredsinventarium" som regelbundet uppdateras och för att bestämma sårbara områden,
- utveckla en uppsättning av skred- och klimat data för att se förändringar i frekvens och storlek som underlag för ett bra ekonomiskt typfall att användas för design av åtgärder,
- nyttja skredriskarteringar och bedömningsmetoder för att ta fram tekniker och modeller för att kunna göra prediktioner – bestäm de parameters som skall ingå.

Man diskuterade också vilken typ av finansiell, social och teknisk support som är nödvändig, tex nationell databas för skred.

**England** (Shaw et al. 2007)

Anpassning till nya mark- och grundförutsättningar skall koncentreras på storskalig monitoring-aktiviteter, riskbedömningar och kartläggningar samt möjligheten att förbättra markstabiliteten. Det är av avgörande betydelse att risker såväl under dagens klimatförhållande liksom de som kan relateras till kommande klimatförändringar skall bedömas

och inkorporeras i den fysiska planeringen. En modell för riskhantering innefattar att utveckla riskhanteringsmetoder och verktyg, monitoringsmetoder och strategiska monitoringsprogram, riskidentifiering och riskkarteringar, omlokalisering och undvikande att bygga i riskområden samt mark management.

Ilse of Wight har utvecklat en management strategi. Denna innefattar en modell av nuvarande markbeteende baserad på geomorfologisk kartering och mätningar av markrörelser, platsundersökningar och genomgång av tidigare händelser och markhistorik. Ilse of Wight medverkar också i ett EU projekt som även innefattar strategier som involverar lokala beslutsfattare och andra aktörer. Projektersultat skall bli kustriskkartor, information om hantering av naturrisker samt goda exempel.

### **Italien** (Spizzichino et al. 2008)

I Neapel hölls juli 2007 en nationell konferens, och det har även hållits platsspecifika workshops, kring hur man kan minimera konsekvenser av översvämningar, ras och skred vid förändrat klimat. Detta har gett följande praktiska förslag och slutsatser som kommer att utgöra en grund för att ta fram och utveckla en nationell anpassningsstrategi och det kommer att börja tas hänsyn till i den Italienska ekonomin och lagstiftningen:

- Implementering av kunskap kring olyckor och riskbedömningar, med fokus på nederbörd som den triggande mekanismen för översvämningar, ras och skred.
- Förståelse av de meteorologiska trenderna i Italien de senaste 200 åren
- Analys av olyckskartering i förhållande till markanvändning och triggande mekanismer
- Utvärdering av långtidsscenarier som input för potentiell modifiering av triggande mekanismer
- Förståelse av konsekvensen av modifieringen för framtiden baser på dagens olyckskarteringar

Man hänvisar också till en Romkonferens (datum och status finns inte angivet) från vilken följande skall implementeras inom snar framtid:

- Grundforskning
- Implementering av databaser och kunskap
- Utvecklande av mer noggrann modellering och icke stationära bedömningar av återkomsttider
- Utökade socio-ekonomiska databaser avseende kostnader för skador och reparationer av dessa
  - Inom området klimatförändringar och hydrogeologiska katastrofer öka förståelsen av:
    - förhållandena mellan de fysiska förhållanden och processer som råder mellan klimat(förändringar) och översvämningar, ras och skred
    - av det antropogena systemets respons- och orsakssammanhang avseende katastrofer
    - den ekonomiska inverkan av klimatförändringar på hydrogeologiska katastrofer
  - Inom området territoriell sårbarhet:
    - Utveckla lämpliga markanvändnings- och management verktyg och metoder.
    - Upprätta ny lagstiftning, information och kunskap till allmänheten avseende klimat och klimatförändringar.
    - Implementera en inter-institutionell dialog och procedur inom planeringsprocessen.

- Implementera mer noggranna monitoring- och tidigvarningssystem

### Oceaniska öar

En tämligen handfast Guidebook över anpassning till ett förändrat klimat för små oceaniska öar har utarbetats under ledning av Tyndall Centre i England (Tompkins et al. 2005). Guideboken presenterar en metod för att peka ut ansvariga för anpassningsarbetet i olika delar, se över lagstiftningen, utbildning, nätverk samt ekonomiska förutsättningar. Inga konkreta anpassningsåtgärder presenteras dock.

### USA

Vid denna snabba genomgång har inga konkreta exempel eller genomförda projekt hittats utan endast ett dokument med förslag på vad man kan göra. I detta dokument påpekas att strategier för att förbättra allmän hälsa och säkerhet under ändrande klimathållanden kan inkludera många olika alternativ. Dock finns nedan exempellista, som man också påpekar inte är uttömmande utan bör användas som en startpunkt:

- Uppgraderat och förbättrat skydd av infrastruktur (inklusive transport infrastruktur)
- Starta omfattande program för katastroflednings- (och undvikande) program (inklusive kartläggning och riskanalys)
- Ändra och förbättra markanvändningspolicys för att undvika olyckor och olycksrisk områden
- Anta och förstärk byggnadsnormer
- Öka allmän och offentlig information
- För översvämningshotade områden gäller också att markanvändning och markanvändningsplanering, policys och normer skall ses över och möjliggöra naturliga avrinningsmöjligheter och vägar samt att förbättringar skall göras avseende monitoring, observationer, varningssystem och evakuering

(Ref.: *National Assessment of the Potential Consequences of Climate Variability and Change Educational Resources Regional Paper: US-Affiliated Islands of the Pacific and Caribbean, Strategies to Address Potential Impacts on Public Health and Safety*).

### Ytterligare exempel på pågående anpassningsaktiviteter från skilda delar av världen:

I samtliga exempel nedan är endast de länder eller områden där skred och ras utgör förväntade risker beskrivna. Många av de nämnda organisationerna nedan arbetar i ett vidare perspektiv med klimatanpassning. Ras och skred är en av de aspekter som beaktas i nedan exempel men för de flesta länder som berörs av det övergripande arbetet, flera som inte omnämns nedan, är det inte beaktat i anpassningsarbetet.

