

LÄNSSTYRELSEN I STOCKHOLMS LÄN



Riskområden för skred, ras, erosion och
översvämning i Stockholms län -
för dagens och framtidens klimat

Riskområden för skred, ras, erosion och översvämning i Stockholms län - för dagens och framtidens klimat

Datum	2011-01-28
Diariernr	2-1003-0202
Uppdragsnr	14324
Uppdragsansvarig	Yvonne Rogbeck
Handläggare SGI	Ann-Christine Hågeryd, Lars Andersson och Linda Blied
Handläggare SMHI	Björn Stensen, Johan Andréasson, Dan Eklund och Signild Nerheim
Granskare	Bengt Rydell

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	4
1 UPPDRAGETS OMFATTNING	9
2 SYFTE, METODIK OCH AVGRÄNSNINGAR	10
2.1 SYFTE	10
2.2 METOD FÖR KLIMAT- OCH SÅRBARHETSANALYS SAMT DEFINITIONER	10
2.3 INVENTERING AV RISKOMRÅDEN FÖR STOCKHOLMS LÄN	11
2.4 UNDERLAGSMATERIAL	11
2.5 REDOVISNING	11
3 GEOLOGISKA OCH TOPOGRAFISKA FÖRHÅLLANDEN	13
4 KLIMATFÖRÄNDRINGAR	15
4.1 MODELLER FÖR KLIMATBERÄKNINGAR	15
4.2 UTSLÄPPSCENARIER	16
4.3 KLIMATSCENARIER	17
4.4 TEMPERATURFÖRÄNDRINGAR	18
4.5 NEDERBÖRDSFÖRÄNDRINGAR	19
4.5.1 Antal dagar med dygnsmedelnederbörd större än 10 mm	20
4.6 KLIMATFÖRÄNDRADE GRUNDVATTENNIVÅER	21
4.7 SAMMANFATTANDE SLUTSATSER OM KLIMATFÖRÄNDRINGAR	22
5 ÖVERSVÄMNING OCH FÖRÄNDRADE FLÖDEN I VATTENDRAG	23
5.1 ÖVERSVÄMNINGSKARTERINGAR AVSEENDE DAGENS KLIMAT I STOCKHOLMS LÄN	23
5.2 VATTENFÖRING I DAGENS KLIMAT	26
5.3 FRAMTIDA KLIMATPÅVERKADE FLÖDEN OCH ÖVERSVÄMNINGAR	27
5.3.1 Förändring av 100-årsflödets storlek i framtida klimat	27
5.3.2 Framtida återkomsttid för dagens lokala 100-årsflöden och framtida översvämningar	29
5.4 SAMMANFATTANDE SLUTSATSER AV KLIMATPÅVERKADE FLÖDEN OCH FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR ÖVERSVÄMNINGAR I VATTENDRAG	32
6 ÖVERSVÄMNING VID MÄLAREN OCH HAVET	33
6.1 FRAMTIDA HAVSNIVÅER	33
6.1.1 Framtida förändring av medelvattenstånd i Stockholms län	33
6.1.2 Framtida förändring av extrema havsvattenstånd i Stockholms län	35
6.2 ÖVERSVÄMNINGAR FRÅN HAVET	37
6.3 MÄLAREN OCH PROJEKT SLUSSEN	37
6.3.1 Dimensionerande nivåer i dagens klimat	37
6.3.2 Dimensionerande nivåer i framtidens klimat	38
6.3.3 Risker idag och i framtiden	39
6.4 SAMMANFATTANDE SLUTSATSER FÖR MÄLAREN OCH HAVET	39
7 EROSION VID KUSTER OCH VATTENDRAG	41
7.1 ÖVERSIKTLIG INVENTERING AV FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR EROSION	41
7.2 FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR EROSION LÄNGS KUSTEN OCH MÄLAREN	42
7.2.1 Erosionsförutsättningar i Stockholms län	42
7.2.2 Konsekvenser av klimatförändringar	43
7.3 OMRÅDEN MED FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR EROSION LÄNGS VATTENDRAG	44
7.3.1 Erosionsförutsättningar i Stockholms län	44
7.3.2 Konsekvenser av klimatförändringar	45
7.4 SAMMANFATTANDE SLUTSATSER FÖR EROSION LÄNGS STRÄNDER	45
8 SKRED OCH RAS	47
8.1 FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR SKRED OCH RAS	47

8.2	METODIK FÖR STABILITETSKARTERINGAR	48
8.3	INVENTERING AV FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR SKRED OCH RAS I DAGENS KLIMAT	49
8.3.1	Översiktligt karterade områden i Stockholms län	49
8.3.2	Stabilitetskartering efter 1997	50
8.3.3	Stabilitetskartering före 1997	51
8.3.4	Förstudie för stabilitetskartering	51
8.4	FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR SKRED OCH RAS INOM POTENTIELLA UTBYGGNADS OMRÅDEN	51
8.5	INTRÄFFADE SKRED I STOCKHOLMS LÄN	58
8.6	KONSEKVENSER AV KLIMATFÖRÄNDRINGAR	58
8.7	SAMMANFATTANDE SLUTSATSER FÖR SKRED OCH RAS	59
9	BEHOV AV KOMPLETTERANDE UTREDNINGAR	61
10	REFERENSER	62
BILAGOR		
BILAGA 1 Förteckning över GIS-skikt		
BILAGA 2 Släntstabilitet vid förändrat klimat		
BILAGA 3 Kartredovisning		

Länsstyrelsen Stockholms län

Riskområden för skred, ras, erosion och översvämning i Stockholms län - för dagens och framtidens klimat

SAMMANFATTNING

I samband med arbetet med den regionala klimatanpassningen i Stockholms län finns behov av att klargöra framtida klimatförändringar och vilka risker som finns till följd av dessa. Länsstyrelsen i Stockholms län har gett Statens geotekniska institut (SGI) i uppdrag att genomföra en översiktlig inventering av områden med risk för naturolyckor i dagens och framtida klimat. Uppdraget har avgränsats till att omfatta områden med förutsättningar för naturolyckor av typen skred, ras, erosion och översvämning. Med utgångspunkt från tidigare utredningar och aktuella uppgifter från kommunerna har områden i Stockholms län identifierats där det finns förutsättningar för naturolyckor samt områden där det tidigare inträffat skred och ras.

I uppdraget har också ingått att göra en klimatsammanställning med regional inriktning med redovisning av ett stort antal klimatvariabler, flöden, havsnivåer och förhållanden kring Mälaren. Denna del har utförts av Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI).

Uppdraget redovisas i två separata rapporter, där inventering av riskområden för naturolyckor redovisas i föreliggande rapport. Klimatsammanställningen redovisas i separat rapport, "Regional klimatsammanställning – Stockholms län" (SMHI, 2010). En sammanfattning av de förhållanden som påverkar skred, ras, erosion och översvämning finns i kapitel 4-6 i föreliggande rapport.

Syfte

Utredningen är översiktlig och ger en länsöversikt av de områden där det finns risker för naturolyckor. Syftet är att ge underlag för länsstyrelsens arbete med klimatanpassning t.ex. för att bedöma påverkan på befintlig bebyggelse, infrastruktur eller annan samhällsviktig verksamhet samt förutsättningar för fysisk planering. Utredningen kan även användas som underlag för kommunernas risk- och sårbarhetsanalyser. Mer detaljerade undersökningar måste dock genomföras för att på kommunal nivå närmare klargöra planeringsförutsättningar och behov av åtgärder, där det finns risk för naturolyckor.

Begreppet risk avser definitionsmässigt en sammanvägning av förutsättningar/sannolikheten för en händelse och konsekvensen av denna händelse. I denna rapport redovisas förutsättningar för skred, ras, erosion och översvämning och därmed potentiella riskområden. I utredningen används begreppet risk med denna innebörd. Konsekvenser för samhällsviktiga anläggningar till följd av naturolyckor värderas sålunda inte i denna utredning.

I denna rapport redovisas också en sammanfattning av vissa klimatförhållanden som främst har betydelse för naturolyckor med utgångspunkt från klimatsammanställningen i den separata rapporten från SMHI.

Geologiska förhållanden

Stockholms län ligger i den så kallade ”mellansvenska låglandsregionen”. Denna karaktäriseras av utbredda lerslätter, mindre berg- och moränområden samt stora rullstensåsar som genomkorsar landskapet huvudsakligen i nord-sydlig riktning. Morän förekommer främst i länets norra och västra delar.

Hela länet ligger under högsta kustlinjen (HK) och jordlagren har därför utsatts för svallning från havet och omlagring i samband med landhöjningen. I sluttningarna avlagrades det grövre materialet som svallsediment (grus och sand), som täcker äldre avlagrade finsediment (silt och lera). Det mesta av finmaterialet har dock förts ut med smältvattnet och sedimenterat på djupare vatten i en lugnare miljö i havet.

Lerorna har mycket stor utbredning i Mellansverige speciellt i Mälarsänkan. I skyddade lägen, t.ex. i havsvikar och sjöar förekommer en ökad halt av organiskt material, vilket medfört avsättning av gyttjelera.

Klimatförändringar

Klimatberäkningarna visar en successiv ökning av *årsmedeltemperaturen* under resten av århundradet och innebär i medeltal en ökning med 4-6 °C mot slutet av seklet. Temperaturökningen är störst under vinterperioden men framträder under alla årstider.

Årsmedelnederbörden bedöms öka med i medeltal 10-30 % mot slutet av seklet. Den största ökningen av nederbörden förväntas ske under vintermånaderna men resultaten pekar dock på en stor spridning

Antalet tillfällen varje år då dygnsmedelnederbörden överstiger 10 mm ser ut att öka med ett antal dagar i ett framtida klimat. Det är dygnsmedelnederbörden för hela Stockholms län som studerats och en sådan nederbörd över en så pass stor yta utgör ett kraftigt regn över hela området.

Högre *grundvattennivåer* kan förväntas vintertid i framtiden beroende på mildare väder då mer nederbörd faller som regn än idag. Under årets varmare period (maj-oktober) sker en sänkning av grundvattennivåerna.

Förändrade flöden och översvämningar i vattendrag

De höga flödena har historiskt framförallt uppstått under våren i och med snösmältningen. Klimatberäkningarna visar att vattenföringens *säsongsvariation* förändras med högre flöden under höst och vinter och lägre vårflod. Detta beror på ökad nederbörd vintertid, vilken i mindre grad än idag kommer lagras som snö på grund av högre temperaturer. Dessa förändringar syns tydligast mot slutet av detta sekel.

Oxundaåns totala *100-årstillrinning* väntas vara oförändrad medan Tyresån och Norrtäljeån väntas få en minskning med ca 20 % mot slutet av seklet. För Norrtäljeån syns en ganska tydlig minskning redan i mitten av seklet. Mälaren utgör ett undantag då totala 100-årstillrinningen väntas öka med ca 20 % mot slutet av detta sekel.

För större delen av länet kommer *återkomsttiden* för lokal tillrinning med storlek som dagens 100-årsflöde att öka, både fram till mitten och mot slutet av seklet. I de flesta fall erhålls en återkomsttid på över 200 år i slutet av seklet. För Oxundaån är återkomsttiden ganska oförändrad, 80 -120 år för slutet av seklet. Tyresån liksom Norrtäljeån väntas få

ökade återkomsttider, större än 200 år, för slutet av seklet, det vill säga minskande 100-årstillrinning.

Detta innebär att de **översvämningar** för dagens 100-årssituation som redovisas i den översiktliga karteringen för Tyresån och Norrtäljeån skulle motsvaras av den situation som orsakas av ett flöde med återkomsttid större än 200 år mot slutet av seklet. För Oxundaån väntas 100-årsflödet vara relativt oförändrat och dess resulterande utbredning skulle vara ungefär lika. Översvänningsriskerna väntas således inte öka i dessa delar av länet på grund av framtida tillrinningsförändring.

Mälaren utgör ett specialfall. Den lokala tillrinningen från vattendrag i Mälarens kustremsa visar på en ökning av 100-årsflöden, vilket resulterar i en kortare återkomsttid för dagens 100-årsflöde, storleksordningen 40-80 år i mitten av seklet och mindre än 40 år mot slutet av seklet. För Mälarens nivåer har den framtida utformningen av Slussen i Stockholm avgörande betydelse, och översvämningar väntas därför inte bli vanligare utmed Mälarens stränder under detta sekel.

Sammanfattningsvis bedöms risken för översvämningar i framtiden minska något för i princip hela länet. Då flödesregimen förändras väntas översvänningsrisker i slutet av detta sekel främst föreligga vintertid.

Översvämning vid Mälaren och havet

För bedömningen av framtidens **havsnivåer** visar olika internationella källor att det är rimligt att anta att världshaven som högst stiger upp emot en meter från 1990 till slutet av 2100. Detta antagande har använts i denna studie. Det råder dock viss osäkerhet om de globala framtida havsnivåerna. För den fortsatta utvecklingen har antagits att havet stiger 2 m fram till 2200. Denna relativt snabba stigning av havsnivåerna förutsätter en fortsatt drastisk ökning av utsläppen av växthusgaser under seklet. I utredningen har den globala havsnivåhöjningen omräknats till regionala effekter för länets kustkommuner i Stockholms län med hänsyn tagen till bl.a. landhöjningen.

Risker för **översvämning** påverkas för närvarande mer av kortvariga oväder med lågt lufttryck och kraftig vind än av den globala höjningen av havsnivån. Ökningen på lång sikt av de mest extrema nivåerna varierar regionalt och beräknas bli något större än ökningen av årsmedelvärdet.

De översvänningsrisker som är kopplade till Mälaren är idag oacceptabelt stora. I samband med den ombyggnad av Slussen, som Stockholms stad förbereder, avser man att öka förmågan att tappa vatten från Mälaren för att minska översvänningsriskerna. Den utökade tappningsförmågan i kombination med en ny reglering av Mälaren gör att översvänningsriskerna därefter kommer att kunna kontrolleras och att översvänningsrisken inte längre kommer att vara ett hot i tidsperspektivet 50 -100 år.

Hur översvänningsrisken ändras i ett framtida klimat beror främst på ändringar i tillrinningsmönster och nettohöjning av havsvattenståndet (Stockholms landhöjning verkar åt motsatt håll). Den kombinerade effekten av dessa faktorer pekar på att den planerade tappningskapaciteten är tillräcklig även under framtida klimatförhållanden, men att den skapade marginalen successivt kan komma att minska på grund av stigande havsnivåer. Gränsen för vad som kan hanteras med den planerade nya utformningen av Slussen är en nettohöjning av havets nivå med ca + 50 cm.

Erosion längs kuster och vattendrag

Förutsättningar för *erosion längs havskuster och Mälaren* finns främst inom områden där jordmaterialet utgörs av sand och silt. Förutsättningar för erosion finns inom ett stort antal områden längs hela kusten i Stockholms län och för kommuner längs Mälaren. Omfattningen av erosionen i detalj förutsätter att detaljerade höjdmodeller används och detta har inte ingått i utredningen. För bedömning av hur stora strandnära områden som kan komma att påverkas av erosion har därför använts en modell som bygger på ett samband mellan havsnivåhöjning och påverkan på stränder. Klimatförändringar kommer att medföra en högre havsnivå vilket innebär att områden som tidigare inte utsatts för erosion kommer att påverkas. Samtidigt motverkas detta av den pågående landhöjningen.

Havsnivåhöjningen fram till 2100 bedöms innebära erosion med ytterligare 40-65 m inåt land jämfört med redan pågående erosion. Erosionsförhållandena i Mälaren beror helt av de vattenhushållningsbestämmelserna som kommer att fastläggas. Det innebär att det inte är möjligt att ange hur erosionen längs stränderna kommer att förändras. En eventuell högre nivå av medelvattenytan kommer att ge samma effekt som ovan angetts för kusterna.

Förutsättningar för *erosion längs vattendrag* har inventerats översiktligt för de vattendrag där översvämningsskartering har utförts. Det finns sträckor med förutsättningar för erosion längs samtliga vattendrag, som kan medföra förlust av mark, underminering av konstruktioner samt medföra att stabiliteten i slänter minskar med risk för skred och ras som följd.

Klimatscenerierna fram till 2100 visar att 100-årstillrinningen kommer att vara oförändrad eller minska med upp till 20 %. Säsongsvis syns en tydlig ökning vintertid och en klar minskning under vår och sommar för samtliga studerade områden. Sammantaget innebär detta att erosionen lokalt kan öka i slänter vid vattendrag vid kraftiga flöden i de delar av länet där geologiska förutsättningar finns redan idag för erosion. Särskild uppmärksamhet behövs där erosion kan innebära risker för bebyggelse och anläggningar i anslutning till sådana vattendrag.

Skred och ras

Översiktliga *stabilitetskarteringar* har utförts av MSB för befintliga bebyggda områden och redovisar områden med otillfredsställande säkerhet mot skred och ras för dagens klimat och där det finns behov av att utföra detaljerade utredningar. Karteringarna har olika detaljeringsgrad och i den sammanställning som gjorts i denna utredning redovisas olika typer av utredningar med olika färger på kartor. Karteringarna visar att det finns Områden med otillfredsställande stabilitet finns inom flera kommuner i länet.

De översiktliga karteringarna omfattar endast befintlig bebyggelse och en komplettering har därför utförts, där förutsättningarna för skred och ras i dagens klimat inom kommunernas potentiella utbyggnadsområden bedömts översiktligt. Sammanställningen omfattar de kommuner som har lämnat uppgifter om aktuella utbyggnadsplaner. Det finns ett eller flera områden där risker för skred och ras behöver undersökas närmare.

Inträffade skred och ras i länet har sammanställts från SGI:s skreddatabas och uppgifter från länets kommuner. Totalt finns ett 10-tal skred och ras redovisade för Stockholms län.

De **klimatförhållanden** som främst påverkar naturolyckor är nederbörd, flöden och nivåer i hav, sjöar och vattendrag. Förändrade grundvattennivåer och porvattentryck till följd av klimatförändringar kan komma att medföra en försämring av säkerheten för slänter i lera och silt. Det betyder att för områden som idag anses vara stabila, utifrån de rekommendationer som finns, kan förstärkningsåtgärder behöva vidtas.

Konsekvenserna för skred och ras till följd av klimatförändringar beror helt på de lokala förutsättningarna, vilket innebär att en beskrivning av ändrade stabilitetsförhållanden endast kan göras i generella termer. I en utredning som SGI utfört för vissa typiska geologiska förhållanden i Sverige har bedömts att stabiliteten kan försämrats med 5-30 % vid ökad nederbörd till följd av klimatförändringar. I Stockholms län förväntas nederbördsmängderna inte öka lika mycket och effekterna inte fullt lika stora som i typfallen. Förändringarna kan dock bli så stora att hänsyn till klimatförändringar måste tas i den fysiska planeringen och vid bedömning av konsekvenser för befintlig bebyggelse.

Sammanfattningsvis kan konstateras att klimatförändringar visar att nederbörden kommer att öka, vilket ökar riskerna för skred och ras inom bebyggda områden med otillfredsställande stabilitet för dagens förhållanden. Det innebär också att det inom ytterligare områden kan komma att finnas slänter som inte har erforderlig stabilitet och för vilka åtgärder behöver vidtas.

Behov av kompletterande utredningar

Denna utredning på länsnivå har varit av översiktlig karaktär och har visat var det finns områden med potentiella risker för naturolyckor. För att närmare klargöra sådana risker behöver mer detaljerade utredningar genomföras som underlag för fysisk planering och anpassningsåtgärder för befintlig bebyggd miljö. Utredningarna bör klargöra var det finns förutsättningar för skred, ras, erosion och översvämning. Omfattning och detaljeringsgrad i utredningarna beror på syftet och användning av resultaten, t.ex. för översikts- och detaljplanering, byggande eller anpassning av befintlig bebyggd miljö.

1 UPPDRAGETS OMFATTNING

I samband med arbetet med den regionala klimatanpassningen i Stockholms län finns behov av att klargöra framtida klimatförändringar och vilka risker som finns till följd av dessa. Det är också angeläget att identifiera områden i länet där klimatförändringar kan komma att medföra ökade risker för naturolyckor. Framtida förändringar av olika klimatkfaktorer som t.ex. temperatur, nederbörd samt yt- och grundvattenförhållanden utgör ett underlag för länsstyrelsen och länets kommuner i den fysiska planeringen och vid anpassning av befintlig bebyggd miljö.

Länsstyrelsen i Stockholms län har gett Statens geotekniska institut (SGI) i uppdrag att genomföra en översiktlig bedömning av områden med risk för naturolyckor i dagens och framtida klimat. Uppdraget har avgränsats till att omfatta områden med förutsättningar för naturolyckor av typen skred, ras, erosion och översvämning. I uppdraget har också ingått att göra en klimatsammanställning med regional inriktning med redovisning av flöden, nivåförändringar och ett antal strategiska klimatvariabler. Denna del har utförts av Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI).

Uppdraget redovisas i två separata rapporter, där riskområden för naturolyckor redovisas i föreliggande rapport. Klimatsammanställningen redovisas i separat rapport, "Regional klimatsammanställning – Stockholms län" (SMHI, 2010). En sammanfattning av de förhållanden som påverkar skred, ras, erosion och översvämning finns i kapitel 4-6 i föreliggande rapport.

2 SYFTE, METODIK OCH AVGRÄNSNINGAR

2.1 Syfte

Med utgångspunkt från tidigare utredningar och aktuella uppgifter från kommunerna har områden i Stockholms län identifierats där det finns förutsättningar för skred, ras, erosion eller översvämning samt områden där det tidigare inträffat skred och ras. Utförda karteringar på uppdrag av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) omfattar endast befintlig bebyggelse. I detta uppdrag har därför en komplettering utförts, där förutsättningarna för skred och ras översiktligt har bedömts inom kommunernas potentiella utbyggnadsområden med utgångspunkt från geologiskt och topografiskt kartunderlag. I utredningen redovisas generella konsekvenser av naturolyckor som kan uppkomma till följd av framtida klimatförändringar inom länet.

Denna utredning är översiktlig och ger en länsöversikt av de områden där det finns risker för naturolyckor. Utredningen kan användas som ett underlag för länsstyrelsens arbete med klimatanpassning t.ex. för att bedöma påverkan på befintlig bebyggelse, infrastruktur eller annan samhällsviktig verksamhet samt förutsättningar för fysisk planering. Utredningen kan även användas som underlag för kommunernas risk- och sårbarhetsanalyser. Mer detaljerade undersökningar måste dock genomföras för att på kommunal nivå närmare klargöra planeringsförutsättningar och behov av åtgärder, där det finns risk för naturolyckor. Utredningen är inte avsedd att beskriva behov av skydds- eller anpassningsåtgärder.

2.2 Metod för klimat- och sårbarhetsanalys samt definitioner

I utredningen har använts en metod som SGI och SMHI har utvecklat för klimat- och sårbarhetsanalyser. Metoden innebär att identifiera förutsättningar för naturolyckor (skred, ras, erosion och översvämning) inklusive klimatförändringar och därefter värdera konsekvenser för olika delar av samhället. Detta ger möjlighet att värdera riskerna vid fysisk planering samt anpassningsbehov för befintlig bebyggd miljö. Detaljeringsgraden i analysen anpassas till aktuell planeringsnivå, vilket även gäller omfattningen av underlagsmaterial.

För Stockholms län har analysen begränsats till att omfatta att översiktligt klargöra sådana förhållanden och områden där det kan finnas risk för skred, ras, erosion och översvämning (sjöar, vattendrag, hav) i dagens klimat och med hänsyn till klimatförändringar.

Naturolyckor är naturhändelser med negativa konsekvenser och omfattar ett stort antal geologiska, hydrometeorologiska och biologiska händelser. I denna rapport används naturolyckor för den typ av naturhändelser som leder till skred, ras, erosion och översvämning.

Begreppet **risk** avser definitionsmässigt en sammanvägning av förutsättningar/sannolikheten för en händelse och konsekvensen av denna händelse. I denna rapport redovisas förutsättningar för skred, ras, erosion och översvämning och därmed potentiella riskområden. I utredningen används begreppet risk med denna innebörd. Konsekvenser för samhällsviktiga anläggningar till följd av naturolyckor värderas sålunda inte i denna utredning.

2.3 Inventering av riskområden för Stockholms län

Inventering av riskområden i denna utredning har omfattat:

- Beskrivning av geologiska förhållanden i länet och vilka typer av naturolyckor som kan förekomma.
- Sammanställning och digitalisering av befintliga översiktliga stabilitetskarteringar.
- Översiktlig inventering av stranderosion vid vattendrag.
- Översiktlig bedömning av förutsättningar för skred, ras, erosion och översvämning inom bebyggda områden för dagens och framtida klimat.
- Översiktlig bedömning av områden med förutsättningar för skred och ras i dagens klimat för exploateringsområden i översiktsplaner i länets kommuner.
- Inventering av inträffade skred och ras.

