



# Klimat- och sårbarhetsanalys

---

enligt förordning 2018:1428 för myndigheters klimatanpassningsarbete

---

Kerstin Konitzer och David Bendz

Uppdragsgivare: HannaSofie Pedersen

Linköping 2020

Uppdragsledare:	Kerstin Konitzer
Granskare:	David Bendz
Handläggare:	Kerstin Konitzer, David Bendz, Per Bolin, Per Danielsson, Paul Edebalk och Maria Kristensson
Diariernr:	1.1-1811-0715
Uppdragsnr:	10194
Totalt antal sidor	45

Hänvisa till detta dokument på följande sätt:

SGI 2020, Klimat- och sårbarhetsanalys, enligt förordning 2018:1428 för myndigheters klimatanpassningsarbete, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping.

Foto på omslag: Niclas Blom, Scandinav bildbyrå; SGI; Pixabay; Scandinav bildbyrå.

## Förord

Statens geotekniska institut, SGI, har ett samhällsuppdrag att utveckla och förmedla kunskap om markbyggande och markanvändning för att minska riskerna med olika markrörelser och förorenade områden i ett föränderligt klimat. Enligt förordning 2018:1428 om myndigheters klimatanpassningsarbete ska en klimat- och sårbarhetsanalys genomföras regelbundet. Resultatet ska sen ligga till grund för myndighetens inriktning och utformning av klimatanpassningsarbetet.

I den här rapporten redovisar SGI resultat från den klimat- och sårbarhetsanalys som genomförts under 2020. SGI har i huvudsak följt den av SMHI framtagna nationella metodiken för hur myndigheter som lyder under förordningen bör utföra en klimat- och sårbarhetsanalys.

Slutsatserna från klimat- och sårbarhetsanalysen utgör underlag för SGI:s handlingsplan för klimatanpassning för åren 2021–2025.

Kerstin Konitzer

Uppdragsledare

David Bendz

Granskare



## Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	6
1 Inledning .....	8
1.1 Svenskt arbete för klimatanpassning .....	8
1.2 Nationella klimatanpassningsstrategin .....	9
1.3 Förordning 2018:1428 för myndigheters klimatanpassningsarbete ....	9
1.4 EU:s klimatanpassningsstrategi och Agenda 2030 .....	11
2 SGI:s arbete för klimatanpassning .....	12
2.1 SGI:s instruktion .....	12
2.2 Finansiering .....	13
2.3 Handlingsplan för hållbart markbyggande 2017–2020 .....	13
3 Klimatförändringen i Sverige .....	16
3.1 Utsläpp av växthusgaser och pågående utveckling .....	16
3.2 Klimatets förändring i Sverige .....	17
3.3 Effekter och konsekvenser av klimatförändringarna .....	18
4 Klimatlaster effekter på naturlig mark och geokonstruktioner .....	23
4.1 Påverkan och konsekvenser av förändrade klimatlaster .....	23
4.2 Naturlig mark .....	24
4.3 Marköverbyggnader och markunderbyggnader .....	26
4.4 Markförstärkning .....	27
4.5 Grundkonstruktioner för byggnader och andra anläggningar .....	28
4.6 Avvattnings- och infiltrationsanläggningar .....	28
5 Klimat- och sårbarhetsanalys för SGI .....	31
5.1 Arbetsprocess och metod .....	31
5.2 Klimateffekter och klimatkonsekvenser –prioriterade utmaningar ...	31
5.3 Risker, konsekvenser och SGI:s ansvarsområden .....	33
5.4 Bedömning av möjlig påverkan och samhällsekonomiska effekter ...	35
5.5 Analys av risker .....	37
5.6 Lagar och andra författningar .....	40
5.7 Sammanfattande riskmatris och slutsatser .....	41
5.8 Fortsatt arbete .....	41
Referenser .....	43

## Sammanfattning

Förordning 2018:1428 om myndigheters klimatanpassningsarbete trädde i kraft den 1 januari 2019 och SGI är en av myndigheterna som lyder under förordningen. Enligt förordningen är myndigheten skyldig att bland annat göra en klimat- och sårbarhetsanalys som sen ska ligga till grund för myndighetens inriktning och utformning av klimatanpassningsarbetet.

I den här rapporten redovisar SGI resultat från den klimat- och sårbarhetsanalys som genomförts. SGI har i huvudsak följt den av SMHI framtagna nationella metodiken för hur myndigheter som lyder under förordningen bör utföra en klimat- och sårbarhetsanalys.

De två nationella utmaningar som SGI bedömer är högst prioriterade att arbeta med inom myndighetens ansvarsområde är Ras, skred och erosion som hotar samhällen, infrastruktur och företag samt Översvämningar som hotar samhällen, infrastruktur och företag. Men även den nationella utmaningen Biologiska och ekologiska effekter som påverkar en hållbar utveckling är prioriterad av SGI.

Utmaningarna är tydligt kopplade till myndighetens ansvarsområde enligt regeringens instruktion om att minska risken för ras, skred och erosion, sanering av förorenade områden och ett klimat- och resurseffektivt markbyggande. SGI har bedömt olika klimatrelaterade risker kopplade till sitt ansvarsområde. Riskerna har bedömts utifrån ett samhällsekonomiskt perspektiv och hur de förändras över tid fram till omkring år 2100. Effekterna avser inte bara monetära effekter utan även påverkan på människors liv och hälsa samt på ekosystem. De bedömningar som har gjorts av effekter, sannolikheter och konsekvenser är baserade på översiktliga uppskattningar och behöver förfinas i det fortsatta arbetet

Klimat- och sårbarhetsanalysen visar att i ett förändrat klimat med stigande hav, ökade flöden, mer intensiva regn och skyfall ökar sannolikheten för mark- och sedimentrörelser med påföljande risker för människors liv eller samhällsviktig verksamhet. Det gäller även för spridning av föroreningar liksom effekter på och konsekvenser för ekosystem

Klimat-effekten stigande hav tillsammans med påföljande ökad sannolikhet för stranderosion kan ge irreversibla skador på strandnära ekosystem och riksintressen som är belägna i hotade områden. Effekter av stigande hav bedöms därför vara den mest angelägna risken att hantera. Den ökande risken med markrörelser är högst angeläget att fortsätta förebygga. Ökad hänsyn till risker med förorenade områden i ett förändrat klimat behövs för att undvika konsekvenser för människors hälsa och miljön.

Sannolikheten att samhället idag bygger fel är hög eftersom riktlinjer och standarder för till exempel grundläggning och byggnation inte tar hänsyn till ändrade markförhållanden. Det är därför nödvändigt att öka kunskapen om lämplig lokalisering och anpassa dimensioneringen för att inte säkerhetsförhållandena ska minska markant till slutet av århundradet.

SGI ber läsaren notera att kunskapen fortfarande är bristfällig om graden av klimat-effekternas påverkan på olika markförhållanden och möjliga konsekvenser. Det gör att SGI:s bedömning av olika utmaningars betydelse förknippade med markrörelser både kan ha överskattats men också underskattats.

Slutsatserna från klimat- och sårbarhetsanalysen utgör underlag till SGI:s handlingsplan för klimatanpassning som ska gälla åren 2021–2025.

# 1 Inledning

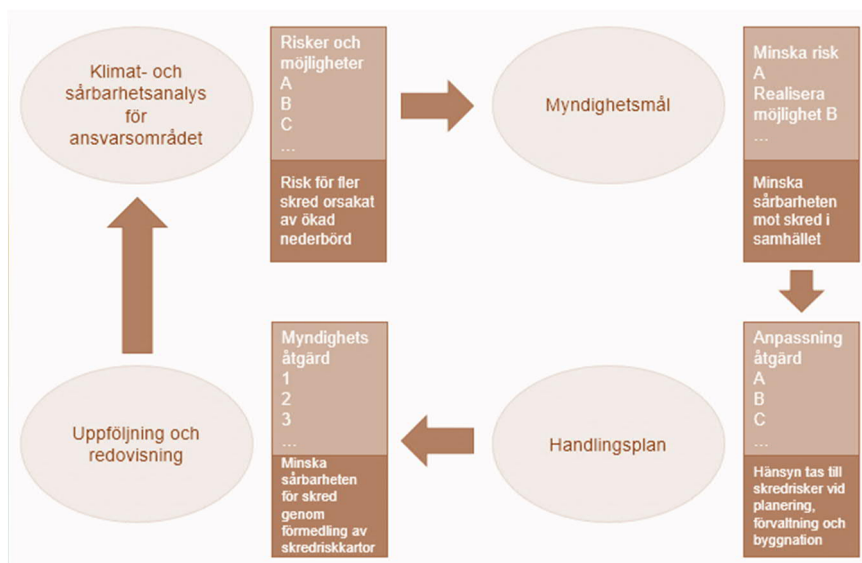
## 1.1 Svenskt arbete för klimatanpassning

På den nationella offentliga nivån är det regeringen, riksdagen och ett stort antal myndigheter som på olika sätt ansvarar för klimatanpassningsarbetet. Förutom regering och Riksdag finns även ett Nationellt expertråd för klimatanpassning som har en rådgivande funktion till regeringen samt ett Nationellt kunskapscentrum för klimatanpassning med uppgift att samla och sprida information.

Nationella expertrådet för klimatanpassning, knutet till SMHI, har till uppgift att vart femte år besluta om en rapport till regeringen. Rapporten ska innehålla förslag på inriktning av det nationella arbetet för klimatanpassning, en prioritering av anpassningsåtgärder utifrån en bedömning av risk, kostnad och nytta, en sammanfattande analys av klimatförändringens effekter på samhället, samt en uppföljning och utvärdering av det nationella arbetet med klimatanpassning. Vid SMHI finns ett sekretariat som har till uppgift att bistå expertrådet.

Olika myndigheter ansvarar för stöd och hjälp inom olika sektorsfrågor. I förordning (2018:1428) om myndigheters klimatanpassningsarbete listas myndigheter med utpekade ansvar för att arbeta med klimatanpassning (se vidare 1.3). Ett flertal myndigheter inklusive SGI ingår i ett nationellt nätverk för att stärka samhällets förmåga att hantera de positiva och negativa effekterna av klimatförändringarna.

Nationellt kunskapscentrum för klimatanpassning är en nod för samlad kunskap om klimatanpassning. SMHI driver centrumet på uppdrag av regeringen. Uppgiften är att underlätta för samhällets aktörer att förstå vad klimatanpassning är och varför det är viktigt att arbeta med frågan, hitta relevant information från statliga myndigheter och forskning inom området, samt att få kunskap om hur man kan arbeta med klimatanpassning.



Figur 1. Övergripande beskrivning av klimatanpassningsarbetet. Klimat- och sårbarhetsanalysen utgör grunden för det cykliska arbetet med klimatanpassning. Analysen är utgångspunkt för att sätta myndighetsmål, definiera åtgärder och göra en handlingsplan som sedan ska följas upp (Figur modifierad enligt SMHI, 2019).