- CIFOR: Environmental Forum of Flooding and Landslides, arbetar med \_ Bedömning slamströmmar i Mt. Makiling \_ Sårbarhet till följd av översvämning i Laguna Province\_, Geologiska olycksrisker i Laguna province \_ Community-based risk management I Infanta Quezon ([http://www.cifor.cgiar.org/trofcca/asia/docs/Methodology\\_Patricia.pdf](http://www.cifor.cgiar.org/trofcca/asia/docs/Methodology_Patricia.pdf))
- Vulnerability and adaptation of Hong Kong to hazards under climatic change conditions with aim to reduce vulnerability, a combination of better monitoring, planning, protection, maintenance, and warning is proposed for adaptation. (YIM W. W.-S, 2006).
- The World Agroforestry Centre, även känt som [ICRAF](#), är enligt den egna hemsidan den globala ledaren för utveckling, syntes och spridning av kunskap kring skog- och jordbruksfrågor (samt hur dessa sektorer påverkas av naturolyckor såsom översvämningsar, ras, skred och erosion) och är aktivt involverad i utvecklingen av

ett program för klimatanpassning för lantlig utveckling. Dess högkvarter är i Nairobi, Kenya med regionala kontor i Kenya för öst- och central- Afrika, i Zimbabwe för sydliga Afrika, i Mali för Sahel, Indonesien för Sydost Asien, i Indien för södra Asien, Los Baños Laguna för Filippinerna och i Peru för Latinamerika.

- TrofCCA (Tropical Forests and Climate Change Adaptation) – som bland annat finns i Asien där man fokuserar sina aktiviteter på regionens utvecklingsbehov och prioriteringar innefattande dess sociala, miljö- och ekonomiska situation. Det ska leda till en metodologi för anpassningsstrategier som ingår i utvecklingsagendan genom att bedöma sårbarhet och designa lämpliga policies.
- Community-Based Adaption, CBA (Climate Change Adaptation in Action) . CBA programmet ger support för medborgardrivna anpassningsprojekt bland annat genom småskaliga lån och medverkan i utbildningsinsatser. CBA är ett partnerskap mellan UNDP, GEF, GEF/Small Grants Programme och United Nations Volunteers. Initiativet kommer att stödja 8-20 projekt i ett urval länder, totalt ca 125 projekt förväntas vara i gång 2012. UNDP's approach avseende klimatanpassning är att det måste göras på flera och olika sätt och att få in anpassningsarbetet, inclusive risk och sårbarhetsanalyser i pågående och planerade utvecklingsstrategier, projekt och planer ([http://www.undp-adaptation.org/projects/websites/docs/CCAdpttninActn072508\\_prnt.pdf](http://www.undp-adaptation.org/projects/websites/docs/CCAdpttninActn072508_prnt.pdf) och <http://www.undp-adaptation.org/project/cbaadaptation@undp.org>)

Fler exempel: **Jamaica:** Sustainable Agriculture for Safer Slopes, **Samoa:** Vaovai Village Coastal Adaptation Project, **Niger:** Agropastoral Adaptation in Rombou Commune, **Namibia:** Reducing Climate Change Risks in Agriculture in the Omusati Region, **Vulnerability and Adaptation Assessment for the Hindu Kush-Himalaya Region, Indien:** Regeringen håller på att byta strategi från katastrof insatser till förebyggande, rekonstruktion och hållbar utveckling, **Guatemala** samt **Bangladesh:** Har nationella strategier och projektförslag som sker i samvekan med CBA eller andra organisationer.

#### 6.4.1.1 Strukturella barriärer för anpassning

Det pågår mycket forskning kring riskidentifiering och riskanalys avseende klimatförändringar och naturolyckor, liksom utveckling av metoder för beslut om prioriteringar och åtgärder för anpassning eller undanröjande av barriärer för att vidta anpassningsåtgärder. Generiska barriärer inkluderar att inse/känna igen behovet för anpassning, definiera behovet för anpassning, identifiera anpassningsalternativ samt utvärdera anpassningsalternativ och välja en anpassningsstrategi där det också är viktigt att definiera en rimlig och vettig tidsskala. Specifika barriärer inkluderar till exempel tvång på ett anpassningsalternativ, finansiella barriärer, socio-politiska barriärer och strukturer och organisation. Osäkerheten i klimatmodellerna anges också som en viktig barriär för att vidta anpassningsåtgärder (t ex artiklar som refereras till i Climate Digest, Februari 2008 [http://www.ukcip.org.uk/index.php?option=com\\_content&task=view&id=506](http://www.ukcip.org.uk/index.php?option=com_content&task=view&id=506) och andra referenser däri)

## 7 KUNSKAPSLUCKOR OCH FORSKNINGSBEHOV

Generellt saknas de geotekniska aspekterna i de stora pågående klimatrelaterade forskningsprogrammen i Sverige, t ex Mistras och Formas klimatforskningsprogram. Forsk-

ningen bedrivs istället i enstaka projekt. En viktig generell slutsats är att de geotekniska aspekterna i större utsträckning bör in i de breda forskningsprogrammen alternativt att ett eget brett forskningsprogram etableras inom området klimatförändring med koppling till naturolyckor som skred, ras, erosion och översvämning.

FoU-insatser inom klimatområdet kräver både inomvetenskaplig forskning och tvärvetenskapliga angreppssätt. Såväl baskunskap som tillämpad kunskap behöver utvecklas. Samverkan mellan olika forskningsorganisationer, myndigheter och andra samhällsaktörer är centralt.

Forskning krävs för att täcka kunskapsbehoven för skydd mot skred och ras både förebyggande, vid inträffade händelser och efter inträffade händelser. Resultaten från forskningen behöver implementeras i en dialog mellan myndigheter och andra berörda. Mycket av de forskningsbehov som identifierats kan tillämpas inom flera områden före- under och efter skred- och rashändelser. I nedanstående beskrivning av forskningsbehoven har vi dock valt en indelning, snarare efter forskningen, innehåll istället för dess tillämpning.