I denna rapport ingår också en sammanfattning av vissa klimatförhållanden som främst har betydelse för naturolyckor med utgångspunkt från klimatsammanställningen i den separata rapporten:

- Framtida trender för olika klimatfaktorer.
- Förändring av flöden för större vattendrag i länet vid framtida klimat. Analysen har baserats på befintliga regionala klimatscenarier och utförda hydrologiska beräkningar.
- 100-års flödenas förändringar och översvämningar i framtida klimat.
- Framtida havsvattenstånd utmed kusten med utgångspunkt från de senaste uppgifterna om den globala havsnivåhöjningen.
- Sammanfattning av kunskapsläget kring frågor om Mälaren och projekt Slussen.

2.4 Underlagsmaterial

Utredningen har baserats på sammanställning och värdering av befintligt material med uppgifter om förutsättningar för naturolyckor från SGI, SMHI och andra myndigheter, i form av t.ex. MSB:s stabilitetskarteringar och översvämningsskarteringar, SGI:s inventering av stranderosion samt geologiskt och topografiskt kartmaterial.

Uppgift om potentiella utbyggnadsområden har erhållits från de flesta kommuner i länet (20 av 26 kommuner). Bedömningen av förutsättningar för skred och ras i potentiella utbyggnadsområden har utförts utifrån terrängkartan med nivålinjer och SGU:s jordartskarta.

Inträffade naturolyckor har inventerats med hjälp av SGI:s skreddatabas (fram till 2001) samt uppgifter om inträffade händelser efter 2001 som kommunerna inrapporterat.

Det underlagsmaterial som använts i utredningen finns redovisat i kapitel 10.

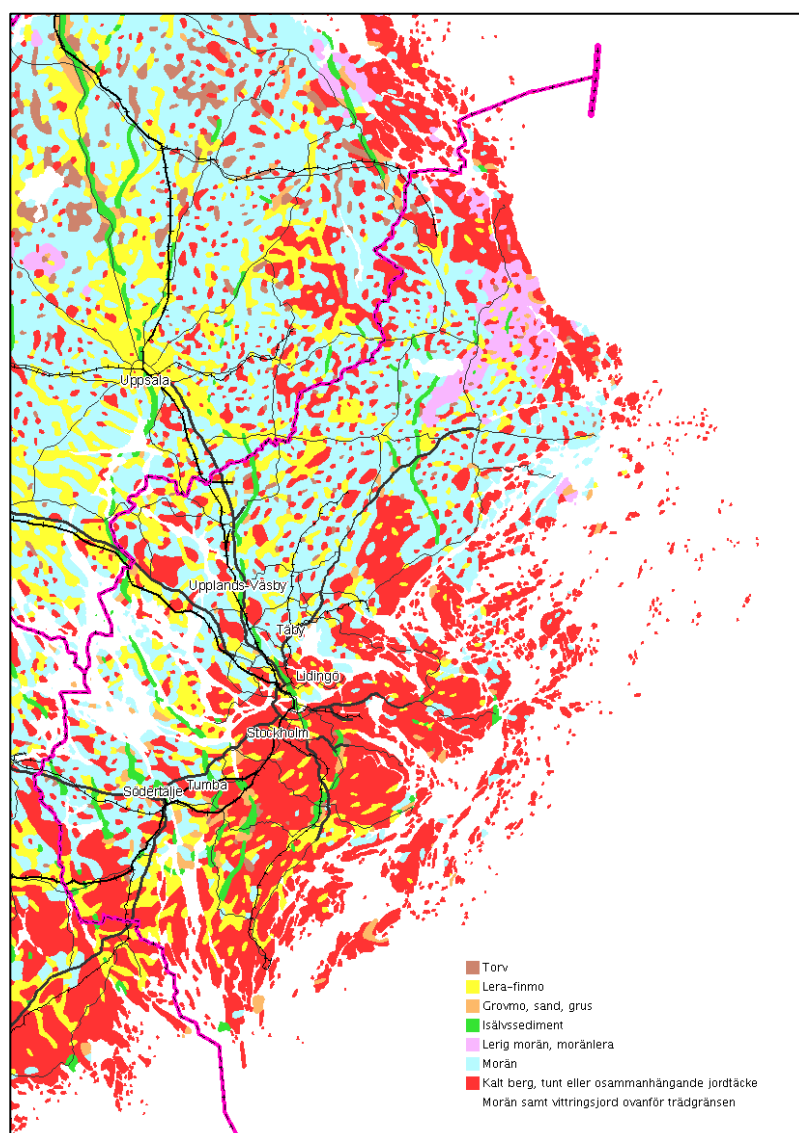
2.5 Redovisning

Resultaten av utredningen redovisas som beskrivande text och tillhörande kartor. Kartorna är utförda i skala 1:250 000 och avsedda för utskrift i format A2. I denna rapport finns förminskade kartor. Redovisade områden och förhållanden på tillhörande kartor är anpassad till utredningens översiktliga nivå och avser att ge en bild över var det kan finnas riskområden som närmare behöver analyseras. Kartorna bör därför inte användas i annan detaljeringsgrad.

Kartmaterialet är producerat i GIS-skikt för olika analysdelar och en förteckning över dessa finns i Bilaga 1. Som underlagskarta i analysen och för redovisning har använts Lantmäteriets översiktskarta, vilken tillhandahållits av länsstyrelsen.

3 GEOLOGISKA OCH TOPOGRAFISKA FÖRHÅLLANDEN

Stockholms län ligger i den så kallade ”mellansvenska låglandsregionen”. Denna karaktäriseras av utbredda lerslätter, mindre berg- och moränområden samt stora rullstensåsar som genomkorsar landskapet huvudsakligen i nord-sydlig riktning. Kalt berg förekommer med mycket varierande utbredning och framför allt i de östra och sydöstra delarna av länet. Där är jordtäcket oftast obefintligt på höjderna, medan bergssidor och dalbottnar kan vara täckta av mäktiga jordlager. På Södertörn samt i Stockholms skärgård utgörs ca 50 % av landytan av kalt berg och 20 % av lerfyllda sprickdalar, medan berg i dagen är mera sällsynt i slättområdena. En översiktskarta över de geologiska förhållandena i Stockholms län finns i *Figur 3-1*.



Figur 3-1. Översiktskarta över de geologiska förhållandena i Stockholms län. Utdrag ur *Sveriges jordarter – en översikt*, WMS-tjänst från Sveriges Geologiska Undersökning (2010-11-09).

Jordlagren i Stockholms län har huvudsakligen präglats av den senaste istiden, som upphörde för ca 10 000 år sedan med efterföljande landhöjning. Under istiden var området täckt av ett ca två till tre kilometer tjockt istäcke. Inom stora delar av länet utgörs

det översta jordtäcket av ler- och siltjordar. Morän och isälvssediment är delvis täckta av finsediment (lera och silt).

Morän förekommer främst i länets norra och västra delar. I regel saknar den egna ytformer och följer den underliggande berggrundstopografin. I områden med omfattande berghällar är moränmaktigheten vanligen högst några meter, men mäktigheter mellan 5 och 8 m är inte ovanliga. Lokalt finns uppgifter om 10 till 14 m mäktig morän. I Mellansverige har moränen normalt en sandig-siltig sammansättning och linser eller skikt av sorterat material kan förekomma. I trakterna nordväst om Norrtälje är moränen av lerig-sandig karaktär. Moränens blockhalt i ytan är växlande, men vanligen är de finkorniga moränerna normalblockiga eller blockfattiga, medan de grövre moräntyperna har normalblockig eller blockrik yta. Främst i exponerade lägen, där vågorna har svallat bort det finare materialet, förekommer lokalt mindre ytor med blockrik morän.

Områden med ändmoräner förekommer på flera ställen inom de mellersta och västra delarna av länet, företrädesvis i trakterna väster och sydväst om Upplands-Väsby. De avlagrades av inlandsisen främst inom moränområden, men även inom områden som utgörs av glaciallera. Ändmoränerna består av några meter höga och några hundra meter långa, vanligtvis storblockiga ryggar orienterade vinkelrätt mot isens rörelseriktning.

Ett mycket karaktäristiskt inslag i Mellansveriges geologi är de stora åsarna, som sträcker sig i nord-sydlig riktning över länet. Rullstensåsarna höjer sig ofta flera tiotal meter över omgivande lerslätter, men kan även ligga som dalfyllnader eller som terrasser utefter bergssidorna. Inom länet finns sju mer eller mindre sammanhängande åsstråk.

Några exempel på långsträckta mäktiga åsformationer är: Uppsalaåsen, som börjar vid Frölunda i söder och går vidare mot Uppsala i norr. Tullingestråket sträcker sig från Sorunda i söder upp till Tullinge i norr. Stockholmsåsen sträcker sig från strax sydost om Enskede i söder genom de centrala delarna av Stockholms stad, till Ulriksdal, och utmed Edsviken till Rotebro, Hammarby, Norrsunda och vidare till östra delarna av Arlanda flygplats.

Hela länet ligger under högsta kustlinjen (HK) och jordlagren har därför utsatts för svallning från havet och omlagring i samband med landhöjningen. I sluttningarna avlagrades det grövre materialet som svallsediment (grus och sand), som täcker äldre avlagrade finsediment (silt och lera). Det mesta av finmaterialet har dock förts ut med smältvattnet och sedimenterat på djupare vatten i en lugnare miljö i havet.

Lerorna har mycket stor utbredning i Mellansverige speciellt i Mälarsänkan. Lerorna utgörs dels av en undre, mer eller mindre rostfärgad, ofta varvig glacial lera, dels en övre grå-blå postglacial lera. I skyddade lägen, t.ex. i havsvikar och sjöar förekommer en ökad halt av organiskt material, vilket medfört avsättning av gyttjeler. Denna lera överlagrar den postglaciala leran främst i fjärdarna norr och sydväst om Sigtuna.

De postglaciala organiska avlagringarna utgörs av torv och gyttja. Torvmarkerna har till största delen bildats genom igenväxning av tidigare vattenfyllda sänkor. I flertalet torvmarker underlagras torven närmast av gyttja, lergyttja och lera.

4 KLIMATFÖRÄNDRINGAR

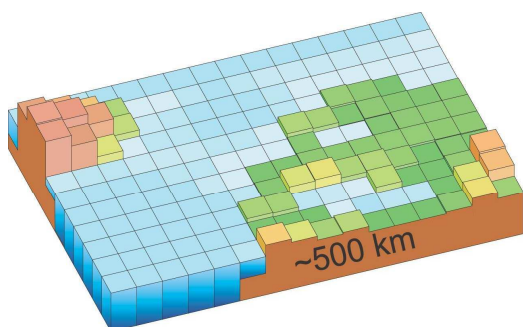
I detta kapitel redovisas temperatur- och nederbördsförhållanden för dagens och framtida klimat samt en sammanfattning av framtida grundvattenförhållanden. En sammanfattning finns i kapitel 4.7

4.1 Modeller för klimatberäkningar

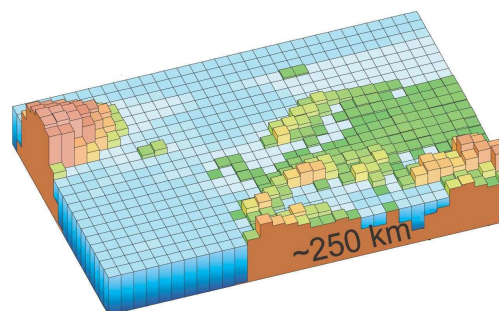
För att få en översiktlig bild av framtida klimat använder man sig av globala klimatmodeller (GCM) som beskriver luftströmmar och väderfenomen översiktligt över hela jorden. Dessa drivs bland annat med antaganden om framtidens utsläpp av växthusgaser, så kallade utsläppsscenarioer.

Figur 4-1 visar hur upplösningen i de globala klimatmodeller som använts av IPCC utvecklats under de senaste 20 åren.

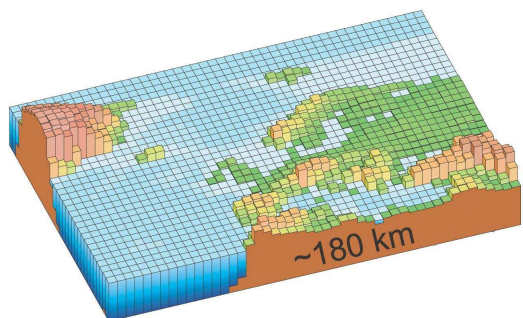
1990



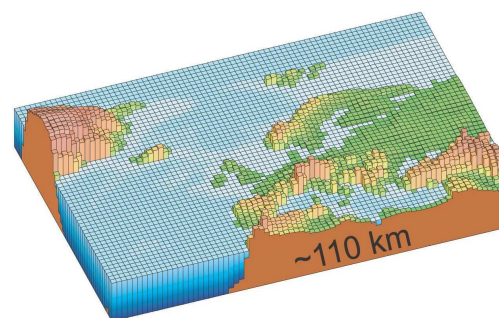
1996



2001



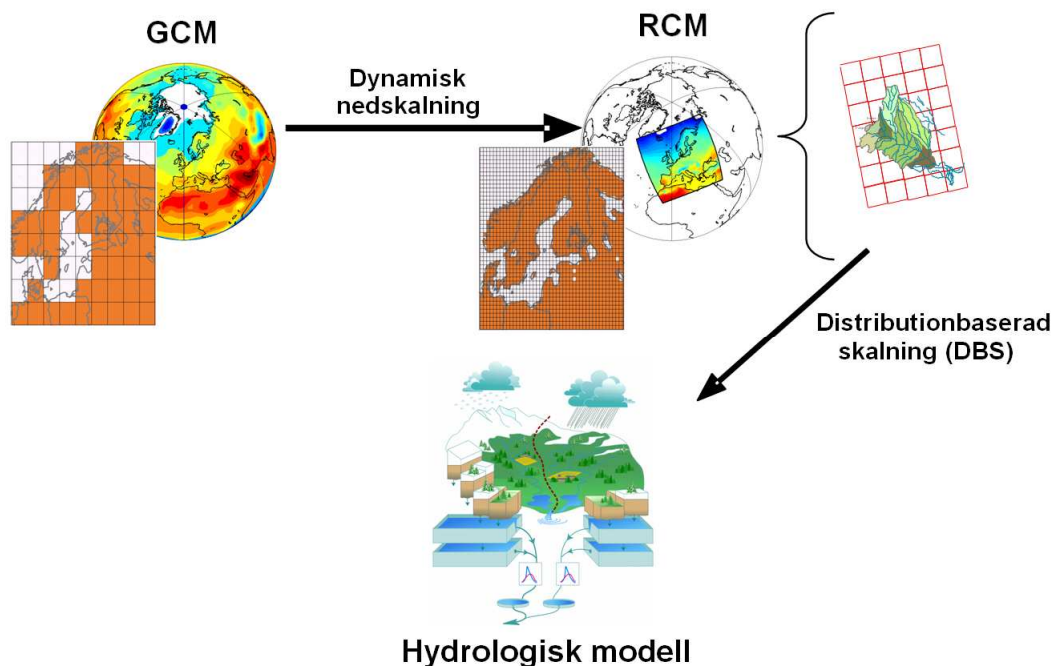
2007



Figur 4-1. Horisontell upplösning i olika generationer av klimatmodeller som använts inom IPCC (modifierad efter IPCC 2007). Vertikal upplösning visas inte i figuren men följer en liknande utveckling mot finare upplösning.

För mer detaljerade regionala analyser krävs en bättre beskrivning av detaljer som påverkar det regionala klimatet. Därför kopplas de globala klimatberäkningar till regionala klimatmodeller (RCM) med bättre upplösning och beskrivning av detaljer såsom exempelvis Östersjön och den Skandinaviska bergskedjan. Den regionala klimatmodellen

drivs av resultat från den globala modellen på randen av sitt modellområde. Det gör att valet av global modell får stor betydelse för slutresultatet även regionalt. Regionala klimatmodeller finns bland annat vid forskningsenheten Rossby Centre på SMHI:s forskningsavdelning. *Figur 4-2* visar hur dataflödet ser ut mellan klimatmodeller på olika skalor och hur indata levereras till en hydrologisk modell där det är möjligt att studera effekter på vattenföring, magasinering etc.



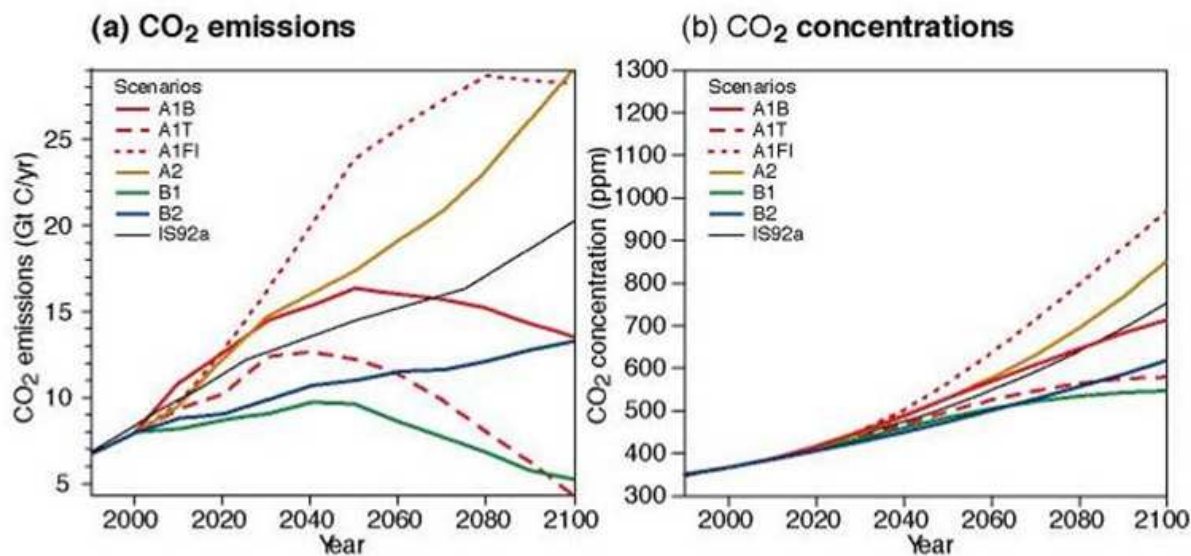
Figur 4-2. Illustration av dataflödet mellan global- och regional modell samt nedskalning till hydrologisk modell.

Den hydrologiska modell som används är HBV-modellen, vilket är en konceptuell avrinningsmodell som har utvecklats vid SMHI sedan slutet av 1970-talet (Lindström et al., 1997). Modellen byggs upp av rutiner för markfuktighet, snöackumulation och snösmältning, grundvatten och routing (beskrivning av vattnets väg).

4.2 Utsläppsscenarioer

För att kunna göra beräkningar av framtida klimat behövs antaganden om framtida utsläpp av växthusgaser. Vanligtvis används utsläppsscenarioer som utarbetats av FN:s klimatpanel, IPCC. Några exempel visas i *Figur 4-3*. Dessa bygger på antaganden av världens utveckling fram till år 2100 (Nakićenović et al., 2000). I utsläppsscenarioerna görs olika antaganden om jordens befolkning, ekonomisk tillväxt, teknologisk utveckling m.m. Utifrån dessa antaganden har man sedan uppskattat hur mycket klimatpåverkande gaser och partiklar som kommer att släppas ut. Dessa utsläpp ger upphov till förändringar i atmosfärens sammansättning, som till exempel mängden koldioxid i luften, vilket i sin tur har en inverkan på klimatet.

Genom att göra simuleringar i klimatmodellerna med koncentrationer av växthusgaser som motsvarar dagens förhållanden respektive för framtida förhållanden får man en bild av den framtida förändringen av klimatet.



















Figur 4-3. Antagande om framtida utsläpp av koldioxid CO₂ (a) och resulterande CO₂-koncentrationer (b) enligt olika scenarier (modifierad från IPCC, 2001). Ur figuren framgår bland annat att utsläppsscenario A1B är ett scenario där koldioxidutsläppen till atmosfären beräknas att kulminera runt år 2050. Koldioxiden i atmosfären fortsätter dock enligt detta scenario att stiga även efter 2050 på grund av systemets tröghet. Ur figuren ses även att skillnaden mellan effekten av olika utsläppsscenarioer är liten fram till mitten av seklet och ökar därefter.

4.3 Klimatscenarier

De sammanställningar som gjorts av temperatur, nederbörd och klimatpåverkade flöden i kapitel 4 och 5 bygger på data från klimatscenarioerna i *Tabell 4-1*. För utförligare beskrivning av detta hänvisas till SMHI (2010). I övriga avsnitt används olika klimatscenarier som beskrivs inom respektive avsnitt.

Tabell 4-1 innehåller klimatscenarier från det europeiska ENSEMBLES-projektet samt några från Rossby Centre vid SMHI. Observera att endast 12 av dessa 16 klimatscenarier sträcker sig ända fram till år 2100. De övriga 4 sträcker sig fram till 2050. Till största delen har utsläppsscenario A1B använts eftersom de flesta modellkörningar inom ENSEMBLES-projektet använt sig av detta, men även A2 och B1 finns representerade.

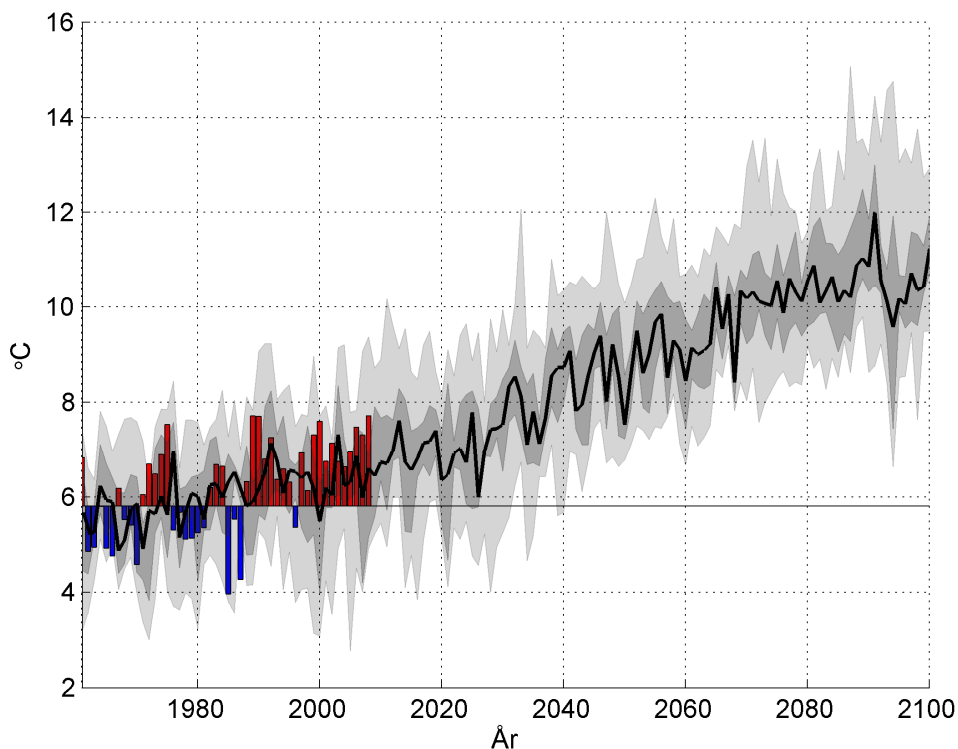
Tabell 4-1. Sammanställning av använda klimatscenarier. Nationsflaggorna avser instituten som har genomfört den regionala nedskalningen (RCM). Den globala klimatmodellen (GCM) ECHAM5 kommer från Max Planck Institute i Tyskland, ARPEGE från CNRM i Frankrike, HadCM3 från Hadley Centre i England och BCM från METNO i Norge. CCSM3 är en nord-amerikansk modell som körts vid SMHI. Observera att endast 12 av dessa 16 klimatscenarier sträcker sig ända fram till år 2100.