## 1.2 Nationella klimatanpassningsstrategin

Regeringen presenterade en nationell klimatanpassningsstrategi i mars 2018 (Prop. 2017/18:163). Den nationella strategin för klimatanpassning har tagits fram för att hålla ihop det svenska arbetet med anpassning till ett förändrat klimat. Strategin omfattar Sveriges mål med klimatanpassning, vägledande principer för arbetet, organisation och ansvarsfördelning, uppföljning, finansieringsprincip samt kunskapshöjande insatser. Den nationella klimatanpassningsstrategin ska uppdateras vart femte år.

Regeringens mål för samhällets anpassning till ett förändrat klimat är att utveckla ett långsiktigt hållbart och robust samhälle som aktivt möter klimatförändringar genom att minska sårbarheter och ta tillvara möjligheter. Målsättningarna om klimatanpassning i Parisavtalet och Agenda 2030 med de globala målen för hållbar utveckling ska också uppnås. Målen bör beaktas i politik, strategier och planering på nationell nivå och integreras i ordinarie verksamhet och ansvar.

För att tydliggöra myndigheternas ansvar för att arbeta med klimatanpassning beslutade regeringen om förordningen för myndigheters klimatanpassningsarbete (2018:1428). Förordningen är alltså ett resultat av den nationella klimatanpassningsstrategin.

I den nationella strategin för klimatanpassning har vissa samhällskonsekvenser bedömts vara särskilt angelägna i det fortsatta arbetet med klimatanpassning. De prioriterade utmaningarna är:

- Ras, skred och erosion som hotar samhällen, infrastruktur och företag.
- Översvämningar som hotar samhällen, infrastruktur och företag.
- Höga temperaturer som innebär risker för hälsa och välbefinnande för människor och djur.
- Brist i vattenförsörjningen för enskilda, jordbruk och industri.
- Biologiska och ekologiska effekter som påverkar en hållbar utveckling.
- Påverkan på inhemsk och internationell livsmedelsproduktion och handel.
- Ökad förekomst av skadegörare, sjukdomar och invasiva främmande arter som påverkar människor, djur och växter.

Klimatanpassningsarbetet bör enligt den nationella strategin bedrivas utifrån vägledande principer om hållbar utveckling, ömsesidighet, vetenskaplig grund, försiktighetsprincipen, integrering av anpassningsåtgärder, flexibilitet, hantering av osäkerhets- och riskfaktorer, tidsperspektiv och transparens.

## 1.3 Förordning 2018:1428 för myndigheters klimatanpassningsarbete

Förordning 2018:1428 om myndigheters klimatanpassningsarbete trädde i kraft den 1 januari 2019 och omfattar 32 nationella myndigheter och landets 21 länsstyrelser. SGI är en av myndigheterna som lyder under förordningen. I tabell 1 nedan framgår de skyldigheter som förordningen medför, och hur de påverkar SGI.

I tabell 1 framgår vad förordningen för myndigheters klimatanpassningsarbete innebär för SGI.

Tabell 1: Förordningen om myndigheters klimatanpassningsarbete (2018:1428) och vad kraven innebär för SGI.

Rubrik i förordningen	Krav i förordningen	Hur SGI påverkas av förordningen
<b>Skyldighet att arbeta med klimatanpassning</b>	En myndighet som anges i 1 § ska inom sitt ansvarsområde och inom ramen för sina uppdrag initiera, stödja och utvärdera arbetet med klimatanpassning.	Omfattande arbete med klimatanpassning pågår redan vid SGI men behöver följas upp och utvärderas tydligare.
	Om myndigheten förvaltar eller underhåller statlig egendom, ska myndigheten också anpassa den verksamheten till ett förändrat klimat.	SGI förvaltar eller underhåller ingen statlig egendom.
<b>Klimat- och sårbarhetsanalys</b>	Arbetet med klimatanpassning ska omfatta att klimatförändringens påverkan på myndighetens verksamhet utreds i en klimat- och sårbarhetsanalys. Analysen ska hållas aktuell genom att den ses över och uppdateras vid väsentliga förändringar i verksamheten eller minst vart femte år. Analysen ska identifiera bestämmelser i lagar och andra författningar som påverkar myndighetens arbete med klimatanpassning. Klimat- och sårbarhetsanalysen ska ligga till grund för klimatanpassningsarbetets inriktning och utformning.	SGI ska ta fram en klimat- och sårbarhetsanalys i enlighet med förordningens krav.
<b>Myndighetsmål för klimatanpassning</b>	Myndigheten ska ta fram aktuella myndighetsmål för sitt arbete med klimatanpassning.  Om myndigheten förvaltar och underhåller statlig egendom, ska myndigheten också ta fram myndighetsmål för den verksamhetens anpassning till ett förändrat klimat.  Myndighetsmålen ska 1. bidra till att regeringen når sina mål för klimatanpassning, och 2. vara mätbara i den mån som det är praktiskt möjligt.	SGI har fastställda mål i sin handlingsplan för klimatanpassning från 2017 (SGI 2017). Målen behöver uppdateras utifrån klimat- och sårbarhetsanalysen och de behöver också bli en del av myndighetens styrning.  Uppdatering av myndighetsmålen sker hösten 2020.
<b>Handlingsplan, ansvarsfördelning och rutiner</b>	Myndigheten ska 1. ha en handlingsplan för arbetet med att nå myndighetsmålen enligt 8 §, 2. dokumentera, följa upp och redovisa arbetet med att följa handlingsplanen och nå myndighetsmålen i syfte att fortlöpande förbättra arbetet, och 3. uppdatera handlingsplanen vid väsentliga förändringar i verksamheten eller minst vart femte år.  Resurser, tillvägagångssätt, tidsramar och ansvarsfördelning som gäller för arbetet ska framgå av handlingsplanen.	SGI har en handlingsplan för klimatanpassning som beslutades 2017. Den behöver uppdateras för att möta kraven enligt förordningen samt reviderade myndighetsmål.  Uppdatering av handlingsplanen sker hösten 2020.  Ansvarsfördelning och rutiner behöver ses över.
<b>Klimatanpassad upphandling</b>	Myndigheten ska ta hänsyn till klimatanpassning i myndighetens upphandlingar i den mån det är möjligt.	SGI behöver se över om några förändringar i myndighetens rutiner för upphandling bör genomföras.
<b>Regelbunden uppföljning och redovisning</b>	Myndigheten ska årligen redovisa arbetet med klimatanpassning på det sätt som Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) bestämmer. Redovisningen ska lämnas till SMHI i samband med myndighetens årsredovisning med en kopia till det departement i Regeringskansliet som myndigheten hör till.	SGI ska redovisa sitt klimatanpassningsarbete enligt SMHI:s webbsystem samt lämna in en kopia på denna redovisning till Miljödepartementet i samband med SGI:s årsredovisning.

Klimat- och sårbarhetsanalysen utgör grunden för det cykliska arbetet med klimatanpassning (Figur 1). Syftet med en klimat- och sårbarhetsanalys är att systematiskt identifiera påverkan inom myndighetens ansvarsområde i form av risker och möjligheter som kan uppstå på grund av klimateffekter och dess samhällskonsekvenser. En framgångsfaktor för en effektiv klimatanpassning är att regelbundet genomföra klimat- och sårbarhetsanalyser eftersom den lägger grunden för det fortsatta arbetet. Risker och möjligheter som identifieras och prioriteras ska utgöra grund för:

- myndighetens mål för klimatanpassning,
- anpassningsåtgärder för sektorn,
- myndighetsåtgärder och hur de prioriteras.

Mål och åtgärder behöver fokusera på de mest allvarliga riskerna och/eller de största möjligheterna beroende på de normalt begränsade resurserna.

#### 1.4 EU:s klimatanpassningsstrategi och Agenda 2030

Det pågår ett omfattande arbete såväl inom EU som i övriga världen kring effekterna av ett förändrat klimat. EU-kommissionen antog en strategi för klimatanpassning år 2013. Strategin syftar till att göra Europa mer motståndskraftigt för klimatförändringar och fokuserar bland annat på att uppmuntra aktivitet hos medlemsstaterna, till exempel genom ett system för utvärdering och uppföljning på EU-nivå. En ny EU-strategi förväntas under våren 2021.

Att arbeta måldrivet enligt Agenda 2030 och bidra till det globala hållbarhetsarbetet är angeläget för hela SGI:s verksamhet. Målen styr även klimatanpassningsarbetet. För att minimera de skador som orsakas av framtidens klimat, genom till exempel fler skyfall och högre havsnivåer, behöver städer och samhällen anpassas till nya förutsättningar (mål 11). För att skapa en hållbar framtid måste vi arbeta både med att minska växthusgasutsläppen, vilka leder till ett varmare klimat och med anpassning till det nya klimatet (mål 13). Stor biologisk mångfald och ekosystem i balans ger större motståndskraft och förmåga till anpassning. Människan är beroende av väl fungerande ekosystem och de tjänster som kommer ifrån dem, såsom livsmedel och rekreation (mål 15).

FN:s rapport om global uppvärmning konstaterar att det är stor skillnad redan mellan 1,5 och två graders temperaturhöjning. En halv grads ytterligare temperaturhöjning kräver mer och svårare anpassning. Den nationella strategin för klimatanpassning betonar att klimatanpassningsåtgärder och minskade växthusgasutsläpp ska stärka varandra.

## 2 SGI:s arbete för klimatanpassning

### 2.1 SGI:s instruktion

SGI är en förvaltningsmyndighet för geotekniska och miljögeotekniska frågor. SGI ska enligt instruktion (SFS 2009:945) vara pådrivande i frågor som syftar till en säker, ekonomisk och miljöanpassad samhällsutveckling inom det geotekniska området. Inom ramen för sin verksamhet ska SGI också medverka till att de nationella miljökvalitetsmålen nås, och bidra med underlag och expertkunskap i det arbete som regeringen bedriver nationellt och inom EU. SGI ska vidare bidra till att plan- och byggprocessen effektiviseras genom att inom sitt verksamhetsområde ta fram ny kunskap och nya metoder och ha en samordnande roll i syfte att identifiera kunskapsnivån och förmedla ny kunskap. SGI ska bidra till effektivitet och kvalitet i plan- och byggprocessen genom att inom sitt område bistå myndigheter, kommuner och andra med rådgivning samt i samverkan med dessa introducera ny teknik och tillämpa forsknings- och utvecklingsresultat.

SGI ska enligt sin instruktion bidra till att riskerna för ras och skred minskar.

Myndigheten ska i detta syfte

- ge stöd åt kommuner och länsstyrelser i planprocessen rörande geotekniska säkerhetsfrågor,
- övervaka stabilitetsförhållandena i Göta älvdalen,
- bistå ansvariga instanser när ras eller skred har inträffat eller när det finns risk för ras eller skred, och
- ge stöd åt Myndigheten för samhällsskydd och beredskap vid prövning av statsbidrag till förebyggande åtgärder mot naturolyckor och vid översiktlig kartering.

