



STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE



KLIMAT- OCH SÅRBARHETSUTREDNINGEN

Klimatförändringens inverkan i Sverige

Översiktlig bedömning av jordrörelser vid förändrat klimat

JAN FALLSVIK (SGI)
ANN-CHRISTINE HÅGERYD (SGI)
BO LIND (SGI)
HANS ALEXANDERSSON (SMHI)
SUSANNE EDSGÅRD (SRV)
PER LÖFLING (VÄGVERKET KONSULT)
HÅKAN NORDLANDER (VÄGVERKET)
BO THUNHOLM (SGU)

Varia 571

LINKÖPING 2007



STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE

Varia 571

KLIMAT- OCH SÅRBARHETSUTREDNINGEN

Klimatförändringens inverkan i Sverige

Översiktlig bedömning av jordrörelser vid förändrat klimat

JAN FALLSVIK (SGI)
ANN-CHRISTINE HÅGERYD (SGI)
BO LIND (SGI)
HANS ALEXANDERSSON (SMHI)
SUSANNE EDSGÅRD (SRV)
PER LÖFLING (VÄGVERKET KONSULT)
HÅKAN NORDLANDER (VÄGVERKET)
BO THUNHOLM (SGU)

LINKÖPING 2007

Varia	Statens geotekniska institut (SGI) 581 93 Linköping
Beställning	SGI – Informationstjänsten Tel: 013–20 18 04 Fax: 013–20 19 09 E-post: info@swedgeo.se Internet: www.swedgeo.se
ISSN	1100-6692
ISRN	SGI-VARIA--07/571--SE
Dnr SGI	1-0611-0652
Proj.nr. SGI	13040

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sammanfattning	5
1 Inledning	5
1.1 Uppdrag	5
1.2 Bakgrund	5
1.3 Syfte	5
1.4 Avgränsning	6
1.5 Övergripande information	6
2 Klimatförändringen	7
2.1 Klimatmodeller	7
2.2 Skilda resultat	7
2.3 Den globala klimatförändringen	7
2.4 Det framtida svenska klimatet enligt Rossby Centre	8
2.4.1 Val av klimatserie och tidsperspektiv	8
2.4.2 Temperaturförändring	9
2.4.3 Nederbördsförändring	9
2.4.4 Avrinningsförhållanden	10
2.4.5 Översvämningar, höga flöden och vattenmättning av jordlager	10
3 Jordrörelser vid dagens klimat – erosion, skred och ras	11
3.1 Erosion	11
3.1.1 Jordarternas erosionskänslighet	11
3.1.2 Erosion i vattendrag och sjöar	12
3.1.3 Erosion längs vattendragen i södra Sverige	13
3.1.4 Erosion längs vattendragen i norra och mellersta Sverige	14
3.1.5 Erosion längs sjöstränder	14
3.2 Jordrörelser i lerslänter	14
3.2.1 Skred	14
3.3 Jordrörelser i siltslänter	15
3.3.1 Nipskred och -ras	17
3.3.2 Ravinutveckling	18
3.4 Jordrörelser i moränslänter	20
3.4.1 Erosion	20
3.4.2 Moränskred	20
3.4.3 Slamströmmar	20
3.5 Rörelser i bergslänter	23
3.5.1 Naturliga bergslänter	23
3.5.2 Schaktade bergslänter, skärningar	23
4 Klimatförändringens inverkan på jordrörelser – erosion, skred och ras	23
4.1 Modellering	23
4.1.1 Influens	23
4.1.2 Sammanvägning av förändringsfaktorer	25
4.1.3 Översiktligt bedömningssystem	25
4.2 Diskussion	25
4.3 Resultat	26

4.3.1	Erosion	26
4.3.2	Skred och ras i ler- och siltslänter	28
4.3.3	Ravinutveckling	30
4.3.4	Moränskred och slamströmmar	32
Referenser		34

Klimat- och sårbarhetsutredningen

Översiktlig bedömning av jordrörelser vid förändrat klimat

SAMMANFATTNING

På uppdrag Klimat- och sårbarhetsutredningen har en arbetsgrupp sammansatt av SGI, SGU, Räddningsverket, SMHI, Vägverket och Vägverket Konsult översiktligt utrett hur ett förändrat klimat kan komma att påverka jordrörelser som erosion, skred och ras, ravinutveckling samt moränskred och slamströmmar. Utredningen har baserats dels på översiktlig information om dagens fördelning över Sverige av dessa problematiska jordrörelser, dels på översiktliga klimatscenarier framtagna av Rossby Centre, SMHI.

Utredningen visar, att över delar av landet kommer problemen att accentueras beroende på ökad nederbörd och därmed ökad avrinning. Sett över hela landet ger dock utredningen en något splittrad bild. Trots ökad nederbörd förväntas avrinningen minska i de sydöstra delarna av landet på grund av ökad avdunstning. Snösmältningen kommer även att bli utjämnad över en längre period i landets norra delar vilket ger mindre frekvens av höga flöden i vattendragen. Därför kan delar av problemen komma att bli oförändrade eller till och med minska i dessa delar av landet.

1 INLEDNING

1.1 Uppdrag

På uppdrag av Klimat- och sårbarhetsutredningen har Statens geotekniska institut (SGI) i samverkan med Sveriges geologiska undersökning (SGU), Räddningsverket (SRV), Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI) och Vägverket Konsult utfört bedömning av skredriskerna vid ett förändrat klimat.

1.2 Bakgrund

Den globala klimatförändringen förväntas påverka nederbördsförhållandena i Sverige med upp till 25 % ökad nederbörd i stora delar av landet. Högre nederbörd och ökade flöden kan ge ökade problem med översvämningar, erosion, skred och ras samt ökad frekvens och problem knutna till slamströmmar. Förhöjd medeltemperatur och temperaturväxlingar, som medför flera passager av fryspunkten kan ge ökad vittring samt frostsprängning och därmed orsaka fler bergras i instabila bergssluttningar och skärningar. Dessa riskfaktorer innebär ett hot mot befintlig och planerad bebyggelse, infrastruktur, konstruktioner, anläggningar och system.

1.3 Syfte

Syftet med uppdraget har varit att göra en översiktlig bedömning av hur förutsättningar för erosion, skred och ras kommer att förändras. Bedömningen skall bilda underlag

för kommande uppskattning av de konsekvenser som klimatförändringen har på byggnader, konstruktioner, infrastruktur, anläggningar och system.

Klimatscenarier framtagna av Rossby Centre, SMHI, har sammanvägts med kartor som visar omfattningen och fördelningen över landet av olika typer av problematiska jordrörelser inbegripande erosion längs vattendrag och sjöar, ravinbildning och jordskred.

1.4 Avgränsning

Det förändrade klimatets påverkan på benägenheten för bergras samt kusterosion har inte utretts i detta uppdrag och inte heller direkt påverkan från översvämningar på grund av höga vattenstånd i sjöar och vattendrag samt höga vattenstånd utmed kusterna. Dessa problem studeras i parallella utredningar.

1.5 Övergripande information

Arbetet har baserats på klimatutvecklingen under de kommande 70-80 åren enligt det mest pessimistiska klimatscenariot (ECHAM/A2). Detta scenario förutsätter fortsatta stora utsläpp av koldioxid.

Den modell som använts i uppdraget har en osäkerhet, eftersom vi har varit hänvisade till att använda de kartor som finns tillgängliga från SMHI:s klimatscenarier. Exempelvis finns inte kartor framtagna, som visar hur grundvatten- och portrycksförhållandena kommer att förändras. Dessa förhållanden påverkar släntstabiliteten direkt. För att lösa detta har vi gjort antagandet att förändrade portryck i jordlagren översiktligt kan beskrivas av hur avrinningsförhållandena kommer att förändras med klimatet.

Informationen från de olika underlagskartorna dels bestående av kartor som visar effekterna av klimatförändringen, dels kartor som visar fördelningen över landet av de olika jordrörelserna har vägts samman manuellt. GIS-teknik har inte använts på grund av att digitala underlagskartor i rätt format inte varit tillgängliga i dagsläget.

Resultatskartorna redovisar förändringar inom de delar av landet där problem med jordrörelser finns idag.

Resultatkartorna kan ge en splittrad bild. På en del platser gränsar områden, som indikeras få ökade problem, direkt till områden, som indikeras få minskade problem, utan någon mellanliggande övergångszon. Resultatkartorna är dock översiktliga, varför gränsdragningen är ungefärlig. Kartorna indikerar huvuddragen.

Översiktligheten innebär generaliseringar, vilka medför att lokala topografiska och geologiska förhållanden kan innebära avvikelser inom de indikerade områdena på resultatkartorna.

2 KLIMATFÖRÄNDRINGEN

2.1 Klimatmodeller

Scenarier över klimatets utveckling bygger på beräkningar i globala klimatmodeller. Inom denna utredning har utnyttjats resultat baserat främst på två globala klimatmodeller, dels från Max-Planck institutet i Tyskland, ECHAM4, dels från Hadley Centre i England, Hadlam3H, samt på en regional oceancirkulationsmodell, OPYC3, som Rossby Centre tagit fram för bland annat för Östersjön.

Var och en av de globala klimatmodellerna har körts med två olika scenarier för framtida utsläpp av växthusgaser, definierade av FN:s klimatpanel, IPCC. De scenarier som utnyttjats kallas A2 respektive B2. A2 scenariot innebär fortsatt stora utsläpp av koldioxid, från dagens 8 miljarder ton/år till nära 30 miljarder ton/år 2100. Scenario B2 innebär en medveten satsning på minskade utsläpp och ökningen begränsas, från 8 miljarder ton/år idag till 13 miljarder ton år 2100.