### **7.1 Effekter av klimatförändringar på skred, ras och slamströmmar**

Klimatförändringens effekter för skred, ras och slamströmmar i Sverige är ännu dåligt känd och endast beskriven i översiktliga trender. Behoven av bättre konsekvensanalyser har uttryckts av många aktörer bl a av Klimat- och sårbarhetsutredningen. Effektforskningen ligger i stor utsträckning inom det traditionella geotekniska forskningsfältet rörande markstabilitet. Forskningen kring materialparametrar kopplat med beräkningsmodeller är central för bättre bedömning av klimatförändringens konsekvenser för skred och ras. Forskningen bör täcka hela kedjan från fältförsök och provtagning till laboratorieprovning och beräkningar för design och byggande samt uppföljning i fält. Till detta måste bättre modeller för klimatförändringar och grundvattenbildning utvecklas. Betydelsen av övre respektive undre grundvattenmagasin för stabiliteten i finkorniga jordar behöver förstås och beskrivas i relation till ett förändrat klimat. Erosion är en av de viktigaste triggande faktorerna för skred och ras och beräkningsmodeller för erosion i Svenska vattendrag med hänsyn till ett förändrat klimat behöver utvecklas.

För svenska förhållanden finns ett behov av bättre kunna värdera utbredningen av ett skred med hänsyn till markegenskaper och geometri. Jordmodeller och numeriska beräkningsmodeller för stabilitetsberäkningar och för hur skred kan utvecklas i ett förändrat klimat behöver utvecklas.

Det finns behov av att, genom etablering av ny kunskap om svenska siltslänters egenskaper, utveckla metoder och verktyg för en tillförlitligare bestämning av dessa slänters stabilitet både för dagens situation och med hänsyn till klimatförändring. Kunskap behöver tas fram angående verkliga årstidsvariationer av porvattentryck (positiva, negativa) i vattenmättade och omättade zoner i siltslänter. De kapillära egenskapernas (retentionsegenskapernas) betydelse för släntstabilitet behöver klarläggas. Undersökningsmetodik och beräkningsmodeller behöver utvecklas för att bl a kunna beskriva olika portryckssituationer och deras inverkan på stabiliteten.

För ökad förståelse av var och hur omfattande slamströmmar kan uppträda behöver inträffade händelser med slamströmmar och skred behöver utredas och kopplas till klimatologiska faktorer. Uppgifter om meteorologiska data, som nederbörd och flöden kopp-

las till omgivningsdata och inträffade slamströmmar eller skred. Erhållna samband utvecklas för ett förändrat klimat.

## 7.2 Riskanalys och riskkartering

Metoder för riskanalys och riskkartering med hänsyn till klimatförändringar, skred och ras behöver utvecklas. Såväl riskmodeller som indata i form av händelsekedjor och sannolikhetsberäkningar behöver utvecklas.

Metoder för yttäckande kartering av områden med kvicklera och låg säkerhet mot skred och ras behöver utvecklas, t ex med hjälp av fjärranalys eller geofysiska metoder. Skredriskkartering innefattande, insamling av data, bearbetning, analys, redovisning och visualisering, med hjälp av GIS-verktyg och olika typer av ytkaraktisering bör utvecklas med kopplingar till relevanta klimatfaktorer och terrängmodeller.

Metodik för upprättande av riskkartor över slamströmmar med hänsyn till ett förändrat klimat behöver utvecklas.

Effektivare övervakningssystem för släntstabilitet behöver utvecklas och nationella stationer för långtidsförsök och uppföljning av långsiktiga trender bör upprättas.

## 7.3 Beslutsstöd och anpassningsåtgärder

Klimatförändringarna påverkar de flesta samhällssektorer och anpassningsåtgärder kommer att vara mycket kostsamma, liksom alternativet att inte vidta förebyggande åtgärder (Klimat- och sårbarhetsutredningen, SOU 2007:60). För att uppnå de mest kostnadseffektiva lösningarna, att de utförs vid rätt tidpunkt och utförs på ett miljövänligt och hållbart sätt krävs en helhetssyn i planeringsarbete och beslutsprocesser på olika nivåer. Det saknas idag ofta systematiska och transparenta värderingar som innefattar denna helhetssyn och det saknas verktyg och metoder kopplade för sådana helhetsbedömningar i beslutsprocesser.

Kostnads-nyttoanalyser beträffande olika åtgärdsalternativ för skredrisker behöver utvecklas med hänsyn till miljö- och ekonomi. Metoder för beräkning av kostnader för skred, ras och slamströmmar behöver utvecklas liksom metoder för att bedöma effekterna av olika anpassningsåtgärder. Indikatorer för uppföljning behöver också utvecklas.

Beslutsstödsmodeller för geotekniska problemställningar rörande skred, ras och slamströmmar behöver utvecklas med hänsyn till ett förändrat klimat. Bättre analyser för val av förstärkning eller andra anpassningsåtgärder behöver utvecklas.

Kostnadseffektiva metoder för att förebygga naturolyckor och anpassa befintliga miljöer behöver utvecklas. Metoder för markstabilisering, förstärkningsåtgärder och grundläggning av infrastruktur och bebyggelse behöver utvecklas med hänsyn till förändrat klimat – såväl arbetsmetoder som val av material behöver utvecklas.

## 7.4 Information och kunskapsspridning

Utbytet av kunskap och erfarenheter mellan organisationer i Sverige behöver stärkas liksom forskarutbytet med andra länder. Centrala fält för information och kunskapsspridning är:

**Nationella system för datalagring och datautbyte** (nationellt och internationellt) bör utvecklas. Skreddatabasen bör utvecklas

- Tillgång till varandras data, en gemensam databas för geotekniska/stabilitetsutredningar
- Gemensamma/lika dataformat för att lättare utbyta data, koppling till Inspire-direktivets standarder/relger för geografiska data
- Återanvända data
- Erfarenhetsåterföring t.ex. en nationell skreddatabas som är allmänt tillgänglig
- Redovisning och presentation av data via Internet, databaser samordnade och inordnade i andra portaler som t.ex. Planeringsportalen, Geodataportalen etc.