SGI ska också bidra till att de risker som är förknippade med stranderosion minskar genom att

- bistå andra myndigheter med sakkunnigutlåtanden i ärenden om stranderosion,
- utveckla kunskapen inom området och samordna olika aktörers intressen.

Inom myndigheten finns också en delegation för ras- och skredfrågor. Delegationen är ett kontakt- och samverkansorgan för myndigheter som arbetar med ras- och skredfrågor. Dessutom finns inom myndigheten en delegation för Göta älv, som är en rådgivande delegation för klimatanpassningsinsatser för ras- och skredsäkring i Göta älvdalen för berörda aktörer i området. Delegationens uppgift är att

- upprätta och löpande uppdatera en plan för att genomföra av stabilitetsförbättrande åtgärder längs Göta älvdalen,
- samordna insatser för ras- och skredsäkring i Göta älvdalen och stödja planeringen av stabilitetsförbättrande åtgärder,
- sprida information och kunskap om klimatanpassningsarbetet med ras- och skredrisker i Göta älvdalen till berörda aktörer, och
- lämna yttrande till myndigheten över ansökningar om bidrag för planering och genomförande av stabilitetshöjande åtgärder i enlighet med förordningen (2018:213) om bidrag för skredsäkring vid Göta älv.

SGI har dessutom ett ansvar för forskning, teknikutveckling och kunskapsutveckling avseende sanering och återställning av förorenade områden.

## 2.2 Finansiering

SGI tilldelas sedan 2009 medel från regeringen via anslag 1:10 Klimatanpassning för att arbeta med just klimatanpassning. Anslaget får användas för klimatanpassningsinsatser inom myndighetens ansvarsområde genom ras- och skredriskkarteringar, karteringar av erosionsrisker, metodutveckling samt nyttiggörande och komplettering av material från utförda karteringar, för arbete enligt handlingsplanen för hållbart markbyggnad samt för framtagande av handledning om naturanpassade erosionsskydd.

Möjligheten att använda anslaget från 1:10 för genomförandet av handlingsplanen för hållbart markbyggnad infördes 2018. Det medförde att anslaget kunde användas något bredare som till exempel för utredningar kopplade till behovet av klimatanpassning vid åtgärder av förorenade områden samt nya stabilitetsberäkningar vid projektering och byggande.

Sedan 2018 disponerar SGI även medel från anslag 1:20 Åtgärder för ras- och skredsäkring längs Göta älv. Anslaget får användas dels för verksamheten vid delegationen för Göta älv, dels för utbetalning av bidrag för planering och genomförande av åtgärder som minskar sannolikheten för ras och skred längs Göta älv.

## 2.3 Handlingsplan för hållbart markbyggnad 2017–2020

SGI har sedan 2017 arbetat enligt en handlingsplan för klimatanpassning (SGI, 2017) som inför 2021 revideras och anpassas enligt kraven i SFS 2018:1428. Handlingsplanen från 2017 bygger på tre målsättningar som bedöms nödvändiga för ett hållbart markbyggnad.

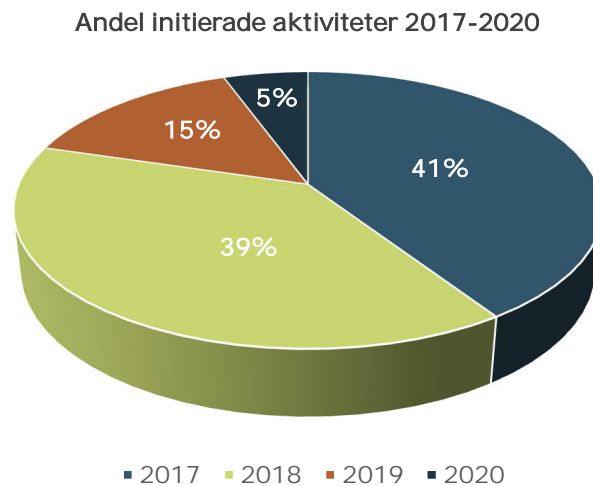
- Digitala kunskapsunderlag för markförhållanden i ett föränderligt klimat finns för hela Sverige och används vid planering i samhällsbyggandet.
- Intressenter inom både branschen och den offentliga förvaltningen har tillräcklig kunskap, kompetens, kapacitet om hållbart markbyggnad för att fatta långsiktiga beslut med hänsyn till markförhållanden i ett föränderligt klimat.
- Ekosystembaserade och resursoptimerade lösningar som tar hänsyn till markförhållanden i ett föränderligt klimat är utvecklade, kända samt används vid markbyggnad och förvaltning av byggnader och anläggningar.



Handlingsplanen för 2017-2020 finns översatt till engelska och finns även som en kortversion där målsättningar och behovet av åtgärder sammanfattats.

### Uppföljning av handlingsplanen 2017-2020

Handlingsplanen innehåller 55 aktiviteter som ska vara initierade senast 2020. Aktiviteterna har tagits om hand årligen i myndighetens verksamhetsplan utifrån tillgängliga resurser. Vid uppföljningen 2020 var samtliga aktiviteter initierade (andel initierade aktiviteter per år 2020: 5 %, 2019: 17 %, 2018: 38 %, 2017: 40 %). Flertalet av aktiviteterna är komplexa och kräver fortsatt utvecklingsarbete efter 2020. Uppföljningen av handlingsplanen finns sammanfattad i särskild rapport (SGI, 2021).



Figur 2: Uppföljning av handlingsplanens genomförande 2020 (SGI, 2021).

Uppföljningen visar att det fortfarande saknas underlag avseende ras, skred och erosion som kan användas i planeringssammanhang. Kommuner och även andra intressenter i samhället efterfrågar utvecklade geotekniska underlag som tar hänsyn till klimatförändringarna. Det finns behov av nationella mer detaljerade och differentierade underlag för att kunna bedöma markrelaterade risker.

Behovet av fortsatta insatser för att öka kunskapen om förväntade effekter på markbyggandet under olika förhållanden är påtaglig. Kunskap om klimatförändringarna omsätts generellt ännu inte vid beräkningar av ändrade klimatlaster vid byggnation. Normer och anvisningar saknas. Samhället har fortsatt behov av kompetenshöjande insatser i form av utbildning och vägledningsmaterial. Det efterfrågas tydligare vägledning och beskrivning av hur nationella underlag för ras, skred och erosion kan användas i planeringssammanhang. Kommuner efterfrågar också vägledning som hjälper dem att avgöra under vilka förutsättningar det krävs mer detaljerade geotekniska utredningar.

Generellt saknas fortfarande kunskap om vad hållbara lösningar för markbyggandet innebär. Beställare uttrycker att det är svårt att veta vad som ska beställas och vad som är "rätt" kvalitet. Beställare med större utmaningar har ett tydligare arbete med hållbara lösningar, och det har ofta utvecklats efter påtagliga klimathändelser. En ökad medvetenhet om behovet av hållbara åtgärder märks i samhället. Det finns flera goda samverkans- och samordningsstrukturer bland kommuner och mellan myndigheter som ger goda förutsättningar för fortsatt utvecklingsarbete med hållbara åtgärder.

### Utvärdering av handlingsplanen 2017-2020

Under 2020 lät SGI göra en extern utvärdering av handlingsplanens genomslag i markbyggnadssektorn och för att få synpunkter inför revideringen av handlingsplanen hösten 2020 (WSP, 2020). Utvärderingen visar att handlingsplanen tagits emot väl hos målgruppen. Planen anses ta ett helhetsgrepp på klimatanpassningsfrågan och utgöra ett viktigt inlägg i ett systematiskt arbete för att minska sårbarheten för klimatförändringar i markbyggnadsprocessen. Handlingsplanen har, för de flesta, varit ett startskott och en inspirationskälla i det interna strategiska arbetet med klimatanpassning. Kommunikationen om handlingsplanens resultat och mål betraktas dock som mindre framgångsrik.

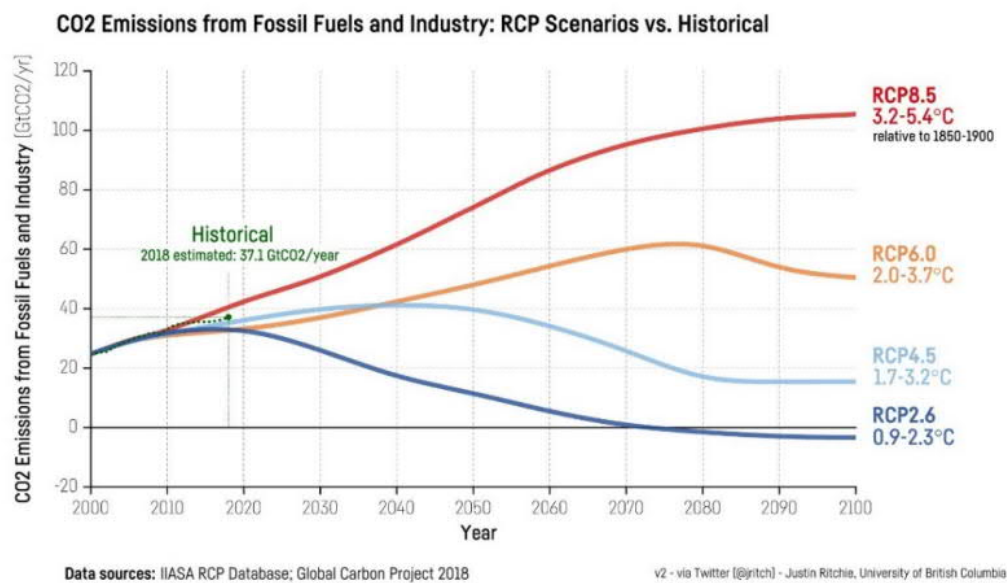
De värdefulla synpunkter som framförts under utvärderingen har tagits om hand i SGI:s arbete med att formulera en ny handlingsplan för klimatanpassning som ska gälla för myndigheten åren 2021–2025.

### 3 Klimatförändringen i Sverige

#### 3.1 Utsläpp av växthusgaser och pågående utveckling

Klimatutvecklingen i Sverige beror på vilken utveckling de globala växthusgasutsläppen kommer att ha. För närvarande finns flera positiva tecken i utvecklingen. Även om växthusgasutsläppen fortsätter att öka globalt så har ökningstakten avtagit (figur 3). I Europa och USA har utsläppen minskat under 2000-talet. Klimatfrågan har lyfts på ett uttalat sätt av politiker, organisationer med flera. Ny förnybar elproduktion kan i stora delar av världen konkurrera prismässigt med kolbaserad el. Många länder och så kallade ländergrupper sätter mål om radikala minskningar av utsläppen till 2030. Det är dock ännu svårt att se att minskningen i utsläpp kommer att ske i den takt som behövs för att inte temperaturökningen ska utlösa effektförstärkande mekanismer som kan leda till en självförstärkande feed-back loop.