Nation	Institut	Scenario	GCM	RCM	Upplösning	Period
	SMHI	A1B	ECHAM5(1)	RCA3	50 km	1961-2100
	SMHI	A1B	ECHAM5(2)	RCA3	50 km	1961-2100
	SMHI	A1B	ECHAM5(3)	RCA3	50 km	1961-2100
	SMHI	A1B	ECHAM5(3)	RCA3	25 km	1961-2100
	SMHI	B1	ECHAM5(1)	RCA3	50 km	1961-2100
	SMHI	A1B	CNRM	RCA3	50 km	1961-2100
	SMHI	A1B	CCSM3	RCA3	50 km	1961-2100
	CNRM	A1B	ARPEGE	Aladin	25 km	1961-2050
	KNMI	A1B	ECHAM5(3)	RACMO	25 km	1961-2100
	MPI	A1B	ECHAM5(3)	REMO	25 km	1961-2100
	C4I	A2	ECHAM5(3)	RCA3	25 km	1961-2050
	HC	A1B	HadCM3(Q0)	HadRM3	25 km	1961-2100
	C4I	A1B	HadCM3(Q16)	RCA3	25 km	1961-2100
	METNO	A1B	BCM	HIRHAM	25 km	1961-2050
	METNO	A1B	HadCM3(Q0)	HIRHAM	25 km	1961-2050
	DMI	A1B	ECHAM5(3)	HIRHAM	25 km	1961-2100

4.4 Temperaturförändringar

Klimatberäkningar visar en gradvis ökning av årsmedeltemperaturen under resten av innevarande sekel, men de visar också på stor spridning. Temperaturökningen ligger i medeltal på cirka 4-6 °C mot slutet av seklet (se *Figur 4-4*). Temperaturökningen är störst under vinterperioden men framträder under alla årstider. Trenden är likartad i de

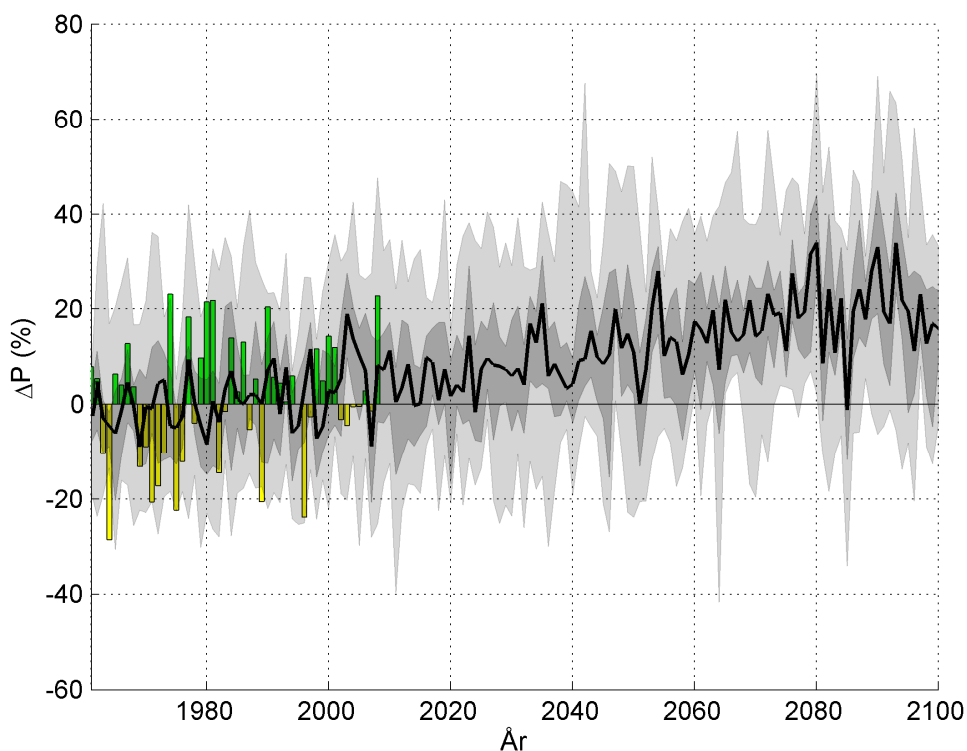
flesta klimatscenarier och även de lägsta årsmedeltemperaturerna är mot slutet av den undersökta perioden högre än idag.



Figur 4-4. Beräknad utveckling av årsmedeltemperatur i Stockholms län relativt referensperioden 1961-1990. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt: maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Referensperiodens medelvärde ligger på cirka 5.8 °C.

4.5 Nederbördsförändringar

Årsmedelnederbörden bedöms öka med i medeltal 10-30 % mot slutet av seklet (se *Figur 4-5*). Figuren visar en successiv ökning av årsmedelnederbörden under resten av innevarande sekel. Den största ökningen av nederbörden förväntas ske under vintermånaderna. Resultaten pekar dock på en stor spridning.

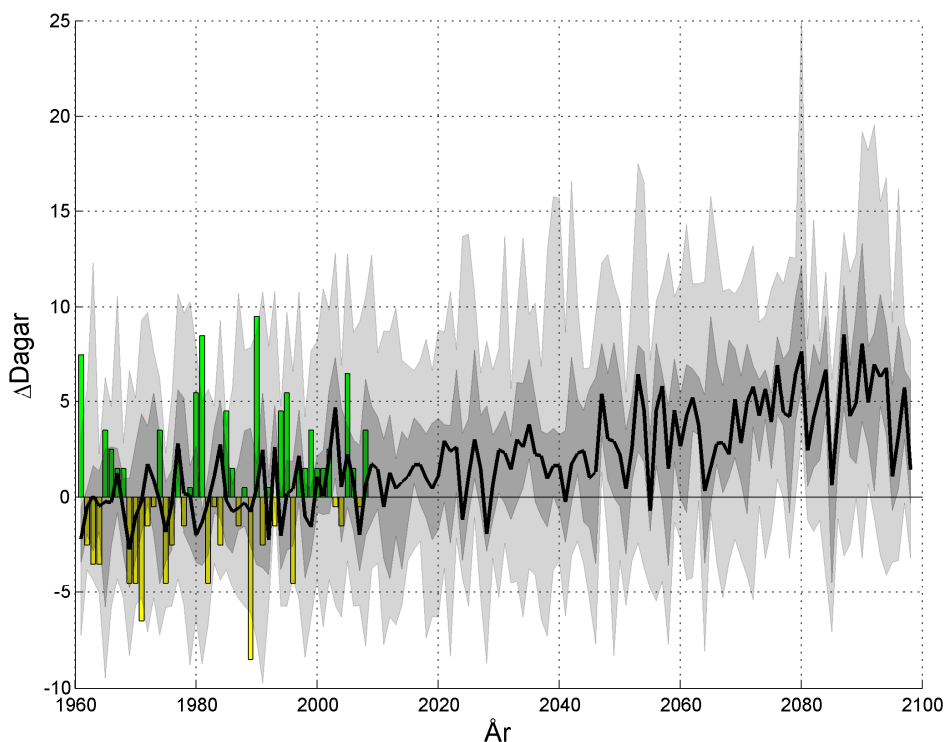


Figur 4-5. Beräknad utveckling av årsmedelnederbörd i Stockholms län relativt referensperioden 1961-1990. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt: maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedelnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Referensperiodens medelvärde var 612 mm/år.

4.5.1 Antal dagar med dygnsmedelnederbörd större än 10 mm

Beräkningar av antalet dagar då dygnsmedelnederbörden överstiger 10 mm har utförts för samtliga klimatscenarier och redovisas i *Figur 4-6*. Notera att det är dygnsmedelnederbörden för hela Stockholms län som studerats och att en nederbörd på 10 mm över en så pass stor yta utgör ett kraftigt regn över hela området.

Trenden i figuren är att antal dagar varje år då dygnsmedelnederbörden överstiger 10 mm ser ut att öka med ett antal dagar i ett framtida klimat. Dock förekommer det en spridning i resultaten.



Figur 4-6. Figuren visar antal dygn med dygnsmedelnederbörd >10 mm relativt referensperioden 1961-1990. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras av den svarta linjen. De olika skuggningarna i figuren avser uppifrån och nedåt: maximalt antal dagar, 75:e percentilen av antal dagar, 25:e percentilen av antal dagar, samt det minimala antalet dagar av samtliga klimatberäkningar. Medelvärdet för referensperioden var cirka 12 dagar.

4.6 Klimatförändrade grundvattennivåer

Detta avsnitt beskriver en sammanfattning av kunskapsläget när det gäller grundvatten. En närmare redovisning finns i klimatsammanställningen (SMHI, 2010).

Vintertid sker en förhöjning av grundvattennivåerna för framtida period jämfört med referensperioden, detta beroende på mildare väder då mer nederbörd faller som regn än idag. Under årets varmare period (maj-oktober) sker en sänkning av grundvattennivåerna för framtida period jämfört med referensperioden. Snösmältningen inträffar tidigare på året och perioden då avdunstningen är högre än nederbörden blir längre, eftersom lite eller ingen grundvattenbildning sker.

Resultaten för avsänkning sommartid får betraktas som något svagare än de för nivåhöjningen vintertid, dels beroende på att resultaten inte är lika entydiga, dels genom att grundvattenmodellen som används är känd för att inte ge tillräcklig grundvattenbildning vid häftiga regn sommartid. Den låga grundvattenbildningen från modellen sommartid beror på att den fungerar i analogi med en kran, antingen helt öppen eller helt stängd (se vidare Rodhe et al., 2009).

4.7 Sammanfattande slutsatser om klimatförändringar

Klimatberäkningarna visar en successiv ökning av **årsmedeltemperaturen** under resten av århundradet och innebär i medeltal en ökning med 4-6 °C mot slutet av seklet. Temperaturökningen är störst under vinterperioden men framträder under alla årstider.

Årsmedelnederbörden bedöms öka med i medeltal 10-30 % mot slutet av seklet. Den största ökningen av nederbörden förväntas ske under vintermånaderna men resultaten pekar dock på en stor spridning

Antalet tillfällen varje år då dygnsmedelnederbörden överstiger 10 mm ser ut att öka med ett antal dagar i ett framtida klimat. Det är dygnsmedelnederbörden för hela Stockholms län som studerats och en sådan nederbörd över en så pass stor yta utgör ett kraftigt regn över hela området.

Högre **grundvattennivåer** kan förväntas vintertid i framtiden beroende på mildare väder då mer nederbörd faller som regn än idag. Under årets varmare period (maj-oktober) sker en sänkning av grundvattennivåerna.

5 ÖVERSVÄMNING OCH FÖRÄNDRADE FLÖDEN I VATTENDRAG

I detta kapitel beskrivs dagens flödessituation, tidigare utförda översvämningskarteringar och beräkningar för framtida klimatpåverkade flödestendenser i vattendrag i Stockholms län. De framtida klimatberäkningarna bygger på data från klimatscenerierna i *Tabell 4-1*.

En sammanfattning av detta avsnitt finns i kapitel 5.4.

5.1 Översvämningskarteringar avseende dagens klimat i Stockholms län

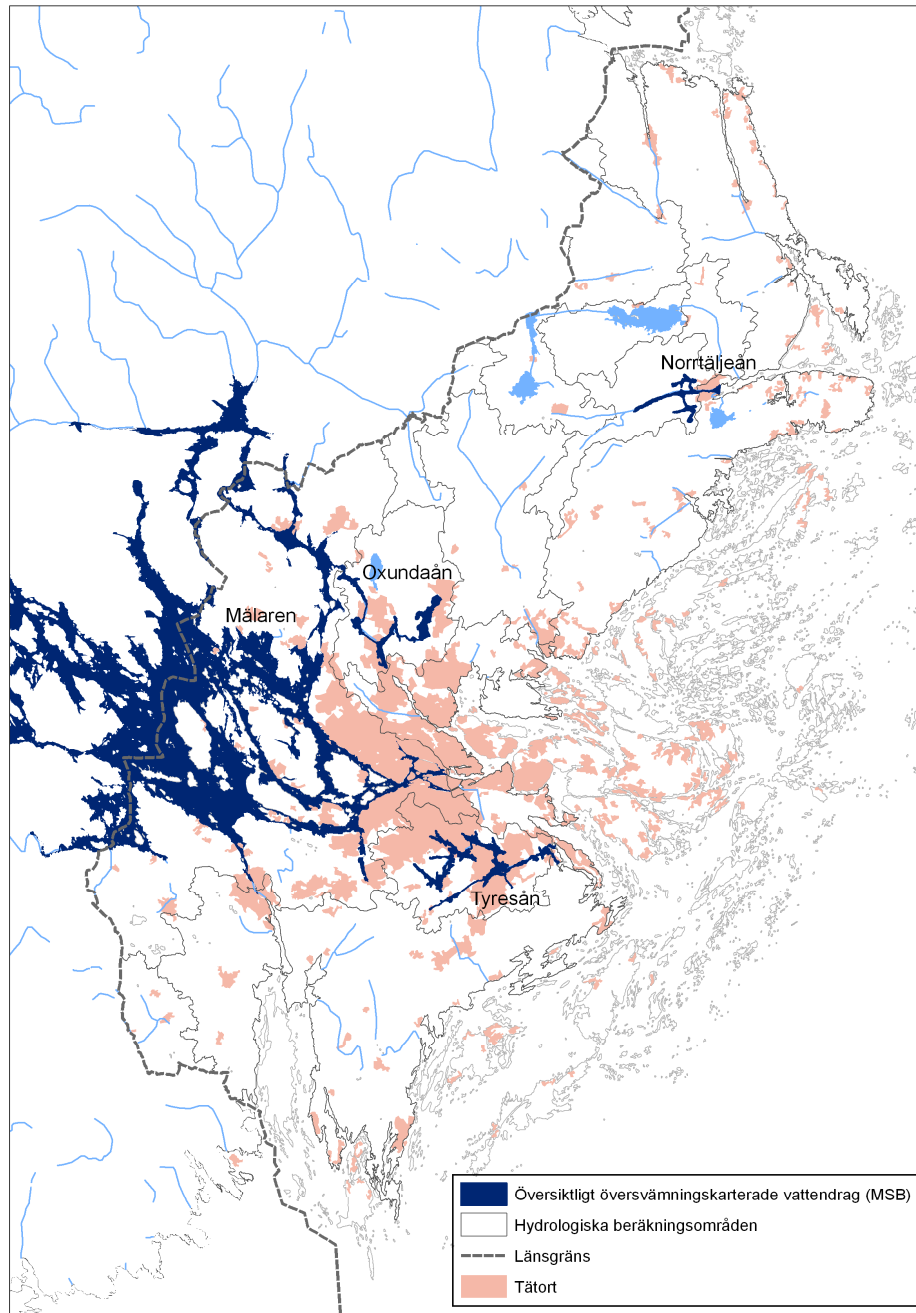
Översvämningsberor på högt vattenstånd i vattendrag och sjöar till följd av höga flöden, högt havsvattenstånd eller en kombination av båda faktorerna. Översvämningsrisken ökar när vattenståndet i havet är högt samtidigt som det är höga flöden i vattendrag. Vid höga vattenstånd i havet avleds vatten mindre effektivt, vilket leder till högre vattennivåer även en bit uppströms i vattendraget. Översvämningsutbredning i vattendrag och sjöar bestäms vid översvämningskartering genom att beräknade ytnivåer vid ett särskilt flöde jämförs med höjddata för omgivande terräng. Nivåerna beräknas med en hydraulisk modell vilken drivs av den flödessituation som skall analyseras, t.ex. ett 100-årsflöde. Begreppet 100-årshändelse beskrivs i avsnitt 5.2. Inom detta uppdrag har inga nya ytnivåberäkningar utförts längs vattendrag eller nya översvämningsutbredningar för dagens eller framtida flöden.

Flödesanalysen redovisas särskilt för de vattendrag i Stockholms län för vilka översiktlig översvämningskartering utförts av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), tidigare Statens Räddningsverk. I avsnitt 5.3.2 redovisas framtida förändrade 100-årsflödets koppling till sannolikhet för översvämnings.

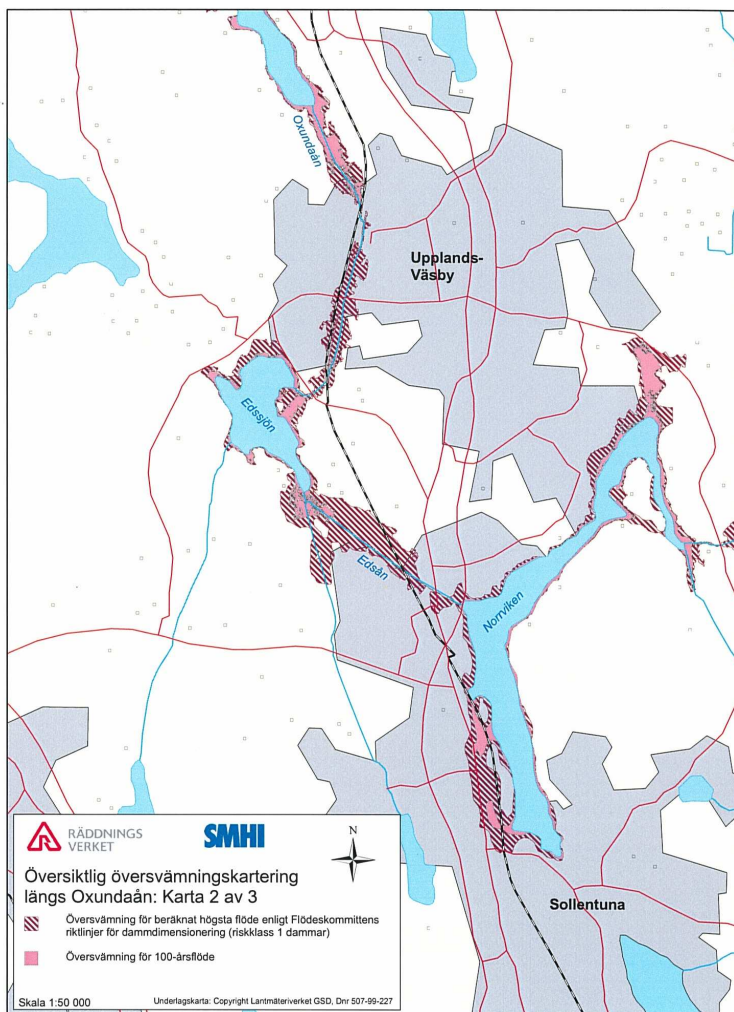
Översiktliga översvämningskarteringar för flöden i dagens klimat har inom Stockholms län genomförts av MSB för Mälaren, Norrtäljeån, Tyresån samt Oxundaån (Räddningsverket 2001 och 2007), se översikt i *Figur 5-1*. I rapporterna av dessa karteringar med tillhörande GIS-material finns uppgifter om vattennivåer och vattenytans utbredning vid två olika flöden, 100-årsflöde respektive Beräknat högsta flöde (Bhf), se exempel i *Figur 5-2*.

Bhf är en benämning som används i samband med översvämningskartering och motsvaras av dimensionerande flöde för flödesdimensioneringsklass 1. Metoderna för beräkning av Bhf är framtagna enligt Flödeskommitténs riktlinjer för dammar av riskklass 1 (Svensk Energi, m.fl., 2007). Bhf är en mycket extrem väderhändelse som skulle leda till betydande översvämnings.

På Karta 1 och 2 (Bilaga 3) redovisas utbredning av översvämningsytor vid Bhf avseende dagens klimat, vilka är framtagna i de av MSB tidigare utförda översiktliga karteringarna. Vattennivåerna vid Bhf är högre än de för ett 100-årsflöde i samma vattendrag och kan användas i planeringssammanhang som en övre gräns, varför översvämningsutbredning vid Bhf avseende dagens klimat redovisas i kartbilagorna. Översvämningsytor vid ett 100-årsflöde förekommer i många fall på samma platser som de vid Bhf men har mindre utbredning. Översvämningsytor för 100-årsflöden redovisas inte i kartbilagorna men bifogas som digitala kartlager. För noggrannare redovisning av översvämningskänsliga områden hänvisas till MSB:s rapporter.

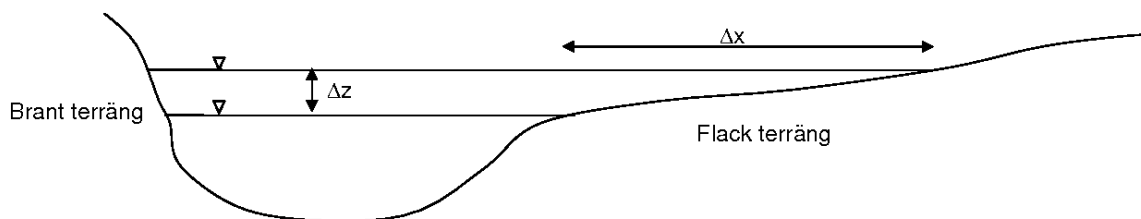


Figur 5-1. Stockholms län och de avrinningsområden som ingår i analysen samt vattendrag där översiktlig översvämningskartering tidigare utförts av MSB.



Figur 5-2. Exempel på översiktlig översvämningskartering för Oxundaån (MSB, 2007).

MSB:s översiktliga översvämningskarteringar bygger på en rikstäckande höjdmödel (Lantmäteriets GSD-höjddata, 50 m rutnät) med ett medelfel i höjddled på upp till ± 2 m. Detta innebär att de redovisade ytutbredningarna kan vara behäftade med relativt stora fel, beroende på det osäkra höjdunderlaget, framför allt i flacka områden, se *Figur 5-3*. Detta har undersökts för bl.a. Eskilstunaån (Yacoub et al., 2005).



Figur 5-3. En liten skillnad i ytnivå (Δz) kan ge stor skillnad i ytutbredning (Δx) i flacka områden. Om terrängmodellen har låg upplösning i det flacka området kan en stor osäkerhet i ytutbredning fås vid översvämningskartering.

Sedan 2009 arbetar Lantmäteriet med framställning av en ny nationell höjddatamodell över land som baseras på höjddatainsamling med flygburen laserskanning. Med denna teknik fås betydligt större noggrannhet i höjddatainsamling av terrängen. Kravet på noggrannhet är ett fel på max $\pm 0,5$ m i höjddata då den nya höjddatabasen presenteras som ett 2,0 m rutnät (Lantmäteriet, 2008). Med denna nya höjddatamodell kan de översiktliga översvämningsskarteringarna avseende dagens klimat uppdateras för ett mer tillförlitligt resultat.

En annan typ av översvämningar än de till följd av höga flöden i vattendrag är de som orsakas av intensiva skyfall, främst sommartid. Dessa kortvariga händelser påverkar främst små vattendrag och urbana vattenledningssystem. Konsekvenser av sådana händelser har inte studerats inom detta uppdrag. Extrema regnsituationer väntas emellertid bli vanligare i framtiden (SMHI, 2010), detta kan innebära att översvämmande dagvatten- och avloppssystem blir ett vanligare problem.

5.2 Vattenföring i dagens klimat

I *Tabell 5-1* redovisas den observerade medelvattenföringen och den beräknade 100-årsvattenföringen i dagens klimat för de fyra vattendrag i Stockholms län för vilka översiktlig översvämningsskartering utförts av MSB. För dessa vattendrag redovisas även framtida klimatpåverkade flödestendenser i nästa avsnitt.

Tabell 5-1. Årsmedelvattenföring och beräknad 100-årsvattenföring i mynningen för av MSB översiktligt översvämningsskarterade vattendrag i Stockholms län, dagens klimat (SMHI flödestatistik).

Vattendrag	Medelvattenföring [m ³ /s]	100-årsvattenföring [m ³ /s]
Mälaren	170	880 *
Norrtäljeån	2,6	23
Oxundaån	1,6	18
Tyresån	2,1	22

* Med dagens utformning av Slussen, se vidare kapitel 6 som behandlar Mälaren och Slussen.

Begreppen återkomsttid, risk och sannolikhet är centrala i samband med diskussioner om översvämningsskartering, men terminologin skapar ibland missförstånd. Med en händelses återkomsttid menas att händelsen i genomsnitt inträffar eller överträffas en gång under denna tid. Infrastruktur med lång livslängd exponeras för denna risk under lång tid och således är den ackumulerade sannolikheten avsevärd. Sannolikheten för exempelvis ett 100-års flöde är 1 på 100 för varje enskilt år. För ett objekt med en beräknad livslängd på 100 år och dimensionerat för en 100-årsnivå är den ackumulerade sannolikheten för översvämning med nivåer över 100-årsnivån under denna period 63 %. Detta är ett skäl till att man för riskobjekt såsom t. ex. större dammar ofta sätter gränsen vid, eller t.o.m. bortom, flöden med en återkomsttid på 10 000 år. Sannolikheten under 100 års exponering uppgår då till ca 1 %. *Tabell 5-2* visar sambandet mellan återkomsttid, exponerad tid och sannolikheten under 100 år. Sannolikheter under 1 % redovisas inte.

Tabell 5-2. Samband mellan återkomsttid, exponerad tid och sannolikhet i procent.

Återkomsttid (år)	Sannolikhet under 1 år	Sannolikhet under 5 år	Sannolikhet under 10 år	Sannolikhet under 20 år	Sannolikhet under 50 år	Sannolikhet under 100 år
2	50	97	100	100	100	100
5	20	67	89	99	100	100
10	10	41	65	88	99	100
25	4	18	34	56	87	98
50	2	10	18	33	64	87
100	1	5	10	18	39	63
1000			1	2	5	10
10 000						1

5.3 Framtida klimatpåverkade flöden och översvämningar

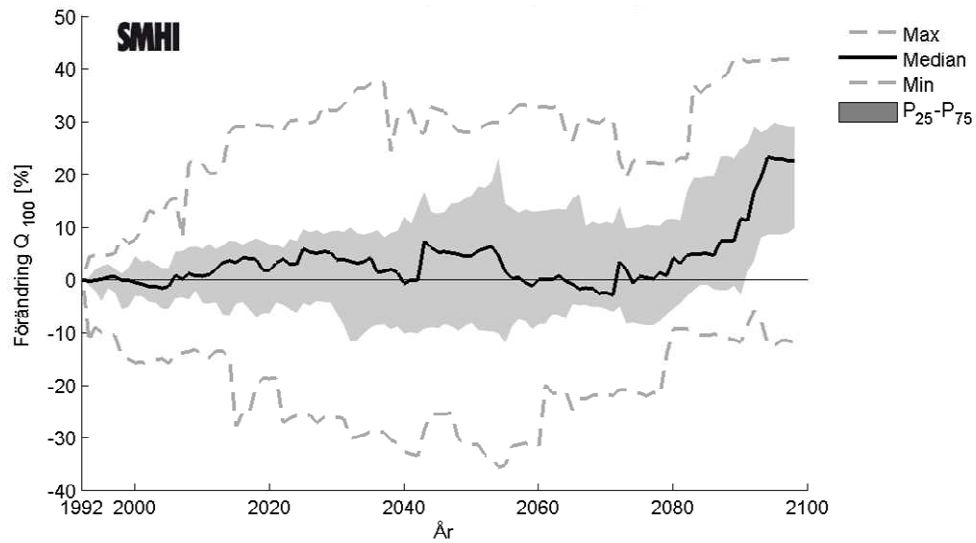
Från översvämningssynpunkt är trenderna för de höga flödena intressanta. Dessa har historiskt framförallt uppstått under våren i och med snösmältningen. Klimatberäkningarna visar att vattenföringens säsongsvariation går mot en flödesregim med högre flöden under höst och vinter och lägre vårflod. Detta beror på ökad nederbörd vintertid, vilken i mindre grad än idag kommer lagras som snö på grund av högre temperaturer. Dessa förändringar syns tydligast mot slutet av detta sekel, se SMHI (2010).