**Förmedla kunskap** – dels kunskap och erfarenheter som finns i dag, dels ny kunskap som kommer fram i FoU i Sverige och utomlands

Kunskapsförmedling till olika grupper:

- Tekniker/geotekniker/specialister (hur undersöka och analysera geotekniska/skredproblem, förstå deras sammanhang och presentera resultat i en plan- och byggprocess)
- Användargrupper t.ex. samhällsplanerare, miljöhandläggare på kommuner och länsstyrelser (vad innebär resultaten från en kartering eller stabilitetsutredning)
- Beslutfattare på kommunal och regional nivå (vad innebär olika lösningar, vad kostar de och vad får de för konsekvenser)
- Kunskap också till skolor och universitet

### **Kunskapsutbyte**

- Utbytet av kunskap och erfarenheter mellan organisationer (forskare, praktiker, beslutsfattare) i Sverige behöver stärkas liksom forskarutbytet med andra länder.
- Sverige behöver mer målmedvetet satsa resurser på att medverka i EU-projekt
- Medverka och föra fram svenska förhållanden och synpunkter i EU:s expert- och arbetsgrupper, t.ex. direktiv om markskydd

## 8 REFERENSER

Ahadi, A. 2004: Modelling of granular materials. Lund Institute of Technology, Lund University, Department of Mechanical Engineering, Division of Mechanics, *Doctoral Thesis*, 31 + /97/ p, Lund.

Andersson-Sköld, Y., Rankka, K., Lind, B., Odén, K., Torrance, J.K. Stevens, R.L. Dahlin, T., Leroux, V. 2005: Quick clay - an investigation in South West Sweden. In Sennestet, K., Flaate, K., Larse, J.O. (eds), *Landslides and Avalanches*, ICFL 2005. Taylor & Francis Group, London, pp-15-19.

Bahrekazemi, M. 2001: Lime-cement columns as a countermeasure against train-induced ground vibration. Royal Institute of Technology. Division of Soil and Rock Mechanics / Kungliga tekniska högskolan. Jord- och bergmekanik. TRITA-JOB *Licentiate Thesis*, 178 + /18/ p, Stockholm.

Baker, S. 2000: Deformation behavior of lime/cement column stabilized clay. Chalmers University of Technology. Department of Geotechnical Engineering. / Chalmers tekniska högskola, Doctoral thesis 1634, Swedish Deep Stabilization Research Centre, Report 7 / Svensk Djupstabilisering, Rapport 7, *Doctoral Thesis*, 203 p, Göteborg.

Ballantyne, C.K. 2004: After the ice: paraglacial and postglacial evolution of the physical environment in Scotland, 20 000 to 5000 BP. In Saville, A. (ed) *Mesolithic Scotland: The Early Holocene Prehistory of Scotland and its European Context*. Society of Antiquaries of Scotland, Monograph Series, 21-38. 2004).

Blatz, J.A., Ferreira, N.J., Graham, J. 2004: Effects of near-surface environmental conditions on instability of an unsaturated soil slope. *Canadian Geotechnical Journal*, vol 41, no 6, pp 1111-1126.

Bo, M. W., Fabius, M., Fabius, K. 2008: Impact of global warming on stability of natural slopes. Proceedings of the 4<sup>th</sup> Canadian Conference on Geohazards: From Causes to Management, Presse de Univ. Laval, Quebec.

Bolteus, L. 1984: Soil-structure interaction - A study based on numerical methods. Chalmers Tekniska Högskola, Structural Design, *Doctoral Thesis*, Publication 84-3, 165 s, Göteborg.

Bonnard, C., Noverraz, F. 2001: Influence of climate change on large landslides: Assessment of long-term movements and trends. International Conference on Landslides-causes. Impacts and countermeasures, Davos, Switzerland, 17-21 June 2001, Proceedings, pp 121-138.

Buma, J., Dehn, M. 2000: Impact of climate change on landslides in South East France, simulated using different GCM scenarios and downscaling methods for local precipitation. *Climate Research*, 15 (1): 69-81.



Buma, J. 2000: Finding the most suitable stability model for the assessment of the impact of climate change on a landslide in southeast France. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25 (6): 565-582.

Carraro, C. and Sgobbi, A. 2008: Climate Change Impacts and Adaptation Strategies In Italy. An Economic Assessment NOTA DI LAVORO 6.2008, JANUARY 2008, CCMP – Climate Change Modelling and Policy

C-Carin, 2007: [http://adaptation.nrcan.gc.ca/assess/2007/ch8/5\\_e.php](http://adaptation.nrcan.gc.ca/assess/2007/ch8/5_e.php), Climate Change Impacts and Adaptation, n From Impacts to Adaptation: Canada in a Changing Climate 2007 rcan.ca

Clayton, C.R.I. 2001: Managing geotechnical risk. Improving productivity in UK building and construction. Thomas Telford Publishing, London, 80 pp.

Climate Digest, Februari 2008:

[http://www.ukcip.org.uk/index.php?option=com\\_content&task=view&id=506](http://www.ukcip.org.uk/index.php?option=com_content&task=view&id=506) och andra referenser däri)

Collison, A., Wade, S., Griffiths, J., Dehn, M. 2000: Modelling the impact of predicted climate change on landslide frequency and magnitude in SE England. *Engineering Geology*, 55 (3): 205-218.

Dai F.C., C.F. Lee, Y.Y. Ngai, 2002: Landslide risk assessment and management: an overview, *Engineering Geology*, 65-87.

Dehn, M., Burger, G., Buma, J., Gasparetto, P. 2000: Impact of climate change on slope stability using expanded downscaling. *Engineering Geology*, 55 (3): 193-204.

Dijkstra, T.A., Dixon, N. 2007: Networking for the future – addressing climate change effects on slope stability. . Landslides and Climate Change, Proceedings Isle of Wight 21-24 May 2007, 275-280. Taylor & Francis Group, London.

Dixon, N., Brook, E. 2007: Impact of predicted climate change on landslide reactivation: case study of Mam Tor, UK. *Landslides* (2007) 4:137-147.

Dragon & Sukhija, eds 2008: Climate change and groundwater. Geological Society, of London, Special Publications 288. London 2008.

Dragon, W., Sukhija, B.S. 2008: Climate change and groundwater: a short review. In Dragon & Sukhija, eds 2008: Climate change and groundwater. Geological Society, of London, Special Publications 288. London 2008, 1-12.

Edstam, T. 1995: Behaviour of piles with enlarged tip in non-cohesive soil - Model tests and numerical simulations. Chalmers tekniska högskola, Doctoral Thesis, 169 s , Göteborg.

EEA 2008: Report No 4/2008: Impacts of Europe's changing climate - 2008 indicator-based assessment.

EEA, 2007: Vulnerability and adaptation to climate change in Europe, 2006, EEA, Technical report No 7/2005, EEA, Copenhagen, 2006

EEA, 2005: Technical report No 7/2005 Vulnerability and adaptation to climate change in Europe

EEA, 2004: Report No 2/2004: Impacts of Europe's changing climate.