I en specialrapport från 2018 analyserar IPCC effekterna av 1,5 respektive 2,0 graders temperaturökning på bland annat havsnivåer, ekosystem och biodiversitet. Även om stora effekter kan ses redan vid 1,5 graders uppvärmning, drar man slutsatsen att det finns mycket att vinna på att försöka undvika en temperaturökning som når 2°C (IPCC, 2018).



Figur 3: Antagen global utsläppsutveckling inom fossilbränsle- och industrisektorerna för fyra olika utvecklingsscenarier (RCP) samt verkliga utsläpp inklusive skattade för 2018 (prickad linje).

För närvarande ligger utsläppskurvan någonstans mellan utsläppsscenarierna RCP8.5 och RCP4.5 (Figur 3). Ju längre tid det tar innan utsläppen når ner till RCP4.5-linjen och ju långsammare minskningstakt, desto mer likt RCP8.5-klimatet kan vi förvänta oss fram till 2050 och även på längre sikt. Baserat på den pågående utvecklingen är det fortfarande möjligt att den globala utsläppen under kommande 80 år kan hamna någonstans mellan RCP4.5 och RCP2.6.

Det finns en betydande osäkerhet i hur väl klimatmodellerna skattar klimatutvecklingen, då modellerna bara kan testas mot det klimat som varit. Sommaren 2018 var enligt SMHI

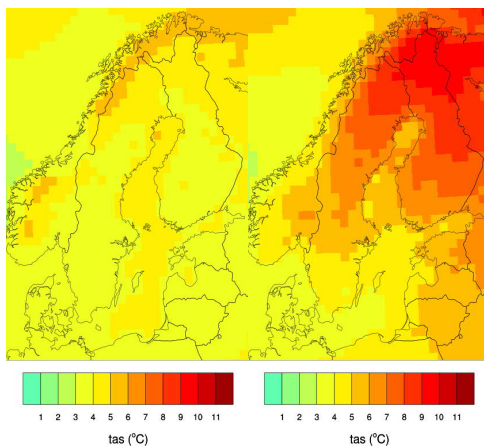


exceptionell (värre än extrem) med sin kombination av värme och torka, sett i relation till den skattade klimatutvecklingen för den utsläppsnivå vi legat på. Ett högtryck 'låste fast sig' över stora delar av Europa under över en månad med bland annat marksättningar och skador på fastigheter som följd. Antingen var detta en mycket ovanlig sommar, eller så var det en indikation på att modellerna underskattar risken för den typen av företeelser.

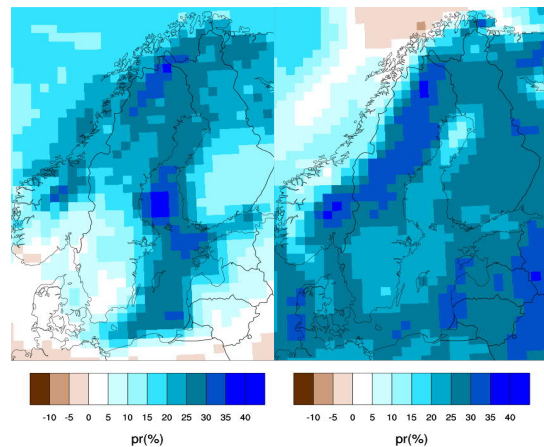
Nya klimatscenarier håller på att tas fram av SMHI och indikationer finns på att klimatförändringen sker snabbare än vad som tidigare bedömts (SMHI, 2020). Markbyggandet behöver ske med en viss flexibilitet för att kunna hantera och bemöta ny information.

### 3.2 Klimatets förändring i Sverige

Den globala uppvärmningen leder till stigande havsnivå och förändrade nederbördsmonster. Generellt kommer Sverige att bli varmare och mer nederbördsrikt, samtidigt som fördelningen mellan årstider förändras. Antalet dagar med kraftig nederbörd förväntas öka i hela landet. De största förändringarna kommer att ske i norra Sverige med både ökad temperatur och ökad nederbörd. En tydlig ökning i nederbörden syns redan i SMHI:s statistik för senare decennier. Förändringen blir störst under vinterhalvåret. För norra Sverige kan nederbörden öka med 15–40 procent, och vintertemperaturen kan komma att öka med så mycket som 9 grader mot slutet av seklet (SMHI, 2020). Varje grads höjning motsvarar en klimaförskjutning 15 mil norrut eller 140 meter längre upp i höjded.



Figur 4. Beräknad förändring av medeltemperaturen i Sverige mellan perioderna 1971-2000 och 2071-2100 för sommar respektive vinter och scenario RCP 8.5. Den vänstra bilden visar temperaturförändringen under sommarmånaderna (juni, juli och augusti) och den högra bilden visar temperaturförändringen vintermånaderna (december, januari, februari, SMHI, 2021).



Figur 5. Beräknad förändring av nederbörden (%) i Sverige för perioden 2071-2100 jämfört med 1971-2000 för sommar respektive vinter och scenario RCP 8.5. Den vänstra bilden visar förändringen i nederbörd under sommarmånaderna (juni, juli och augusti) och den högra bilden visar förändringen i nederbörd för vintermånaderna (december, januari, februari, SMHI, 2021).

Uppvärmningen leder till att vegetationsperioden förlängs och att växternas upptag av vatten ökar. Temperaturökningen ger också ökad avdunstning på sommaren och minskande snö- och isförhållanden på vintern. Nettoeffekten av ökad nederbörd och avdunstning beräknas innebära genomsnittligt höjda grundvattennivåer som märks

tydligast på vintern. Som en följd av varmare vintrar med mer nederbörd blir även snöfallet ojämna och blötare. Snön försvinner så gott som helt i Skåne och längs Götalandskusten. Delar av Svealand och Norrlandskusten får mellan två och fyra månaders förkortning av snösäsongen. Årstidsvariationerna ändras.

Att mycket av vinternederbörden i södra Sverige kommer falla som regn istället för snö, leder till att vattenflödena under vintern beräknas öka och att vårfloden blir mindre tydlig eller uteblir helt. Under vintern ökar risken för översvämning i många sydsvenska vattendrag och sjöar och då främst i system med stora tillrinningsområden. Även i de norra delarna av landet förväntas vårfloden minska och komma tidigare. Under somrarna visar klimatscenerierna däremot på lägre vattenflöden och längre perioder med låga flöden.

De högre temperaturerna innebär också att havsnivåerna stiger, dels för att varmt vatten har större volym än kallt dels på grund av den ökande avsmältningen av glaciärer och istäcken kring Arktis och Antarktis. När havet stiger hamnar successivt nya landområden under vatten. Havet stiger redan idag och kommer fortsätta stiga i hundratals år framöver. Det finns stora osäkerheter kring hur högt och med vilken takt den globala medelhavsnivån kommer att höjas i framtiden. Fram till sekelskiftet vid år 2100 anger IPCC (2019) ett sannolikt intervall på 0,3-1,1 meters höjning, men framhåller samtidigt att en höjning på 2 meter inte kan uteslutas. Medelhavsnivån i södra Östersjön beräknas öka med mellan 0,4 och 0,7 meter till 2100. Dessutom kommer högvattennivåerna att öka kraftigt.

Den stigande havsnivån upplevs stiga olika mycket i landet. Det beror främst på att landhöjningen, som kompenserar för havsnivåhöjningen, inte är lika stor överallt i landet. I delar av landet är landhöjningen fortfarande snabbare än havsnivåhöjningen. Det förhållande kan ändras i framtiden.

Beroende på hur de fortsatta globala växthusgasutsläppen utvecklas ser scenarierna för klimatförändringen olika ut. Mer information om klimatets förändring finns på SMHI:s webbplats (2021).

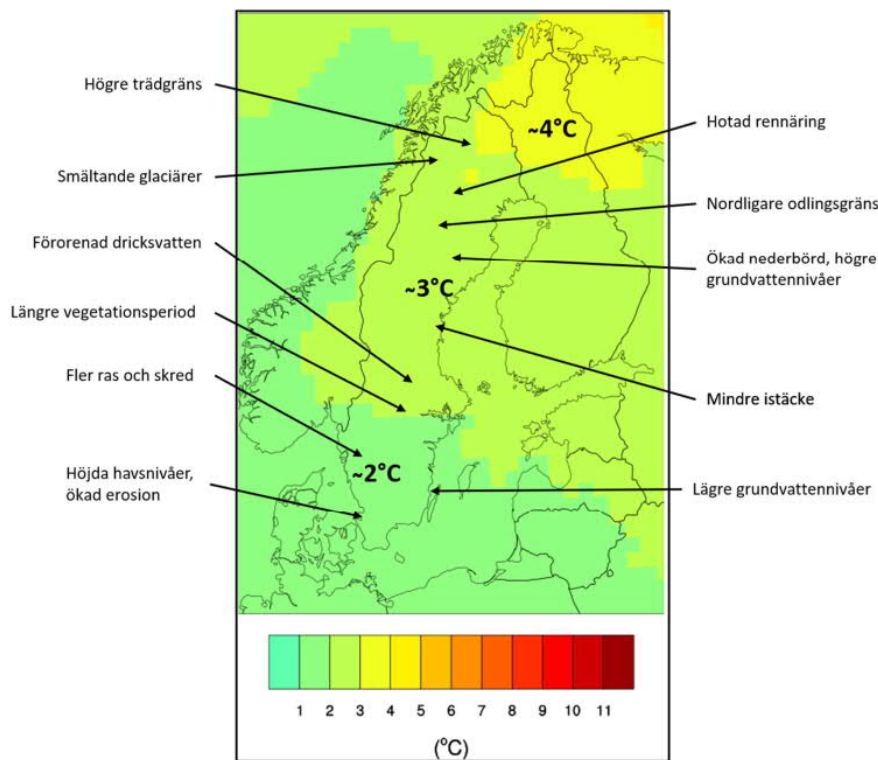
### 3.3 Effekter och konsekvenser av klimatförändringarna

Som beskrivits i sektion 3.2 innebär klimatförändringen både ökande temperatur, förändrad nederbörd och en stigande havsnivå. Klimatförändringarna medför att förutsättningarna för ras, skred, erosion och översvämning förändras över tid. Förändrade vattennivåer och flöden i grund- och ytvatten samt fler skyfall och översvämningar kan medföra ökade problem med ras, skred och erosion i till exempel älddalar och längs stränder.