Beräknad förändring av framtida 100-årsflödets storlek redovisas för de vattendrag som tidigare är översiktligt karterade av MSB avseende dagens klimat. För att kunna avgöra tendenserna för översvämningens frekvens i framtiden har beräkningar av framtida 100-årsflödets återkomsttid gjorts för länets avrinningsområden.

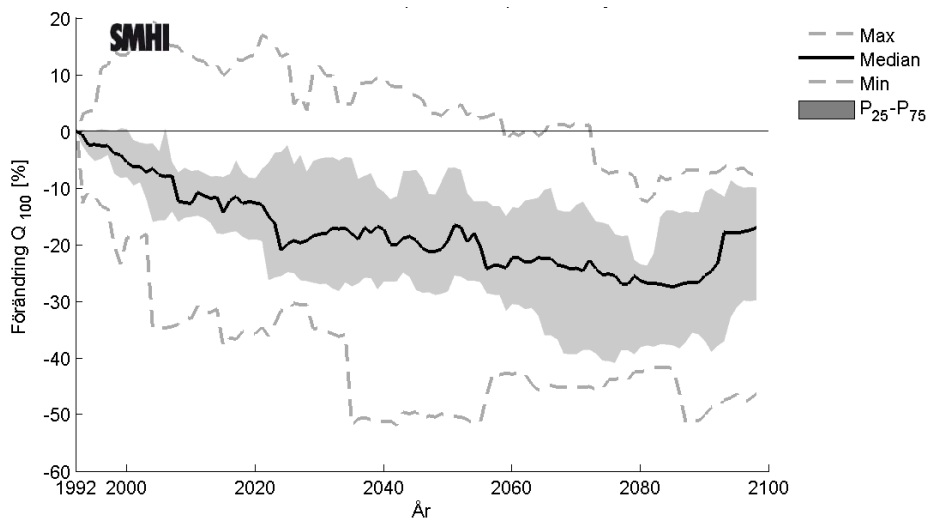
5.3.1 Förändring av 100-årsflödets storlek i framtida klimat

I *Figur 5-4* till *Figur 5-9* presenteras hundraårsflöden beräknade för områdena Mälaren, Norrtäljeån, Oxundaån och Tyresån. Beräkningarna är gjorda för *oreglerade* förhållanden på total tillrinning. Att total tillrinning är beräknad betyder att allt tillrinnande vatten uppströms delavrinningsområdet är inräknat.

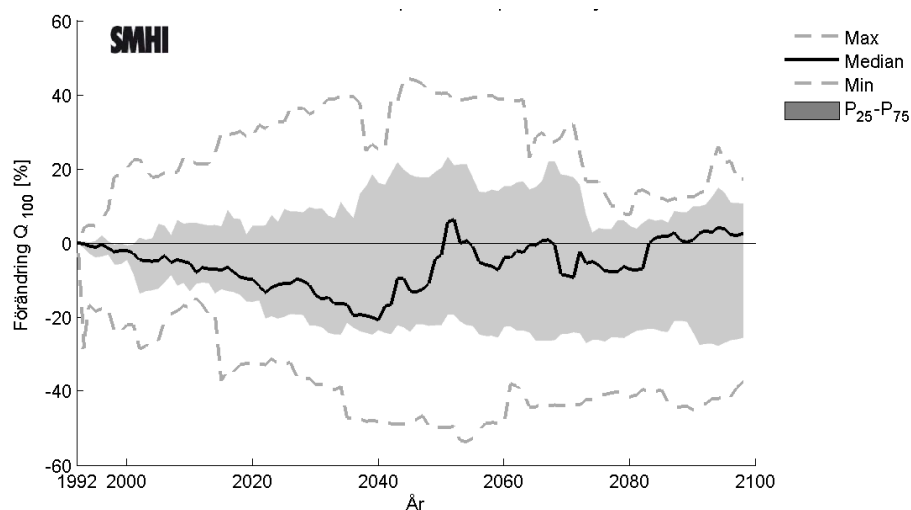
Oxundaåns totala 100-årstillrinning väntas vara oförändrad medan Tyresån och Norrtäljeån väntas få en minskning med ca 20 % mot slutet av seklet. För Norrtäljeån syns en ganska tydlig minskning redan i mitten av seklet. Mälaren utgör ett undantag då totala 100-årstillrinningen väntas öka med ca 20 % mot slutet av detta sekel. Spridningen mellan beräkningarna är stor vilket syns i skillnaden mellan min- och maxvärde i figurerna.



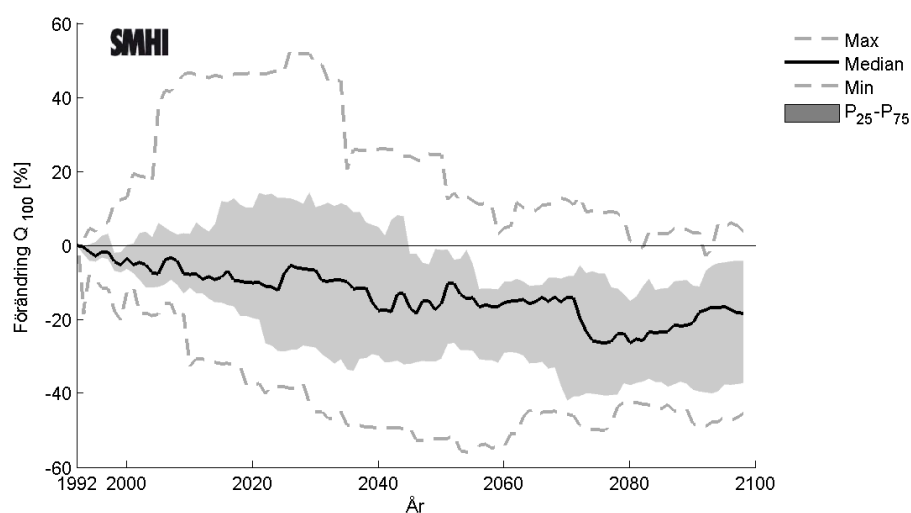
Figur 5-4. Procentuell förändring av **Mälarens** totala 100-årstillrinning enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992.



Figur 5-5. Procentuell förändring av **Norrtäljeåns** totala 100-årstillrinning enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. .



Figur 5-6. Procentuell förändring av Oxundaåns totala 100-årstillrinning enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992.



Figur 5-7. Procentuell förändring av Tyresåns totala 100-årstillrinning enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992.

5.3.2 Framtida återkomsttid för dagens lokala 100-årsflöden och framtida översvämningar

För att få en uppfattning om hur mycket vanligare eller ovanligare översvämningar kommer att bli i framtiden kan man beräkna vilken återkomsttid dagens 100-årsflöde motsvarar i framtiden. Dagens 100-årsflöde (som bygger på frekvensanalys av historiska flödesmätningar) har använts för beräkning av de översvämningssytor som redovisas i MSB:s översiktliga översvämningsskarteringar för dagens klimat.

Återkomsttider för dagens lokala 100-årstillrinning i framtida klimat presenteras i *Figur 5-8* och *Figur 5-9*. Metoden för beräkning av ny återkomsttid fokuserar på att beskriva förändringen noggrant i områden där klimatscenerierna tyder på ökad storlek på extremflöden, dvs. områden där dagens hundraårsflöden förväntas få en återkomsttid som är

mindre än hundra år. I områden där klimatscenarierna tyder på minskad storlek på extremflöden (områden där dagens hundraårsflöden förväntas få en återkomsttid som är större än hundra år) är resultaten mer översiktliga.

I kartfigurerna syns att för större delen av länet kommer återkomsttiden för lokal tillrinning med storlek som dagens 100-årsflöde att öka, både fram till mitten och mot slutet av seklet. I de flesta fall erhålls en återkomsttid på över 200 år i slutet av seklet (medianen av klimatscenarie-ensemblen).

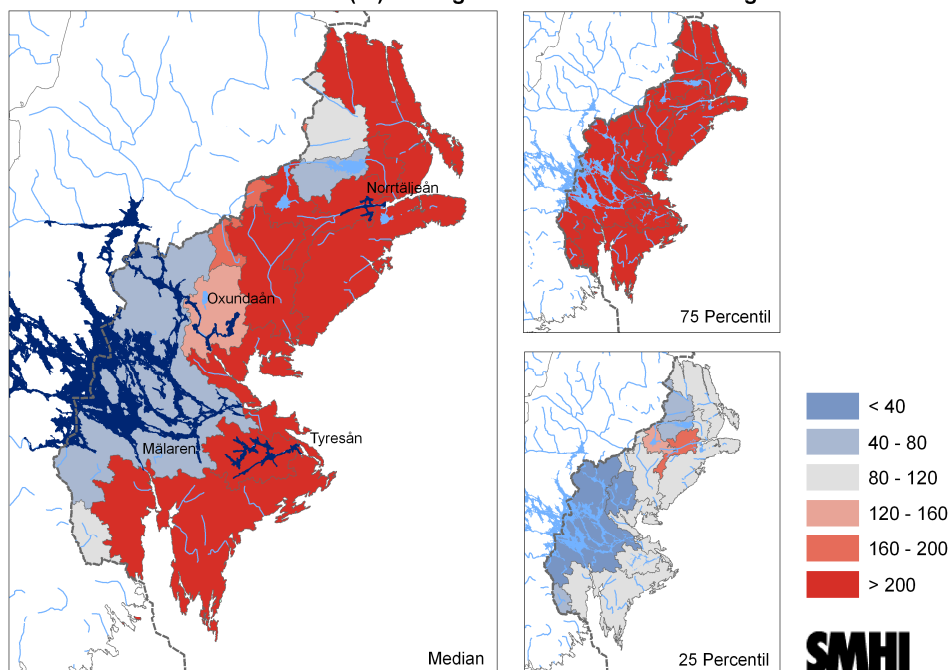
För Oxundaån är återkomsttiden ganska oförändrad, 80 -120 år för slutet av seklet. Tyresån liksom Norrtäljeån väntas få ökade återkomsttider, större än 200 år, för slutet av seklet, det vill säga minskande 100-årstillrinning.

Detta innebär att dagens 100-årssituation som redovisas i den översiktliga översvämningsskarteringen för Tyresån och Norrtäljeån skulle motsvaras av den situation som orsakas av ett flöde med återkomsttid större än 200 år mot slutet av seklet. För Oxundaån väntas 100-årsflödet vara relativt oförändrat och dess resulterande utbredning skulle vara ungefär lika stor. Översvämningens riskerna väntas således inte öka i dessa delar av länet på grund av framtida tillrinningsförändring.

Mälaren utgör ett specialfall och behandlas i kapitel 6. Det område som i kartan utgör en del av det lokala tillrinningsområdet till Mälaren är mycket större än vad som visas i figuren. Det sträcker sig som en remsa kring hela Mälarens kust och avspeglar därför inte enbart de lokala förhållandena i Stockholms län. Det är också viktigt att notera att det inte är Mälarens totala tillrinning som avses. Denna visas istället i *Figur 5-4*. Den lokala tillrinningen från vattendrag i Mälarens kustremsa visar på en ökning av 100-årsflöden, vilket resulterar i en kortare återkomsttid för dagens 100-årsflöde, storleksordningen 40-80 år i mitten av seklet och mindre än 40 år mot slutet av seklet. Detta är en stor ökning av frekvensen, men ska inte förväxlas med Mälarens totala tillrinning. För Mälarens nivåer har den framtida utformningen av Slussen i Stockholm avgörande betydelse, och översvämningar väntas därför inte bli vanligare utmed Mälarens stränder under detta sekel. Återigen bör man beakta att spridningen av resultaten är stor, vilket syns i kartbilderna för 25:e och 75:e percentil. Mälaren diskuteras utförligare i kapitel 6.

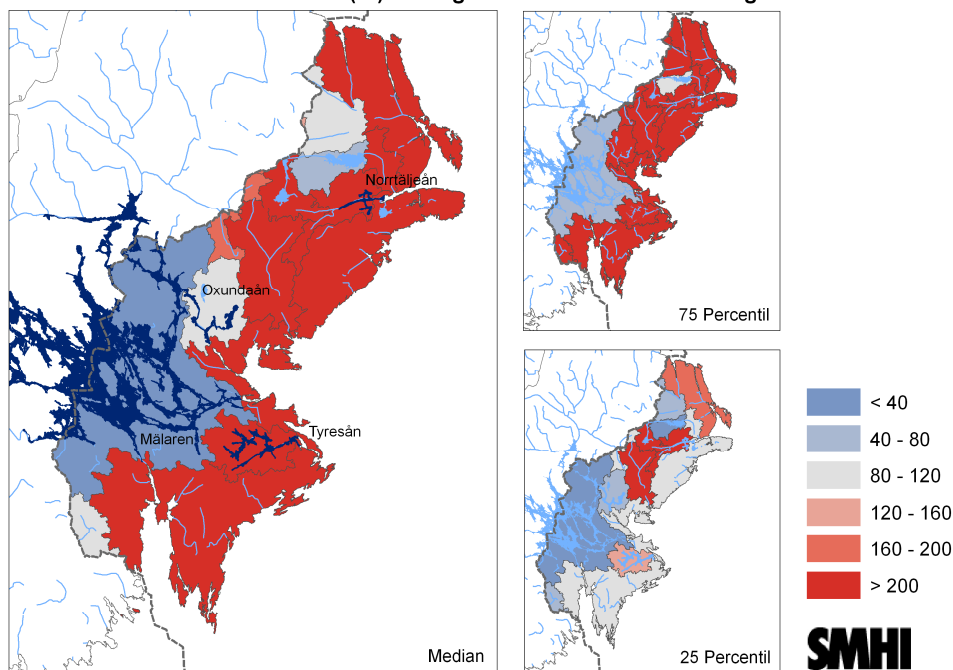
Sammanfattningsvis bedöms risken för översvämningar i framtiden minska något för i princip hela länet. Då flödesregimen förändras väntas översvämningens risker i slutet av detta sekel främst föreligga vintertid.

Beräknad framtida återkomsttid (år) för dagens lokala 100-årstillrinning år 2050



Figur 5-8. Beräknad framtida återkomsttid (år) för dagens lokala 100-årstillrinning för perioden 2021- 2050. Den större figuren visar medianvärdena medan den övre högra figuren visar 75:e percentilen och den nedre högra figuren visar 25:e percentilen av samtliga scenariers framtida återkomsttid. I kartan är de översiktligt översvämningskarterade vattendragen särskilt markerade.

Beräknad framtida återkomsttid (år) för dagens lokala 100-årstillrinning år 2098



Figur 5-9. Beräknad framtida återkomsttid (år) för dagens lokala 100-årstillrinning för perioden 2069-2098. Den större figuren visar medianvärdena medan den övre högra figuren visar 75:e percentilen och den nedre högra figuren visar 25:e percentilen av samtliga scenariers framtida återkomsttid. I kartan är de översiktligt översvämningskarterade vattendragen särskilt markerade.

5.4 Sammanfattande slutsatser av klimatpåverkade flöden och förutsättningar för översvämningar i vattendrag

De höga flödena har historiskt framförallt uppstått under våren i och med snösmältningen. Klimatberäkningarna visar att vattenföringens **säsongsvariation** förändras med högre flöden under höst och vinter och lägre vårflod. Detta beror på ökad nederbörd vintertid, vilken i mindre grad än idag kommer lagras som snö på grund av högre temperaturer. Dessa förändringar syns tydligast mot slutet av detta sekel.

Oxundaåns totala **100-årstillrinning** väntas vara oförändrad medan Tyresån och Norrtäljeån väntas få en minskning med ca 20 % mot slutet av seklet. För Norrtäljeån syns en ganska tydlig minskning redan i mitten av seklet. Mälaren utgör ett undantag då totala 100-årstillrinningen väntas öka med ca 20 % mot slutet av detta sekel.

För större delen av länet kommer **återkomsttiden** för lokal tillrinning med storlek som dagens 100-årsflöde att öka, både fram till mitten och mot slutet av seklet. I de flesta fall erhålls en återkomsttid på över 200 år i slutet av seklet. För Oxundaån är återkomsttiden ganska oförändrad, 80 -120 år för slutet av seklet. Tyresån liksom Norrtäljeån väntas få ökade återkomsttider, större än 200 år, för slutet av seklet, det vill säga minskande 100-årstillrinning.

Detta innebär att de **översvämningar** för dagens 100-årssituation som redovisas i den översiktliga karteringen för Tyresån och Norrtäljeån skulle motsvaras av den situation som orsakas av ett flöde med återkomsttid större än 200 år mot slutet av seklet. För Oxundaån väntas 100-årsflödet vara relativt oförändrat och dess resulterande utbredning skulle vara ungefär lika. Översvänningsriskerna väntas således inte öka i dessa delar av länet på grund av framtida tillrinningsförändring.

Mälaren utgör ett specialfall. Den lokala tillrinningen från vattendrag i Mälarens kustremsa visar på en ökning av 100-årsflöden, vilket resulterar i en kortare återkomsttid för dagens 100-årsflöde, storleksordningen 40-80 år i mitten av seklet och mindre än 40 år mot slutet av seklet. För Mälarens nivåer har den framtida utformningen av Slussen i Stockholm avgörande betydelse, och översvämningar väntas därför inte bli vanligare utmed Mälarens stränder under detta sekel.

Sammanfattningsvis bedöms risken för översvämningar i framtiden minska något för i princip hela länet. Då flödesregimen förändras väntas översvänningsrisker i slutet av detta sekel främst föreligga vintertid.

6 ÖVERSVÄMNING VID MÄLAREN OCH HAVET

I detta kapitel redovisas havsnivåer till följd av klimatförändringar samt förhållanden och konsekvenser för Mälaren och Slussenområdet. En sammanfattning finns i kapitel 6.4.

6.1 Framtida havsnivåer

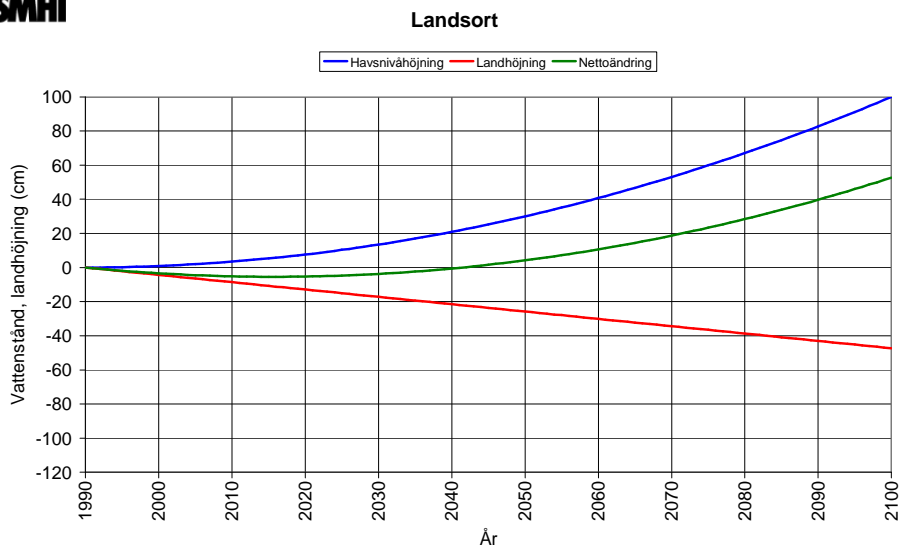
Havsvattenståndet beror av många faktorer. Globalt sett är de viktigaste den termiska expansionen (havets utvidgning vid uppvärmning) och bidrag från smältande glaciärer och de stora landisarna på Grönland och Antarktis. Ändrade nederbördsförhållanden på dessa stora isar har också stor betydelse. Men det finns också stora lokala skillnader, som beror på ändrade salthaltsförhållanden, ändringar i det lokala vindklimatet, ändrade gravitationsfält när de stora isarna smälter och till och med ändrade landhöjnings- och landsänkingsförhållanden när belastningen på jordskorpan förändras om trycket från de stora isarna minskar. Eftersom de mest extrema vattennivåerna oftast är mest intressanta lokalt så betyder ändrad frekvens, intensitet och riktning hos stormar mycket. Ännu kvarstår en hel del frågetecken rörande framtidens havsnivåer.

Sammantaget pekar de internationella sammanställningar och bedömningar på att en övre gräns för hur mycket havsytans nivå kan komma att stiga är ungefär 1 m under perioden 1990-2100 sett som ett globalt medelvärde. Det är utifrån detta värde och antaganden om lokala effekter som framtida medelnivåer och extremnivåer för Stockholms län har beräknats. Som en illustration till den fortsatta utvecklingen efter 2100 har valts att i denna rapport anta att havet stiger 2 m fram till 2200 (den holländska Deltakommittén har angivit intervallet 2-4 m som gällande för 2200, Deltacommissie, 2008).

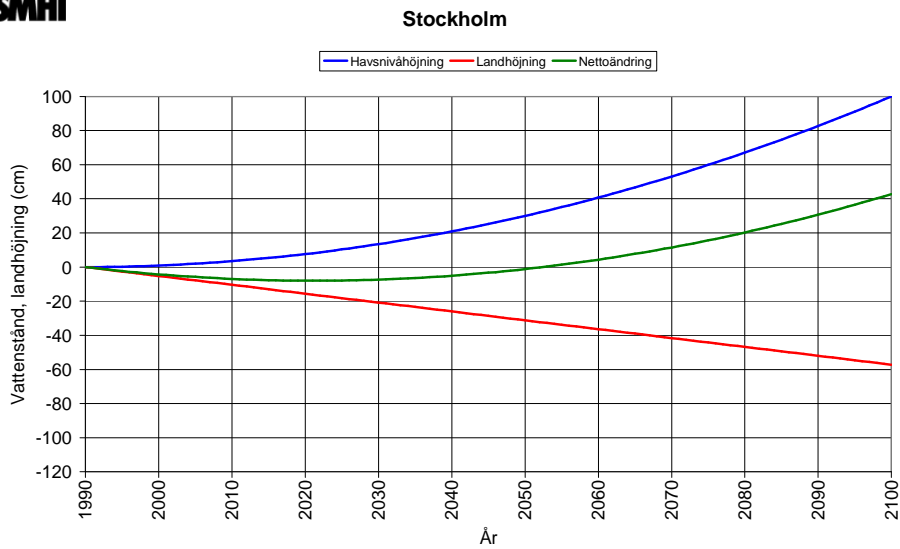
6.1.1 Framtida förändring av medelvattenstånd i Stockholms län

Figur 6-1 visar en teoretisk utveckling av havshöjningen, landhöjningen och nettoändringen av medelvattenståndet för Landsort, Stockholm och Forsmark 1990-2100. I denna utredning har använts en havshöjning på +30 cm till 2050 och +1 m till 2100. Havshöjningen är med andra ord snabbare vid slutet av seklet.

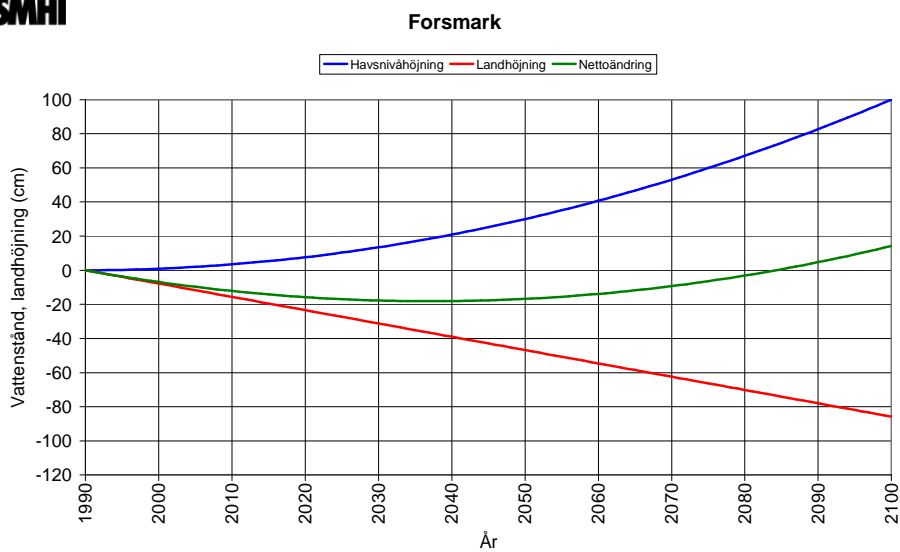
SMHI



SMHI



SMHI



Figur 6-1. Havshöjning, landhöjning och nettoändring av medelvattenytan förutsatt +30 cm global höjning fram till 2050 och +1 m global höjning fram till 2100.