Ekevid, T. 2000: On computational wave-propagation in solids - with emphasis on highspeed trains related ground vibrations. Chalmers University of Technology, Structural Mechanics, Publication 00:15, 48 + /39/ p, *Licentiate Thesis*, Göteborg.

Erlingsson, S. 1993: Dynamic soil analysis with an application to rock music induced vibrations in Ullevi Stadium. Stockholms Tekniska Högskola. Jord- och Bergmekanik. TRITA-JOB Rapport 93/3, *Doctoral Thesis*, 144 s , Stockholm.

EU, 2007: Green Paper, Adapting to climate change in Europe – options for EU action {SEC(2007) 849} COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, Brussels, 29.6.2007, COM(2007) 354 final.

EU, 2007: Grönbok från kommissionen till rådet, europaparlamentet, europeiska ekonomiska och sociala kommittén samt regionkommittén, Bryssel, 2007, KOM (2007) 354 slutlig, SEK 2007, 849, 27 pp.

EU- Glossary of soil terms, 2008: European Commission Joint Research Centre, Land Manegement & natural Hazards Unit, Glossary of soil terms.

Fallsvik, J. 2007: Recommendations for planning, surveillance, inspection with LS DTM. Usefulness of LS DTM in landslide hazard mapping and slope management – Deliverable 8. SGI Varia 580. Linköping.

Fallsvik, J., Rankka, K. 2005: Stability and run-off conditions - Guidelines for detailed investigation of slopes and torrents in till and coarse-grained sediments, SGI,Report 68, 2005

Fallsvik, J., Hågeryd, A-C., Alexandersson, H., Edsgård, S., Löfling, P., Nordlander, H., Lind, B. 2007: Översiktlig bedömning av jordrörelser vid förändrat klimat. SGI Varia, 571, Linköping.

Fell R., Hartford, D. 1997: Landslide risk management, In: Cruden D., R. Fell (Eds) Landslide risk assessment, Balkema, Rotterdam.

Finland Climate Change Communications Programme 2002-2007.

FN: Strategy for Disaster Reduction, ISDR (<http://www.unisdr.org>)

Fredlund, D.G., Rahardjo, H. 1993: Soil mechanics for unsaturated soils. Wiley, New York, NY.

Fredriksson, A. 1984: Analys av geotekniska problem med finita elementmetoden - tillämpad på lera under odränerade förhållanden. Stockholms Tekniska Högskola. Jord- och Bergmekanik, *Doctoral Thesis*, 213 s, Stockholm.

Geertsema, M., Schwab, J.W. 2006: Challenges with terrain stability mapping in Northern British Columbia. *Streamline, Watershed Management Bulletin*, 2006: 10: 18-26.

Geertsema, M, Clague, J.J., Schwab, J.W., Evans, S.G. 2006: An overview of recent large catastrophic landslides in northern British Columbia, Canada. *Engineering Geology*, 83:1-3, 120-140.

Gregori, E., Andrenelli, M.C., Zorn, G. 2006: Assessment and classification of climate aggressiveness with regard to slope instability phenomena connected to hydrological and morphological processes. *Journal of hydrology*, 329 (3-4): 489-499.

Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., Stark, C.P. 2007: The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flow: an update. Springer, *Landslides*, 5: 3-17.

Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M. 2005: RISK AWARE RISK-Advanced Weather forecast system to Advise on Risk Events and management  
DEFINITION OF CRITICAL THRESHOLD FOR DIFFERENT SCENARIOS  
ACTION 1.16, EU Interreg III B, 18 July 2005.

Hall, L. 2000: Simulations and analysis of train-induced ground vibrations - A comparative study of two- and three-dimensional calculations with actual measurements. Royal Institute of Technology. Division of Soil and Rock Mechanics / Kungliga tekniska högskolan. Jord- och bergmekanik. TRITA-AMI, *Doctoral Thesis*, 1034, 2000, 196 p, Stockholm.

Hansbo, S. 1975: Jordmateriallära. Almqvist & Wiksell Förlag AB, Stockholm.

Hodaressi, H 2006: Climate change and ground movements. Geosciences. BRGM's *Journal for a sustainable earth*, 2006: 3, 44-49.

Highways Agency, 2008: Climate Change Adapatation Strategy, Volume 1. UK, Highways Agency, 31 Mars 2008.

<http://www.feem.it/Feem/Pub/Publications/WPapers/default.htm>, Social Science Research Network Electronic Paper Collection:, <http://ssrn.com/abstract=1086627> samt [http://www.hmtreasury.gov.uk/independent\\_reviews/stern\\_review\\_economics\\_climate\\_change/stern\\_review\\_report.cfm](http://www.hmtreasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm))

[http://www.cifor.cgiar.org/trofcca/asia/docs/Methodology\\_Patricia.pdf](http://www.cifor.cgiar.org/trofcca/asia/docs/Methodology_Patricia.pdf)

<http://www.cifor.cgiar.org/trofcca/ref/asia/index.htm>,) samt <http://www.cifor.cgiar.org/trofcca/ref/asia/index.htm>

[http://www.undp-adaptation.org/projects/websites/docs/CCAdpttninActn072508\\_prnt.pdf](http://www.undp-adaptation.org/projects/websites/docs/CCAdpttninActn072508_prnt.pdf) och <http://www.undp-adaptation.org/project/cbaadaptation@undp.org>)

<http://www.unisdr.org>

<http://www.preview-risk.com/en/index.php>

[www.smhi.se](http://www.smhi.se)

[http://www.cifor.cgiar.org/trofcca/asia/docs/Methodology\\_Patricia.pdf](http://www.cifor.cgiar.org/trofcca/asia/docs/Methodology_Patricia.pdf)

[http://www.ukcip.org.uk/index.php?option=com\\_content&task=view&id=506](http://www.ukcip.org.uk/index.php?option=com_content&task=view&id=506)

<http://www.oecd.org/dataoecd/59/55/37781861.pdf>. Adaptation to climate change in Switzerland's natural hazards management policies, Wengen5.10.2006 OECD Hugo Raetzo, Swiss Federal Office for the Environment,

<http://eur-lex.europa.eu>

Huabin, W., Gangjun, L., Weiya, X, Gonghui, W. 2005: GIS based landslide hazard assessment: an overview, *Progress in Physical Geography*, 29, 548-567.