Förutsättningarna för ras och skred är direkt förknippat med markens stabilitet. Markens vatteninnehåll har stor betydelse för markstabiliteten. Ökad nederbörd ger generellt högre sannolikhet för ras och skred. Även förändringar av grundvattenytans nivå kan leda till försämrade markstabilitet och ökad sannolikhet för ras och skred. Sannolikheten för ras och skred ökar även ju oftare marken fryser och tinar. Sannolikheten ökar också när perioden då marken är snötäckt minskar. För skredbenägna områden i anslutning till

vattendrag, sjöar och kust ökar sannolikheten för skred till följd av både fluktuationer i vattenstånd och av erosion i strandområdet

Förutsättningarna för erosion vid kust, sjöar och vattendrag ökar när vattenstånd eller flödes- och strömförhållanden förändras. När medelvattenståndet stiger höjs utgångsnivån för tillfälligt höga vattenstånd vilket gör att höjningen når ännu längre upp på land än idag vid samma väder. Effekten blir att tillfälliga översvämningar blir vanligare och värre i framtiden. Stigande havsnivå leder till att de strandpartier som är exponerade för erosion förskjuts längre in mot land. Erosionsmönstren längs kusterna kommer att bli annorlunda på grund av den stigande havsnivån. Det innebär att strandområden förändras och kustlinjen flyttas inåt land med markförlust som följd.



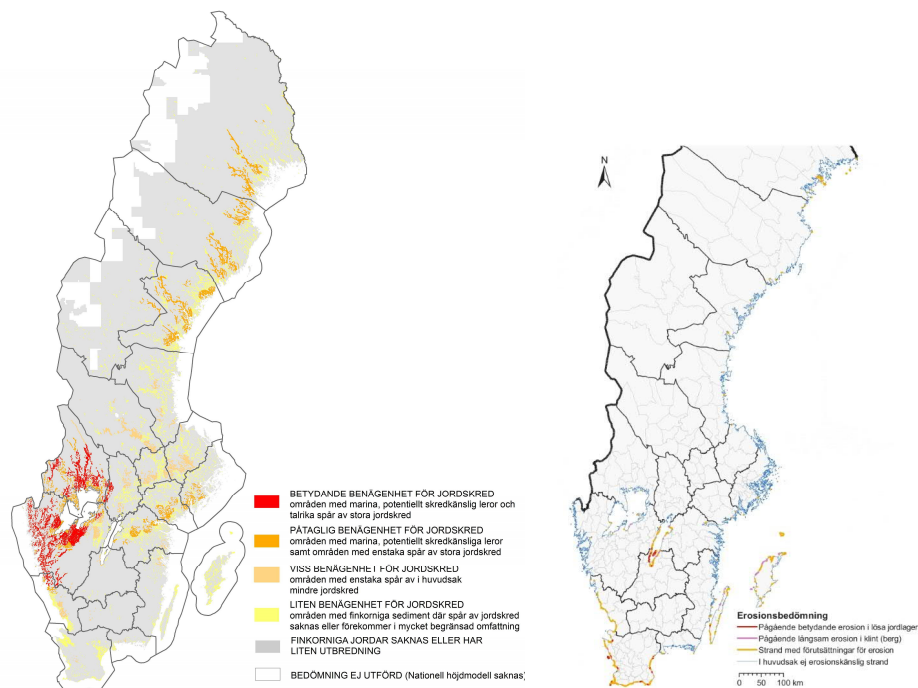
Figur 6. Ökning av medeltemperaturen i Sverige vid +2 graders global uppvärmning och förväntade effekter (modifierad från SMHI 2019).

#### Förutsättningar för ras, skred och erosion idag

Sannolikheten för ras, skred eller erosion påverkas av områdets platsspecifika förutsättningar. Exempelvis kan det handla om det finns låglänt mark i närheten av vatten, eller om marken består av en jordart som är skredbenägen eller erosionskänslig. Sannolikheten påverkas också av klimatrelaterade förhållanden som tillfälligen med hög nederbörd, högt flöde i vattendrag eller högvattenstånd i sjöar och hav.

Figur 7 visar översiktligt benägenheten för jordskred i olika delar av landet och en översiktlig karta för områden med förutsättningar för stranderosion för dagens klimat. Båda kartorna är översiktliga och visar en regional bild av områden som idag har förutsättningar för ras, skred och erosion. Det är många regioner och kommuner som behöver mer detaljerad kunskap om effekterna. Stora delar av Svealand, Norrlands

älvdalar och kustland samt delar av Västkusten och Sydsverige har en påtaglig benägenhet för jordskred och/eller stranderosion redan i dag.



Figur 7. Kartor som visar riksöversikt för benägenhet för jordskred i dagens klimat (vänster, SGU) och riksöversikt för stranderosion (höger, SGU). Riksöversikten för stranderosion visar vilka stränder i Sverige som är utsatta för erosion samt vilka stränder där förutsättningar finns för erosion.

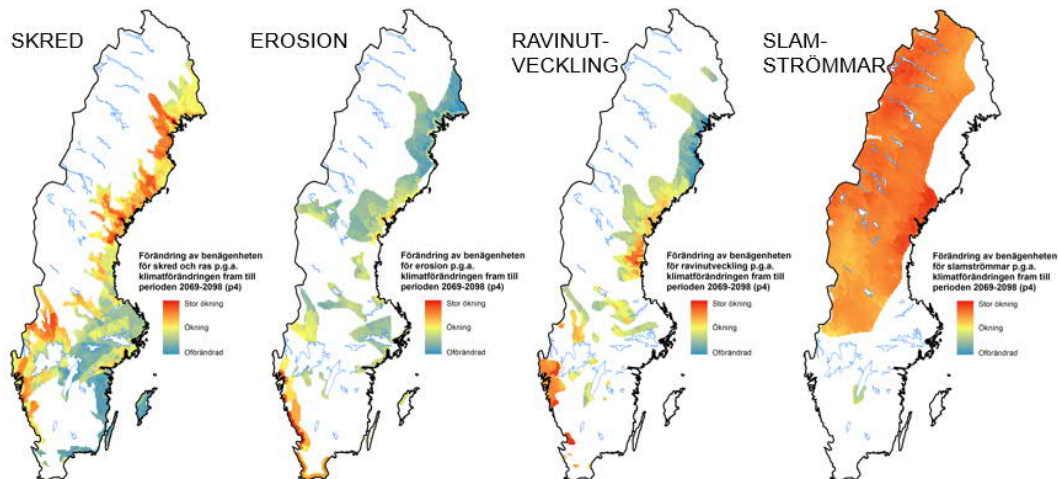
### Markrelaterade samhällskonsekvenser

Klimateffekterna kan ge upphov till samhällskonsekvenser. Exempel på samhällskonsekvenser är översvämningar som hotar samhällen eller ras, skred och erosion som påverkar samhällen och infrastruktur samt brister i vattenförsörjning för jordbruk och industri. Förändrade nederbördsmönster kan öka spridningen av föroreningar med allvarliga konsekvenser för miljön och människors hälsa som följd.

Ett förändrat klimat med ökade flöden, mer intensiva skyfall och förändrade markvattenförhållanden kan leda till att sannolikheten för erosion, ras, skred och andra markrörelser ökar inom stora delar av landet. Förändringen i benägenheten för skred och ras, stranderosion, ravinutveckling samt slamströmmar som följd av klimatförändringen har översiktligt bedömts och framgår översiktligt av Figur 8. Att riskbilden för förorenade områden liksom säkerhetsaspekterna vid markbyggnad förändras är också sannolikt.

Markscenarierna är baserade på förväntad klimatutveckling enligt RCP8.5 fram till omkring 2100. Den GIS-modell som använts i analysen har en osäkerhet, eftersom vi har varit hänvisade till att använda de kartor som finns tillgängliga från SMHI:s klimatscenarier. Exempelvis finns inte underlag framtagna, som visar hur grundvatten- och portrycksförhållandena kommer att förändras. De förhållandena påverkar släntstabiliteten direkt. För att lösa det har ett antagande gjorts att förändrade portryck i jordlagren översiktligt kan beskrivas av hur avrinningsförhållandena kommer att förändras med klimatet. Kartorna redovisar förändringar inom de delar av landet där

problem med jordrörelser finns idag baserat på SGU:s riksöversikter, och alltså inte den faktiska skredbenägenheten. Kartorna är översiktliga, vilket innebär generaliseringar. Det medför att lokala topografiska och geologiska förhållanden kan innebära avvikelser inom de indikerade områdena på resultatskartorna. Det gäller särskilt kartan som visar slamströmmar.



Figur 7. Scenarier för olika markrörelserns benägenhet att ändras av klimateffekter (SGI, 2019 opublicerat).

Klimateffekterna kommer att påverka markförhållandena och risken för översvämnningar i redan bebyggda områden samtidigt som det blir än viktigare att markförhållandena säkras vid exploatering. Markens byggbarhet behöver analyseras baserat på ändrade klimatförutsättningar. Markens byggbarhet omfattar markens geologiska och geotekniska egenskaper, föroreningar i marken, risker för ras, skred och erosion, sättnings- och översvämningsrisker och ekologisk funktionalitet. Förutsättningarna för samhällsplaneringen kommer att ändras kontinuerligt och var verksamheter är förlagda eller förläggs vid nybyggnation ur ett markperspektiv kommer ge olika konsekvenser när klimatet förändras allt mer.

All planläggning av bebyggelse och byggnadsverk ska lokaliseras till mark som är lämpad för ändamålet med hänsyn till bland annat människors hälsa och säkerhet samt risken för olyckor, översvämnung och erosion (2 kap. 5 § p 2 och 5, PBL). Klimatförändringarnas effekter ändrar alltså förutsättningarna för var det är mest hållbart att bygga och hur byggnader och infrastruktur ska placeras, dimensioneras och utformas, inklusive materialval. Det är därför relevant att beakta konsekvenser för människors hälsa och säkerhet såväl som konsekvenser av skador på den byggda miljön.

Städer och byggnader behöver anpassas till att klara av högre temperaturer och förändringar i nederbörd. En del kustnära samhällen och infrastruktur i södra och mellersta Sverige kommer att vara mycket utsatta av den stigande havsnivån. Det kan leda till stora skadestnader och att natur- och kulturvärden helt förloras. Byggsektorn är en av Sveriges största näringsgrenar med en omsättning på ca 650 miljarder kronor per år (Byggföretagen, 2020). Den byggda miljön med bostäder, kulturhistoriska byggnadsverk, vägar, järnvägar samt andra anläggningar och lokaler utgör tillsammans

omkring hälften av Sveriges samlade nationalförmögenhet (Sveriges Byggindustrier, 2015).

Förändrade grundvatten- och temperaturförändringar, kraftiga skyfall och ökad risk för ras, skred och erosion kan påverka och förstärka miljö- och hälsoriskerna från förorenade områden och deponier. Det gäller exempelvis föroreningarnas toxicitet, rörlighet och spridning. Exempelvis kan kraftig nederbörd leda till att industriområden och reningsverk översvämmas. Intensiva regn och mättade jordlager kan även öka risk för ras, skred och slamströmmar som kan utgöra en fara nedströms, bland annat då de kan föra med sig föroreningar till vattentäkter. Vid bedömning av miljö- och hälsorisker med förorenade områden samt behovet av saneringsåtgärder är det viktigt att ta hänsyn till geotekniska förhållanden och klimatförändringen och dess effekter.