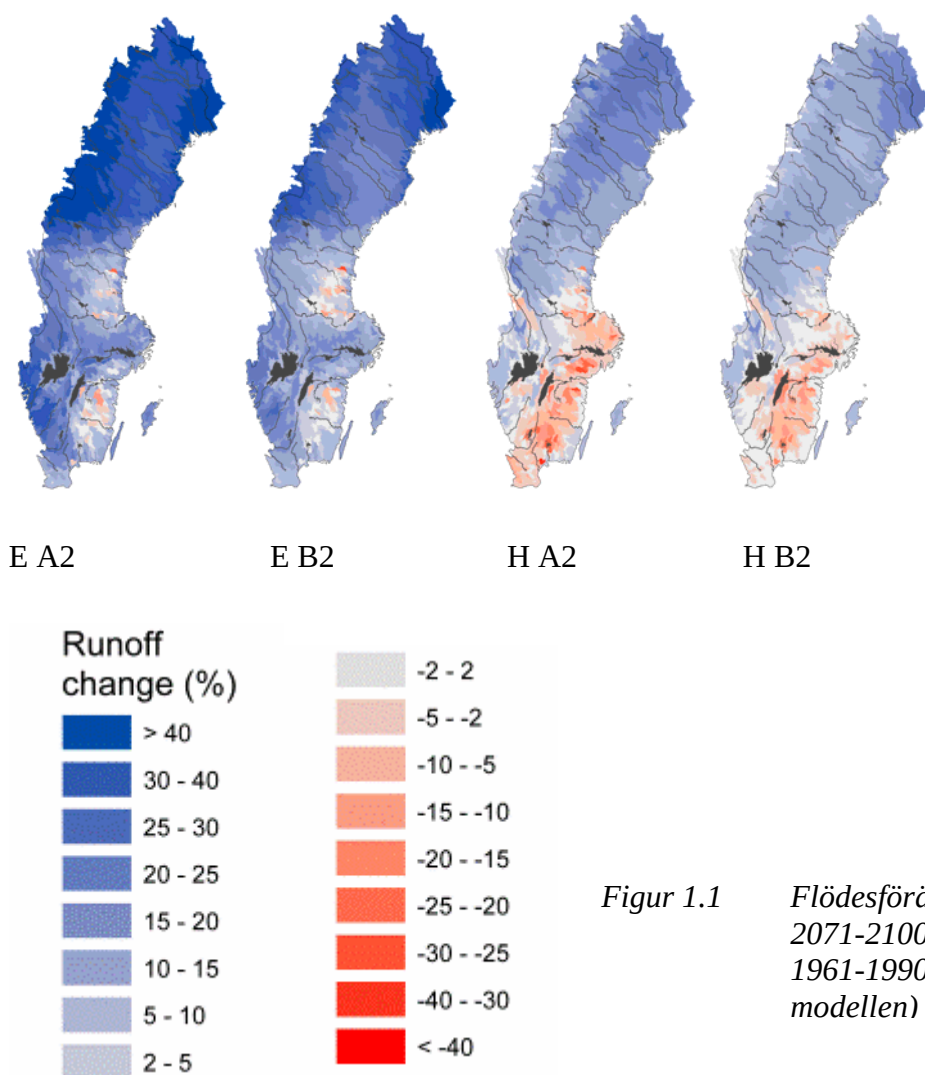
Resultaten från de globala modelleringarna har tolkats till regional skala av Rossby Centre, SMHI, med hjälp av Rossby Centers regionala modell, RCA3. Beräkningar av avrinningen baseras på HBV-modellen, SMHI.

2.2 Skilda resultat

De olika modellerna och scenarierna ger delvis olika resultat, Figur 1.1. Detta blir tydligt bl.a. i de olika resultaten för flödesförändringar 2071-2100 jämfört med 1961-1990. Resultaten från körningen HB2 (Hadlam3H och scenario B2) pekar på små förändringar gentemot dagens situation medan EA2 (ECHAM4 och scenario A2) visar på kraftigt ökade flöden i stora delar av landet. Bilden är liknande för övriga index där EA2 representera de största framtida förändringarna. Det är mot bakgrund av detta man skall tolka de fortsatta resultaten i denna rapport, som utnyttjar just EA2 som underlag.

2.3 Den globala klimatförändringen

Vår planets ökade medeltemperatur kommer att innebära att klimatzonerna förskjuts mot polerna. På norra halvklotet kommer detta att innebära, att den s k polarfronten med lågtryck som vandrar från väster mot öster kommer att få ett nordligare läge. Detta ger ökad nederbörd i norra Europa, medan nederbörden minskar längre söderut. På kontinenten får man långa torrperioder, och i Medelhavsområdet befarar man så liten nederbördsmängd att man får ökenspridning.



Figur 1.1 Flödesförändringar 2071-2100 jämfört med 1961-1990 (HBV-modellen)

2.4 Det framtida svenska klimatet enligt Rossby Centre

2.4.1 Val av klimatserie och tidsperspektiv

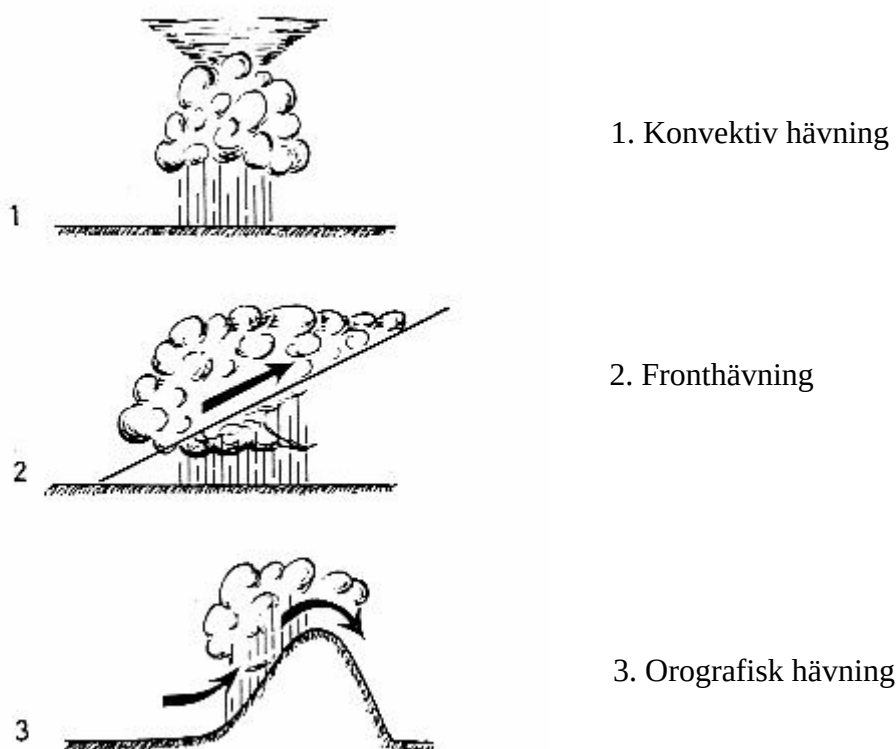
Rosby Centre har framställt fyra olika klimatscenarier baserade på olika antaganden och teorier. Dessa presenteras i kartform i så kallade indexkartor som indikerar hur olika faktorer som temperatur, nederbörd avrinning etc. kommer att förändras i olika delar av landet fram till tre olika trettioårsperioder under det kommande seklet. Dessa perioder är 2011-2040, 2041-2070 samt 2071-2100. Så kallade differenskartor har sedan framställts som jämför respektive trettioårsperiod med väderstatistik sammanställd för perioden 1961-1990. I detta uppdrag har vi valt att studera differenskartorna för trettioårsperioden 2071-2100 framtagna med följande antaganden och teorier: ECHAM 4, Mall RCA3, Drivare A2, SMHI (2006). Detta innebär att de förändringar som beskrivs motsvarar det mest pessimistiska klimatsceneriet som Rossby Centre valt att behandla.

2.4.2 Temperaturförändring

Ju närmare jordens poler desto större temperaturförändring. Den förväntade globala klimatförändringen kommer för Sveriges del att innebära att vi får en höjning av medeltemperaturen med flera grader. Fram emot sekelskiftet 2100 kan det bli ett ”nord-franskt” klimat i Sydsverige.

2.4.3 Nederbördsförändring

Nederbörd utlöses av hävning av en luftmassa uppåt från markytan varvid lufttrycket minskar. Tre huvudtyper av hävning finns, se Figur 2.1.



Figur 2.1. Tre huvudtyper av nederbörd, efter Liljequist (1970)

1. Konvektiv hävning – uppstår när en relativt varmare markyta värmer upp de nedersta luftlagren som därmed blir lättare än luftlager ovanför, som är kallare och tyngre.
2. Fronthävning – uppstår vid kall- eller varmfronter där en varm och därmed lättare luftmassa pressas upp över en tyngre och kall luftmassa
3. Orografisk hävning – uppstår där en stark vind driver varma luftmassor upp över högre terräng, exempelvis en bergkedja

Enligt Rossby Centre's scenarier kommer nederbörden att öka över hela Sverige, samtidigt som även nederbördsmönstret blir förändrat. Nederbördsökningen beror på att en ökad andel av nederbörden kommer att utgöras av konvektiva regn på grund av ökad temperatur och mer sommarlika förhållanden under en större del av året. Den totala

mängden frontnederbörd kommer dock inte att minska. Konvektiva regn är oftast kortvariga men kan vara mycket intensiva.

Nederbörden återgår förr eller senare till atmosfären genom avdunstning. Denna kan ske direkt från mark- eller vattenytor eller via växter och djur. Avdunstningen under ett helt år ligger f n på 400-500 mm i södra Sverige, lite mindre i norra Sverige och bara omkring 100 mm i fjällen. Nederbörden är dock överallt större i genomsnitt varför vi har avrinning och vattendrag i hela landet.

Eftersom det blir varmare kommer avdunstningen att öka, så trots att nederbörden ökar, kommer avrinningen ändå troligtvis att minska i sydöstra Sverige.

2.4.4 Avrinningsförhållanden

Avrinningsförhållandena kommer alltså sannolikt att ändras, bland annat genom att vårfloden blir mindre markant eller ofta helt uteblir i södra Sverige. I västra Sverige kommer flödena att öka framförallt under höst och förvinter och ge ökade maxflöden. Medelavrinningen kommer sannolikt att öka i större delen av Sverige utom i den sydöstra landsändan där medelavrinningen troligen kommer att minska.

Eftersom andelen intensiva regn kommer att öka, kan emellertid avrinningen temporärt i mindre avrinningsområden vara högre än idag även i de delar av landet som får minskad medelavrinning.

Avrinningen består av två delar:

1. Ytavrinning, ytlig avrinning över markytan och i vattendrag
2. Grundvattenavrinning, avrinning under marken genom berg- och jordlager

Grundvattnet bildas av ytvatten som infiltrerar (perkolerar) ned i berg- och jordlager. Grundvattenavrinningen är huvudsakligen långsammare än ytvattenavrinningen.

Grundvattnet sipprar långsamt genom bergsprickor och jordlagrens porer. Lokalt kan dock underjordiska kanaler bildas av vittring, sprickbildningar och erosion där strömningshastigheten kan bli hög.

Grundvattennivån definieras som den nivå under vilken bergsprickor och jordlagrens porer är fullständigt fyllda av vatten. Över denna nivå är porerna inte helt fyllda av vatten utan även av luft, s k porgas. Portrycket är det tryck som grundvattnet alstrar i jordens porer. Grundvattentrycket varierar huvudsakligen isostatiskt med djupet under grundvattenytan och grundvattenytans tidsmässiga variation i höjdled. Ovanför grundvattenytan är portrycket huvudsakligen negativt i förhållande till atmosfärstrycket beroende på kapillära krafter.

2.4.5 Översvämningar, höga flöden och vattenmättning av jordlager

Hög avrinning kan ge upphov till höga flöden och översvämningar. Höga flöden ger erosion utmed vattendragen, och på grund av infiltration blir dessutom jordlager inom de översvämmade områdena vattenmättade. Jordlager i de slänter som utsätts för intensiva regn blir också vattenmättade och grundvattennivån höjs.

3 JORDRÖRELSER VID DAGENS KLIMAT – EROSION, SKRED OCH RAS

3.1 Erosion

Naturen undergår en ständig förvandling. Rinnande vatten, vågor och vind omformar landskapet och tektoniska processer, t.ex. landhöjning skapar nya landytor, medan landsänkning innebär landförlust. Landhöjningen är längs delar av Bottenvikskusten ca 90 cm/100 år, i Mälardalen 40 cm/100 år. Vid södra Skånekusten överstiger havsnivåns höjning landhöjningen, vilket innebär en liten landsänkning.