I *Tabell 6-1* visas framtida medelvattenståndshöjning beräknat för fem kustområden. Detta innebär att medelvattenståndet 2100 kommer att ligga på ca 70 cm i Landsort och Haninge, 60 cm i Stockholm och södra Norrtälje samt 50 cm i norra Norrtälje (RH2000).

Tabell 6-1. Förändring i medelvattenstånd 1990-2200 i Stockholms län förutsatt den antagna globala havnivåhöjningen och landhöjning som idag. Alla värden har avrundats till närmaste dm. Kursiva siffror bygger på uppskattad landhöjning..

Kustområde	Absolut landhöjning	Medelvattenstånds-höjning fram till 2100	Medelvattenstånds-höjning fram till 2200
Globalt medelvärde	0 cm/år	+100 cm	+200 cm
Landsort	0,43 cm/år	+ 50 cm	+ 110 cm
Haninge	<i>0,48 cm/år</i>	<i>+ 50 cm</i>	<i>+ 100 cm</i>
Stockholm	0,52 cm/år	+ 40 cm	+ 90 cm
Norrtälje	<i>0,59 cm/år</i>	<i>+ 40 cm</i>	<i>+ 80 cm</i>
Norra Norrtälje	<i>0,62 cm/år</i>	<i>+ 30 cm</i>	<i>+ 70 cm</i>

6.1.2 Framtida förändring av extrema havsvattenstånd i Stockholms län

För att klargöra hur vattenståndsextremer varierar längs hela länets kust har använts resultat från Rossby Centers havsmodell RCO. Modellens referenssimulering över dagens klimat har använts för att ta fram statistik över årets högsta vattenstånd.

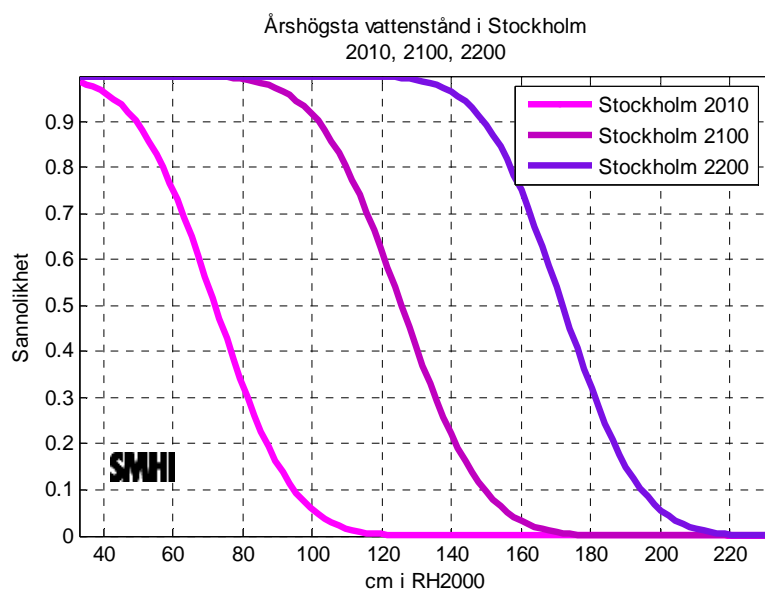
Tabell 6-2 ger en beskrivning av de kuststräckor som uppvisar ungefär samma karakteristiska extremförhållanden i referensklimatet. En närmare beskrivning finns i den separata klimatsammanställningen (SMHI, 2010).

Tabell 6-2. Beskrivning av de kuststräckor som uppvisar ungefär samma karakteristiska extremförhållanden i referensklimatet. Områdesnamnet har valts utifrån geografiska förhållanden. Resultaten som redovisas nedan kommer att använda en utvald punkt från respektive område med lämplig landhöjning.

Kustområde	Kommuner	Färg	Landhöjning
Landsort	Södertälje, Nynäshamn, Botkyrka	Grön	0,43 cm/år
Haninge	Haninge, Tyresö	Blå	0,48 cm/år
Stockholm	Nacka, Värmdö, Stockholm, Lidingö, Vaxholm, Österåker, Täby, Danderyd, Solna och Sollentuna	Rosa	0,52 cm/år
Norrtälje	Norrtälje	Svart	0,59 cm/år
Norra Norrtälje	Norrtälje	Röd	0,62 cm/år

För beräkningarna av extrema vattenstånd har data från RCO-modellen använts för att simulera lokala effekter (RCAO-HadAM3-A2). Modellresultaten uppvisar en liten lokal effekt jämfört med globala data, men generellt behålls den fördelning som finns i dagens klimat.

Figur 6-2 visar fördelningen av årshögsta vattenstånd för kustområde Stockholm år 2010, 2100 och 2200. Tabell 6-3 visar extrema vattenstånd (årshögsta vattenstånd med 100 års återkomsttid i cm i RH2000) för länets fem kustområden för åren 2010, 2100 och 2200. Siffrorna i tabellen har avrundats till närmsta 5 cm. På grund av landhöjningen och den medföljande höjningen av medelvattenståndet höjs de högsta nivåerna i område Landsort snabbare än längre norrut. Norra Norrtälje som idag har de högsta vattenstånden förväntas få den lägsta höjningen på grund av en större landhöjning.



Figur 6-2. Sannolikhetsfördelning av årshögsta vattenstånd för kustområde Stockholm år 2010, 2100 och 2200 i RH2000. Figuren visar hur extremerna förändras med stigande havsnivåer.

Tabell 6-3. Vattenstånd med 100 års återkomsttid i Stockholms län år 2010, 2100, 2200 (RH2000).

Kustområde	2010 (cm)	2100 (cm)	2200 (cm)
Landsort	110	180	230
Haninge	115	175	225
Stockholm	120	175	220
Norrtälje	120	170	205
Norra Norrtälje	130	180	210

Sammanfattningsvis kan konstateras att havsnivåhöjningen i Stockholms län märks först mot andra halvan av detta sekel enligt dessa beräkningar. Ökningen av de mest extrema nivåerna varierar regionalt och beräknas bli något större än ökningen av årsmedelvärdena. Beräkningar av extremvärdena bygger enbart på en modellberäkning med ett klimatscenario. Det pågår för närvarande forskning vid SMHI, med nya klimatscenarier, vilket väntas leda till nya resultat under 2013.

6.2 Översvämningar från havet

Risken för översvämningar på grund av höga havsnivåer förändras endast långsamt och kompenseras till en början av landhöjningen. Först från mitten av seklet börjar effekten av ett stigande världshav ge sig till känna. Bortom år 2100 kan effekterna av ett stigande världshav bli betydande för Stockholms län.

För närvarande betyder kortvariga oväder med lågt lufttryck och kraftig vind mer för översvämningensrisken än den globala höjningen av havsnivån. Ökningen på lång sikt av de mest extrema nivåerna varierar regionalt och beräknas bli något större än ökningen av årsmedelvärdet. Föreliggande beräkningar av extremvärden bygger på en modellberäkning med ett klimatscenario. Det pågår för närvarande forskning vid SMHI, med nya klimatscenarier, vilket väntas leda till nya resultat under 2013.

6.3 Mälaren och projekt Slussen

Stockholms stad har under flera års tid utrett en ombyggnad av Slussen. I de klimatscenarier som användes för beräkningar i delbetänkandet från Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU 2006:94) konstaterades att både höga och låga vattennivåer i Mälaren kommer att bli vanligare i framtiden. De höga flödena år 2000 orsakade betydande problem runt Mälaren och tydliggjorde därmed behovet av en ökad tappningskapacitet.

I samband med den ombyggnad av Slussen som Stockholms stad förbereder avser man att öka tappningskapaciteten för att minska översvämningensriskerna runt Mälaren. SMHI har därför fått i uppdrag av Stockholms stad att föreslå en ny regleringsstrategi för Mälaren. De övergripande målen för den nya regleringen har varit:

1. Minska risken för översvämning runt Mälaren
2. Minska risken för låga vattenstånd i Mälaren.
3. Förhindra saltvatteninträngning

En strävan är att hålla Mälarens nivåer mellan +4,0 m och +4,7 m i det lokala höjdsystemet. I tillägg till detta har även hänsyn tagits för att eftersträva årstidsvariationer i Mälarens vattenstånd som gynnar strandnära naturmiljöer och om möjligt skapa längre perioder med strömmande vatten i Stockholms ström.

6.3.1 Dimensionerande nivåer i dagens klimat

Omfattande beräkningar av nivåerna för Mälaren har gjorts för att finna vilken tappningskapacitet som behövs för att undvika översvämningar. I beräkningarna antas en framtida utbyggd tappningskapacitet på totalt ca 2000 m³/s och motsvarande kapacitet är idag ca 800 m³/s. I *Tabell 6-4* redovisas dimensionerande nivåer (Flödesdimensioneringsklass I, enligt Svensk Energi m.fl., 2007) för Mälaren enligt dagens tappningsför-

hållanden och efter en utbyggnad. Där redovisas även nivåer för flöden med olika återkomsttid. I dessa beräkningar har en motdämmande effekt från Saltsjön beaktats.

Tabell 6-4. Statistik över Mälarens högsta vattenstånd vid extrema flöden för dagens avbördningskapacitet och efter utbyggnad. Flöden med en angiven återkomsttid har hämtats från Andréasson och Hellström (2008). Det dimensionerande flöde är beräknat av Andréasson och Gustavsson (2010). Havsnivån antas ligga konstant på 4,08 m i Mälarens höjdsystem.

Återkomsttid (år)	Dagens avbördningskapacitet	Utbyggd avbördningskapacitet
100	5,17	4,56
1000	>6,00	4,64
10000	>6,00	4,78
Dimensionerande nivå	>6,00	4,78

Med dagens utformning medför redan ett 100-årsflöde nivåer över +5 m om händelsen inträffar samtidigt med ogynnsamma havsvattenstånd. Ett dimensionerande flöde skulle ge nivåer över +6 m och omfattande konsekvenser. Med den planerade utökade kapaciteten kan flöden upp till 1 000 års återkomsttid hanteras utan att den övre nivån i nuvarande vattendom, +4,7 m, överskrids. Det övergripande målet att hålla Mälarens nivåer under +4,7 m överskrids dock med 8 cm vid vattenståndet +4,08 i havet.

Inga av de redovisade värdena inkluderar vindsnedställning av Mälarens vattenyta. Vindsnedställning är beroende av sjöns geometri och beräknas utifrån en typisk vind som ger en snedställning då jämvikt har uppnåtts. Inga ingående variabler i detta samband har förändrats sedan klimat- och sårbarhetsutredningen och den där beräknade vindsnedställningen gäller därför fortfarande, och är alternativneutralt. För Mälaren uppskattades vindpåverkan kunna ge en snedställning av sjöytan med som mest 2-3 dm. Vindsnedställning är en momentan effekt som ska läggas ovanpå den dimensionerande nivån.

6.3.2 Dimensionerande nivåer i framtidens klimat

Dimensionerande nivåer för framtida klimatförhållanden har beräknats för den planerade utbyggda tappningskapaciteten. Utgångspunkten för dessa beräkningar har varit de 16 klimatscenarier som finns redovisade i *Tabell 4-1* och en metodik som har utvecklats inom ett pågående forskningsprojekt om dimensionerande flöden för dammanläggningar i ett förändrat klimat.

Ett rimligt antagande är att stigande havsvattenstånd och landhöjningen i Stockholm tidigast möts kring mitten på seklet och att det då är ungefär samma nivå i Saltsjön som 1990. En höjning av det globala vattenståndet med 1 m från 1990 till 2100 resulterar i en nettoeffekt för Stockholm på ca 0,5 m med en landhöjning på 5,2 mm/år. För beräkningar i mitten på seklet har därför beräkningarna gjorts utgående från samma saltsjövattenstånd som beräkningarna för dagens klimatförhållanden. Beräkningarna för slutet på seklet har gjorts med antagande om 0,5 m nettohöjning av saltsjövattenståndet.

I den separata klimatsammanställningen (SMHI, 2010) redovisas hur den dimensionerande nivån förändras för olika förutsättningar och tidsperioder.

Den dämmande effekt som ett högre havsvattenstånd har på tappningsförmågan från Mälaren motverkas således av förändringar i de hydrologiska förhållandena. Det är

framförallt framtida minskning av ackumulerad nederbörd i form av snö som ger denna effekt. Den utökade tappningskapaciteten i Söderström i kombination med den föreslagna regleringen minskar kraftigt översvänningsriskerna i Mälaren. Den planerade tappningskapaciteten bedöms vara tillräcklig även under framtida klimatförhållanden med höjning av Saltsjön upp till 0,5 m, vilket är den antagna höjningen av havet i Stockholm i slutat av seklet.

6.3.3 Risker idag och i framtiden

Innan ombyggnaden av Slussen är klar och nya regleringsmöjligheter finns på plats föreligger en förhållandevis hög risk för stora översvänningsproblem liknande eller värre än de som inträffade år 2000. Sannolikheten för detta är strax över 1 % per år som innebär att den totala risken är drygt 10 % under en tioårsperiod vilket motsvarar en ungefärlig tid för ombyggnad. När den nya Slussen med utökad tappningskapacitet är klar och en ny vattendom föreligger är översvänningsrisken från Mälaren inte längre ett hot i tidsperspektivet 50-100 år. Det som kan förändra denna bild på längre sikt är stigande havsnivåer, vilket successivt kan komma att minska de skapade marginalerna.

Den nya regleringen innebär att risken för låga vattennivåer i Mälaren minskar för nuvarande klimatförhållanden, dvs. att Mälaren understiger 4,0 m mer sällan och under kortare perioder än med dagens reglering.

Inom projekt Slussen har känslighetsanalyser gjorts på hur regleringen fungerar under normaldrift i framtida klimatförhållanden i mitten på seklet (2036-2065). Slutsatsen från dessa analyser är att regleringen verkar robust för förändringar i tillrinningsmönster orsakat av klimatförändringar, men att klimatförändringar kommer att leda till ökad risk för låga vattennivåer i Mälaren under sommar och höst. Vad gäller de lägsta nivåerna så sänks de, med storleksordningen 1-2 dm, på grund av ökad avdunstning.

6.4 Sammanfattande slutsatser för Mälaren och havet

För bedömningen av framtidens **havsnivåer** visar olika internationella källor att det är rimligt att anta att världshaven som högst stiger upp emot en meter från 1990 till slutet av 2100. Detta antagande har använts i denna studie. Det råder dock viss osäkerhet om de globala framtida havsnivåerna. För den fortsatta utvecklingen har antagits att havet stiger 2 m fram till 2200. Denna relativt snabba stigning av havsnivåerna förutsätter en fortsatt drastisk ökning av utsläppen av växthusgaser under seklet. I utredningen har den globala havsnivåhöjningen omräknats till regionala effekter för länets kustkommuner i Stockholms län med hänsyn tagen till bl.a. landhöjningen.

Risker för **översvämning** påverkas för närvarande mer av kortvariga oväder med lågt lufttryck och kraftig vind än av den globala höjningen av havsnivån. Ökningen på lång sikt av de mest extrema nivåerna varierar regionalt och beräknas bli något större än ökningen av årsmedelvärdet.

De översvänningsrisker som är kopplade till Mälaren är idag oacceptabelt stora.. I samband med den ombyggnad av Slussen, som Stockholms stad förbereder, avser man att öka förmågan att tappa vatten från Mälaren för att minska översvänningsriskerna. Den utökade tappningsförmågan i kombination med en ny reglering av Mälaren gör att översvänningsriskerna därefter kommer att kunna kontrolleras och att översvänningsrisken inte längre kommer att vara ett hot i tidsperspektivet 50 -100 år.

Hur översvämningsrisken ändras i ett framtida klimat beror främst på ändringar i tillrinningsmönster och nettohöjning av havsvattenståndet (Stockholms landhöjning verkar åt motsatt håll). Den kombinerade effekten av dessa faktorer pekar på att den planerade tappningskapaciteten är tillräcklig även under framtida klimatförhållanden, men att den skapade marginalen successivt kan komma att minska på grund av stigande havsnivåer. Gränsen för vad som kan hanteras med den planerade nya utformningen av Slussen är en nettohöjning av havets nivå med ca + 50 cm.

Eftersom det sker en snabb ekonomisk utveckling i Stockholms län med ständig utbyggnad och omformning av bebyggelse och infrastruktur så ändras förutsättningar och riskexponering kontinuerligt. Detta är en faktor som troligen påverkar framtidens översvämningsrisker i minst lika hög grad som ett förändrat klimat.

7 EROSION VID KUSTER OCH VATTENDRAG

Nuvarande förhållande och framtida förändringar av erosion längs stränder vid havskuster, Mälaren och vattendrag i länet har inventerats översiktligt. En värdering av konsekvenser till följd av klimatförändringar har därefter genomförts. En sammanfattning finns i kapitel 7.4.

7.1 Översiktlig inventering av förutsättningar för erosion

Med erosion menas den process som leder till förlust av material från stranden och botten i vattendrag och längs kuster. Erosion och sedimentation är en ständigt pågående naturlig process i landskapet. Den naturliga balansen kan störas av mänskliga aktiviteter, exempelvis genom konstruktioner i vatten, fartygstrafik, avverkning av strandnära skog m.m. Under vissa betingelser sker mer omfattande erosionsangrepp, t.ex. längs kuster vid stormar och vid höga flöden och vattennivåer i vattendrag och sjöar.

Det finns olika typer av erosion. Erosion från *vågor* orsakas främst av vindvågor men även vid tappning av dammar eller av fartygstrafik. *Strömmande vatten* kan medföra erosion i vattendrag och på angränsande stränder och slänter. *Vinderosion* är begränsad i Sverige och förekommer framförallt i områden som saknar vegetationstäckning, exempelvis längs sandstränder och dyner samt på åkerjord under vår och försommar. Erosion kan också uppkomma av nötande *is* från istäcken och isdämmor som utbildats i samband med vårflöden i vattendrag. *Inre erosion* kan förekomma i finkornig friktionsjord genom att grundvattenströmmar för med sig partiklar och på så sätt orsakar materialvandring.

Om det inom ett visst avgränsat område råder jämvikt mellan eroderad och avsatt mängd material sägs området vara stabilt från erosionssynpunkt. Vid en nettoförlust av material är området utsatt för erosion och i motsatt fall sker en ackumulation av material.

En förutsättning för erosionsprocesser är dels tillgång på erosionskänsligt jordmaterial, dels en flödes/vindhastighet som är tillräckligt hög för att loss göra och transportera materialet. När flödes/vindhastigheten minskar avsätts materialet igen. De mest erosionsbenägna jordarna är ensgraderade jordarter med en kornstorleksfördelning motsvarande finsand och mellansand.

Klimatförändringar kan medföra en ökad nederbörd som ökar avrinningen i vattendragen vilket i sin tur medför ökad erosion. Vid kusterna innebär en högre havsnivå att stranderosionen kommer att öka genom att områden som tidigare inte varit utsatta för erosion kan påverkas.

SGI har tidigare utfört en översiktlig inventering av omfattningen av stranderosion i Sverige i samverkan med berörda kommuner. Syftet med inventeringen var att få en översikt av var stranderosion förekommer och var det finns förutsättningar för erosion utmed landets havskuster och vid stränder utmed de sex största sjöarna i landet. Uppgifter har inhämtats för kommuner belägna vid kuster och sjöar om var erosion konstaterats. Dessutom har förutsättningar för erosion inventerats med utgångspunkt från de geologiska förhållandena.

För närvarande utför SGI en översiktlig inventering av förutsättningar för erosion i de ca 60 största vattendragen i Sverige. Denna inventering är en fortsättning av ovannämnda kustinventering men inventeringen har begränsats till förutsättningar för erosion med utgångspunkt från de geologiska förhållandena.

7.2 Förutsättningar för erosion längs kusten och Mälaren

7.2.1 Erosionsförutsättningar i Stockholms län

Förutsättningar för erosion finns främst inom områden där jordmaterialet utgörs av sand och silt. Resultaten från SGI:s nationella kartering har använts i denna utredning. På vissa sträckor kan ha anlagts skydd mot erosion men inventering av sådana skydd har inte utförts.

Inventering av förutsättningar för erosion har utförts i länets kustkommuner inklusive skärgården in till Edsviken och Saltsjön. I *Tabell 7-1* redovisas de kommuner där det finns förutsättningar för erosion längs kusten.

Tabell 7-1. Kommuner med förutsättningar för erosion längs kusten.

Botkyrka	Nacka	Stockholm	Vaxholm
Danderyd	Norrköping	Södertälje	Värmdö
Haninge	Nynäshamn	Tyresö	Österåker
Lidingö	Solna	Täby	

Inventering av erosionsförutsättningar har också utförts utmed Mälaren och de kommuner som berörs framgår av *Tabell 7-2*.

Tabell 7-2. Kommuner med förutsättningar för erosion längs Mälaren.

Botkyrka	Salem
Ekerö	Solna
Huddinge	Stockholm
Järfälla	Södertälje
Nykvarn	Upplands Bro

Förutsättningar för erosion finns inom ett stort antal områden längs hela **kusten** i Stockholms län. I vissa kommuner vid kusten och Mälarens stränder är förutsättningarna större och nedan ges några exempel på sådana områden:

- Södertälje kommun utmed Igelstaviken och vidare genom de centrala delarna av Södertälje och utmed södra delarna av Hallsfjärden;
- Norra delen av Haninge kommun, norr och väster om Dalarö;
- Täby kommun, vid Stora Värtan, främst i de norra delarna vid Hägernäsvik;

- Upplands Bro kommun, vid Kalmarviken i de västra delarna av kommunen;
- Ekerö kommun, utmed de östra delarna av Munsön och de östra och södra delarna av Ekerön;
- Botkyrka kommun och Huddinge kommun, vid Vårby i Vårbyfjärden, i södra delarna av Albysjön och Tullingesjön.

Kuststräckor med förutsättningar för erosion redovisas på Karta 1 och 2, Bilaga 3.

Omfattningen av erosion vid kusterna beror till stor del av topografiska och geologiska förhållanden i kustområdet. Uppgifter om höjdförhållanden med tillräcklig noggrannhet saknas för de aktuella kuststräckorna. På Karta 1 och 2 redovisas därför endast de strandlinjer där förutsättningar för erosion finns utifrån de geologiska förhållandena.

Erosion inom kustområden orsakad av färjetrafik förekommer vid de större farlederna i Stockholms skärgård, men inventering av detta ingår inte i denna utredning. En skadeinventering har utförts av Lars Granath (2003). Under 2010 har Länsstyrelsen i Stockholms län också utfört en inventering av stranderosion orsakad av regional fartygstrafik i ett mellanskärgårdsområde där 51 mil stränder har inventerats (Länsstyrelsen i Stockholms län, 2010).



Figur 7-1. Stranderosion vid Hummelmoraön. Foto: Stina Lindfors

7.2.2 Konsekvenser av klimatförändringar

Klimatförändringar kommer att medföra en högre havsnivå vilket innebär att områden som tidigare inte utsatts för erosion kommer att påverkas. Samtidigt motverkas detta av den pågående landhöjningen. För bedömning av den långsiktiga erosionen används normalt havets medelvattennivå. Enligt kapitel 6 kommer medelvattennivån 2100 i Stockholms län att öka med 0,3-0,5 m från Norrtälje till Landsort vid en global höjning

av havsnivån med 1,0 m och med hänsyn tagen till landhöjningen. För bedömning av hur stora strandnära områden som kan komma att påverkas av erosion har använts en modell som bygger på ett samband mellan havsnivåhöjning och påverkan på stränder. Modellen utgår från att en höjd vattennivå i havet påverkar strandens övre del, varvid material förflyttas från stranden ut i havet så att ett nytt jämviktsläge uppkommer. En generell uppskattning enligt denna modell är att en havsnivåhöjning påverkar en strandzons bredd med faktorn 100, dvs. 1 cm höjning av havsnivån har påverkan 1 m upp på stranden.

Det innebär att storleksordningen 30-50 m av kusten kan komma att påverkas av ökad erosion utöver den erosion som redan förekommer för dagens förhållanden. Detta gäller för flacka stränder och bottenar.

Dessutom tillkommer lokala effekter av erosionen till följd av stormar, översvämning och tillfälliga högvatten eller andra säsongsbetonade effekter. För att ta hänsyn till dessa förhållanden kan göras ett schablontillägg med ca 25 % på utsträckningen av de områden som kan komma att beröras med utgångspunkt från havsnivåhöjningen. Detta innebär att storleksordningen 40-65 m av stränder längs kuster kan komma att påverkas av erosion vid seklets slut.