## 4 Klimatlaster effekter på naturlig mark och geokonstruktioner

Ras, skred och erosion påverkar inte enbart naturlig mark (jord och berg) utan även samhällets många geokonstruktioner. Till geokonstruktioner räknas till exempel olika marköverbyggnader och markunderbyggnader, avvattnings- och infiltrationsanläggningar, tätningsåtgärder, markförstärkningar, stödkonstruktioner, grundkonstruktioner för broar, byggnader och andra anläggningar som kan vara pålade, förankrade eller plattgrundlagda konstruktioner.

Vid markbyggnad måste både naturlig mark och geotekniska konstruktioner dimensioneras, det vill säga anpassas för de laster som de kommer utsättas för under sin livslängd. Vissa av lasterna är så kallade klimatlaster, exempelvis vattentryck, snötyngd, vindtryck och tjäle. För dimensionering av geokonstruktioner i ett framtida klimat krävs beräkningar av klimatlaster med olika återkomsttider. Tillgängliga klimatscenarier för olika klimatparametrar som nederbörd i form av regn och snö, temperatur och vind är generellt inte presenterade som klimatlaster med förändring av återkomsttider.

De klimatlaster som används vid dimensionering av naturlig mark och geokonstruktioner, och för vilka ett klimat i förändring behöver beaktas är

- vattennivåer, vattentryck, vattenflöde, vattenhastighet, vågkrafter, strömtryck och istryck
- grundvattennivå, portryck och grundvattenflöde (påverkar även jordens egentyngd och jordtryck)
- temperatur inklusive köldmängd, nollgenomgångar och snötäcke
- snölast inklusive snötäckets tjocklek och
- vindlast.

Geokonstruktioner ska dimensioneras enligt anvisningar i Eurokoder (Europeiska kommissionen, 2021) samt svenska föreskrifter baserade på Eurokoder (SIS, 2021). Boverkets byggregler BFS 2011:6 som ändrades enligt BFS 2020:4 (BBR 29) omfattar inte geokonstruktioner utan endast byggnadsverks delar ovan mark.

Generellt i gällande regelverk för geokonstruktioner saknas anvisningar för hur förändringarna i klimatlaster bör behandlas för att befintliga och nya geokonstruktioner samt naturlig mark ska klara den framtida klimatbelastningen. SGI (Lundström et al. 2018) beskriver mer utförligt hur dagens regelverk och praxis hanterar förväntat ändrade klimatlaster. Rapporten belyser bland annat att ett omfattande arbete kvarstår för att bestämma hur klimatlaster förändras med klimatet. Detaljerad kunskap behöver utvecklas om hur klimatlaster kommer ändras för olika delar av landet. Nya underlag behövs för dimensionering av nybyggda konstruktioner men också för värdering av konsekvenser för befintliga konstruktioner.

### 4.1 Påverkan och konsekvenser av förändrade klimatlaster

I det här avsnittet görs en sammanfattning av hur ett urval av naturlig mark och geokonstruktioner kan påverkas av förändrade klimatlaster baserat på tillgängliga klimatscenarier fram till 2100 (RCP 8.5). Beskrivningen är hämtad från rapporten

”Klimatlasters effekter på naturlig mark och geokonstruktioner” (Lundström et al. 2018) som innehåller fördjupad information och beskrivning av fler geokonstruktioner.

Nedanstående beskrivningar är översiktliga då påverkan på naturlig mark och geokonstruktioner beror på storleken på förändringen av klimatlasterna. Klimat-effekterna kommer variera mellan olika områden i landet, där förändringen i vissa fall ger en negativ och i andra fall positiv effekt på markens stabilitet. Det betyder också att konsekvenserna kan variera mellan allvarliga och obetydliga. Det finns idag inga nationella detaljerade analyser av hur grundvattennivåer kan förändras i ett framtida klimat. Det finns heller inga studier av hur portrycksnivåer och grundvattenflöden kan komma att förändras nationellt vilket betyder att beskrivningarna i det här kapitlet bygger på fackmannamässiga bedömningar av författarna till SGI:s rapport (Lundström et al. 2018).

## 4.2 Naturlig mark

Naturlig mark omfattar mark i tätorter och naturmark. Naturlig mark påverkas förutom av klimatlaster även av laster från konstruktioner, trafik och anläggningar.

### Plan mark

Ökad årsnederbörd och ökat antal dagar med kraftig nederbörd innebär att ansamlingar av vatten lättare bildas på plan mark. Möjligheten till infiltration av en ökad mängd vatten minskar i områden med större andel hårdgjorda ytor och medför ett ökat behov att leda bort överskottsvatten. Sannolikheten för stående vatten i lågpunkter blir större. För byggnader på plan mark (med källare) kan dräneringskapaciteten vara underdimensionerad för de ändrade förutsättningarna och följden blir en större risk för fuktskador.

Långa perioder med torka innebär att grundvattenytan sjunker och för naturlig mark med sättningsbenägna jordar kan sättningar därmed uppstå. Ytligt grundlagda byggnadsverk i sådana områden kan drabbas av sättningsskador. Inom områden där sättningar utbildas kan nivåkillnader uppkomma mellan mark och pålade byggnader samt mellan ledningar i mark och byggnader med vattenläckage och erosionsskador som följd. Längre torrperioder kan även innebära att sprickor bildas i den övre delen av jordprofilen (orsakade av torkan direkt eller av uppsugning av vatten av befintliga träd). Det kan orsaka sprickor i enklare infrastruktur som cykelvägar, parkeringar och mindre gator.

Ökat antal nollgenomgångar under vintern från Mälardalen och norröver, kan medföra att det i tjälskjutande jordar som silt sker omväxlande hävning och sättning. Det leder till att den övre delen av jordprofilen kommer luckras upp. Följden kan bli sättningar i ytligt grundlagda konstruktioner som inte är tjälkyddande, till exempel enklare fritidshus och kan märkas som ojämnheter i gator och cykelvägar. Vägar byggda med lågkvalitativt överbyggnadsmaterial och dåligt underhållna vägar som redan idag uppvisar svåra tjälskador, kommer att påverkas ytterligare.

Vid ökade temperaturer minskar tjäldjupet. Det i kombination med ökade vindar innebär att risken för stormskador på skogen ökar. Rotvältor ökar möjligheten för infiltration i marken som ökar faran för skred och ras. Stora träd som faller kan skada anläggningar.



### Naturliga slänter i jord

Ökad årsnederbörd och ökat antal dagar med kraftig nederbörd innebär en ökad avrinning i naturliga slänter. I de fall där växttäckets är tunt eller där inget skyddande växttäckes finns kommer det att leda till en ökad erosion i slänter med erosionskänsliga jordarter, som till exempel silt och sand. Ökat antal dagar med skyfall och kraftig nederbörd leder till större sannolikhet för slamströmmar och ras i slänter bestående av sand och morän.

Ökad tillrinning till vattendrag kommer att leda till ökade flöden i vattendragen vilket ökar erosionen såväl i botten som i strandzonen. Det gör att sannolikheten för skred och ras i såväl obebyggda som bebyggda naturliga slänter längs vattendragen ökar i alla typer av jord. Vattendrag särskilt i södra Sverige förväntas få fler dagar med lågvattenflöde vilket minskar mothållet för slänter mot vattendragen. Vid snabba avsänkningar med kvarstående portryck i slänten leder låga nivåer i vattendragen till ökad sannolikhet för skred och ras. Inte heller alla vallar som byggts för att skydda mot stigande vattennivåer, är dimensionerade för klimatförändringarna. Vatten kan slå över vallarna vid höga vattennivåer och orsaka skador på, och i värre fall, genombrott av vallarna.

Lägre grundvattennivåer kan innebära att växter torkar ut och dör. Därmed minskar eller försvinner rötternas stabiliserande inverkan i ytliga jordlager liksom växternas skyddande verkan mot erosion. Det kan ge sämre stabilitet och därmed ökad sannolikhet för ras och skred. Det leder också till torrsprickor som, när de vattenfylls vid nederbörd, kan vara en utlösande faktor för skred. Lägre grundvattennivåer innebär å andra sidan en konsolidering (komprimering) av lera och därmed en ökning av hållfastheten som förbättrar stabiliteten.

I likhet med vad som beskrivits ovan för plan mark, medför ett ökat antal nollgenomgångar under vintern från Mälardalen och norröver, att den övre delen av jordprofilen i slänter bestående av tjälskjutande jordar som silt, kommer att luckras upp. Det innebär att hållfastheten i jorden minskar och att sannolikheten för skred och ras ökar.

Ett eventuellt ökat tjäldjup i kombination med ökad nederbördsmängd och ökat antal skyfall, kan ge problem med ett ökat antal ytliga skred/ras i naturliga och schaktade slänter. Regn på delvis tinad mark (tjällossning) kan leda till mindre motstånd mot jordrörelser.

Minskat antal dagar med snötäckes i hela landet innebär fler dagar som naturliga slänter är exponerade för nederbörd i form av regn under den period under året då växttäckets är mindre utbrett och binder jorden. Det medför ökad erosion i slänterna och därmed ökad sannolikhet för ras och skred.

### Naturliga slänter i berg

Pådrivande laster och faktorer kopplat till klimatet som kan minska stabiliteten i berg kan i korthet beskrivas som grundvattenstryck, (grund-)vattenflöde, istryck och svälltryck i lermineral. Eventuella återkommande belastningar från de här faktorerna påskyndar degenerering av hållfastheten i bergstrukturer som är kritiska för stabiliteten.

Växtlighet i anslutning till bergslänter har ofta rottrådar ner i sprickor i berget. Lägre grundvattennivåer kan innebära att växter torkar ut och dör. När rottrådar dör, minskar deras sprängkraft, samtidigt som porositet och permeabilitet ökar med ökad erosion som följd.

Ökat antal nollgenomgångar under vintern från Mälardalen och norröver, samt längre perioder med tö under vinterhalvåret, förändrar effekterna från issprängning i sprickor. Fler frys- och tö-cykler i sprickor per år ökar risken för destabilisering av berg på grund av cyklisk belastning.

Ökad årsnederbörd (regn), ökat antal dagar med skyfall och kraftig nederbörd, ökar takten för vittring och erosion i sprickor i berget. Hur den samlade effekten från svällande leror i sprickor påverkas är mer oklart, beroende av tillgänglighet av vatten och syre.

#### Bäckraviner

Ett ökat antal dagar med kraftig nederbörd under sommaren och fler skyfall leder till större sannolikhet för slamströmmar längs bäckraviner. Det gäller särskilt i norra Sverige. Ökade flöden i vattendragen i västra delarna av Norrland innebär också större sannolikhet för slamströmmar och erosion.