Med erosion, som är en ständigt pågående, naturlig förändringsprocess i landskapet, förstås i dagligt språkbruk att botten-, slänt- eller strandmaterial sätts i rörelse under inverkan av främst vatten, men även av vind eller is. Den tekniska/vetenskapliga definitionen innebär att det inom ett visst avgränsat område råder jämvikt mellan uppslammad och avsatt mängd material, sägs området vara stabilt ur erosionssynpunkt. Vid en nettoförlust av material sägs området vara utsatt för erosion. Med sedimentation menas att material avsätts inom ett område i sådan omfattning att det sker en ackumulation av material. Människan kan genom olika aktiviteter och åtgärder både förhindra och påskynda erosionsprocessen exempelvis genom fartygstrafik.

Erosionsprocessen i vatten består i princip av tre delar, *uppslamning* av jordpartiklar i vattnet, *transport* av jordpartiklar i vattnet och *sedimentation* av jordpartiklar, och resulterar i förändringar av strandlinjer, strandzoner och bottenpografi. När vatten påverkar jordpartiklar sker en ömsesidig påverkan mellan jordpartiklarna och vattnet. Kraftspelet mellan partiklarna och vattnet är komplext. Vågor och vattenströmmar som verkar mot partiklarna ger upphov till skjuvspänningar mellan dessa. Blir skjuvspänningarna större än den skjuvhållfasthet som kan mobiliseras mellan partiklarna, börjar partiklarna att röra sig. Till en början omlagras partiklarna men är påverkan tillräckligt stor slammades de upp i vattnet, för att sedan transporteras och så småningom avsättas i områden där våg- och strömförhållanden är mindre kraftiga.

Så kallad inre erosion kan förekomma i finkornig friktionsjord genom att grundvattenströmmar för med sig partiklar och på så sätt orsakar materialvandring.

3.1.1 Jordarternas erosionskänslighet

Jordarternas erosionskänslighet beror på partikelsammansättningen, grundvattenförhållanden och topografin. Hur erosionsbenägen en jord är beror på dess förmåga att motstå de skjuvspänningar som byggs upp mellan partiklarna (jordens skjuvhållfasthet), Rydell m.fl. (2003). Skjuvhållfastheten är beroende av dels jordpartiklarnas tyngd (storlek), dels eventuella bindningar mellan partiklarna. I kohesionsjordar (lera och i viss mån silt¹) finns mer eller mindre starka kohesiva bindningar mellan jordpartiklarna. Detta bidrar till att bygga upp skjuvhållfastheten, vilket gör jorden mindre erosionsbenägen. Välsorterade jordarter med en kornstorleksfördelning motsvarande finsand och mellansand är mest erosionsbenägna. Erosionsbenägenheten är begränsad i en osorterad jord, som t.ex. morän. I osorterade jordar leder påverkan av vatten till att de mest

¹ "Silt" är en internationell beteckning för de äldre svenska beteckningarna "mjäla" och "finmo". Med jordfraktionen "silt" avses finjord med kornstorleken 0,002-0,02 mm, d.v.s. i storleksordningen mellan "lera" och "sand".

finkorniga fraktionerna i de ytligaste skikten spolats bort. Grövre fraktioner lämnas kvar i ytan och bildar en s.k. stenpäls, som har högre motståndskraft mot fortsatt erosion. Ett naturligt erosionskydd bildas därmed.

Grus, sten och block är mindre erosionsbenägna på grund av kornens storlek och tyngd. Men vid kraftiga vågrörelser eller turbulenta strömningsförhållanden kan även sten och block eroderas, jämför t.ex. materialtransport i djupa moränraviner i mellannorrland, där kraftiga vattenflöden tidvis förekommer.

3.1.2 Erosion i vattendrag och sjöar

I översikten i Figur 3.1a framgår de vattendrag som berörs av finkorniga jordarter – silt och lera – oavsett om dessa förekommer i ytan eller täcks av grovkorniga jordarter som sand och grus, Elhammer & Fredén (2002). Ler- och siltjordar uppträder företrädesvis i områden under högsta kustlinjen. Markerade erosionskänsliga kuststräckor och sjöstränder omfattar även strand som bildats i grövre jordarter som morän, grus och sand, samt i sedimentär berggrund. Underlaget för översikten har varit geologiska kartor och i övrigt kända förhållanden.

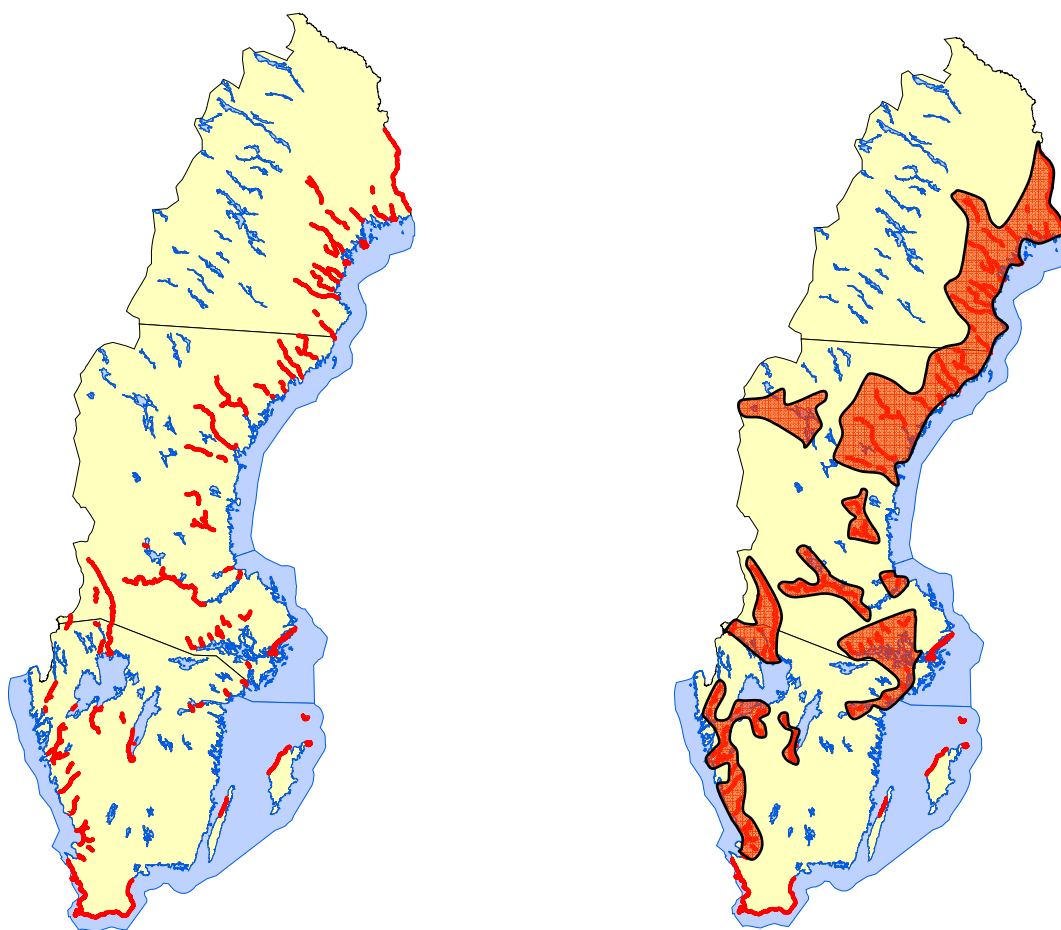
Omgivande markområden vid vattendragen i Figur 3.1a har emellertid delvis liknande jordartsförhållanden, vilket innebär att även mellanliggande mindre vattendrag och biflöden kan vara erosionskänsliga. Därför har i Figur 3.1b översikten generaliserats så att större mera sammanhängande områden i anslutning till vattendrag har tolkats som erosionskänsliga. Inom dessa utökade områden ingår såväl bebyggd som obebyggd mark. Dessutom finns områden med berg i dagen samt med grövre jordlager som morän och isälvsmaterial som inte är erosionskänsliga. Erosion i orörd natur kan medföra följdverkningar t.ex. för nedströms belägen infrastruktur. Någon gradering av erosionsfrekvensen har inte gjorts.

Utanför de markerade områdena på kartan i Figur 3.1b finns andra mindre områden som kan vara erosionskänsliga, exempelvis områden med issjösediment.

Erosionen är olika i olika stora vattendrag. Flödet i de mindre vattendragen, som har små avrinningsområden, påverkas mera av intensiva regn. Dessa bildas i så kallade bymoln, som har en begränsad storlek. Som regel drabbar därmed varje enskilt intensivt regn endast ett begränsat lokalt område. Flödet i de större vattendragen, som har större avrinningsområden, är mera utjämnat med mindre fluktuationer. Flödet är beroende av den nederbörd som kommit under en längre period över det större avrinningsområdet.

Förutom i Jämtland redovisar Figur 3.1b inte erosion längs vattendragen i fjällen och fjällnära terräng. Dessa vattendrag är små men är erosionsbenägna beroende på avrinnings- och lutningsförhållandena och kan orsaka problem för nedströms liggande bebyggelse. Problematiken behandlas i stället under slamströmmar.

Vid extrema vädersituationer kan erosion inträffa – oberoende av jordart – inom områden som under normala förhållanden inte bedöms som erosionskänsliga och orsaka t.ex. släntskred och släntras i morän.



Figur 3.1a Områden med förutsättningar för erosion längs sjöar, kuster och större vattendrag, efter översikt av Elhammer & Fredén (2002)

Figur 3.1b Generalisering av områden med förutsättningar för erosion genom tolkning av jordartskartan (SGU nationell skala) samt kartan i Figur 3.1a. Inom dessa generaliserade områden finns dock delområden där erosionsproblem saknas med grövre jordlager som morän och isälvsavlagringar samt berg i dagen. Avgränsning: Stränderosion som inte behandlas i detta uppdrag (de röda linjerna längs Skånes, Upplands, Ölands och Gotlands kuster) samt områden med risk för slamströmmar. Utanför de markerade områdena finns mindre områden med issjösediment som också kan vara erosionskänsliga.

3.1.3 Erosion längs vattendragen i södra Sverige

Erosion längs vattendragen i södra Sverige förekommer främst i områden med lera, silt och sand. Vattendragens slänter är ofta någon till några meter höga. Slänterna exempelvis längs övre delen av Göta älv är 5-10 m höga. Erosion kan leda till skred. Den vanligaste skredtypen är bakåtgripande skred. Mindre vattendrag som slättlandsåar, bäckar och åar i sprickdalsterräng har ej redovisats.

3.1.4 Erosion längs vattendragen i norra och mellersta Sverige

De stora och medelstora dalgångarna från Klarälvsdalen i söder till Tornedalen i norr karakteriseras av omväxlande silt- och sandförekomster med skiftande tjocklek. Lerlager förekommer, och dessa täcks vanligen av 5-10 m av yngre sediment. I dessa älvdalar ligger äldre höga nipor vid översvämningens planets fot d.v.s. vid sidan av nuvarande älvfåra. Slänterna är erosionskänsliga och berörs även vid högvattensituationer. Erosion kan leda till skred. Den vanligaste skredtypen är släntskred. Längs vissa älvsträckor, t.ex. Ångermanälven inom Sollefteå kommun, är frekvensen av små och stora släntskred och -ras relativt hög. Ofta utlöses dessa av inre erosion.