Hudson J.A. 1992: Rock engineering systems - theory and practice, Ellis Horwood Ltd, Chichester, England

Hultén, C., Olsson, M., Rankka, K., Svahn, V., Odén, K., Engdahl, M. 2005: Släntstabilitet i jord, Underlag för handlingsplan för att förutse och förebygga naturolyckor i Sverige vid ett förändrat klimat. SGI Varia 560:1.

Hugo Raetzo 2006: Adaptation to climate change in Switzerland's natural hazards management policies, Wengen5.10.2006 OECD Hugo Raetzo, Swiss Federal Office for the Environment, <http://www.oecd.org/dataoecd/59/55/37781861.pdf>

Hultén, C., Edstam, T., Arvidsson, O., Nilsson, G., Johansson, Å. 2006: Geotekniska förutsättningar för ökad tappning från Väneren till Göta älv. Underlag till klimat och Sårbarhetsutredningen. SGI 1-0512-0808.

Hungr, O. & Jakob, M. 2005: Debris-flow hazard and related phenomena. Springer Praxis Books.

Hågeryd, A-C., Viberg, L., Lind, B. 2007: Frekvens av skred i Sverige. SGI Varia 583, Linköping 2007.

Høydal, Ø. and H. Heyerdahl (in press): Methodology for calculation of rain-induced slides (draft for ASCE Unsaturated Soils Conference, 2006).

Ikeya, H. (1989). Debris flow and its countermeasures in Japan. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, no 40. Paris.

IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate

Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.).

IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IGC hemsida 2008: <http://www.geohazards.no/projects/stabrockslopes.htm>

ISDR <http://www.unisdr.org>

Jaedicke, C., Kleven, A. 2007: Long-term precipitation and slide activity in south-eastern Norway, autumn 2000. *Hydrological Processes*, 22, 495-505 (2008).

Karlström, A. 2006: On the modelling of train induced ground vibrations with analytical methods. Chalmers University of Technology. Department of Applied Mechanics. Dynamics. *Doctoral Thesis*, 2500, 132 p, Doctoral Thesis, Göteborg.

Kjell Karlsrud (NGI), IGC Project 5,  
<http://www.geohazards.no/projects/stabsoilslopes.htm>

Knutsson, S., Larsson, R., Tremblay, M., Öberg-Högsta, A.-L. 1998: Siltjordars egenskaper. Silt som konstruktionsmaterial. Bestämning av geotekniska egenskaper. Statens geotekniska institut, informationskrift 16, Linköping.

Krahn, J., Fredlund, D.G., Klassen, M.J. 1989: Effect of soil suction on slope stability at Notch Hill. *Canadian Geotechnical Journal*, vol 26, nr 2, s 269-278.

Kulkarni, T and Blais-Stevens. 2004: A Vulnerability of Landslide Risk to Climate Change, Proceedings from C-CIARN Landscape Hazards Workshop 2003, October 31, 2003, Vancouver, BC, C-CIARN Landscape Hazards Report 04-01

Kullingsjö, A. 2007: Effects of deep excavations in soft clay on the immediate surroundings - Analysis of the possibility to predict deformations and reactions against the retaining systems. Chalmers University, Department of Civil and Environmental Engineering, Division of GeoEngineering, Geotechnical Engineering, *Doctoral Thesis*, 2683, 334 p, Göteborg.

Kwong A.K.L., M. Wang, C.F. Lee, K.T. Law, 2004: A review of landslide problems and mitigation measures in Chongqing and Hong Kong: similarities and differences, *Engineering Geology*, 27-39.

Lane, H. 2007: Computational railway dynamics - integrated train - track - subgrade modeling and simulations. Chalmers University of Technology. Department of Applied Mechanics. Material and Computational Mechanics. *Doctoral Thesis*, 2635, 51 p, Göteborg.

- Larsson, R., Larsson, J., Runesson, K. 2002: Theory and numerics of localization in a fluid-saturated elastoplastic porous medium. *Porous Media: Theory, Experiments and Numerical Applications*, Springer multi-author volume / edited by W. Ehlers, J. Bluhm, pp. 315-340. ISBN/ISSN: ISBN 3-540-43763-0.
- Larsson, R. 1995: Jordmaterialet silt – geotekniska egenskaper och deras bestämning. Statens geotekniska institut, Rapport 49, Linköping.
- Larsson, R. 1989: Hållfasthet i friktionsjord. SGI Information 8, Linköping.
- Larsson, 2008: Tage Larsson, Banverket, I Anpassningen avtrafikens infrastruktur när klimatet förändras. Trafikutskottet, Rapport från riksdagen 2007/08:RFR 16.
- Lebuis, J., Robert, J-M., Rissman, P. 1983: Regional mapping of landslide hazard in Quebec. Symposium on slope on soft clays. Report no 17. SGI, Linköping.
- Lind, B.B., Andersson-Sköld, Y., Hultén, C., Rankka, K., Nilsson, G. 2006: Safe roads in times of changing climate. Proceedings, Transport Research Arena Europe, Göteborg 2006.
- Lindblad, 2008: Lennart Lindblad, Vägverket, I Anpassningen avtrafikens infrastruktur när klimatet förändras. Trafikutskottet, Rapport från riksdagen 2007/08:RFR 16.
- Lundqvist, A. 2005: Dynamic train / track interaction. Hanging sleepers, track stiffness variations and track settlement. Linköping University. Institute of Technology. Department of Mechanical Engineering. Linköping Studies in Science and Technology *Licentiate Thesis*, No. 1159, 32 + /52/ p, Linköping.
- Lu, N., Likos, W. 2004: Unsaturated soil mechanics. John Wiley & Sons, New Jersey, USA, 556 p
- Mattsson, H. 1999: On a mathematical basis for constitutive drivers in soil plasticity. Luleå tekniska universitet, Div. of Soil Mechanics and Foundation Engineering, *Doctoral Thesis*, 1999:02, Luleå.
- Mallet, J-P., Remitre, A., Maquarie, O., Durand, Y., Etchevers, P., Guyomarc'h, G., Déqué, M., van Beek, L.P.H. 2007: Landslides and Climate Change, Proceedings Isle of Wight 21-24 May 2007, 275-280. Taylor & Francis Group, London.
- McInnes, R., Jakeways, J., Fairbank, H., Mathle, E. (Eds), 2007: Landslides and Climate Change, Proceedings Isle of Wight 21-24 May 2007. Taylor & Francis Group, London.
- Moore, R., Carey, J.M., McInnes, R.G., Houghton, J.E.M, 2007: Climate change, so what? Implications for ground movements and landslide events frequency in the Ventnor Undercliff, Isle of Wight. . Landslides and Climate Change, Proceedings Isle of Wight 21-24 May 2007, 335-344. Taylor & Francis Group, London.
- Modaressi, H. 2006: Climate change and ground movements. EN: Géosciences. n. 3, pp. 44-49, Mars 2006.