Framtida vattennivåer i Mälaren beror helt av de vattenhushållningsbestämmelserna som kommer att fastläggas. Det innebär att det inte är möjligt att ange hur erosionen längs stränderna kommer att förändras. En eventuell högre nivå av medelvattenytan kommer att ge samma effekt som ovan angetts för kusterna.

7.3 Områden med förutsättningar för erosion längs vattendrag

De förhållanden som främst påverkar erosionen i vattendrag är jordart och vattenföring. Den största erosionen sker i sand och silt och erosionen längs bottenar och slänter blir större med ökade vattenflöden. Det är framförallt vattenföringar som förekommer under längre tider som orsakar erosion men även extrema flöden kan orsaka skador.

7.3.1 Erosionsförutsättningar i Stockholms län

Förutsättningar för erosion har inventerats översiktligt för de vattendrag där översvämningsskartering har utförts, nämligen Norrtäljeån, Oxundaån och Tyresån inklusive Gudöå samt dessutom för Sigtunaån. Sträckor med sådana förutsättningar för erosion längs vattendrag redovisas på Karta 1 och 2, Bilaga 3. Längs dessa vattendrag förekommer erosion redan vid dagens förhållanden och kan medföra förlust av mark, underminering av konstruktioner vid vattendragen samt medföra att stabiliteten i slänter minskar med risk för skred och ras som följd.

Nedan ges några exempel på sådana områden:

- Norrtälje kommun, utmed Norrtäljeån i de centrala delarna av Norrtälje förekommer moränlera och fyllning eventuellt underlagrad av moränlera;
- Täby kommun, utmed Oxundaån vid dess utlopp i Vallentunasjöns sydvästra delar förekommer siltiga svämsediment;

- Gränsen mellan Gnesta i Södermanlands län och Södertälje kommun, utmed Sigtunaån i öster om Gnesta tätort förekommer siltiga sediment utmed ån;
- Tyresö och Huddinge kommun, utmed Tyresån förekommer svämsediment och sand på en sträcka av ca 600 m vid utloppet i Kalvfjärden, utmed Gudöå mellan Långsjön och Gudövik och utmed Lissmaån mellan Drevviken och Lissmasjön.



Figur 7-2. Slänterosion i ett mindre vattendrag vid Nynäs gods i de västra delarna av Nynäs- hamns kommun. Foto: SGI

7.3.2 Konsekvenser av klimatförändringar

Klimatscenerierna fram till 2100 visar att 100-årstillrinningen kommer att vara oförändrad eller minska med upp till 20 %. Säsongsvist syns en tydlig ökning vintertid och en klar minskning under vår och sommar för samtliga studerade områden.

Sammantaget innebär detta att erosionen lokalt kan öka i slänter vid vattendrag vid kraftiga flöden i de delar av länet där geologiska förutsättningar finns redan idag för erosion enligt Karta 1 och 2, Bilaga 3. Särskild uppmärksamhet behövs där erosion kan innebära risker för bebyggelse och anläggningar i anslutning till sådana vattendrag.

7.4 Sammanfattande slutsatser för erosion längs stränder

Förutsättningar för **erosion längs havskuster och Mälaren** finns främst inom områden där jordmaterialet utgörs av sand och silt. Förutsättningar för erosion finns inom ett stort antal områden längs hela kusten i Stockholms län och för kommuner längs Mälaren. Omfattningen av erosionen i detalj förutsätter att detaljerade höjdm modeller används och

detta har inte ingått i utredningen. För bedömning av hur stora strandnära områden som kan komma att påverkas av erosion har därför använts en modell som bygger på ett samband mellan havsnivåhöjning och påverkan på stränder. Klimatförändringar kommer att medföra en högre havsnivå vilket innebär att områden som tidigare inte utsatts för erosion kommer att påverkas. Samtidigt motverkas detta av den pågående landhöjningen.

Havsnivåhöjningen fram till 2100 bedöms innebära erosion med ytterligare 40-65 m inåt land jämfört med redan pågående erosion. Erosionsförhållandena i Mälaren beror helt av de vattenhushållningsbestämmelserna som kommer att fastläggas. Det innebär att det inte är möjligt att ange hur erosionen längs stränderna kommer att förändras. En eventuell högre nivå av medelvattenytan kommer att ge samma effekt som ovan angetts för kusterna.

Förutsättningar för **erosion längs vattendrag** har inventerats översiktligt för de vattendrag där översvämningskartering har utförts. Det finns sträckor med förutsättningar för erosion längs samtliga vattendrag, som kan medföra förlust av mark, underminering av konstruktioner samt medföra att stabiliteten i slänter minskar med risk för skred och ras som följd.

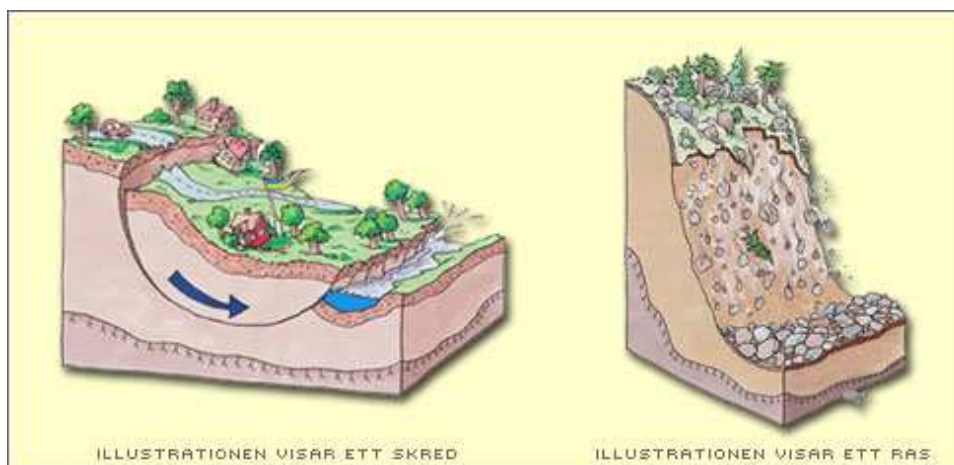
Klimatscenerierna fram till 2100 visar att 100-årstillrinningen kommer att vara oförändrad eller minska med upp till 20 %. Säsongvis syns en tydlig ökning vintertid och en klar minskning under vår och sommar för samtliga studerade områden. Sammantaget innebär detta att erosionen lokalt kan öka i slänter vid vattendrag vid kraftiga flöden i de delar av länet där geologiska förutsättningar finns redan idag för erosion. Särskild uppmärksamhet behövs där erosion kan innebära risker för bebyggelse och anläggningar i anslutning till sådana vattendrag.

8 SKRED OCH RAS

I denna utredning har gjorts en inventering och sammanställning av de karteringar av stabilitetsförhållandena som utförts inom Stockholms län. En sammanställning av inträffade skred i länet och också gjorts. Dessutom har en bedömning av förutsättningar för skred och ras gjorts för de utbyggnadsområden som respektive kommun i länet har tillhandahållit. Stabilitetsförhållandena har bedömts för dagens klimat men en beskrivning av förändringar i framtida klimat redovisas. En sammanfattning finns redovisad i kapitel 8.7.

8.1 Förutsättningar för skred och ras

Skred och ras är exempel på snabba rörelser i jord eller berg som kan orsaka stora skador dels på mark och byggnader inom det drabbade området, dels inom nedanförliggande markområden där massorna hamnar, se *Figur 8-1*. Ett skred eller ras är i många fall en följd av en naturlig erosionsprocess, men kan också utlösas av mänskliga ingrepp i naturen. En gemensam nämnare är att både skred och ras kan inträffa utan förvarning.



Figur 8-1. Illustration av skred och ras i jord.

Skred är en jordmassa som kommer i rörelse och som under rörelsen till en början är sammanhängande. Ytlagrets torra lera, torrskorpan, bryts sönder i stora flak. Jordskred förekommer i finkorniga silt- och lerjordar, så kallade kohesionsjordar, men även i andra jordar med inslag av ler och silt, exempelvis finkornig morän.

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. Berg innehåller större och mindre sprickor som kan leda till att stora block loss görs och faller ned.



Figur 8-2. Skred i Vagnhärad 1997. Foto: SGI.

8.2 Metodik för stabilitetskarteringar

MSB utför översiktliga stabilitetskarteringar i landets kommuner för befintliga bebyggda områden. Karteringen ska utgöra ett stöd i kommunens riskinventering och riskhantering. Avsikten är att kommunen själv ska gå vidare och utföra detaljerade utredningar i områden med otillfredsställande säkerhet.

Eftersom MSB:s kartering är begränsad till befintlig bebyggelse kan det finnas risker för ras och skred inom andra områden som inte är bebyggda eller som har gles bebyggelse. Detta gäller samtliga kommuner och måste beaktas i samband med fysisk planering och exploatering av nya områden. En översiktlig bedömning av förutsättningar för skred och ras inom potentiella utbyggnadsområden har utförts i denna utredning och redovisas i kapitel 8.3.

MSB:s karteringar utförs i olika steg, genom förstudier och huvudstudier. Förstudier genomförs i syfte att avgränsa de områden som ska behandlas vidare i nästa skede, där en mer detaljerad kartläggning utförs.

I Stockholms län har översiktliga karteringar utförts enligt två olika metoder. Metoderna har olika detaljeringsgrad och resultaten redovisas därför med olika färger på Karta 1 och 2, Bilaga 3, utifrån den metod som använts. Metoderna beskrivs närmare i kapitel 8.3. Resultat från förstudier har redovisats för de fall där ingen huvudstudie utförts.

8.3 Inventering av förutsättningar för skred och ras i dagens klimat

8.3.1 Översiktligt karterade områden i Stockholms län

En sammanställning av vilken typ och årtal för utförda stabilitetskarteringar i Stockholms län redovisas i *Tabell 8-1*.

Tabell 8-1. Sammanställning av stabilitetskarteringar utförda i Stockholms län.

Kommun	Stabilitetskartering		Kommentar
	Förstudie	Huvudstudie	
Botkyrka	1995	1995	
Danderyd	1996	-	Ej karterad
Ekerö	1995	1995	
Haninge	-	1996	
Huddinge	1995	1995	
Järfälla	1995	1995	
Lidingö	1996	-	Ej karterad
Nacka	1996	-	Ej karterad
Norrtälje	1996	1999	
Nykvarn	1997	1997	
Nynäshamn	1995	1995	
Salem	1997	1997	
Sigtuna	1997	1997	
Sollentuna	1996	-	Ej karterad
Solna	1996	1999	
Stockholm	1996	1999	
Sundbyberg	1996	1999	
Södertälje	1997	1997	
Tyresö	1996	-	Ej karterad
Täby	1996	-	Ej karterad
Upplands Bro	1997	1997	
Upplands	1995	1995	
Väsby			
Vallentuna	1996	1996	
Vaxholm	1996	-	Ej karterad
Värmdö	1996	-	Ej karterad
Österåker	1996	1999	

8.3.2 Stabilitetskartering efter 1997 (röda områden på karta 1 och 2)

Kommunerna Norrtälje, Solna, Stockholm, Sundbyberg och Österåker i Stockholms län har karterats 1999 med en metod där huvudstudien är indelad i etapp 1a och etapp 1b. Denna metod är den som för närvarande används vid stabilitetskarteringar.

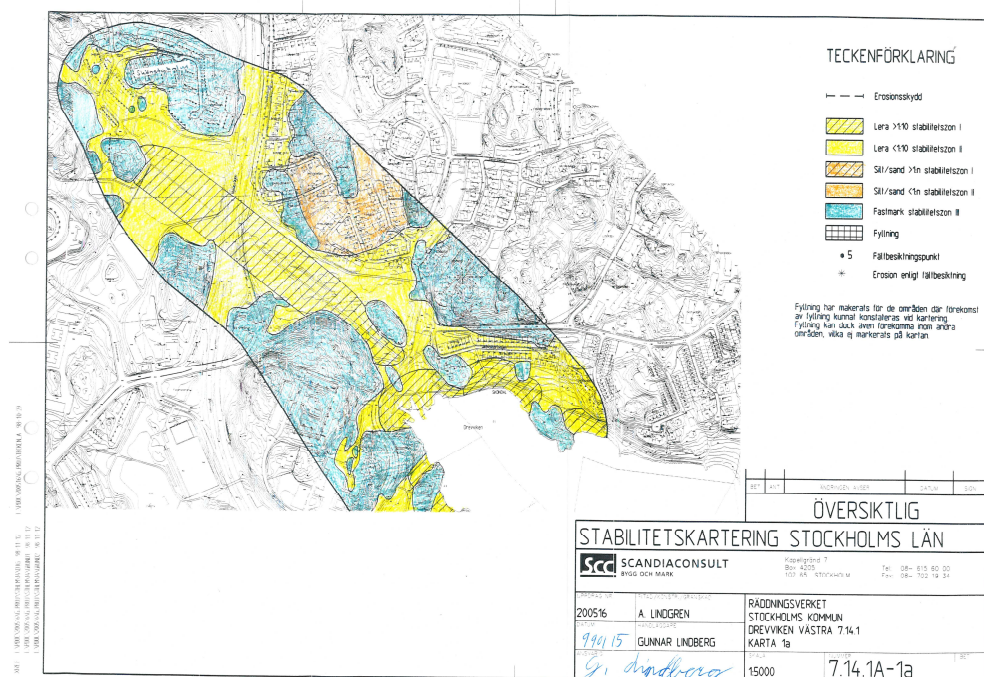
Huvudstudien innebär att stabilitetsförhållandena för slänter innehållande jordlager bestående av lera, silt och sand i bebyggda områden karteras översiktligt. Huvudstudien är indelad i två etapper – etapp 1a och etapp 1b:

- I etapp 1a karteras översiktligt stabilitetsförhållandena med avseende på jordart och topografi.
- I etapp 1b karteras stabilitetsförhållandena översiktligt utifrån fältundersökningar, besiktningar och överslagsberäkningar i särskilt utvalda sektioner och eventuella tidigare utförda stabilitetsberäkningar.

Kriterier för urval i etapp 1a är följande inom områden med lera och silt/sand på lera:

- Mark inom avståndet 10 x slänthöjden räknat från släntfot/strandlinje.
- Mark inom 50 m från strandlinje för sjöar och för större vattendrag (älvar/åar), markerade med dubbla streck på fastighetskartan
- Mark inom 25 m från strandlinjen för vattendrag (bäckar/diken), markerade med dubbla streck på fastighetskartan.

I etapp 1b har områden med förutsättningar för skred och ras utvalda i etapp 1a analyserats noggrannare. Vissa områden kan ”friskrivras” från stabilitetsrisker efter analys i etapp 1b och det är därför oftast färre områden som redovisas i etapp 1b. De återstående områdena anges som ”område som översiktligt inte kan klassas som tillfredsställande stabilt eller område som är otillräckligt utrett” och redovisas med **röd färg** på karta 1 och 2, Bilaga 3.



Figur 8-3. Exempel på redovisning av MSB:s översiktliga stabilitetskartering från Stockholms kommun, Drevviken Västra. (SCC,1999-0-15).

8.3.3 Stabilitetskartering före 1997 (orange områden på karta 1 och 2)

I denna utredning redovisas även områden med förutsättningar för skred och ras enligt MSB:s översiktliga stabilitetskartering utförda enligt en metod som användes före 1997. Denna metod har använts för kommunerna Botkyrka, Ekerö, Haninge, Huddinge, Järfälla, Nykvarn, Nynäshamn, Salem, Sigtuna, Södertälje, Upplands Bro, Upplands Väsby och Vallentuna.

I denna karteringsmodell delas områdena in i zoner med olika stabilitetsförutsättningar baserade på jordart och topografiska förhållanden. Zonindelningen görs i tre zoner, stabilitetszon I, II och III. I denna utredning markeras endast områden, som tillhör stabilitetszon I, där det finns förutsättningar för skred och ras. Kartan över stabilitetsförutsättningarna visar emellertid inte risken för skred och ras eftersom zonindelningen inte utgör något mått på säkerheten utan endast grundförutsättningarna (med hänsyn till jordart och marklutning) för skred och ras.

Kriterierna för stabilitetszon I för områden med lera och silt/sand på lera är samma som angetts i kapitel 8.3.2 för etapp 1a.

Områden med förutsättningar för skred och ras i stabilitetszon I enligt ovanstående redovisas med **orange färg** på Karta 1 och 2. För de markerade områdena gäller att det inte kan säkerställas att stabiliteten är tillfredsställande utan här behöver mer detaljerade utredningar genomföras.

8.3.4 Förstudie för stabilitetskartering (gula områden på karta 1 och 2)

De kommuner där en förstudie men ännu ingen huvudstudie har genomförts är Danderyd, Lidingö, Nacka, Sollentuna, Tyresö, Täby, Vaxholm och Värmdö. I redovisningen på Karta 1 och 2 har områden identifierade i förstudier markerats med **gul färg**.

För de markerade områdena gäller principen att det inte kan säkerställas att stabiliteten är tillfredsställande utan här behöver mer detaljerade utredningar genomföras.

8.4 Förutsättningar för skred och ras inom potentiella utbyggnadsområden

Utförda karteringar av MSB har endast omfattat befintlig bebyggelse. I detta uppdrag har därför en komplettering utförts, där förutsättningarna för skred och ras i kommunernas potentiella utbyggnadsområden har bedömts översiktligt med utgångspunkt från befintligt geologiskt kartunderlag och nivålinjer enligt terrängkarta. Nedan redovisas bedömda förhållanden för de kommuner som lämnat uppgifter om aktuella utbyggnadsplaner (20 av 26 kommuner). Endast områden med förutsättningar för skred och ras redovisas nedan och för dagens klimatförhållanden. Bedömningen av förutsättningar för skred och ras är endast översiktlig och därför redovisas berörda områden endast i text och inte på kartor.

De geologiska förhållandena varierar ofta inom utbyggnadsområdena och därför redovisas endast större sammanhängande områden med finsediment (lera och silt) och med lutande terräng samt belägna i anslutning till vattendrag och sjöar. Inom dessa områden bör undersökningar utföras för att närmare klargöra eventuella risker för skred och ras.

Botkyrka

Aktuella utbyggnadsområden där det finns förutsättningar för skred och ras:

- *L Nackdala*. Området utgörs av fastmark med lerfyllda sprickdalar. Eventuellt kan det finnas lokala stabilitetsproblem utmed diken.
- *Tullinge flygplats*. Området utgörs i de norra och östra delarna av fastmark, men till största delen av finsand underlagrad av minst 13 m finsediment eller kohe-sionsjord (enligt uppgift på jordartskartan). Eventuellt finns risk för lokala skred och ras intill mindre vattendrag i de sydöstra delarna av området.

Ekerö

Aktuella utbyggnadsområden där det finns förutsättningar för skred och ras:

- *Erikssten*. Området utgörs av svallsand och lera. En mindre bäck rinner genom området och mynnar i Mälaren. Eventuellt kan det finnas lokala stabilitetsproblem utmed bäcken.
- Södra delen av *Svartölandet*, ett ca 4 km² stort område som till största delen utgörs av lera med uppstickande fastmarkspartier av berg i dagen och morän. Genom de mellersta och östra delarna söder om golfbanan rinner en mindre bäck, som mynnar i Lullehovssundet. Inom detta område kan det lokalt finnas risk för skred och ras.
- *Berga*. Området utgörs av fastmark, berg och morän samt glaciärrer, som ligger i lutning ner mot ett mindre vattendrag. Här kan det finnas risk för stabilitetsproblem.

Haninge

Aktuella utbyggnadsområden där det finns förutsättningar för skred och ras:

- *Väländan*. Området utgörs till största delen av fastmark, berg och morän med lerfyllda sprickdalar. Här kan det lokalt finnas risk för skred och ras inom lerområdena utmed vattendragen. I de västra delarna finns ett kärr och ett område med gytjelera. En bäck rinner genom området och mynnar i Vedasjön. Risk för sättningar och problem med stabiliteten utmed vattendraget.
- *Vadet*. Området utgörs av svallsand och lera. I lågpunkten rinner en mindre bäck och där kan det lokalt finnas risk för låg stabilitet.
- *Tungelsta*. Området utgörs i de mellersta och norra delarna av lera och silt med en mäktighet av ca 19 m. Vid en bäck har avlagrats svämsediment, lera och silt. I denna delen av området kan det finnas risk för skred och ras. De södra delarna utgörs av fastare lera och berg i dagen.
- *Ribbyholm* (flera mindre planområden söder om Ribbyholm). Dessa områden utgörs av lera, silt och svallsand. Flera mindre diken avvattnar området. Lerdjupet sydöst om Ribbyholm är minst 5 m enligt geologiska kartan. Här kan det lokalt finnas risk för låg stabilitet utmed vattendragen.
- Väster om *Kvarntorp*. Områdets centrala och östra delar utgörs av finsediment, lera och gytjelera medan övriga delar utgörs av fastmark. I de östra delarna rinner ett dike och här kan det lokalt finnas risk för låg stabilitet.
- *Lyckebyn* ligger nordost om Lycksjön. Området utgörs till största delen av fastmark, berg och morän. Genom de centrala delarna, som utgörs av lera och silt rinner en bäck som mynnar i Lycksjön. Utmed bäcken och Lycksjön kan det lokalt finnas risk för skred och ras.

Huddinge

Aktuella utbyggnadsområden där det finns förutsättningar för skred och ras:

- *Norra Korpberget*. Området utgörs i de centrala delarna av lera, sand och svämsediment utmed Vårbybäcken, som troligen delvis är kulverterad. Övriga området utgörs av fastmark, berg och morän. Utmed bäcken kan det lokalt finnas risk för skred och ras.

Järfälla

Aktuella utbyggnadsområden där det finns förutsättningar för skred och ras:

- *Västra Polhem*. Området utgörs till största delen av fastmark, morän och berg, men de södra och västra delarna är låglänta områden som består av lera och organisk jord. Eventuellt kan finnas mycket lokala stabilitetsproblem.
- *Barkabystaden*. Planområdet utgörs till största delen av postglacial lera och i de sydvästra delarna av organisk jord och gyttjelera. Här kan finnas risk för sättningar och eventuellt lokala problem med stabiliteten i de västra delarna. Endast ett litet område längst i nordväst utgörs av fastmark.

Nacka

Inom de angivna exploateringsområdena i *Tollare* och *Ältadalen* finns det enligt den geologiska jordartskartan endast smärre områden med finsediment. Här torde inte finnas några förutsättningar för skred och ras.

Norrtälje

Aktuella utbyggnadsområden där det finns förutsättningar för skred och ras:

- Hamnområdet *Norrtälje*. Området utgörs i de södra delarna utmed kusten av lera, lera överlagrad av gyttjelera och fyllning. Lokalt finns risk för skred och ras.
- *Gransäter* vid hamnområdet utgörs av lera och gyttjelera. Inom dessa områden kan finnas risk för skred och ras.
- *Älmsta 1:31* ligger intill ett vattendrag mellan Ortalaviken och Storfjärden. Området är flackt och utgörs till stora delar av fastmark. Utmed vattnet består marken av lera och lera överlagrad av svallsand. Eventuellt kan det lokalt finnas risk för skred och ras.

Nykvarn

Aktuella utbyggnadsområden där det finns förutsättningar för skred och ras:

- *Nytorp*. Området utgörs av fastmark, morän och berg samt lera och lera överlagrad av svallsand. Eventuellt kan det lokalt finnas risk för ras och skred i områdets västligaste delar.
- *Finkarby*. Området utgörs främst av lera och lera överlagrad av svallsand. Morän- och bergområden förekommer främst i de östra delarna. Genom de centrala delarna sträcker sig en isälvsavlagring i nordväst-sydostlig riktning. I de sydöstra delarna finns ett större område med organisk jord och gyttjelera och i de centrala och västra delarna rinner ett vattendrag, som mynnar i Gripsholmsviken. Inom de sistnämnda områdena kan det finnas risk för ras och skred utmed bäcken.
- *Sättraområdet* utgörs av plan lera med omgivande moränområden. I de centrala delarna rinner en mindre bäck. I lågpartiet kan finnas risk för sättningar och eventuellt lokala stabilitetsproblem utmed vattendraget.

- *Turingeområdet* ligger till stora delar utmed Turingeån, som mynnar i sjön Turingen. Området utgörs av isälvsediment och lera, som kan vara lös. Risk för skred, ras och erosion utmed bäcken.
- Nordvästra *Nykvarn* utgörs av lera ställvis överlagrad av svallsand med omgivande berg- och moränområden. Ett mindre vattendrag som mynnar i Turingeån rinner genom de centrala delarna. Här kan det lokalt finnas risk för skred och ras.
- *Brokvarn*. Området utgörs i de norra och södra delarna av fastmark (berg, morän och isälvsediment) i övrigt av lera, som ställvis är överlagrad av sand och organisk jord. En bäck rinner genom de centrala delarna av området och mynnar sedan i Rimsjön söder därom. Utmed bäcken kan det lokalt finnas risk för skred och ras.
- *Nykvarn – Hökmossen*. De norra och de sydligaste delarna av området utgörs av fastmark, morän och berg medan de centrala delarna utmed de västra delarna av Norra Yngern utgörs av lera, silt och organisk jord (västra delen av Hökmossen). Turingeån rinner genom detta område och utmed ån har också avlagrats svämmediment. Utmed bäcken kan det lokalt finnas risk för ras och skred.