I områden där vattendragen omges av sand förekommer erosion i slänter men också avsättning av material i andra delar av vattendraget. Denna avsättning innebär att vattenflödet begränsas till en mindre åfåra, vilket leder till ökad vattenhastighet med större risk för erosion och översvämning.

3.1.5 Erosion längs sjöstränder

Landhöjningen varierar med breddgraden. Sjöarna Vättern och Vänern är så stora att skillnaden i landhöjningens intensitet mellan norra och södra delen av sjöarna är märkbar. Eftersom Vätterns utlopp Motålsström ligger i norra delen av sjön, översvämmas successivt de branta och höga sandslänterna utmed stränderna i den södra delen av sjön. Detta ger upphov till erosion, som accentueras vid extrema vädersituationer som nordlig storm och häftiga regn.

I större sjöar uppkommer även höga vågor, som leder till erosion av stränder på samma sätt som vid kuster.

3.2 Jordrörelser i lerslänter

3.2.1 Skred

Ökat flöde i såväl större vattendrag som bäckar och diken kommer att medföra ökad erosion. Ökad erosion längs vattenlinjen kan vara en utlösande faktor för ras och skred. Skred förekommer främst i finkorniga jordar och innebär att stora sjok av jordmassor kommer i rörelse utefter glidytor i marken, exempelvis tunna vattenfyllda sand- eller siltskikt. Skred och ras kan utlösas av översvämningar.

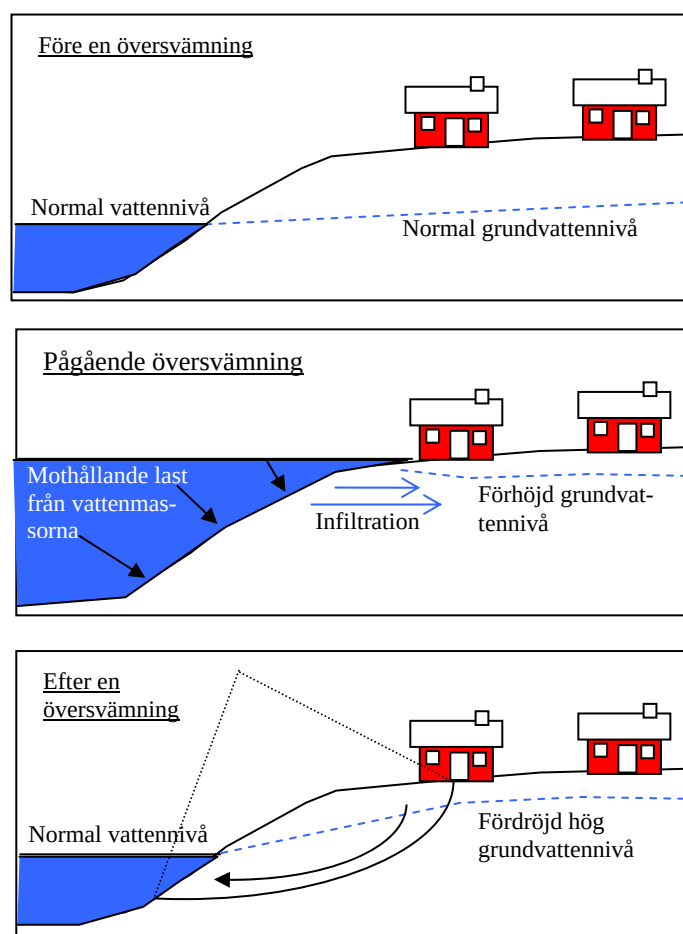
Skred kan även utlösas i lerslänter ”på land”, som inte ligger i anslutning till vattendrag om portrycken i jordlagren blir allt för höga på grund av stor nederbörd, förutsatt att slänten är tillräckligt brant.

I slänter mot vattendrag kan jordskred även utlösas av erosion utmed strandlinjen eller utmed vattendragets botten. Särskilt kan skred utlösas på grund av växlingen mellan extremt hög och normal vattennivå i ett vattendrag, Figur 3.2.

Medan en översvämning pågår infiltrerar vatten in i jordlagren i omgivande slänter. Detta ger en hög grundvattennivå i slänten, vilket leder till ökat vattentryck i jordens porer. Detta *höga portryck* leder till sämre hållfasthet i jordlagren. Medan översvämningen pågår, fungerar emellertid vattenmassorna i vattendraget som en motvikt mot slänten. Normalt utlöses därför inte jordskred så länge som översvämningen varar.

Senare, när översvämningen sjunker undan, minskar motvikten, men det höga porttrycket i jordlagren avtar inte i samma takt där jordlagren består av lera och silt. Dessa mycket finkorniga jordar har låg vattengenomsläpplighet (låg konduktivitet eller permeabilitet för vatten). På grund av lägre hållfasthet i jorden än före översvämningen utlöses ofta jordskred när översvämningen sjunker undan, förutsatt att släntens topografi är tillräckligt brant, Fallsvik & Lundström (2007).

Risken för skred ökar även vid mänsklig påverkan vid olika markanvändning exempelvis där slänter belastas med exempelvis byggnader, anläggningar, vägbankar eller fyllnadsmassor eller vid muddringsarbete i nedanförliggande vattendrag.



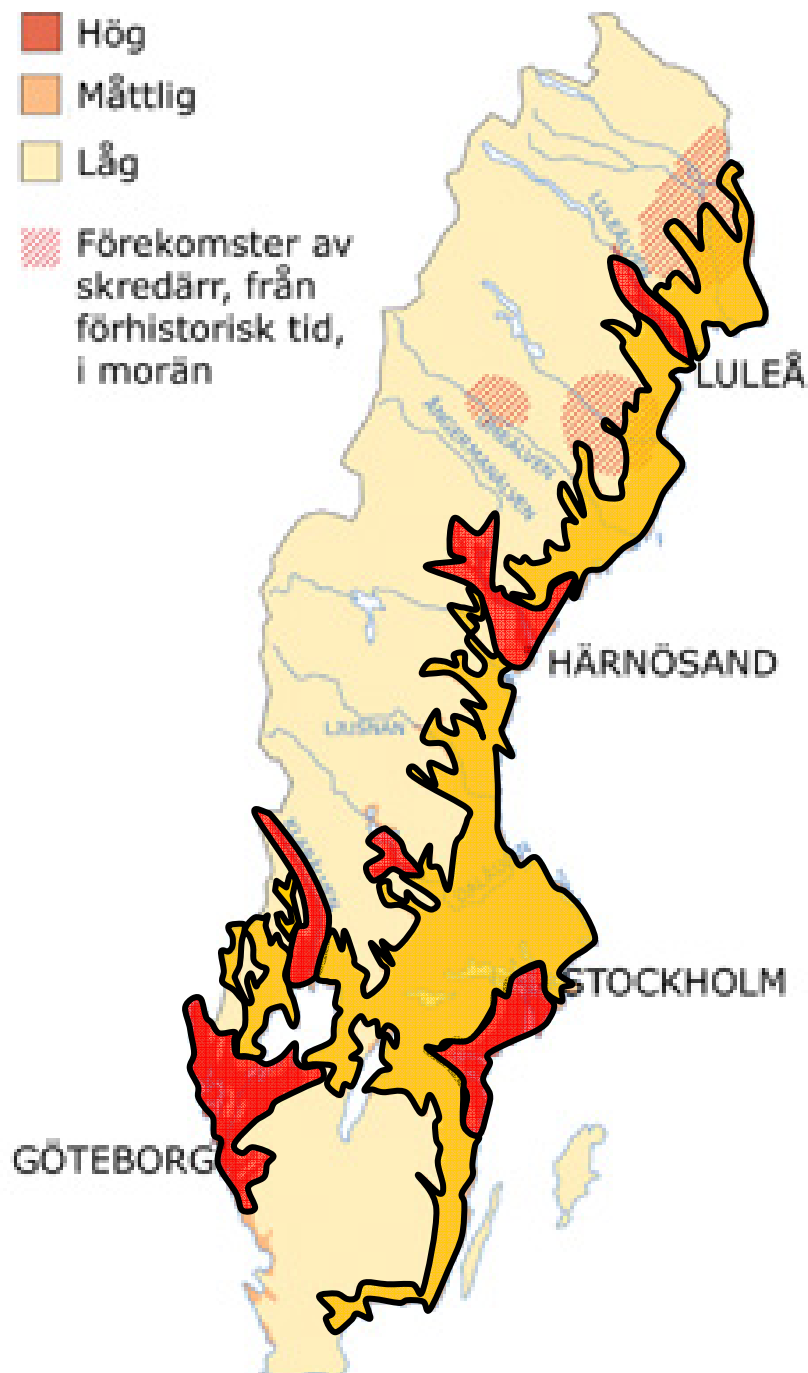
Figur 3.2 Den geohydrologiska situationen före, under och efter en översvämning

Figur 3.3 visar översiktligt förekomsten och frekvensen av skred och ras i slänter i lera och silt i Sverige.

3.3 Jordrörelser i siltslänter

Främst under högsta kustlinjen har branta och höga slänter i silt utvecklats, typiskt längs våra norrlandsälvar och längs Klarälven. När havet stod högre, bildades ofta mäktiga deltaområden vid de dåtida älvmyrningarna, Fysisk riksplanering (1980). Räknat nerifrån och upp består jordlagren här vanligen av lera, silt och sand. Där lager av lera finns återfinns dessa ofta djupt ner i jordpacken under den nuvarande vattenlinjen i älven. Efterhand som kustlinjen på grund av landhöjningen har förflyttats sig nedströms längs

älven mot sitt nuvarande läge, har vattendragens mynningar följt med, och nya deltaområden har successivt bildats. Längs älvdalarna kan därför deltasediment påträffas hela vägen mellan högsta kustlinjen och den nuvarande kusten.



Figur 3.3 Generaliserad karta över frekvens av skred och ras i Sverige. Underlag från SGI, SGU, Räddningsverket (2006)

3.3.1 Nipskred och -ras

Efterhand som landhöjningen pågått har älvarna successivt eroderat sig ned i sina gamla deltaavlagringar, varvid nipslänter har bildats. Dessa slänter har bildats genom skred

och ras; en process som fortfarande i allra högsta grad pågår. På samma sätt som för skred i lerslänter kan skreden och rasen i nipslänterna utlösas av erosion i strandlinjen och under älvbotten, på grund av ökade portryck i jordlagren beroende på stor nederbörd samt på grund av översvämningar med påföljande infiltration av vatten i jordlagren. Områden med skred och ras i nipslänter ingår i de områden som redovisas i Figur 3.3.

3.3.2 Ravinutveckling

Ravinbildning är vanligast i områden med siltjord men förekommer även områden med sand- eller lerjord, Figur 3.5. (Ravinbildningar finns även i brantare slänter där jordlagren huvudsakligen består av morän. Ravinutveckling inom dessa områden behandlas i avsnitt 3.4, jordrörelser i moränslänter.)