#### Kustzoner

Det är främst kusterna i södra Sverige som påverkas av stigande hav och ökande maximal byvind i ett förändrat klimat. Kusterna och stränderna kommer påverkas av både av ökad erosion och översvämning. Det kommer påverka byggnader och infrastruktur, genom såväl erosion, ras och skred som översvämning. Vid bedömning av konsekvenser är det viktigt att vara medveten om att framtida erosion kan påverka områden långt innanför den nuvarande strandlinjen.

Det är främst vågor och strömmar som eroderar kusten. Kusterosion är en process som kommer förstärkas när havet stiger. Kustområden skyddas på flera ställen av naturliga sanddyner, våtmarker och byggda erosionskydd.

Dagens erosionskydd är ofta inte dimensionerade för att ta hänsyn till höjda havsnivåer och därmed inte byggda tillräckligt högt. De är ofta byggda som hårda skydd och kan inte anpassas efter förändrade klimatförhållanden. Naturanpassade lösningar kommer att ha större betydelse i ett föränderligt klimat så att även ökad hänsyn kan tas till den biologiska mångfalden.

I likhet som beskrivits ovan i avsnittet om Naturliga slänter i jord, är inte heller alla vallar byggda som skydd mot kustöversvämning, dimensionerade för höjda havsnivåer. Det kan leda till att vatten slår över vallarna vid höga vattennivåer, och därmed ge skador eller till och med genombrott på vallarna.

### **4.3 Marköverbyggnader och markunderbyggnader**

Ökad nederbörd innebär att befintliga marköverbyggnader och markunderbyggnader med öppen ytstruktur kan komma att er hålla ett ökat vatteninnehåll. Det gäller om de inte utförts med tillräckligt dränerande och hållfast material enligt dagens praxis så att markunderbyggnaden har finkornigt material högt upp i konstruktionen.

För lågt belägna vägar, järnvägar och andra markanläggningar kan högre grundvattennivåer och högre vattennivåer också innebära ett ökat vatteninnehåll i överbyggnads- och underbyggnadsmaterialet. Ökat vatteninnehåll leder till ökad risk för deformationer på grund av trafiklast och skador på ytskikt samt att behovet av underhållsåtgärder och avvattningsåtgärder kommer att öka.

För bankar som består av finkornig jord påverkas bankarnas inre stabilitet negativt av ökade vattennivåer och grundvattennivåer. Högre grundvattennivåer innebär generellt en minskning av den naturliga jordens hållfasthet, vilket ökar sannolikheten för skred. Även inre erosion (piping) kan uppstå då strömmande vatten för med sig finkornigt material från banken, vilket innebär att hålrum bildas med sättningar och ett lokalt ras av banken kan bli en konsekvens. I en vattenmättad finkornig jord är påverkan från dynamisk last normalt större (jämfört med en icke vattenmättad) och dessa påkänningar kan också leda till piping.

För vägar, järnvägar och andra markanläggningar belägna invid vattendrag innebär ökade flöden, strömtryck, vågkrafter och istryck att risken för erosion ökar i bankslänter mot vattendraget. Ökning av antal dagar med kraftig nederbörd och antal skyfall leder till större krafter på bankslänter och ytterlänter. Sammantaget ökar risken för ras i markanläggningar samt behovet av underhållsåtgärder.

För vägar, järnvägar och andra markanläggningar som är belägna invid vattendrag och sjöar kommer ökat antal dagar med lågt vattenstånd (förväntas i södra Sverige) minska mothållet för bankar vilket i sin tur leder till ökad sannolikhet för skred och ras.

För vägar, järnvägar och andra markanläggningar som är belägna kustnära kan stigande havsnivåer (södra Sverige) påverka kusten med ökad erosion, skred och eventuell översvämning som följd.

Vid lägre grundvattennivåer för vägar, järnvägar, andra markytor och ledningar grundlagda på eller i sättningsbenägna jordar kommer sättningar att utbildas. Sättningarna påverkar såväl markytors ytskikt som ledningar i mark. Det innebär att underhållsåtgärder på grund av sättningar och differenssättningar mot fastmark och andra fasta konstruktioner, kommer att öka, liksom behov av ledningsrenovering för att bland annat justera försämrat fall på ledningar. Vidare, i takt med att ledningsnätet åldras och med extra påverkan från sättningar i marken kan frekvensen på sättningsorsakade ledningsbrott komma att öka, med utökat behov av akuta reparationer som följd.

Ändrade köldmängder och frostdjup är svåra att bedöma konsekvenserna av utifrån dagens kunskap. En ökning av kombinationen ökade nollgenomgångar och ett minskat snötäcke kan leda till ökad tjälnedträngning och ökad uppluckring av ytliga underbyggnadslager som påverkar bärigheten för järnvägar och vägar. Mildare vintrar minskar risken för en del problem som kan uppstå vid byggnation under vintertid, så som att tjäle byggs in i konstruktionen.

#### **4.4 Markförstärkning**

Markförstärkning utförs ofta som stabilitetshöjande och/eller sättningsreducerande åtgärd för bankar och slänter för vägar, järnvägar och andra markanläggningar samt som stabilitetshöjande åtgärd för naturliga slänter. Konsekvenserna av förändrade

Klimatlaster liknar delvis konsekvenser för naturlig jord (avsnitt 4.2) och delvis konsekvenser för markunderbyggnader (avsnitt 4.3). Det finns ett flertal olika metoder för markförstärkning och beroende på lokalisering och undergrundens eller materialets påverkan från olika klimatlaster kan risken för till exempel sättningar, skred och deformationer öka (se vidare Lundström et al., 2018).

#### 4.5 Grundkonstruktioner för byggnader och andra anläggningar

Generellt för grundläggning gäller att höjda vattennivåer kommer att påverka byggnader i närheten av vattendrag, sjöar och havet, genom ökad risk för läckage in i byggnader och mögelskador. Risken är beroende av golvnivåer för befintlig bebyggelse och för nybyggnation, varför det är av största vikt att tydliga regler finns vad gäller lägsta golvnivåer i närheten av olika vattendrag, sjöar och havet. För betongtunnlar och liknande konstruktioner som ligger under markytan ökar risken för vatteninströmning på grund av höjda grundvattennivåer och även vad gäller ökade nedbörds mängder i kombination med underdimensionerade dagvattensystem och dräneringar.

Konstruktioner som är utsatta för upplyft på grund av fritt vatten eller grundvatten kommer att utsättas för högre upplyftningskrafter vid höjda vattennivåer och höjda grundvattennivåer. Byggnader med källare beläget under grundvattennivån kan komma att påverkas av ökade grundvattennivåer som riskerar ge sprickbildningar i betongplattorna mellan byggnadens bärande linjer med pelare och bärande väggar. Risken för upplyft och behov av stabiliserande åtgärder beror på grundläggningsnivåer. Lägre vattennivåer kommer att påverka byggnader i de fall de är en del av naturliga slänters stabilitet då mothåll från vatten minskar.

Högre eller lägre vattennivå påverkar vattentrycket och speciellt konstruktioner i fritt vatten som är utsatta för ensidigt vattentryck, vilket leder till ökade påkänningar i konstruktionen och därmed risk för lägre säkerhetsnivå.

Ökade vattenflöden invid konstruktioner belägna i eller invid fritt strömmande vatten kommer att påverka erosionen runt grundläggningen och därmed ökar risken för skador på konstruktionerna eller att de spolats bort. Hänsyn måste även tas till ökade strömtryck och i förekommande fall vågkrafter.

Högre grundvattennivåer kommer att påverka konstruktioner i de fall de är en del av naturliga slänters stabilitet då jordens dränerade skjuvhållfasthet minskar vid ökat portryck.

Ökade eller minskade snölaster och vindlaster kan indirekt eller direkt påverka grundkonstruktioner för exempelvis byggnader, vindkraftverk och master.

#### 4.6 Avvattnings- och infiltrationsanläggningar

Befintliga avvattnings- och infiltrationsanläggningar påverkas i hög grad av de ökade nederbörds mängderna som förväntas för hela landet. Framförallt kan de ökningarna av antal dagar med kraftig nederbörd och ökning av antal skyfall påverka den här typen av anläggningar negativt. Det finns många olika sorters avvattnings- och infiltrationsanläggningar så här beskrivs kortfattat enbart ett fåtal (se vidare SGI., 2018).

### Trummor

De ökade nederbördsmängderna och ökade tillfällena med skyfall innebär en risk att trummor inte kan avbörda inkommande vattenflöden. Det kan leda till bortspolning av trummor och väg/järnvägsbank. Högre flöden i vattendragen uppströms trummor kan leda till erosion och slamströmmar som kan medföra att trumman sätts igen av jordmassorna. En igensatt trumma orsakar översvämningar och vattnet kan ta nya vägar. Det finns även en risk att trummor kollapsar med en störtflod som resultat. Lägre flöden och vattenstånd i vattendragen uppströms en trumma kan leda till skred och ras ner mot vattendraget. Om flödet återigen ökar efter ett inträffat skred eller ras, kan de skredade eller rasade jordmassorna föras ned mot trumman.

Högre grundvatten- och portrycksnivåer minskar jords hållfasthet vilket påverkar grundläggningen av trummor negativt. Högre grundvatten- och portrycksnivåer kan också i lågpermeabel jord lyfta trummor. Lägre grundvatten- och portrycksnivåer kan orsaka sättningar av jorden under trummor.

Ett ökat antal nollgenomgångar från Mälardalen och norröver kan även orsaka tjälskador på trummor.

Dräneringsanläggningar och diken inklusive dränerande material i marköverbyggnad och markunderbyggnad  
Högre grundvattennivåer och ökade nederbördsmängder kommer leda till högre flöden in i dräneringsanläggningar och i diken. Vattennivån i anläggningen kan därför bli större och därmed de krafter som verkar på konstruktionen. Högre flöden i vattendrag och diken ökar sannolikheten för erosion och slamströmmar, vilket i sin tur kan orsaka igensättning, erosion och bortspolning av anläggningarna.

Högre grundvattennivåer kommer leda till att dränerande material i marköverbyggnad och markunderbyggnad måste kunna avleda ökade vattenmängder.

Högre grundvattenflöden kan leda till erosion i vattendrag och därmed att en större mängd finjord förs in mot dräneringsanläggningar och dränerande material. Anläggningarna riskerar därmed att sättas igen och tappar därmed sin dränerande förmåga.

Ökad nederbörd kommer leda till större risk för erosion i jordskärningar och därmed kommer det krävas mer omfattande underhåll av dräneringsanläggningar.

Ett ökat antal nollgenomgångar från Mälardalen och norröver kan orsaka tjälskador på anläggningar och erosion i dikesslänter.

### Dagvattenanläggningar och liknande

Högre grundvattennivåer innebär en minskning av jords hållfasthet vilket kan leda till att stabiliteten för dammar minskar. För befintliga dagvattendammar grundlagda i lera med ett vattenförande jordlager under dammen, ökar risken för bottenuppträckning och hydrauliskt grundbrott, när portrycket ökar.