National Assessment of the Potential Consequences of Climate Variability and Change Educational Resources Regional Paper: US-Affiliated Islands of the Pacific and Caribbean, Strategies to Address Potential Impacts on Public Health and Safety.

Naturvårdsverket, rapport 5677, 2007: FN:s klimatpanel 2007: Den naturvetenskapliga grunden, 36 pp.

Naturvårdsverket 2007: FN:s klimatpanel 2007: Syntesrapport, Sammanfattning för beslutsfattare. NV rapport 5763, Nov. 2007.

Naturvårdsverket, Vad är möjliga anpassningsåtgärder, (<http://www.naturvardsverket.se/en/In-English/Menu/Climate-change/Adaptation/Need-for-adaptation/>)

Nilsen, T., Aven, T. 2003: Models and model uncertainty in the context of risk analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 79(3): 309-317.

Nilsson G., Bendz, D., Ottosson, E., Larson, M. 2004: Impact of landslides with contaminated soils into surface waters – a qualitative description, NGM 2004 XIV Nordic Geotechnical Meeting, Proceedings vol2, G3-G15, SGF Report 3:2004.

Nordlander, H., Löfling, P., Andersson, O. 2007: Vägverkets rapport till Klimat- och sårbarhetsutredningen – gruppen transporter, Klimat- och Sårbarhetsutredningen, SOU 2007:60, Bilaga B1.

Persson, H., Alén, C., Lind, B.B. 2007: Development of a pore pressure prediction model: In, McInnes, R., Jakeways, J., Fairbank, H., Mathie, E., eds, International Conference on "Landslides and Climate Change", Isle of Wight, 21-24 May, 2007, pp 229-235.

Potts, D.M. 2006: Some strengths and weaknesses of advanced finite element analyses. Grundläggningdagen 2006: Grundprix, pp 27-48, , 9 mars, 2006, Stockholm.

Preview <http://www.preview-risk.com/en/index.php>

PESETA, European Commission's Joint Research Centre (JRC) (2008).

Rahardjo, H., Leong, E.C., Rezaur, R.B. 2008: Effect of antecedent rainfall on pore-water pressure distribution characteristics in residual soil slopes under tropical rainfall. *Hydrological Processes* 22, 506-523.

Rankka, K., Fallsvik, J. 2003: Förstärkningsåtgärder för slänter och raviner i morän och annan grov sedimentjord. Räddningsverket, Räddningstjänstavdelningen Beställningsnummer P21-425/03, Karlstad.

Rummukainen, M., Bergström, S., Persson, G., Ressner, E. 2005: Anpassning till klimatförändringar. Kartläggning av arbetet med sårbarhetsanalyser, anpassningsbehov och anpassningsåtgärder i Sverige till framtida klimatförändringar. SMHI Reports Meteorology and Climatology, No 106.

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.

Rydell et al (a) pågående projekt: ”Hållbar utveckling av strandnära områden – erosion, översvämning, skred och ras” (avslutas under 2008).

Rydell et al (b) pågående projekt: ”Översiktlig inventering av risker för naturolyckor – dagens och framtidens klimat” (avslutas under 2008).

Räddningsverket 2008. Framtidens risker och säkerhetsarbete, Slutrapport mars 2008.

Salciarini, D., Conversini, P. 2007: A comparison between analytic approaches to model rainfall-induced development of shallow landslides in the central Apennine of Italy. Landslides and Climate Change – McInnes, Jekeways, Fairbank, Mathie (eds). Taylor & Francis Group, London. 2007.

Salciarini, D., Godt, J.W., Savage, W.S., Baum, R.L., Conversini, P. 2008: Modeling landslide recurrence in Seattle, Washington, USA . *Engineering Geology*, Volume 102, Issues 3-4, 1 December 2008, Pages 227-237

Schmidt, J., Dikau, R. 2004: Modelling historical climate variability and slope stability. *Geomorphology*, 60 (3-4): 433-447.

Senfaute, G., Merrien-Soukatchoff, V., Clement, C., Laouafa, F., Dunner, C., Pfeifle, G., Guglielmi, Y., Lancon, H., Mudry, J., Darve, F., Donzé, F., Duriez, J., Pouya, A., Bemani, P., Gase, M., Wassermann, J. 2007: Impact of climate change on rock slope stability: Monitoring and modelling. Landslides and Climate Change – McInnes, Jakeways, Fairbank, Mathie (eds). Taylor & Francis Group, London 2007.

SGI, 2003: Kvikklara – bildning och egenskaper. SGI Varia 526, Linköping.

SGI, 2008: Erosion och sedimenttransport i vattendrag. SGI Varia 592, Linköping.

SGI, 2006: På säker grund för hållbar utveckling, Förslag till handlingsplan för att förutse och förebygga naturolyckor I Sverige vid förändrat klimat.

SGI, 2004, 2007: Geotekniska forsknings- och kunskapsstrategier. Linköping, 2004 respektive 2007

SGI, Varia 548, 2004: Samhällsutbyggnad och skredriskanalys i nordöstra Göra älvda-len inom Lilla Edets kommun. Underlag vid översiktlig planering och beslut om mark- och vattenanvändning. Slutrapport. Linköping, 2004.