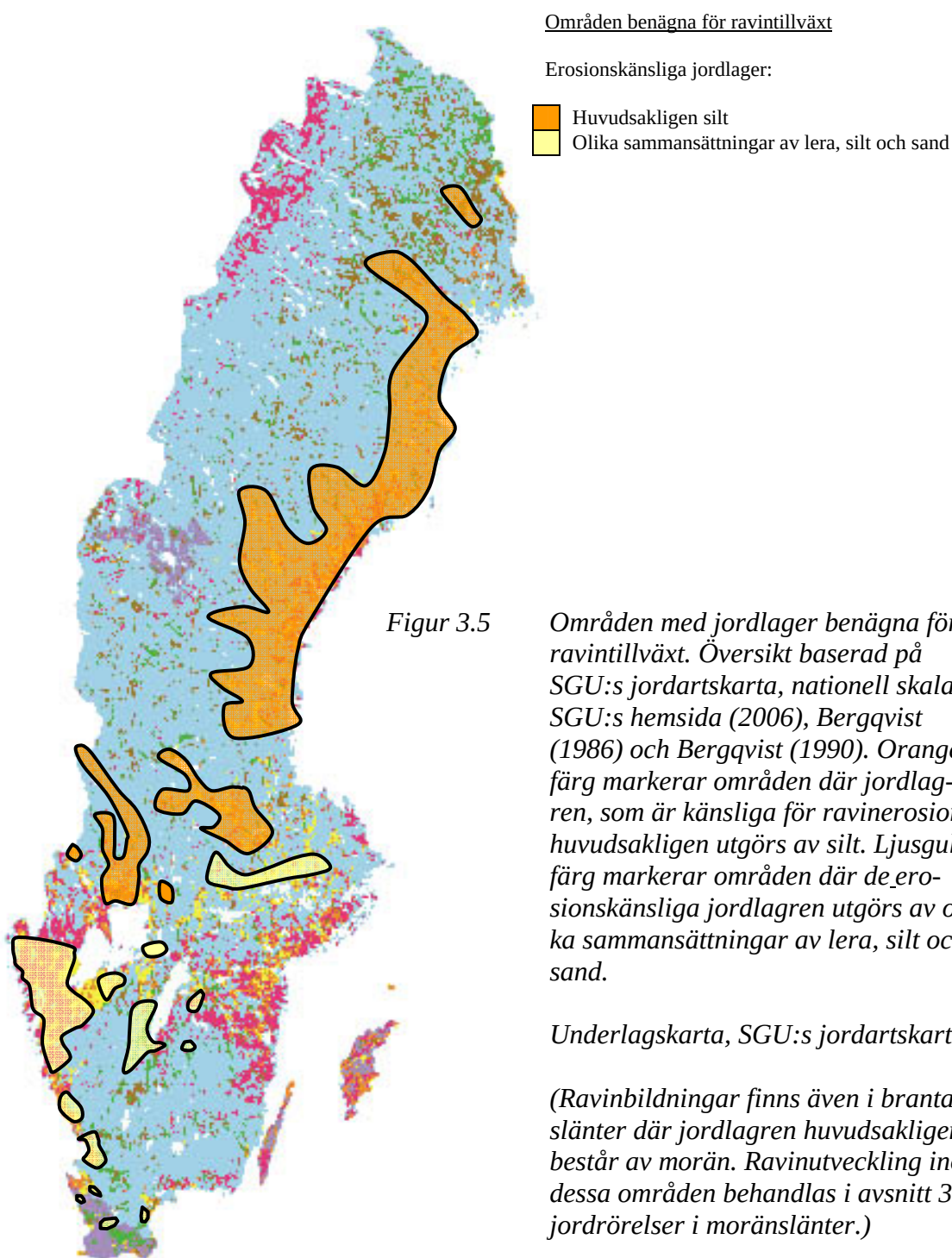
En ravin bildas långsammare än skred eller ras. Den växer bakåt från sin mynning och följer oftast dräneringsfårar på marken eller underjordiska grundvattenflöden. Raviner grenar vanligen ut sig och orsakar på sikt oftast en större markförstörelse än vad ett skred gör, Figur 3.4. Därmed kan bebyggelse på relativt stora avstånd hotas. En ravin kan bli tio till tjugo meter djup, är V-formad och har branta sidor, (se SGI, SGU, Räddningsverket, 2006).



Figur 3.4 Ravin i silt i Dalälvens dalgång ca 1500 m nordväst Solvarbo, Dalarna. Ravinen bildades under snösmältningen, våren 1999. Foto: C. Fredén, SGU, 1999

Raviner kan utvecklas snabbt genom ytvattenserostion och/eller inre erosion (grundvatten-erosion). Raviner utvecklas ofta genom flera på varandra följande skred och/eller ras längs med det vattendrag eller grundvattenflöde som orsakar ravinen. Vid intensiv nederbörd strömmar de eroderade jordmassorna vidare som slamströmmar, och kan påverka områdena nedanför slänten.

På grund av inre erosion kan kaviteter (hålrum) bildas i jordlagren och marken kan störta samman. Såväl ravinbildning som kollapsande kaviteter kan skada människor, bebyggelse och infrastruktur.



3.4 Jordrörelser i moränslänter

3.4.1 Erosion

Beroende på halten av finjord är morän olika erosionsbenägen. Silt- och ler moräner har hög halt av finjord. Stor nederbörd med hög avrinning och indränkta jordlagren som följd kan orsaka erosion längs såväl branta slänter som utmed stränderna för vattendrag och sjöar.

3.4.2 Moränskred

I branta slänter med grova jordar, exempelvis morän, uppstår skred oftast när jorden är vattenmättad efter en nederbördsrik period eller i samband med snösmältningen. I Sverige är moränskred vanligast i fjällterräng men kan uppstå även i moränslänter i andra delar av landet med kuperad terräng – exempelvis längs s.k. förkastningsbranter, Figur 3.6 och 3.7.

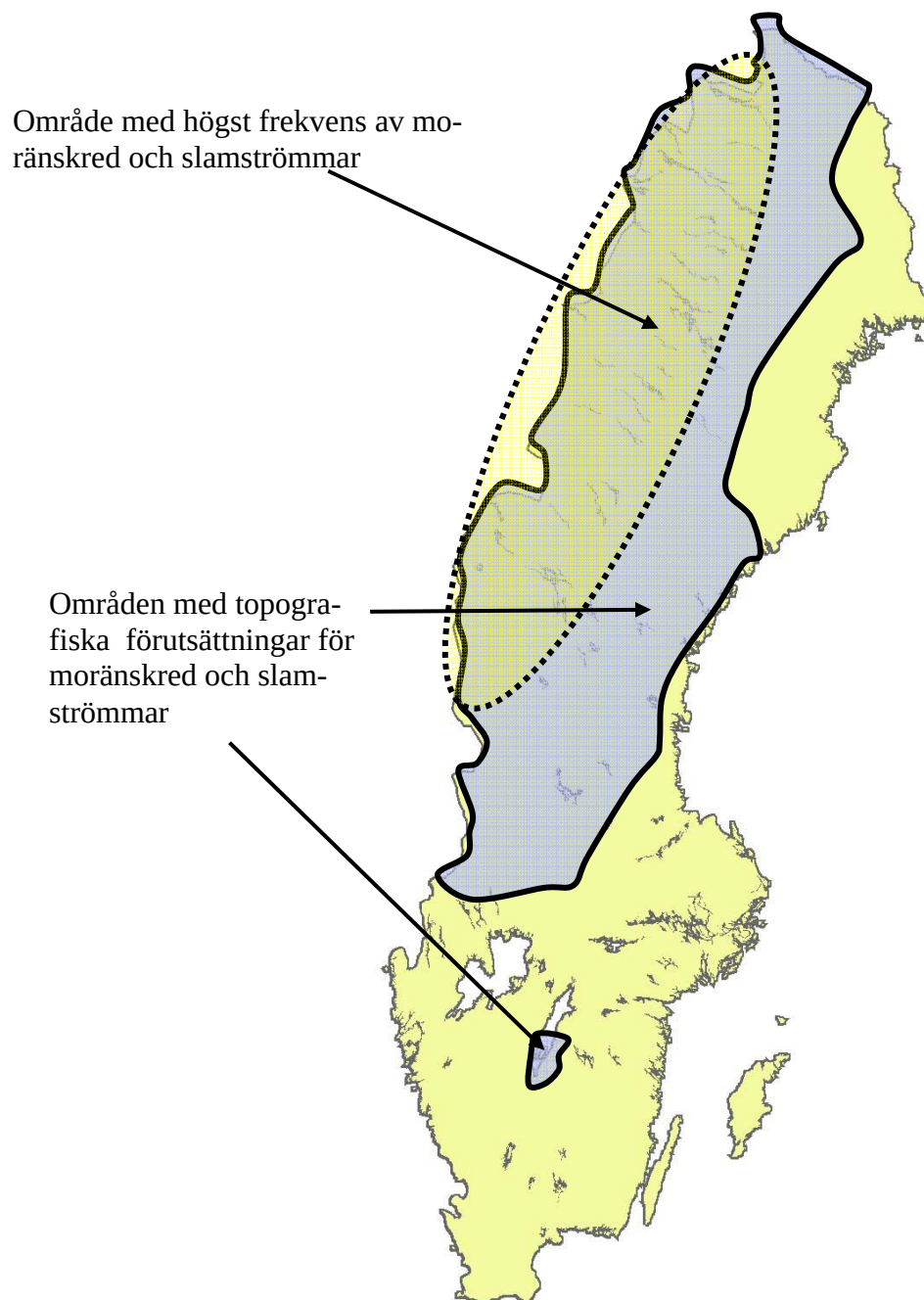


Figur 3.6 Moränskred vid Tutstad, Sysseleback. Foto: J. Fallsvik, SGI, 1999

3.4.3 Slamströmmar

Om en slänt är lång och brant, kan de vattenmättade jordmassorna från ett högt beläget moränskred strömma nedför slänten som en så kallad slamström, Figur 3.8.

Så länge slänten är tillräckligt brant fortsätter slamströmmen sin rörelse nedåt, och längs sin väg påverkas marken och omgivningen av intensiv erosion. Jordmassorna är tunga och slamströmmens stora rörelseenergi och den intensiva erosionen gör att slamströmmen blir mycket destruktiv. Ytterligare jordmassor innehållande sten och block och även hela träd dras ofta med, och därmed kan slamströmmens volym successivt öka nedför slänten. Erosion från upprepade slamströmmar i moränslänter kan ge upphov till raviner.



Figur 3.7 Förekomsterna av topografiska förutsättningar för moränskred och slamströmmar. Översiktlig bedömning baserad på SGI och Räddningsverket (2003).



Figur 3.8 Pågående slamström längs bäckravin, Sondrio, Italien. Foto: M. Bonomo

Ofta ansamlas jordmassor, träd och buskar från mindre skred och slamströmmar längs bäckraviner. Vid stora vattenflöden i bäcken kan de ansamlade jordmassorna åter komma i rörelse och fortsätta som en ny slamström längs bäckravinen ned till den nedanföriggande dalen. Återkommande slamströmmar längs bäckravinerna är vanliga i slänter med många moränskred.