Nynäshamn

En översiktlig klimat- och sårbarhetsanalys för naturolyckor har utförts som underlag till översiktsplanen för Nynäshamns kommun (SGI/SMHI, 2009). De potentiella riskområdena för ras och skred är belägna inom följande områden:

Grödbby, Sunnerby- Spångsbro, Segersäng, Landfjärden, Ösmo, Lidatorp, Stora Vika och Nynäshamn. För närmare beskrivning av dessa områden hänvisas till utredningen för Nynäshamn.

Stockholm

Inom Stockholms stad utgörs planerade exploateringsområden till största delen av förtätning av befintlig bebyggelse. Dessa områden ingår i MSB:s stabilitetskartering och behandlas därför inte här.

Det finns emellertid ett utbyggnadsområde, *Valla gårde* strax norr om Östberga, som tidigare inte är bebyggt. Området är flackt och utgörs av postglacial lera med en mäktighet av 12-22 m enligt jordartskartan. Området avvattnas av mindre diken. Här kan det finnas risk för lokala problem med stabiliteten vid diken.

Sollentuna

Aktuella utbyggnadsområden där det finns förutsättningar för skred och ras utgörs av ett område vid *Svartinge*, väster om Rotebro:

- Områdets östra delar är relativt flacka och utgörs främst av lera med en mäktighet av 10-14 m överlagrad av gyttjelera och organisk jord (söder om Edssjön). Området avvattnas genom ett vattendrag eller större dike som mynnar i Edssjön. Eventuellt kan det finnas lokala stabilitetsproblem utmed vattendraget.
- Områdets västligaste delar utgörs av fastare glaciärrer och morän och berg, varför det sannolikt inte finns någon risk för stabilitetsproblem. Norr om Klubbacken finns emellertid ett större kärrparti med ett vattendrag, där det lokalt kan vara risk för stabilitetsproblem.

Sundbyberg

Aktuella utbyggnadsområden där det finns förutsättningar för skred och ras finns i *Stora Ursvik, Brotorp, Rissne-Hallonbergen-Ör* samt områdena mellan *Brortorp och Hallonbergen-Enköpingsvägen*.

En översiktlig bedömning med hjälp av jordartskartan och terrängkartan visar att geologin inom områdena är ganska likartad. Landskapet är småkuperat och utgörs till största delen av lera med uppstickande kullar och ibland större fastmarkspartier av berg och morän. I lågpunkterna, som utgörs av plan lermark ställvis överlagrad av gyttjelera finns mindre vattendrag och diken. Lokala förutsättningar för skred och ras finns inom områden med lutande lera och lera intill vattendrag inom de flesta av de aktuella utbyggnadsområdena.

Södertälje

Aktuella utbyggnadsområden där det finns förutsättningar för skred och ras:

- *Södertälje tätort*. Marken utgörs till stora delar av grövre sediment, isälvs sediment. Inom sådana områden torde det inte vara några större stabilitetsproblem. Även planområdet nere vid Bränninge strand utgörs till största delen av fastmark, morän och berg. Områdena öster Östertälje i Glasberga och Jakobsdal utgörs till stora delar av fastmark, berg och moränområden med lerfyllda sprickdalar.
- Områdena *Hall, Tvetå, Gerstaberget och Överjärna* utgörs till största delen av lera med uppstickande kullar och ibland större fastmarkspartier av berg och morän. Området Tvetå ligger vid sjön Måsnaren och de norra delarna av Tvetå är låglänta och utgörs av lera och organisk jord. Inom lerområdena förekommer lutande lermark och mindre vattendrag och vid dessa kan det finnas risk för skred och ras.
- *Snorp och Hölö* är relativt kuperade och utgörs av lera med fastmarkspartier av berg och morän. Inom lerområdena förekommer lutande lermark och mindre vattendrag. I dessa områden kan finnas risk för skred och ras samt även risk för ravinbildning.

Tyresö

Tyresö kommun har utfört en utredning av klimatrelaterade ras-, översvämnings- och skredkänsliga områden i Tyresö kommun (2008).

Av de aktuella utvecklingsområden och områden för tätare bebyggelse enligt ovan nämnda rapport finns endast ett område där det finns förutsättningar för skred och ras:

- *Prästholmen* ligger i den nordöstra delen av kommunen vid Erstaviken. Området utgörs till största delen av lera med mindre fastmarkspartier av berg och morän. Inom lerområdena utmed kusten kan det finnas risk för skred och ras.

Täby

Aktuella utbyggnadsområden där det kan finnas förutsättningar för skred och ras är:

- Området vid *Tibble* och galoppbanan samt ett litet område öster därom. Området är relativt flackt och utgörs till största delen av lera med uppstickande partier av berg och storblockig morän främst i de västra och östra delarna. Leran överlagras av gyttjelera i de södra delarna av galoppbanan och mäktigheten är enligt jordartskartan mer än 12 m. Inom detta område kan det lokalt finnas risk för skred och ras.

- *Arninge*. Området, som är beläget söder och sydväst om Ullnasjön, är småkuperat och utgörs av lera med uppstickande fastmarkspartier av berg och storblockig morän. I de nordöstra delarna dominerar fastmarken och bergspartierna är där ställvis branta och höga, med risk för blocknedfall.

Upplands-Bro

Aktuella utbyggnadsområden där det finns förutsättningar för skred och ras:

- *Rättarboda-Tegelbruket* är beläget vid Kvistabergsviken. Området utgörs av fastmark, berg och morän och lera samt fyllning troligen underlagrad av lera. Inom lerområdena utmed kusten kan det finnas risk för skred och ras.
- *Kvista och Bro* ligger söder om järnvägen mellan Stockholm och Enköping. Området utgörs enligt den geologiska jordartskartan av lera med en mäktighet av ca 8 m. Genom området rinner ett vattendrag som mynnar i Brofjärden. Här kan det finnas lokala risker för skred och ras.

Upplands-Väsby

Aktuella utbyggnadsområden där det finns förutsättningar för skred och ras:

- Området enligt "*FÖP Resan från Kairo till Ägge*". Området utgörs i stort av omväxlande lera och fastmark. En dalgång i de nordvästra delarna, som ligger i lutning ner mot en fjärd, Skarven, utgörs dock av silt och sandig lera. Inom detta område kan det finnas risk för ras och skred främst utmed vattendrag.
- *Vällsta*. Inom detta område är det främst i de södra delarna, som det kan vara risk för ras och skred.
- *Bisslinge*. Området utgörs delvis av en golfbana och gränsar till de södra delarna av Edsjön. Stora delar av detta område utgörs av troligen lös lera, gyttjelera och organisk jord. Inom detta område kan det lokalt finnas risk för ras och skred, främst utmed mindre vattendrag.
- *Vällsta*. Stora delar av området utgörs av lös lera, gyttjelera och lera överlagrad av tunn organisk jord. Genom de centrala delarna av området rinner en bäck som mynnar i Edssjön. Inom detta område kan det finnas risk för ras och skred främst utmed vattendraget.
Kolartorp. Området utgörs av lera överlagrad av gyttjelera och organisk jord. Mindre diken finns i den södra delarna av området.
- *Wäckare äng*. Området ligger i de nordvästra delarna av Upplands-Väsby i lutning ner mot Väsbyån. Området utgörs av lös postglacial lera och fastare glacial lera. Här kan det finnas risk för ras och skred närmast ån.
- *Området "FÖP Sydost"*. Det är främst i områdena kring Fornboda och vidare ner mot sydost till sjön Fjäturen, som det kan finnas risk för ras och skred. Marken utgörs av postglacial lera, som inom vissa områden överlagras av organisk jord och gyttjelera. Området avvattnas av två större diken, som mynnar i Norrviken.

Vallentuna

Aktuella utbyggnadsområden där det finns förutsättningar för skred och ras:

- Norr om *Kårsta* utgörs området av lera med uppstickande kullar av berg och morän. I de västra delarna utmed Lillån kan det finnas risk för skred och ras.
- *Västanberga* utgörs främst av fastmark i de norra delarna och lera i de södra delarna. I de sydöstra delarna utmed Lillån finns svämsediment och här kan det finnas risk för ras och skred.

- *Lindholmen* väster om Storsjön. Östra delarna av området utmed Storsjön och Lillsjön utgörs av organisk jord och gyttjelera. I övrigt utgörs området av lera och gyttjelera med kullar av berg och morän. Det kan finnas risk för skred och ras dels utmed sjöarna, dels utmed de mindre vattendrag och diken som avvattnar området.
- *Molnbyområdet* utgörs av omväxlande lera och fastmarksområden, morän och berg. I lågpunkterna finns gyttjelera och organisk jord. Enligt jordartskartan kan lerdjupet vara minst 16 m i de södra delarna. Det kan finnas risk för skred och ras utmed de vattendrag och diken som avvattnar området.
- *Vallentuna (nordost om Kyrkviken)*. Området utgörs till största delen av lera med en mäktighet av ca 10-12 m enligt jordartskartan med mindre fastmarkskullar av berg och morän. De centrala delarna av området avvattnas av ett vattendrag som mynnar i Kyrkviken. Här och utmed några mindre vattendrag kan det finnas risk för ras och skred.
- *Gillinge*. Området utgörs till största delen av lera och organisk jord (i lågpunkterna) med uppstickande berg- och moränområden. Området avvattnas av flera diken och här kan det finnas risk för ras och skred.
- *Sundby* ligger vid Husaån, som mynnar i Garnsviken. Området utgörs främst av lera och gyttjelera samt svämsediment utmed ån. I de västra och östra delarna av området dominerar fastmark, berg och morän. Enligt jordartskartan kan lerdjupet uppgå till minst 10 m och det finns risk för skred och ras utmed de vattendrag och diken som avvattnar området. Risk för skred och ras finns utmed Husaån och vid flera andra mindre vattendrag och diken som avvattnar området.

Vaxholm

Aktuella utbyggnadsområden där det finns förutsättningar för skred och ras:

- *Rindö*. Sydöstra delarna vid Grisselmaren utgörs av lera och här kan det finnas risk för ras och skred i de kustnära områdena.
- *Kullö*. De västra delarna vid Kyrksundet utgörs av lera och lera överlagrad av gyttjelera, där det kan finnas risk för ras och skred.
- *Resarö* sydost om Ytterby. Området utgörs av lera och lera överlagrad av gyttjelera, här kan finnas risk för ras och skred.

Österåker

Aktuella utbyggnadsområden där det finns förutsättningar för skred och ras:

- *Norrö* sydvästra delarna och *St Stava* sydöstra delarna. De områden, som ligger vid Stavaviken utgörs av lera och gyttjelera. Här kan det lokalt finnas risk för skred utmed de mindre vattendrag och diken som avvattnar området.
- *Åkersberga, vid Tunafjärden, Näs, vid Täljeviken och Svinninge, vid Täljeviken och Svinningeviken*. Inom dessa områden utgörs marken till stora delar av gyttjelera och lera överlagrad av gyttja med 0,5 m mäktighet. Här kan finnas risk för skred och ras utmed kusten och utmed Åkers kanal, men även lokalt utmed mindre vattendrag och diken. I södra delarna av området Svinninge, vid Överbysfjärden finns det vikar med gyttjelera och lera och även här kan det finnas risk för skred och ras.
- *Brevik*, söder och sydvästra delarna av området vid ett antal mindre vikar vid Trälhavet. Här förekommer på flera ställen lera, överlagrad av gyttjelera och tunn ytlig organisk jord. Inom dessa områden kan det finnas risk för skred och ras.

- *Södra Ljusterö*, västra delarna vid Edsviken. I de norra delarna av viken och vidare ca 1,5 km mot nordost förekommer gyttjelera och lera. De centrala delarna av området avvattnas av diken, som mynnar i Edsviken. I de kustnära områdena och lokalt utmed dikena kan det finnas risk för skred och ras.
- *Roslagskulla*. Ett antal områden utmed kusten utgörs av lera, som inom vissa partier överlagras av gyttjelera. Ett större vattendrag, Loån, rinner från Losjön genom de centrala delarna av området och mynnar i havet. Vid kusten och utmed Loån kan finnas risk för skred och ras.

8.5 Inträffade skred i Stockholms län

Uppgifter om inträffade skred och ras i länet har hämtats från SGI:s skreddatabas där uppgifter finns lagrade fram till 2001. En förfrågan har sänts till samtliga kommuner i länet om eventuella skred/ras som inträffat efter 2001 och svar har lämnats av 14 kommuner. Resultatet blev två uppgifter om skred från 2001-2010, varav ett utgörs av skred i en deponi för jord- och bergmassor. Det andra var ett bergskred vid Linavägen i Södertälje. De nyinkomna uppgifterna har lagts in i SGI:s skreddatabas.

På karta 1 och 2, Bilaga 3, redovisas samtliga dokumenterade inträffade skred i länet. Totalt finns ett 10-tal skred och ras redovisade för Stockholms län.

8.6 Konsekvenser av klimatförändringar

Skred och ras till följd av klimatförändringar beror helt på de lokala förutsättningarna, vilket innebär att en beskrivning av ändrade stabilitetsförhållanden endast kan göras i generella termer.

De klimatförhållanden som främst påverkar naturolyckor är nederbörd, flöden och nivåer i hav, sjöar och vattendrag. Ökad nederbörd påverkar jordars stabilitet negativt och ökar faran för skred och ras genom att ett ökat vattentryck i markens porer minskar hållfastheten. Grundvattenförändringar påverkar portrycket i jorden. Ökad nederbörd kan också leda till ökad avrinning och erosion som påverkar släntstabiliteten. Intensiva regn och vattenmättade jordlager ökar också benägenheten för skred i moränmark och slamströmmar. Vattennivåerna i vattendrag sjunker under vissa sommarperioder och medför att den mothållande kraften i strandslänter minskar. Detta medför att skredrisken kan öka i det fall markens vattentryck fortfarande är förhöjt.

Klimatförändringar påverkar även frekvensen av ras i berg. En ökad växling av varmt och kallt väder, så kallade nollgenomgångar, kan innebära att vatten i bergets sprickor fryser och kan lösgöra bergmaterial som rasar utför bergsidan. Bergras och blocknedfall förekommer i naturligt formade branta bergslänter men bedöms framför allt vara ett problem för bergsidor som är framsprängda eller framschaktade i samband med anläggningsprojekt för exploatering av mark.

I kapitel 4-6 beskrivs förväntade förändringar av klimatet i Stockholms län. Resultaten visar en successiv ökning av årsmedelnederbörden under resten av seklet, där ökningen är störst under vinterhalvåret. Medelnederbörden i länet beräknas öka med 10-30 % på årsbasis till 2100. De förändrade nederbördsförhållandena kommer att påverka yt- och grundvattennivåer, portryck i marken samt vattenföring och vattennivåer i vattendragen. Samtliga dessa förändringar kan var för sig eller i kombination öka risken för skred och ras.

SGI har genomfört en studie där det har undersökts hur jordslänters säkerhet mot stabilitetsbrott förändras vid förändrat klimat (Hultén et al., 2005). Det är främst effekten av ökade nederbördsmängder som har studerats och de ger effekt på t.ex. förändrade vattennivåer i vattendrag, höjd grundvattenyta och ökade portryck samt ökad erosion. I Bilaga 2 finns ett utdrag ur rapporten med två typfall som representerar geotekniska förhållanden i Stockholms län med Mälardalens geologiska förhållanden. Många av dessa slänter har ett vattendrag vid släntfoten. Ökade vattenflöden och strömningshastighet i vattendraget resulterar i ökad erosion som inverkar negativt på säkerheten. Påverkan blir emellertid mindre om vattennivån i vattendraget stiger eftersom det vattentryck som påverkar slänten har en stabiliserande verkan. Om vattennivån i vattendraget däremot sjunker undan snabbare än vattentrycket i slänten uppstår ett kritiskt läge när det gäller säkerheten mot skred och ras.

Förändrade grundvattennivåer och porvattentryck till följd av klimatförändringar kommer enligt SGI:s rapport (Hultén et al., 2005) att medföra en försämring av säkerheten för slänter i lera och silt. Beräkningarna visar att säkerhetsfaktorn (förhållandet mellan mothållande och pådrivande krafter) kan komma att minska med mellan 5 och 30 %. Det betyder att för områden som idag anses vara stabila, utifrån de rekommendationer som finns, kan förstärkningsåtgärder behöva vidtas.

I SGI:s studie visades att vid 40 % högre nederbörd hade grundvattennivåhöjningar mellan 0–0,9 m uppmätts. I typfallen valdes därför en höjning av grundvattennivån med 1 m. Regionalt varierar dock grundvattennivåer och portryck och är beroende av flera faktorer såsom jordart, topografi, avrinningsområden etc. I Stockholms län förväntas nederbördsmängderna öka med 10-30 % fram till 2100 och effekterna blir inte fullt lika stora som i typfallen. Förändringarna kan dock bli så stora att hänsyn till klimatförändringar måste tas i den fysiska planeringen och vid bedömning av konsekvenser för befintlig bebyggelse.

Sammanfattningsvis kan konstateras att klimatförändringar visar att nederbörden kommer att öka. Vattenföringen i vattendragen kommer att bli lägre under sommarperioden, vilket innebär lägre vattennivåer än i dag. Ökade flöden kan förväntas under vintern och hösten vilket kan leda till större erosion. Dessa förändringar ökar riskerna för skred och ras inom områden med otillfredsställande stabilitet för dagens förhållanden. Det innebär också att det inom ytterligare områden kan komma att finnas slänter som inte har erforderlig stabilitet och för vilka åtgärder behöver vidtas.

8.7 Sammanfattande slutsatser för skred och ras

Översiktliga **stabilitetskarteringar** har utförts av MSB för befintliga bebyggda områden och redovisar områden med otillfredsställande säkerhet mot skred och ras för dagens klimat och där det finns behov av att utföra detaljerade utredningar. Karteringarna har olika detaljeringsgrad och i den sammanställning som gjorts i denna utredning redovisas olika typer av utredningar med olika färger på kartor. Karteringarna visar att det finns Områden med otillfredsställande stabilitet finns inom flera kommuner i länet.

De översiktliga karteringarna omfattar endast befintlig bebyggelse och en komplettering har därför utförts, där förutsättningarna för skred och ras i dagens klimat inom kommunernas potentiella utbyggnadsområden bedömts översiktligt. Sammanställningen omfattar

tar de kommuner som har lämnat uppgifter om aktuella utbyggnadsplaner. Det finns ett eller flera områden där risker för skred och ras behöver undersökas närmare.

Inträffade skred och ras i länet har sammanställts från SGI:s skreddatabas och uppgifter från länets kommuner. Totalt finns ett 10-tal skred och ras redovisade för Stockholms län.

De **klimatförhållanden** som främst påverkar naturolyckor är nederbörd, flöden och nivåer i hav, sjöar och vattendrag. Förändrade grundvattennivåer och porvattentryck till följd av klimatförändringar kan komma att medföra en försämring av säkerheten för slänter i lera och silt. Det betyder att för områden som idag anses vara stabila, utifrån de rekommendationer som finns, kan förstärkningsåtgärder behöva vidtas.

Konsekvenserna för skred och ras till följd av klimatförändringar beror helt på de lokala förutsättningarna, vilket innebär att en beskrivning av ändrade stabilitetsförhållanden endast kan göras i generella termer. I en utredning som SGI utfört för vissa typiska geologiska förhållanden i Sverige har bedömts att stabiliteten kan försämrats med 5-30 % vid ökad nederbörd till följd av klimatförändringar. I Stockholms län förväntas nederbördsmängderna inte öka lika mycket och effekterna inte fullt lika stora som i typfallen. Förändringarna kan dock bli så stora att hänsyn till klimatförändringar måste tas i den fysiska planeringen och vid bedömning av konsekvenser för befintlig bebyggelse.

Sammanfattningsvis kan konstateras att klimatförändringar visar att nederbörden kommer att öka, vilket ökar riskerna för skred och ras inom bebyggda områden med otillfredsställande stabilitet för dagens förhållanden. Det innebär också att det inom ytterligare områden kan komma att finnas slänter som inte har erforderlig stabilitet och för vilka åtgärder behöver vidtas.

9 BEHOV AV KOMPLETTERANDE UTREDNINGAR

Denna utredning på länsnivå har varit av översiktlig karaktär och har visat var det finns områden med potentiella risker för naturolyckor för dagens klimat. I flera fall kommer dessa risker att öka vid ett förändrat klimat. Detta ligger som underlag för var det finns behov av fortsatta utredningar. Det finns utbyggnadsplaner inom flera kommuner i länet och det är därför angeläget att vid översikts- och detaljplanering ta hänsyn till konsekvenserna av ett förändrat klimat.

Kompletterande detaljerade utredningar bör genomföras som underlag för fysisk planering och anpassningsåtgärder för befintlig bebyggd miljö. Utredningarna bör klargöra var det finns förutsättningar för skred, ras, erosion och översvämning och utredningarnas omfattning och detaljeringsgrad beror på syfte och användning av resultaten, t.ex. för översikts- och detaljplanering, byggande eller anpassning av befintlig bebyggd miljö.

De framtida beräknade havsnivåerna kan komma att förändras efterhand som ny kunskap utvecklas. Under tiden är det viktigt att följa och värdera nya forskningsresultat efterhand som de redovisas. Konsekvenser av framtida havsnivåer och risker för naturolyckor bör studeras vidare.

Detaljerade studier av översvämningsrisker längs vattendrag bör utföras. Den nya nationella höjdmodellen kommer att ge bättre höjddataunderlag. Motsvarande underlag för batymetri (bottentopografi) i hav, sjöar och vattendrag erfordras.

De pågår ett utvecklingsarbete inom den utredning av stabilitetsförhållanden längs Göta älv som SGI för närvarande utför där klimatförändringarnas påverkan på grundvattennivåer och portryck undersöks. Resultaten från denna utredning kan även användas vid mer detaljerade studier i Stockholms län för att närmare klargöra förutsättningarna för skred och ras för befintlig bebyggelse och vid ny exploatering vid framtida klimatförändringar så att eventuella riskområden kan undvikas eller förebyggande åtgärder vidtas.

10 REFERENSER

Andreasson, J. och Gustavsson, H. (2010). Förslag på Mälarens framtida reglering – Slutrapport fas 3. SMHI-rapport nr. 2010-16.

Andréasson, J. och Hellström, S-S. (2008). Tappningsanalys för Mälaren utgående från flödet år 2000 omskalat till olika återkomsttider, SMHI-PM 2008-10-22.

Deltacommissie (2008). Working together with water - A living land builds for its future. Findings of the Deltacommissie 2008.

www.deltacommissie.com/doc/summary.pdf. Januari 2011.

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 förändrat klimat. SGI Varia 560:1.

Granath L (2003). Fartygstrafik och stranderosion i Stockholms skärgård - Skadeinventering, vågenergimätningar och metoder för miljöövervakning. Forskningsstiftelsen Tornspiran. Stockholm.

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, 996 p.

Lantmäteriet (2008). Lantmäteriets nyhetsbrev nr 2, 2008-12-11

Lindström, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M. och Bergström, S. (1997). Development and test of the distributed HBV-96 model. Journal of Hydrology, 201, 272-288.

Länsstyrelsen i Stockholms län (2010). Båtars vågor väcker frågor – stranderosion i Stockholms mellanskärgård.

MSB:1. Översiktliga stabilitetskarteringar utförda i Stockholms län.

<http://msb.se/sv/Forebyggande/Naturolyckor/>. Januari 2011.

MSB:2. Översiktliga översvänningskarteringar:

- Räddningsverket (2001). Översiktlig översvänningskartering för Mälaren, Rapport 22.
- Räddningsverket (2007). Översiktlig översvänningskartering längs Norrtäljeån sträckan Husby-Sjuhundra till mynningen i havet. Rapport 57.
- Räddningsverket (2007.) Översiktlig översvänningskartering längs Oxundaån sträckan Vallentunasjön till utloppet av Oxundasjön, Rapport 58.
- Räddningsverket (2007). Översiktlig översvänningskartering längs Tyresån, Rapport 59.

Nakićenović, N. and R. Swart (eds.) (2000). Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate

Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp.

Rodhe, A., Lindström, G., Dahné, J. (2009). Grundvattennivåer i ett förändrat klimat. http://www.sgu.se/dokument/fou_extern/Rodhe-Lindstrom-Dahne_2009.pdf

SGI (2009). Översiktlig klimat- och sårbarhetsanalys – naturolyckor. Underlag till översiktsplanen för Nynäshamns kommun. SGI/SMHI, dnr 2-0903-0208.

SGI (2010). Omfattning av stranderosion i Sverige. Översiktlig kartläggning av erosionsförhållanden. Statens geotekniska institut, Linköping. http://www.swedgeo.se/templates/SGIStandardPage_1056.aspx?epslanguage=SV Januari 2011.

SGU. Jordartskartor över Stockholms län, SGU Ser Ae i skala 1:50 000 från år 1964-2001.