SGI, SGU, Räddningsverket, 2006: Edsgård, S., Engdahl, M., Fallsvik, J., Fredén, C., m.fl., Gemensam hemsida för skred och ras, Räddningsverket, Statens geotekniska institut, Sveriges Geologiska Undersökning, <http://naturolyckor.srv.se>, 2006-11-17



Shaw, R., Colley, M., and Connell, R. 2007: Climate change adaptation by design: a guide for sustainable communities. TCPA, London  
([http://www.tcpa.org.uk/downloads/20070523\\_CCA\\_lowres.pdf](http://www.tcpa.org.uk/downloads/20070523_CCA_lowres.pdf))

Skredkommissionen 1995: Anvisningar för släntstabilitetsutredningar. IVA, Skredkommissionen, Rapport 3:95, Linköping.

Smith, M.E., Bengtsson, P.-E., och Holm, G. 2007: Three-dimensional numerical analyses of a full-scale instrumented railway embankment. European conference on soil mechanics and geotechnical engineering, 14, Madrid, September 2007, Preprint, 6 p.

SOU 2007:60. Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter. Slutbetänkande av Klimat- och Sårbarhetsutredningen.

SOU 2007:60, Bilaga B1., Nordlander, H., Andersson, O. Vägverkets rapport till Klimat- och sårbarhetsutredningen – gruppen transporter.

SOU 2007:60, Bilaga B2: Svensson, A., Lidman, E., Ingelström, A., Sandhill., Karlsson, M., Bergkvist, J. Klimat- och sårbarhetsutredningen – Påverkan på järnvägssystemet.

SOU 2007:60, Bilaga B14: Alm, E., Edler, S., Eklund, A., Hägglund E., Karlsson, M, Lundqvist, A., Johansson, T., Moberg, S., Munter, M., Rydell, B., Söderlund, S. Edsgård, S., Lind, B. 2007. Översiktlig sårbarhetsanalys för översvämningar, skred, ras och erosion i bebyggd miljö i ett framtida klimat. Klimat- och sårbarhetsutredningen,

Spizzichino, D., Margottini, C., Onorati, G. 2008: Climate change, natural disasters and adaptation: The Italian perspective, INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, Oslo, 2008, <http://www.cprm.gov.br/33IGC/1344609.html>

SRV, 2002: Kartering av stabiliteten i moränslänter och raviner, Litteraturinventering. Räddningsverket, Karlstad, 2002.

SRV, 2002: Översiktlig kartering av stabilitets- och avrinningsförhållanden i raviner och slänter i morän och grov sedimentjord - metodbeskrivning. Publikation P21-484, Karlstad.

Stern, N. 2006: The Economics of Climate Change – the Stern Review, Oct 2006: Svensk sammanfattning; Sternrapporten – en genomgripande analys av klimatförändringens ekonomi. Naturvårdsverket, rapport 5711, Maj 2007.

Tanuja Kulkarni and Andrée Blais-Stevens, 2004: Vulnerability of Landslide Risk to Climate Change, C-CIARN, Landscape Hazards Report 04-01.

Tano, R. 2001: Modelling of localized failure with emphasis on band paths. Luleå tekniska universitet, Institutionen för väg- och vattenbyggnad, Avdelningen för byggnadsmeکانیک, *Doctoral Thesis*, 178 p, Luleå.

Takahashi, T. 2007: Debris flow: mechanics, prediction and countermeasures. Taylor & Francis.

*TroFCCA Southeast Asia Flyer, där det också finns en hänvisning till en sida om adaptation, men den sidan är under utveckling*

[http://www.cifor.cgiar.org/trofcca/\\_ref/asia/index.htm](http://www.cifor.cgiar.org/trofcca/_ref/asia/index.htm),) samt  
[http://www.cifor.cgiar.org/trofcca/\\_ref/asia/index.htm](http://www.cifor.cgiar.org/trofcca/_ref/asia/index.htm)

Tompkins, E., Nicholson-Cole, S., Hurlston, L-A., Boyd, E., Brooks Hodge, G., Clarke, J., Gray, G., Trotz, N., Varlack, L. 2005: *Surviving Climate Change in Small Islands – A guidebook*. Tyndall Centre, UK, October 2005.

Van Westen, C.J., Van Asch, T.W.J., Soeters, R. 2006: *Landslide hazard and risk zonation-why is it still so difficult?* *Bull Eng Geol Env* (2006) 65:167-184.

Van Genuchten M.T. 1980: *A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils*, *Soil Science Society of America Journal*, 44, 892-898.

Lu N. och W. Likos (2004) *Unsaturated soil mechanics*, John Wiley & Sons, New Jersey, Usa, 556 p.

Varnes, D.J. 1978: *Slope movement types and processes*. In *Landslides, Analysis and Control*. Transportation Research Board. Special Report 176. Washington DC.

Wenner, C.G. 1951: *Data on Swedish landslides*, *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*, vol 73, p. 2, nr 465, s 300–308.

Westerberg, B. 1999: *Behaviour and modeling of a natural soft clay - Triaxial testing, constitutive relations and finite element modelling*. Luleå tekniska universitet, Division of Soil Mechanics and Foundation Engineering / Avd för geoteknik, *Doctoral Thesis*, 1999:13, 198 + /20/ p, Luleå.

Westerberg, B., Edstam, T. 2007: *Materialparametrar och numerisk simulering – En förstudie*. Intern rapport SGI, 2007-09-30.

Vetenskapsrådet 2008: *Data för svensk klimat- och miljöforskning*. Vetenskapsrådets rapportserie, 3:2008.

Viberg, L., Hågeryd A-C. Jonsson, H. 2001: *Skreddatabas – ett förslag*, Rapport över utvecklingsarbete. SGI, Varia 512.

Vägverket publ 2005:54: *Riskanalys vald vägsträcka,Handledning*.

Vägverket publ 2005:55: *Riskanalys vald vägsträcka,Handledning och Fördjupning*.

Yim, W.W.-S. 1996: *Vulnerability and adaptation of Hong Kong to hazards under climate change conditions*. *Water, Air and Soil Pollution*, 92: 181-190.

Yu, Y. 1993: *Testing and modelling of silty and sulphide-rich soils*. Luleå tekniska universitet. *Doctoral Thesis*, 1993:121 D, 1993, 218 + /23/ s, Luleå.

Öberg, A.-L. 1997: *Matrix Suction in Silt and Sand slopes – Significance and practical use in stability analysis*. *Doctoral Thesis*, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.