Figur 3.9 Åre samhälle ligger på avlagringar av grus och sand från ett stort antal slamströmmar som inträffat sedan istiden längs Mörviksåns ravin. Foto: J. Lundqvist, SGU 1962

För bebyggelse och infrastruktur kan moränskred och efterföljande slamströmmar orsaka skador såväl inom själva skredområdet som längs den efterföljande slamströmmens väg nedför slänten och i ansamlingsområdet i dalen nedanför, Figur 3.8 och 3.9.

3.5 Rörelser i bergslänter

3.5.1 Naturliga bergslänter

Bergas inträffar i branta bergslänter med uppsprucket eller vittrat berg, (se SGI, SGU, Räddningsverkets 2006). Klimatpåverkan som exempelvis frostsprängning på grund av upprepad frysning/tining samt kemisk påverkan, vittring och urspolning av material längs sprickorna på grund av ökad grundvattenströmning förorsakar att bergets hållfasthet successivt försämras. Bergasen styrs ofta av sprickplanens geometri.

I de områden på västsidan av Öland och Gotland där klinter reser sig brant sker vittring, grundvattenerosion och en mycket långsam urgröpning i de nedre delarna av kalkstensklinterna, vilket leder till underminering och ras.

Vid bedömning av benägenheten för bergas är kännedom om vittringen längs bergrundens spricksystem är väsentlig. Geologiska underlagskartor finns över var spricksystem förekommer, men inte över var vittring förekommer längs spricksystemen i urberget. Det har därför inte varit möjligt att i denna utredning framställa kartor, som översiktligt visar hur klimatförändringen förväntas att påverka tendenserna för bergas.

3.5.2 Schaktade bergslänter, skärningar

I konstgjorda slänter genom schaktning i berg, exempelvis vägschärningar, verkar samma destabiliserande processer som i naturliga bergslänter. Emellertid tillkommer risken för försämrad stabilitet på grund av att avschaktningen kan ge förändrad fördelning av bergspänningarna, vilket kan ge upphov till ras.

4 KLIMATFÖRÄNDRINGENS INVERKAN PÅ JORDRÖRELSE – EROSION, SKRED OCH RAS

4.1 Modellering

Informationen i de kartor som visas i avsnitt 3 ovan, som visar omfattningen av erosionsbenägna jordar, skred, ras och ravinutveckling i slänter i ler- och siltjordar samt moränskred och slamströmmar, sammanvägs med index kartor relevanta för respektive ”jordsrörelse”.

4.1.1 Influens

Baserat på tillgängliga klimatindex framtagna av Rossby Centre har arbetsgruppen gjort ett urval enligt Tabell 4.1.

Tabell 4.1 *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.*

Jordrörelse	Påverkande förhållande	Valt index (differenskartor) Förändrad:	Differenskartans beteckning (Differens mellan 1961-1990 och 2071-2100)	Influens, inbördes bedömd viktning	Redovisningskarta
Erosion	• Intensiva regn	• Frekvens av intensiva regn (>25 mm/dygn)	DIFF_Precip_nGT 25_A2_ECHAM4	1	Figur 4.1
	• Höga flöden	• Frekvens av hundraårsflöde	Förändring i hundraårsflöde ECHAM/A2	1	
Skred och ras i ler- och siltslänter	• Portryck	• Avrinning	Flöde ECHAM/A2	1	Figur 4.2
	• 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	Figur 4.3
		• Frekvens av hundraårsflöde	Förändring i hundraårsflöde ECHAM/A2	1	
Moränskred och slamströmmar	• Intensiva regn	• Frekvens av intensiva regn (>25 mm/dygn)	DIFF_Precip_nGT 25_A2_ECHAM4	3	Figur 4.4
	• 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.

4.1.2 Sammanvägning av förändringsfaktorer

Förändringsfaktorerna vägs samman varvid hänsyn tas till deras bedömda inbördes vikt, det vill säga deras betydelse för förändringen, se Tabell 4.1.

4.1.3 Översiktligt bedömningssystem

Ett översiktligt bedömningssystem har använts med följande skala:

Förändring av respektive jordrörelses frekvens	Symbol	Beteckning på kartan
• Ökning	+	Orange
• Ingen större förändring	± 0	Gul
• Minskning	-	Grön

4.2 Diskussion

Den valda modellen för hur jordrörelser påverkas av ett förändrat klimat är förenklad, och beaktar t ex. i skredfallet inga direkta samband mellan nederbörd, infiltration och portryck. I en mera fullständig modell måste bland annat även hänsyn tas till lokal topografi och geologi.

I vårt arbete har vi översiktligt antagit att det råder linjära samband mellan exempelvis ökad frekvens av intensiva regn och slamströmmar. Att dessa linjära förhållanden verkligen råder är dock ovisst. Det finns därför ett forskningsbehov att utröna vilka samband det finns mellan olika klimatfaktorer och deras följder i form av jordrörelser, eller om det finns mera komplicerade samband, tröskeleffekter etc.

Det har inte varit möjligt att i denna utredning framställa kartor, som visar hur klimatförändringen kommer att påverka tendenserna för bergras. Översiktlig information om förekomsten av vittring i bergsprickor är väsentlig för bedömning av hur tendenserna för bergras varierar över landet. Det finns således ett behov att framställa sådan information, som lämpligen skulle kunna redovisas som översiktliga kartor. Med detta som underlag kan vi sedan även ta fram motsvarande kartor över förändring i bergstabilitet på grund av klimatförändringen.

4.3 Resultat

4.3.1 Erosion

SGI har utfört en översiktlig inventering av pågående erosion respektive geologiska förutsättningar för erosion längs kuster och större sjöar, Rydell m.fl. (2005). Inledningsvis framställde SGU på uppdrag av SGI en översiktlig karta över erosionskänsliga jordar. För att avgränsa områden i Sverige med erosionsproblem har vi som underlag generaliserat SGU:s översiktliga karta över jordar med förutsättningar för erosion, Figur 3.1a (sidan 13). På SGU:s karta är endast erosion längs kusterna och vid Vättern samt utmed de större vattendragen markerade. Mellan de större vattendragen finns dock mindre vattendrag där det också finns erosionsproblem. Med kännedom om de översiktliga jordlagerförhållandena har därför i Figur 3.1b större och sammanhängande områden avgränsats runt de områden som indikerats på SGU:s karta från Figur 3.1a. Inom dessa områden finns dock delområden där erosionsproblem saknas med grövre jordlager som morän och isälvsavlagringar samt berg i dagen.

Kusterosion ingår inte i vårt uppdrag. Därför har områden utlämnats som enbart berörs av kusterosion, vilket studeras i en parallell utredning.

Förändringen i benägenheten för erosion på grund av klimatförändringen framgår av Figur 4.1. De klimatbetingade förändringar som påverkar erosionsbenägenheten är främst höga flöden som ger vattenindränkta jordlager och höga vattenhastigheter och erosion/materialtransport längs stränder samt intensiva regn som temporärt ger kraftig erosion. Därför valdes följande indexkartor:

- DIFF_Precip_nGT25_A2_ECHAM4
- Förändring i hundraårsflöde ECHAM/A2

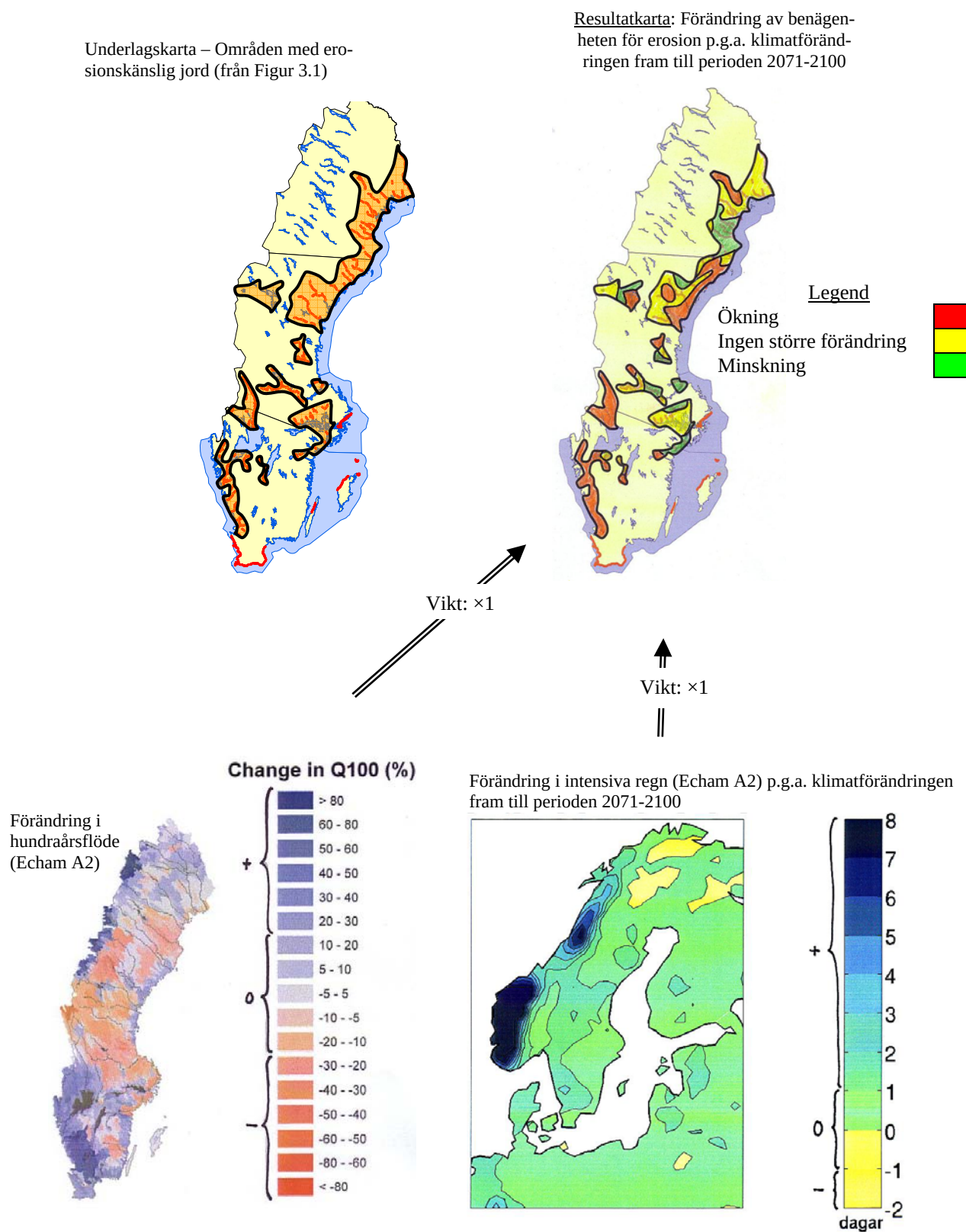
Vi har bedömt att dessa båda klimatbetingade förändringar har samma vikt för erosionsbenägenheten.

Främst i västra Sverige, men även i delar av mellersta och norra Sverige, kommer erosionen att öka beroende på ökad nederbörd och därmed ökad avrinning.

Bilden är dock splittrad. Trots ökad medelnederbörd kommer frekvensen av höga flöden i vattendragen att minska i de östra delarna av landet främst på grund av en förlängd och därmed utjämnad snösmältningssäsong. Därför kan problemen komma att bli oförändrade eller till och med minska i dessa delar av landet. Hänsyn har inte tagits till den effekt reglering av vattendrag innebär.