SMHI (2010). Regional klimatsammanställning – Stockholms län. SMHI-rapport 2010-78. SMHI, Norrköping.

Svensk Energi, Svenska Kraftnät och SveMin (2007). Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar – Nyutgåva 2007.

Tyresö kommun (2008). Avrapportering Krös- utredning av klimatrelaterade ras-, översvämnings- och skredkänsliga områden i Tyresö kommun”, CD från Tyresö kommun.

Yacoub, T., Westman, Y., Sanner, H., Samuelsson, B. (2005). Detaljerad översvämningskartering för Eskilstunaån, ett projekt inom KRIS-GIS , SMHIs Rapportserie Hydrologi nr 98, Norrköping.

Översiktskarta över de geologiska förhållandena i Stockholms län. Utdrag ur Sveriges jordarter – en översikt, WMS-tjänst från Sveriges Geologiska Undersökning, SGU, hämtad 2010-11-09.

Översvämningshot. Risker och åtgärder för Mälaren, Hjälmaren och Vänern. Delbetänkande från Klimat- och sårbarhetsutredningen. SOU 2006:94.

Bilaga 1**Riskområden för skred, ras, erosion och översvämning i Stockholms län -
för dagens och framtidens klimat****Förteckning över GIS-skikt****Samtliga data i system SWEREF99 TM**

Beskrivning	Format	Typ
Redovisningskartor	Pdf	Kartdokument
Projektfil innehållande samtliga lager	Mxd	ArcMap projektfil
Förutsättningar för erosion Underlag: SGI:s översiktliga inventering av strand- erosion	Shape+lyr	Linje
Översvämningsområden vid Beräknat högsta flöde Underlag: MSB:s översiktliga översvämningskarter- ingar	Shape+lyr	Polygon
Översvämningsområden för 100-årsflöde Underlag: MSB:s översiktliga översvämningskarter- ingar	Shape+lyr	Polygon
Utredningsområde – ras och skred Underlag: MSB:s översiktliga stabilitetskarteringar	Shape+lyr	Polygon
Inträffade ras och skred Underlag: SGI skreddatabas och uppgifter från kommuner	Shape+lyr	Punkt

Bilaga 2

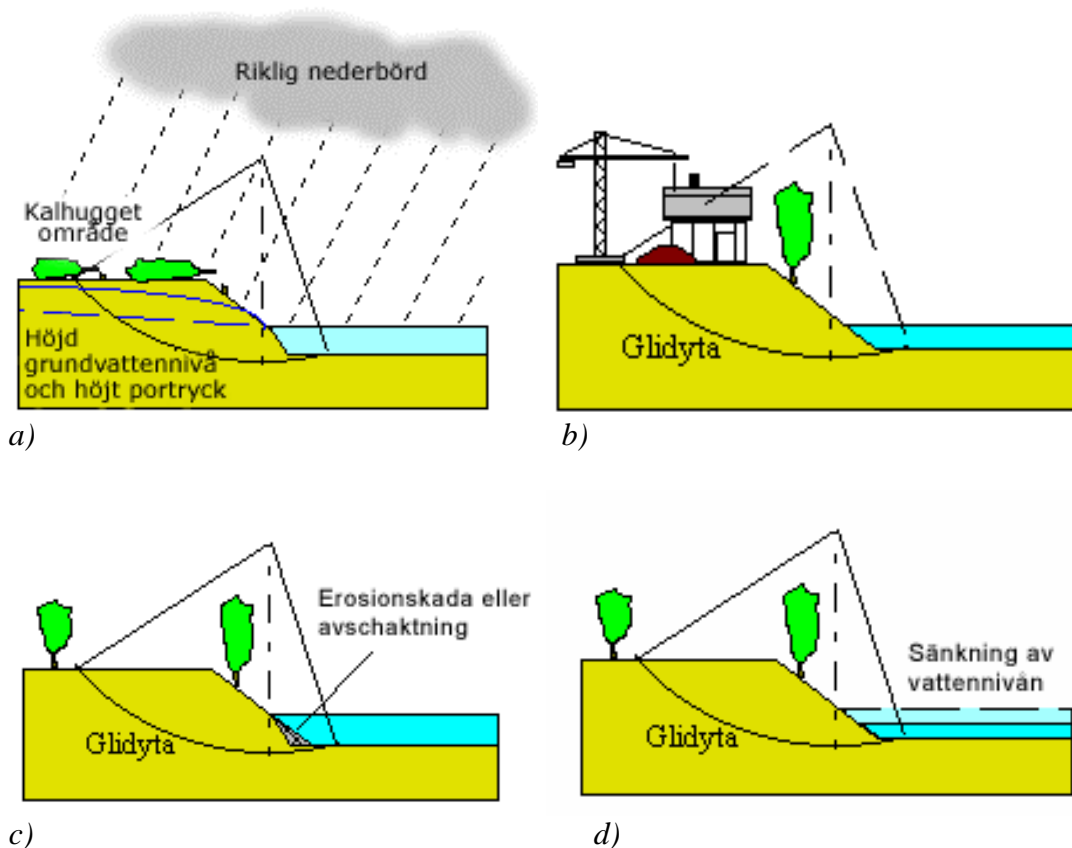
Riskområden för skred, ras, erosion och översvämning i Stockholms län - för dagens och framtidens klimat

Släntstabilitet vid förändrat klimat

Nedan redovisas en översiktlig beskrivning av de förhållanden som har betydelse för slänters stabilitet och hur olika typer av förändringar kan påverka stabiliteten och medföra skred och ras. Texter och figurer har hämtats och delvis bearbetats från rapporten "Släntstabilitet i jord. Underlag för att förutse och förebygga naturolyckor vid förändrat klimat" (Hulten et al., 2005).

Allmänt

Stabilitetsförhållandena i en slänt styrs av släntens höjd, lutning och jordlagrens hållfasthetsegenskaper och tyngd, men även grundvattennivå och portryck (*Figur B-1a*) samt yttre faktorer påverkar. Yttre faktorer är bland andra belastningar i anslutning till slänten (*Figur B-1b*), erosion i släntfot (*Figur B-1c*) samt vattennivån i ett eventuellt vattendrag nedanför slänten (*Figur B-1d*). Vattennivån i vattendraget fungerar som en stabiliserande motvikt i slänten samtidigt som en ökad vattenströmning ökar erosionen i vattendraget, som i sin tur leder till minskad motvikt.



Figur B-1. Exempel på orsaker till försämrad stabilitet som höjda grundvattennivåer/portryck (a), yttre belastning av t. ex. byggnad, upplag etc. (b), erosion (c) sänkning av vattennivå (d).

Säkerhetsfaktorn, F , som ofta används för att beskriva stabilitetsförhållanden i slänter, definieras som förhållandet mellan mothållande krafter (skjuvhållfasthetens medelvärde utefter en tänkt glidyta, τ_f) och motsvarande pådrivande krafter (mobiliserade skjuvspänning, τ_{mob}):

$$F = \tau_f / \tau_{mob}$$

Ju större F är desto större säkerhet mot brott. När den framräknade säkerhetsfaktorn är 1 eller lägre betraktas slänten som instabil och ett skred eller ras är troligt.

Nederbörds mängdens betydelse på släntstabilitet – Typfall

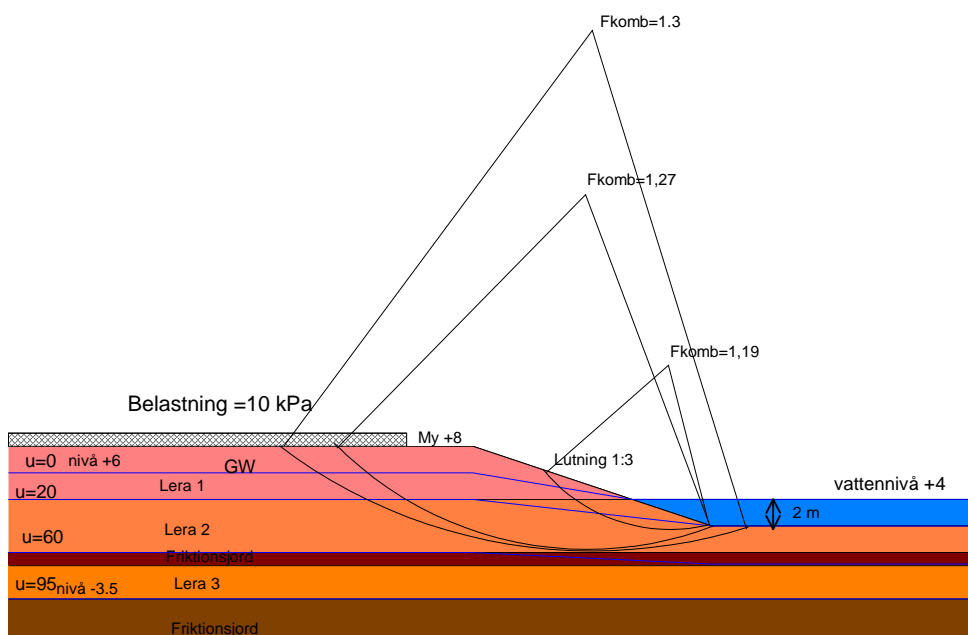
I rapporten har speciellt studerats effekten av de faktorer som påverkas av klimatförändringar, dvs. höjda och sänkta vattennivåer i vattendrag, höjd grundvattenyta och ökade portryck samt ökad erosion. Fyra olika exempel med skilda geotekniska förutsättningar har studerats. För beräkningarna har så kallad kombinerad stabilitetsanalys utförts. I en kombinerad analys väljs, för varje del av glidytan, det lägsta alternativet av dränerad och odränerad hållfasthet. Den beräknade säkerhetsfaktorn anges med beteckningen F_{komb} .

I studien har konstaterats att för en 40 % höjning av nederbörden hade grundvattennivåhöjningar mellan 0 – 0,9 m uppmätts. I redovisade typfall har därför valts att ansätta en höjning av grundvattennivån med 1 m. Regionalt varierar dock grundvattennivåer och portryck och är beroende av flera faktorer såsom jordart, topografi, till- och ytavrinningsområden etc.

En svårighet är att förutsäga grundvattentryckets genomslagskraft på portrycket i olika geologiska miljöer samt tidsaspekten av denna. Att ökad nederbörd relativt snabbt påverkar material med hög permeabilitet (genomsläpplighet), exempelvis sand, är ett känt faktum. Stor osäkerhet råder dock om hur portryck påverkas och hur lång tid det tar när ett material med hög permeabilitet överlagras av ett mäktigt lager lera, som har låg permeabilitet, samt hur långvariga och kraftiga regn det krävs för att portrycket ska byggas upp till kritiska nivåer.

Typfall för Stockholms län

Från studien redovisas två typfall som representerar de geotekniska förhållandena i Stockholms län med Mälardalens geologiska förhållanden. Typfallet i *Figur B-2* är en lerslänt med ett vattendrag vid släntfoten. Fallet kan representera en slänt med mindre lermäktighet, ca 10-15 m. Det finns ett genomsläppligt skikt av friktionsjord inlagrat i leran. Om enbart grundvattentrycket i friktionsjordslagret höjs, t.ex. vid framtida klimatförändringar, minskar säkerhetsfaktorn från ursprungligen 1,2-1,3 för dagens förhållanden till under eller omkring 1, det vill säga sannolikheten för ett skred är stor. Detta gäller till exempel vid ett kort häftigt regn eller att vattnet i ett vattendrag sjunker undan men grundvatten- och portrycksnivån i jorden fortfarande är hög. Om dessutom erosionen ökar, på grund av ökad strömning i vattendraget, kommer säkerhetsfaktorn att ytterligare minska. Detta medför att sannolikheten ökar för att slänten blir instabil eller att bakåtgripande skred kan inträffa.



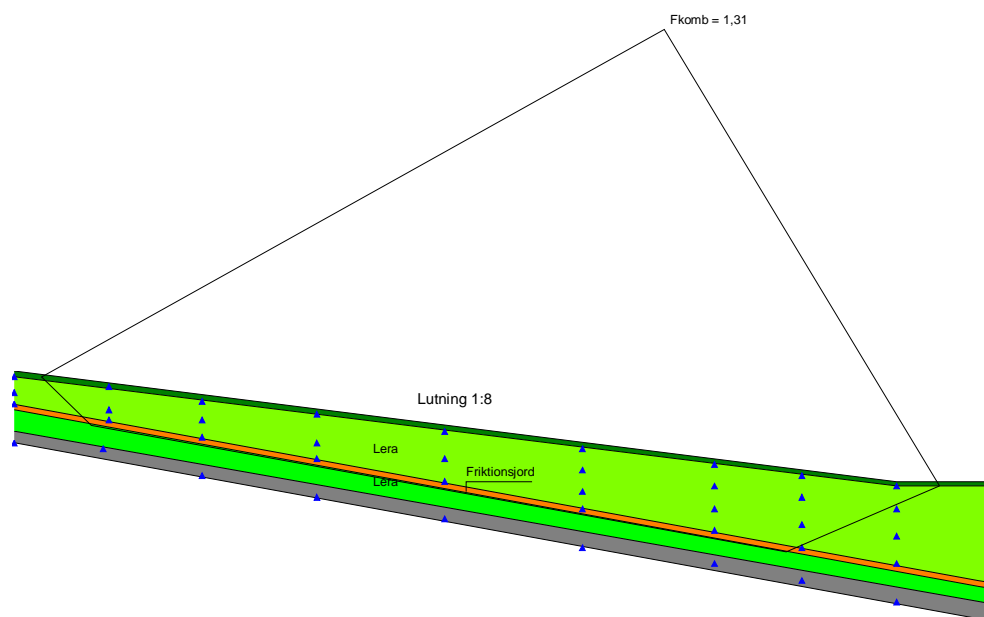
Figur B-2. Exempel på en typslänt som beräknats för nya klimatförutsättningar. I figuren visas stabilitetsförhållandena för dagens förhållanden.

I Figur B-3 visas ett typfall med en långsträckt lerslänt som innehåller ett lager av genomsläpplig friktionsjord. Leran ovan friktionsjordslagret har en varierande mäktighet mellan 4 och 12 m. Leran under lagret har en mäktighet mellan 2 och 4 m. Denna typ av slänt är vanlig i områden med lerjordar i närheten av fastmark eller sluttande terräng, med olika lokala förutsättningar på jordmäktigheter och hållfasthetsegenskaper.

För de rådande förutsättningarna är i detta typfall säkerhetsfaktorn mot stabilitetsbrott 1,35 när glidytan berör friktionsjordslagret. Ökad nederbörd eller kraftigt regn medför en höjning av portrycksnivån som här bedömts till 1 m och som är genomgående för hela jordprofilen. Inverkan på säkerhetsfaktorn blir liten, 2-3 %, i jämförelse med ursprungsförhållandena. En känslighetsanalys visar att det artesiska trycket i skiktet skulle behöva ökas motsvarande 5 m vattenpelare för att slänten ska bli instabil. Effekten av klimatförändring med höjd portrycksnivå eller artesiskt tryck i skikt blir således liten i detta fallet.

Säkerheten mot stabilitetsbrott beror emellertid på mäktigheten av lerjorden ovan friktionsjorden. Vid ett ökat portryck minskar säkerhetsfaktorn om djupet till friktionsjorden är litet. Består jorden över friktionsjordslagret av lera med låg hållfasthet kommer den farligaste glidytan i stället att uppkomma i leran. Effekterna av portrycksförändringarna i en långsträckt slänt är därför mycket beroende av de lokala förutsättningarna.

I täta jordar innebär en ökad nederbörd högre portryck som inverkar negativt på hållfastheten. Slänter av tät jord kan ibland innehålla lager av genomsläppliga jordar så som visats i ovanstående exempel. I dessa lager kan ett vattenöverttryck uppstå i samband med hög nederbörd. Innan trycket har utjämnats innebär det en försämring av säkerheten mot stabilitetsbrott.



Figur B-3. Exempel på en långsträckt typslänt som beräknats för nya klimatförutsättningar. Figuren visar en lerslänt som visar säkerhetsfaktorn vid höjd portrycksnivå 1 m.

Sammanfattning av analys av typfall

Sammanfattningsvis visar de typfall som studerats att de förändringar av portryck och grundvattennivåer som en klimatförändring kan innebära ger en försämring av stabiliteten jämfört med dagens situation. Speciellt tydligt är detta vid snabba, kortvariga förändringar till exempel häftiga regn som tillsammans med ökad erosion i vattendragen kvantitativt leder till stor försämring av stabilitetsförhållandena. Detta kan speciellt komma att påverka områden som ligger i anslutning till vattendrag och särskilt i erosionskänslig jord. I slänter med små djup till vattenförande skikt med snabbare påverkan av grundvattentrycket försämras stabilitetsförhållandena också mer än vid stora lerdjup.

Påverkan blir mindre om nivån i vattendragen stiger samtidigt som höjningen av portryck och grundvattennivån i jorden går långsamt, till exempel vid områden med mäktiga lager av tät, lågpermeabel, jord som lera.

Slänter som är på gränsen till att vara instabila för nuvarande portrycksförhållanden kan, med ökad nederbörd och ökad erosion, bli instabila redan vid små förändringar. Sådana naturliga slänter har genom naturliga processer ofta "ställt in sig" så att stabilitetsförhållandena nätt och jämnt motsvarar en säkerhetsfaktor 1,0. Vid försämringar genom till exempel förhöjda portrycksnivåer eller erosion finns därför inga marginaler utan sannolikheten för skred och ras kommer att öka.

Skredkommissionens rapport 3:95 "Anvisningar för släntstabilitetsutredningar" ger rekommendationer på erforderliga säkerhetsfaktorer. Dessa säkerhetsfaktorer varierar med avseende på typ av markanvändning och utredningsskede. För befintlig bebyggelse re-

kommenderas för en s.k. detaljerad utredning att säkerhetsfaktorn för kombinerad analys bör ligga på minst 1,35-1,45.

I de olika typfallen som studerats erhöles minskade säkerhetsfaktorer på grund av ökad portrycks- och grundvattennivå samt erosion på mellan 5 och 30 %. Detta innebär att för en slänt som idag precis uppfyller den rekommenderade säkerhetsfaktorn kommer säkerhetsmarginalen att minska. En slänt som idag har en säkerhetsfaktor av 1,35 och som får en minskad säkerhet med 30 % kommer att bli instabil, det vill säga säkerhetsfaktorn minskar till mindre än 1. Vid 10 % minskning av säkerheten fås en säkerhetsfaktor av 1,2 och vid en 20 % minskning en säkerhetsfaktor på 1,1. Redan små procentuella minskningar inverkar alltså snabbt på säkerhetsmarginalen till att skred eller ras skall uppstå.

Bilaga 3

Riskområden för skred, ras, erosion och översvämning i Stockholms län - för dagens och framtidens klimat

Kartredovisning

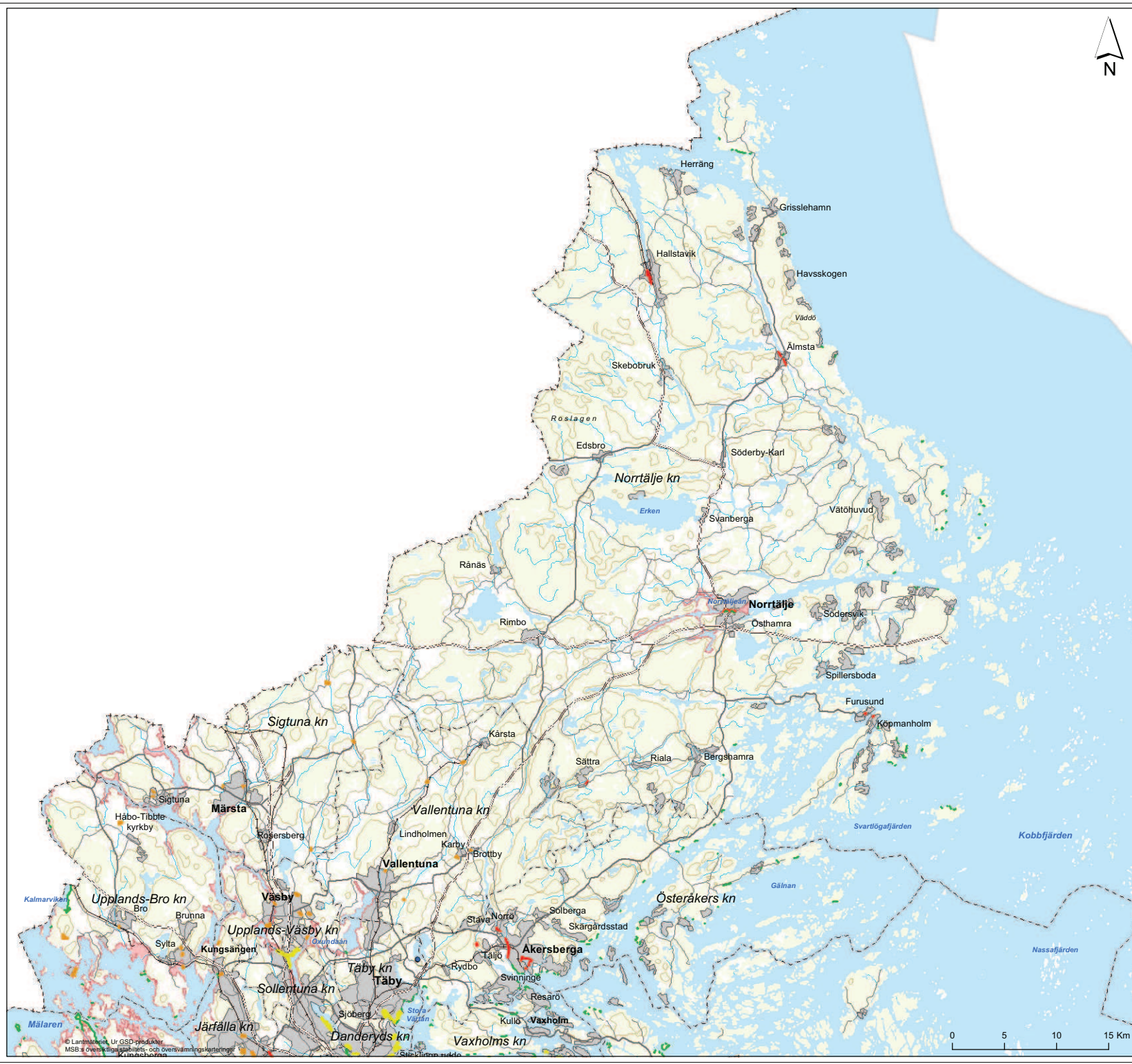
Resultaten av utredningen redovisas som beskrivande text och tillhörande kartor. Kartorna är utförda i skala 1:250 000 och avsedda för utskrift i format A2. Redovisade områden och förhållanden på tillhörande kartor är anpassade till utredningens översiktliga nivå. Kartorna bör därför inte förstöras till annan detaljeringsgrad.

I denna rapport bifogas kartorna i A4-format.

Kartmaterialet är producerat i GIS-skikt för olika analysdelar och en förteckning över dessa finns i Bilaga 1. Som underlagskarta i analysen och för redovisning har använts Lantmäteriets översiktskarta, vilken tillhandahållits av länsstyrelsen.

Karta 1: Riskområden för skred, ras, erosion och översvämning i Stockholms län, norra delen

Karta 2: Riskområden för skred, ras, erosion och översvämning i Stockholms län, södra delen



Teckenförklaring

- Inträffade skred

Utredningsområde - skred och ras

- Översiktlig stabilitetskartering efter 1997 (MSB)
- Översiktlig stabilitetskartering före 1997 (MSB)
- Förstudie (MSB)

Erosion

- Förutsättningar för erosion (SGI)

Översvämmning

- Översvämningsområde vid beräknat högsta flöde, enligt MSB:s översiktliga översvämningskartering

 Statens geotekniska institut			
UPPDRAG NR 14324	RITAD AV Linda Blied	Stockholms län Riskområden - skred, ras, erosion och översvämmning. Norra delen	
DATUM 2011-01-28	HANDLAGGARE	SKALA 1:250 000	REFERENSSYSTEM SWEREF 99 TM
UPPDRAGSANSVARIG Yvonne Rogbeck	KARTA		1





Teckenförklaring

- Inträffade skred

Utredningsområde - skred och ras

- Översiktlig stabilitetskartering efter 1997 (MSB)
- Översiktlig stabilitetskartering före 1997 (MSB)
- Förstudie (MSB)

Erosion

- Förutsättningar för erosion (SGI)

Översvämnning

- Översvämningsområde vid beräknat högsta flöde, enligt MSB:s översiktliga översvämningskartering

 Statens geotekniska institut			
UPPDRAG NR 14324	RITAD AV Linda Blied	Stockholms län Riskområden - skred, ras, erosion och översvämnning. Södra delen	
DATUM 2011-01-28	HANDLAGGARE	SKALA 1:250 000	REFERENSSYSTEM SWEREF 99 TM
UPPDRAGSANSVARIG Yvonne Rogbeck		KARTA 2	





Statens geotekniska institut
581 93 LINKÖPING
Tel 013–20 18 00 Fax 013–20 19 14



Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 NORRKÖPING
Tel 011–495 80 00 Fax 011–495 80 01