I en del platser i norra Sverige gränsar röda områden, som indikerar ökade erosionsproblem, direkt till gröna områden, som indikerar minskade problem. Resultatkartan är dock översiktlig, varför gränsdragningen är ungefärlig. Kartan indikerar huvuddragen.

Utanför de markerade områdena på de övre kartorna i Figur 4.1 finns andra mindre områden som kan vara erosionskänsliga, exempelvis områden med issjösediment.



Figur 4.1

Sammanvägning, erosionsområden. Förändrad benägenhet för erosion på grund av förändring av hundraårsflöden respektive intensiva regn beroende på klimatförändringen fram till perioden 2071-2100.

4.3.2 Skred och ras i ler- och siltslänter

Förändringen i benägenheten för skred och ras i ler- och siltslänter på grund av klimatförändringen framgår av Figur 4.2. För att avgränsa områden med skred och ras har vi som underlag generaliserat SGU:s översiktliga karta ”Frekvensen av skred och ras i Sverige”, Figur 3.3 (sidan 17), se även SGI, SGU, Räddningsverket (2006).

Den klimatbetingade förändring som påverkar benägenheten för skred och ras i ler- och siltslänter är främst portrycksförhållandena som påverkas av fluktuationerna i grundvattenbildning och grundvattenflöden. Indexkartor saknas för grundvattenförhållandena, men vi bedömde att avrinningen, som till största delen består av grundvattenutflöde, kan tjäna som en indikator. Därför valdes följande indexkarta:

- Förändring i flöde ECHAM/A2

Dessutom utgör erosion en viktig faktor. Därför valde vi att även använda resultatkartan från föregående sida som en ”indexkarta”, d.v.s.:

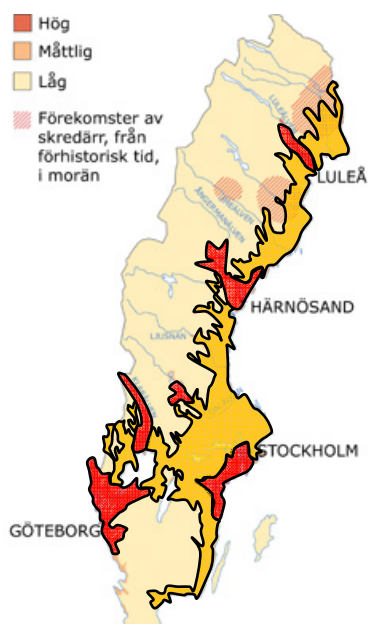
- Förändring av benägenheten för erosion p.g.a. klimatiförändringen

Såväl i västra Sverige, som i kustlandet i Norrbottens län, Västernorrlands län och i delar av Västerbottens och Gävleborgs län, förväntas frekvensen av skred och ras att öka beroende på ökad nederbörd och därmed ökad avrinning och ökade portryck. Av samma anledningar förväntas även ökad frekvens av ras och skred i delar av Dalarna och i Värmland, Närke, Västmanland, Uppland och Södermanland samt inom mindre områden i Östergötland och Småland samt i NO Skåne. Således förväntas frekvensen av skred och ras att öka inom större delen av de områden som har förutsättningar för skred och ras i ler- och siltslänter.

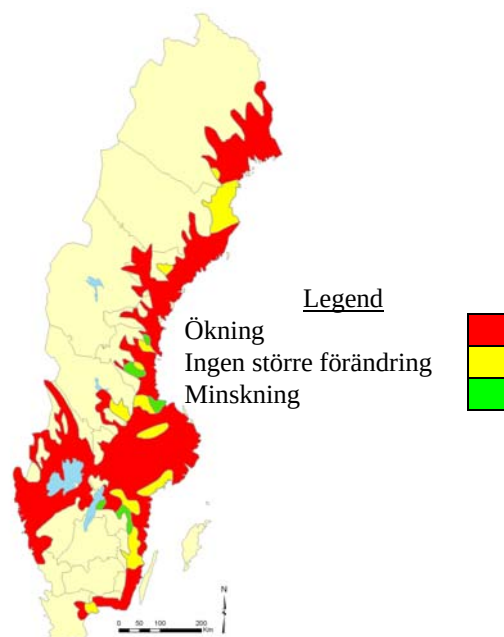
Längs delar av kusten utmed Västerbottens län förväntas dock frekvensen av skred att vara oförändrad trots ökad nederbörd. Anledningen till detta bedöms vara minskad erosion på grund av minskad frekvens av extrem vattenförlust i vattendragen och detta i sin tur beroende på förlängd snösmältningsperiod och därmed mera utjämnad vårflod i vattendragen. Trots ökad nederbörd förväntas avrinningen att vara oförändrad eller minska på grund av ökad avdunstning och/eller minskad erosion i delar av Dalarnas och Gävleborgs län och i Mälardalen samt utmed Södermanlandskusten och i delar av Östergötland och Småland. Därför förväntas problemen med skred och ras bli oförändrade eller till och med minska i dessa delar av landet.

I delar av Gävleborgs län och Östergötland finns gröna områden, som indikerar förväntade minskade skredproblem, som gränsar direkt till röda områden, som indikerar ökade problem. Resultatkartan är dock översiktlig varför gränsdragningen är ungefärlig. Kartan indikerar huvuddragen.

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

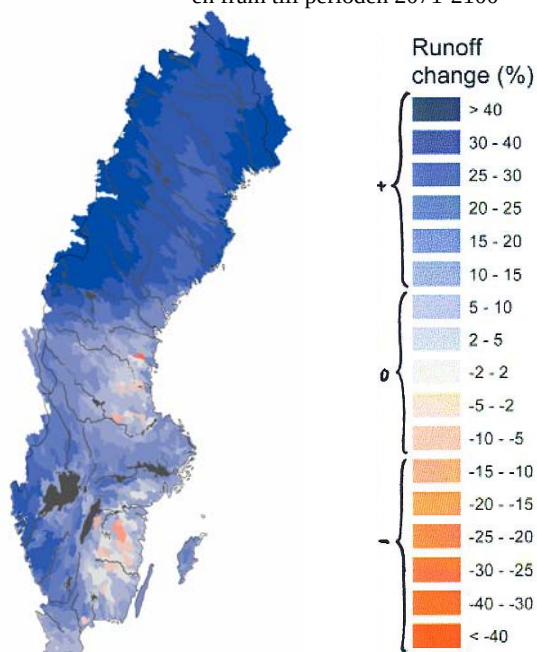


Resultatkartan från Figur 4.1. Förändring av benägenheten för erosion p.g.a. klimatförändringen.



Vikt: $\times 1$

Förändring i avrinning (Echam A2) p.g.a. klimatförändringen fram till perioden 2071-2100



Figur 4.2 Sammanvägning, områden med benägenhet för skred och ras. Förändrad benägenhet för skred och ras på grund av ökad avrinning som leder till ökat porttryck och erosion beroende på klimatförändringen fram till perioden 2071-2100.

4.3.3 Ravinutveckling

Förändringen i benägenheten för ravinutveckling på grund av klimatförändringen framgår av Figur 4.3.

För att avgränsa områden i Sverige med benägenhet för ravinutveckling har SGU:s översiktliga jordartskarta samt två inventeringar av befintliga svenska ravinlandskap studerats, Bergqvist (1986 och 1990). Förutsättningar för ravinutveckling finns i områden som domineras av jordlager av silt samt av olika sammansättningar av lera, silt och sand, Figur 3.5 (sidan 19).

De klimatbetingade förändringar som påverkar benägenheten ravinutveckling är främst höga flöden vilka ger vattenindränkta jordlager som samt intensiva regn som temporärt ger kraftig erosion. Därför valdes följande indexkartor:

- DIFF_Precip_nGT25_A2_ECHAM4
- Förändring i hundraårsflöde ECHAM/A2

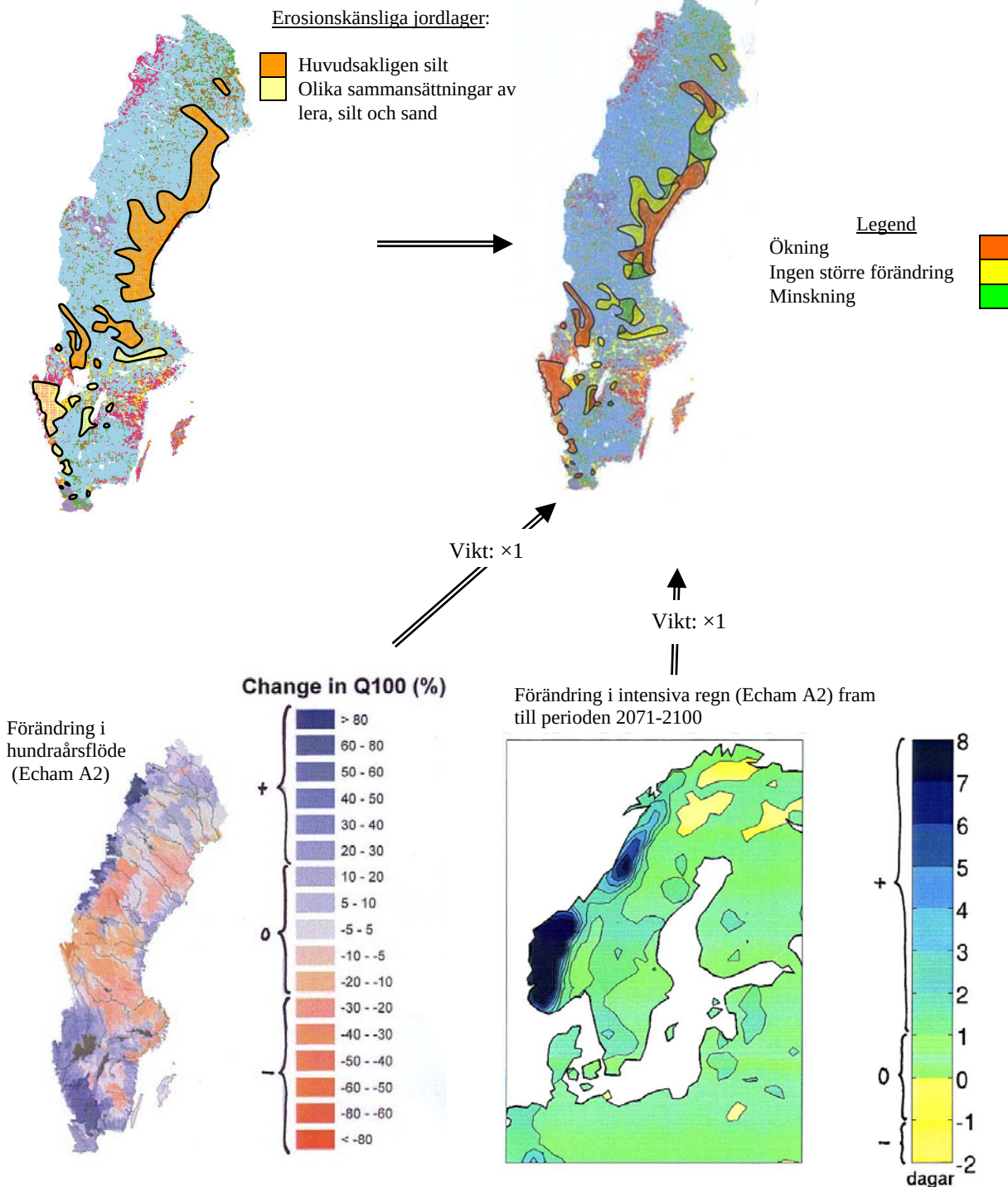
Vi har bedömt att dessa klimatbetingade förändringar har samma vikt för erosionsbenägenheten.

Såväl i Svealand och de västra och de södra delarna av Götaland som i delar av mellersta och norra Norrland finns områden där benägenheten för ravinutveckling kommer att öka beroende på ökad nederbörd och därmed ökad avrinning. Bilden är dock splittrad. Trots ökad medelnederbörd kommer frekvensen av höga flöden att minska i delar av Norrland kustland och i Svealand främst på grund av en utjämnad snösmältningssäsong. Därför kan problemen komma att bli oförändrade eller till och med minska i dessa delar av landet.

I begränsade områden längs norrlandskusten finns röda delområden, som indikerar ökade erosionsproblem, i nära anslutning till gröna delområden, som indikerar minskade problem. Resultatkartan är dock översiktlig varför gränsdragningen är ungefärlig. Kartan indikerar huvuddragen.

Underlagskarta – områden med benägenhet för ravinutveckling i jordlager som domineras av silt respektive jordlager bestående av olika sammansättningar av lera, silt och sand (från Figur 3.5).

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



Figur 4.3

Sammanvägning, områden med benägenhet för ravinutveckling. Förändrad benägenhet för ravinutveckling på grund av förändring av hundraårsflöden respektive intensiva regn beroende på klimatförändringen fram till perioden 2071-2100. (Ravinbildningar finns även i andra delar av landet där jordlagren huvudsakligen består av morän. Ravinutveckling inom dessa områden har innefattats i jordrörelser i moränslänter Figur 4.4.)

4.3.4 Moränskred och slamströmmar

Förändringen i benägenheten för moränskred och slamströmmar på grund av klimatförändringen framgår av Figur 4.4. För att avgränsa områden med benägenhet för moränskred och slamströmmar i moränslänter har vi som underlag använt resultatet från SGI:s och Räddningsverkets (2003) översiktliga kartering av stabilitetsförhållandena i moränslänter. Erosion från upprepade slamströmmar i moränslänter kan även ge upphov till raviner. Områden med topografiska förutsättningar för moränskred och slamströmmar samt ravinutveckling i moränslänter har markerats i Figur 3.7 (sidan 21).

De klimatbetingade förändringar som påverkar benägenheten för moränskred och slamströmmar är främst hög och varaktig nederbörd sommartid, men särskilt viktiga är intensiva regn. Sommartid ger hög nederbörd vattenindränkta jordlager i hög terräng. Inträffar då ett intensivt regn, kan inte jordlagren absorbera mera vatten. Vattnet rinner av över markytan och ner till bäckar och åar. I andra sänkor kan även nya vattendrag bildas temporärt. Allt detta avrinnande ytvatten skapar kraftig erosion som utlöser skred och kan dra med sig jordmassor så att en slamström bildas. Därför valdes följande indexkarter:

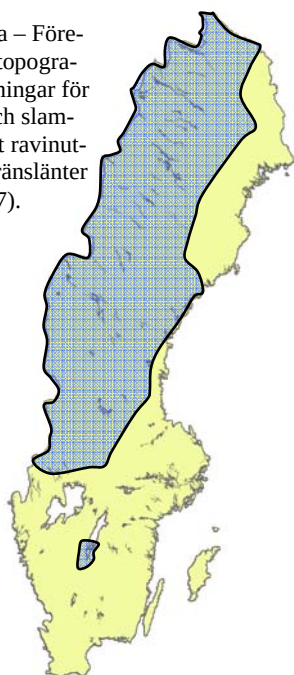
- DIFF_Precip_nGT25_A2_ECHAM4
- DIFF_Rainfall_sum_A2_ECHAM4_RCA3_JJA (juni, juli, augusti)

Vidare bedömdes att dessa båda klimatbetingade förändringar inte har samma vikt för erosionsbenägenheten. Vi bedömde att intensiva regn hade tre gånger större vikt än säsongsnederbörden sommartid.

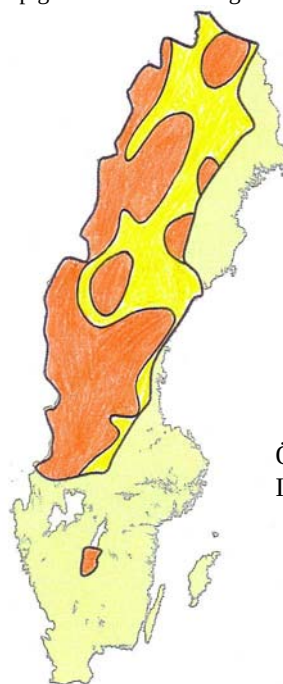
I norra Norrlands fjälltrakter, i större delen av södra Norrland och norra Svealand samt i Jönköpingstrakten kommer benägenheten för moränskred och slamströmmar att öka beroende på ökad nederbörd sommartid och högre frekvens av intensiva regn och därmed ökad erosion.

I norra Norrlands inland kommer dock situationen att bli i stort sett oförändrad främst beroende på att frekvensen av intensiva regn inte kommer att förändras i någon högre grad.

Underlagskarta – Förekomsterna av topografiska förutsättningar för moränskred och slamströmmar samt ravinutveckling i moränslänter (efter Figur 3.7).



Resultatkarta: Förändring av benägenheten för moränskred och slamströmmar samt ravinutveckling i moränslänter p.g.a. klimatförändringen fram till perioden 2071-2100



Legend

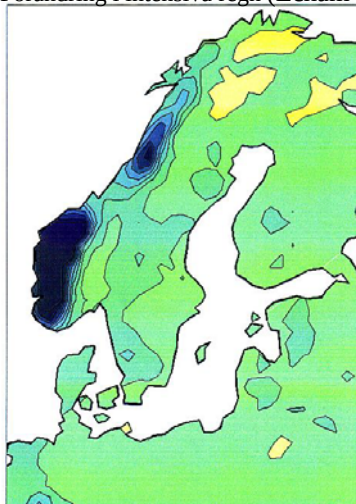
Ökning
Ingen större förändring



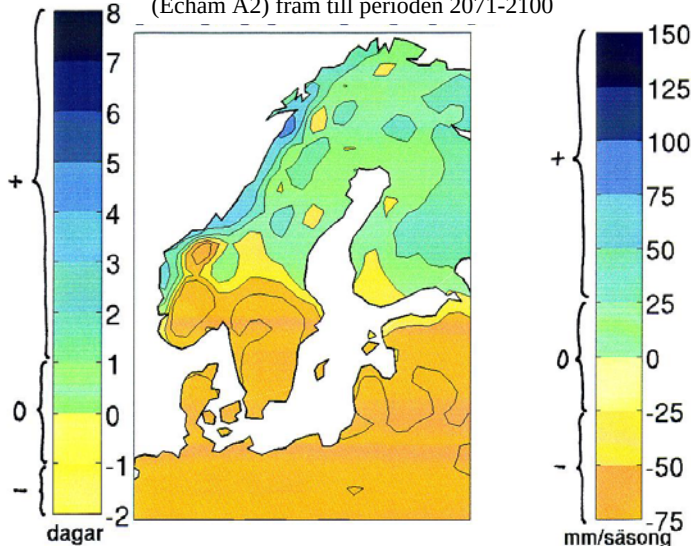
Vikt: $\times 3$

Vikt: $\times 1$

Förändring i intensiva regn (Echam A2)



Nederbördsförändring under sommarsäsongen (Echam A2) fram till perioden 2071-2100



Figur 4.4

Sammanvägning, områden med benägenhet moränskred och slamströmmar. Förändrad benägenhet för moränskred och slamströmmar samt ravinutveckling i moränslänter på grund av förändring av säsongsnederbörd respektive intensiva regn beroende på klimatförändringen fram till perioden 2071-2100.

REFERENSER

Bergqvist, E., (1986), Svenska nip- och ravinlandskap, Processer och former, översikter och förslag till naturreservat, Uppsala Universitet, Naturgeografiska institutionen, UNGI Rapport Nr 63, ISBN 91-506-0526-7, Uppsala

Bergqvist, E., (1990), Nip- och ravinlandskap i södra och mellersta Sverige, Översikter och förslag till naturreservat, Uppsala Universitet, Naturgeografiska institutionen, UNGI Rapport Nr 77, ISBN 91-506-0813-4, Uppsala

Elhammer, A., Fredén, C., (2002), Sveriges Geologiska Undersökning, Översikt av områden med risk för erosion längs kusterna, större insjöar och vattendrag, Uppdrag Fysisk planering, Sammanställt på uppdrag av SGI, Rapport 2002-11-18--25, SGU 08-1389/2002.

Fallsvik, J., Lundström, K., (2007), Overview Mapping of Landslide and Flooding Hazards Using LIDAR Monitoring and GIS-Processing, Proceedings of the international conference on landslides and climate change – challenges and solutions, May 21-24th 2007, Ventnor, Isle of Wight, United Kingdom, ISBN 978-0-415-44318-0

Fysisk riksplanering (1980), Geologiska och geotekniska förhållanden, Ahlberg, P., ed., SGI, FRP 3.79

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

SGI och Räddningsverket (2003), Fallsvik, J., Angerud, P., m. fl., Översiktlig kartering av stabilitetsförhållandena i moränslänter, GIS-baserad inventering av karteringsbehovet i Sveriges olika kommuner, Räddningsverkets beteckning KD-14968-1-0, SGI Dnr. 2-0302-0118

Liljequist (1970), Klimatologi, Meteorologiska institutionen Uppsala, Generalstabens Litografiska Anstalt, Stockholm, s. 77

Rydell, B., Brorsson, I., Johansson, L., (2003), SGI:s samordningsansvar för stranderosion, SGI Varia 529, 30 p.

Rydell, B., Angerud, P., Hågeryd, A.-C. (2005), Omfattning av stranderosion i Sverige, Översiktlig kartläggning av erosionsförhållanden, Underlagsmaterial, Statens geotekniska institut, SGI. Varia 543:3
8 p., Linköping

SMHI (2006), Differenskartor, SMHI:s hemsida
http://www.smhi.se/sgn0106/leveranser/Utreddningen_diff/index.htm, 2006-11-17

Översvämningshot (2006), Risker och åtgärder för Mälaren, Hjälmaren och Vänern, Delbetänkande av Klimat- och Sårbarhetsutredningen, Statens offentliga utredningar, SOU 2006:94, ISBN 978-91-38-22646-9, ISSN 0375-250X



Statens geotekniska institut
Swedish Geotechnical Institute

SE-581 93 Linköping, Sweden

Tel: 013-20 18 00, Int + 46 13 201800

Fax: 013-20 19 14, Int + 46 13 201914

E-mail: sgi@swedgeo.se Internet: www.swedgeo.se