Större nederbördsmängder leder till större tillrinning till dammar och de kan därmed svämma över. Det kan också leda till ett högre tryck mot dammväggar än de är dimensionerade för, och därmed en risk för dammbrott.



## 5 Klimat- och sårbarhetsanalys för SGI

Hur stora effekterna blir av klimatförändringarna beror på omfattningen av det förändrade klimatet, men också på samhällets förmåga att anpassa sig till förändringarna. Det är därför viktigt att regelbundet utreda verksamheten i en klimat- och sårbarhetsanalys. Det möjliggör en aktuell inriktning och utformning av arbetet med anpassning till de klimatförändringar som är påtagliga redan i dag och som kan förväntas inträffa i framtiden.

### 5.1 Arbetsprocess och metod

SMHI ska enligt SFS 2018:1428 om myndigheters arbete med klimatanpassning ansvara för metodutveckling, rådgivning och utbildning med anledning av förordningen. Som en del i uppdraget har SMHI sammanställt ett antal rekommendationer för de specifika uppgifter som myndigheterna enligt förordningen ska göra. SGI har följt rekommendationerna med endast mindre anpassningar till sitt verksamhetsområde.

Principerna i den nationella strategin (se avsnitt 1.2) innebär att arbetet ska bygga på en analys av risker och möjligheter med utgångspunkt i senast tillgängliga kunskap. Transparens i hur bedömningar görs är särskilt viktig för statliga myndigheter eftersom många aktörer kan vara beroende av de bedömningar som görs.

Klimat- och sårbarhetsanalysen har genomförts i sex olika steg som sammanfattas i olika sektioner i den följande texten.

- Steg 1: Identifiera viktiga klimateffekter och samhällskonsekvenser i ett "utmaningsdiagram" för myndigheten (5.2).
- Steg 2: Identifiera myndighetens ansvarsområde – identifiera och prioritera sårbara uppdrag och/eller aktörer inom ansvarsområdet.
- Steg 3: Identifiera möjlig påverkan inom ansvarsområdet kopplat till olika klimateffekter och konsekvenser samt uppdrag och aktörer.
- Steg 4–5: Bedöm sannolikhet för och konsekvenser av att påverkan kommer att ske – i nutid, år 2050 och år 2100.
- Steg 6: Planera det fortsatta arbetet.

### 5.2 Klimateffekter och klimatkonsekvenser – prioriterade utmaningar

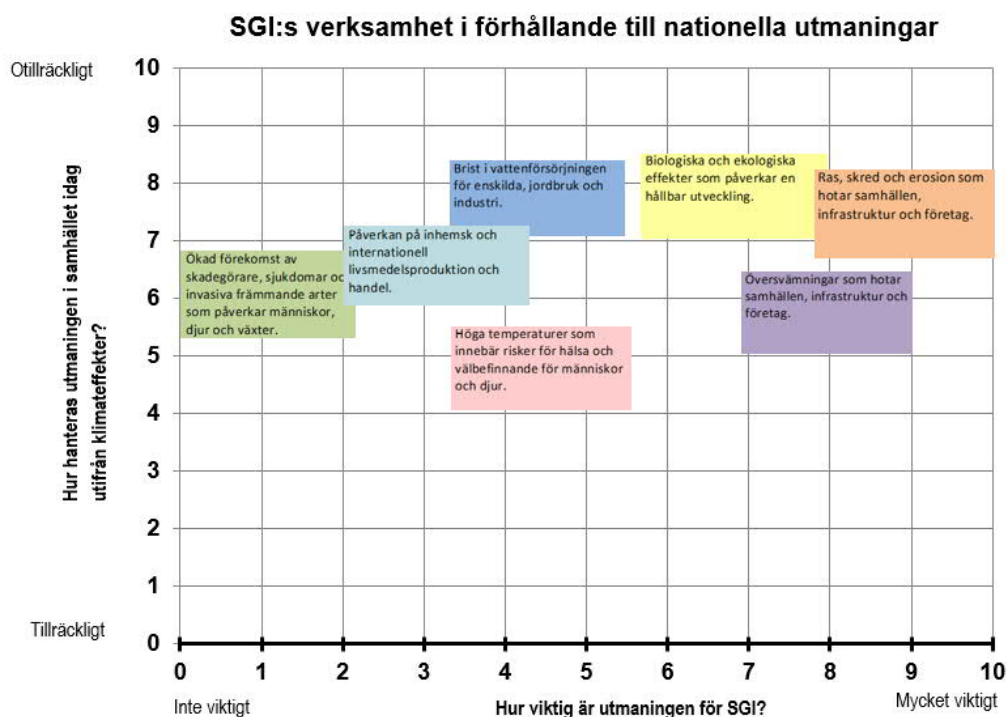
Steg 1 i klimat- och sårbarhetsanalysen är att identifiera vilka klimateffekter och klimatkonsekvenser, med utgångspunkt från Sveriges sju prioriterade utmaningar som är viktigast sett utifrån SGI:s myndighetsansvar (se avsnitt 1.2).

Resultatet av analysen visas i Figur 8. De två nationella utmaningar inom klimatanpassningsområdet som är viktigast för SGI att arbeta med är Ras, skred och erosion som hotar samhällen, infrastruktur och företag samt Översvämningar som hotar samhällen, infrastruktur och företag. Utmaningarna har stöd direkt i SGI:s instruktion. Som geoteknisk expertmyndighet är det bland annat SGI:s ansvar att tillhandahålla underlag om ras-, skred- och erosionsrisker men även om risker för andra

markrörelser som slamströmmar, ravinbildning och marksättningar. Översvämningar av kust, sjöar och vattendrag kan påverka markens stabilitet och bedöms därför också vara ett viktigt område för SGI att arbeta med. Även den nationella utmaningen Biologiska och ekologiska effekter som påverkar en hållbar utveckling är högt prioriterad av SGI.

Åtgärder för att minska risken för ras, skred och erosion samt översvämning behöver ta hänsyn till biologiska och ekologiska effekter. Vid bedömning av miljö- och hälsorisker för förorenade områden samt behovet av saneringsåtgärder är det viktigt att ta hänsyn till förändrade geotekniska och hydrologiska förhållanden till följd av klimatförändringen.

Övriga nationella utmaningar är i lägre grad relevanta för SGI:s ansvarsområde och uppdrag, även om ett hållbart markbyggande också behöver ta hänsyn till ökande temperaturer och vattenförsörjning. Ökande temperaturer påverkar till exempel snöfall och tjäldjup som har en inverkan på markförhållanden. Ett hållbart markbyggande behöver också utveckla mer hållbara strategier för hur vi använder vår mark, både i samband med urban utveckling, primär sektor, rekreation, natur- och kulturvärden. SGI anser att det är angeläget att uppmärksamma att planering av markanvändning är relevant för samtliga sju nationella utmaningar och kan utvecklas till ett effektivt verktyg för att uppfylla de globala hållbarhetsmålen, Parisavtalet och Sendairamverket. Strategisk markplanering är ett viktigt instrument för att möta de utmaningar som samhället har med att klara behoven av ett ökat bostadsbyggande, energiförsörjning, klimatanpassning av bebyggelse och infrastruktur samt för att säkerställa önskade ekosystemtjänster.



Figur 8: SGI:s prioriterade nationella utmaningar enligt SMHI:s rekommenderade metod.



### 5.3 Risker, konsekvenser och SGI:s ansvarsområden

En analys har gjorts av de för SGI prioriterade utmaningarna i relation till myndighetens ansvarsområden samt till climateffekter, risker och konsekvenser i samhället. Förändringen av olika klimatparametrar som temperatur, förändrad nederbörd och stigande hav tillsammans med vilka effekter och konsekvenser de kan ge på mark, sediment och förorenade områden analyserades (Tabell 2). Vid bedömningen av effekter har utgångspunkten varit scenariot RCP8.5 som beskriver en utveckling utan tillkommande klimatpolitik och där utsläppen fortsätter att öka. Det scenariot ligger i dagsläget närmast den pågående utvecklingen (SMHI, 2020).

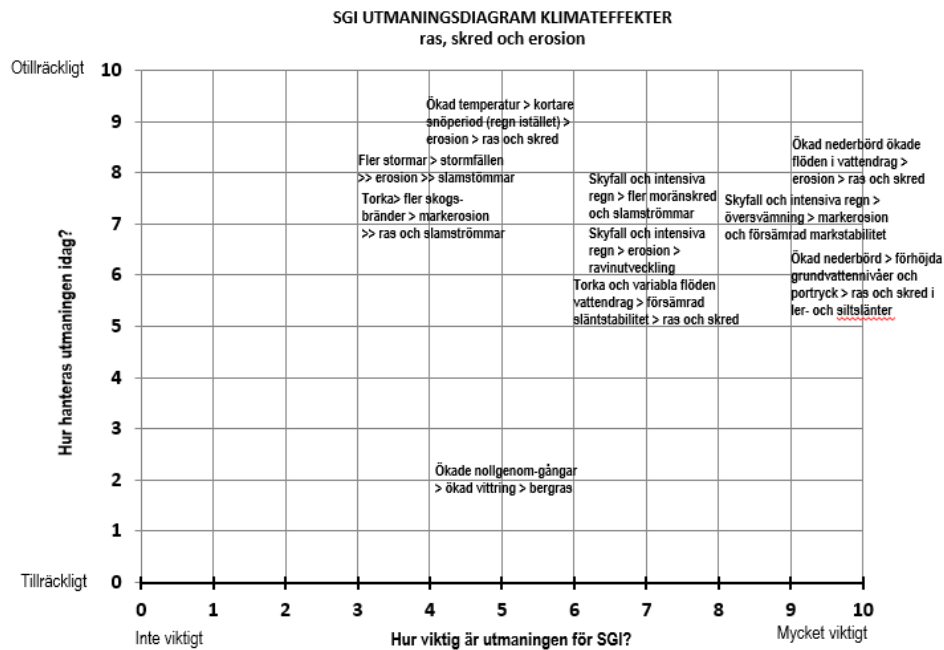
De bedömningar som har gjorts av effekter, sannolikheter och konsekvenser är baserade på översiktliga uppskattningar och kommer att behöva förfinas i det fortsatta arbetet vid SGI. I SGI:s och MSB:s gemensamma regeringsuppdrag med att identifiera särskilda riskområden för ras, skred, erosion och översvämning pågår fördjupade analyser av samhällsekonomiska konsekvenser och ansvar. Regeringsuppdraget redovisas 31 maj 2021 och kommer ge ytterligare vägledning i det fortsatta klimatanpassningsarbetet.

Tabell 2. Climateffekter med möjliga påföljande konsekvenser på mark och föroreningar som ingått i klimat- och sårbarhetsanalysen för SGI:s högst prioriterade samhällsutmaningar.

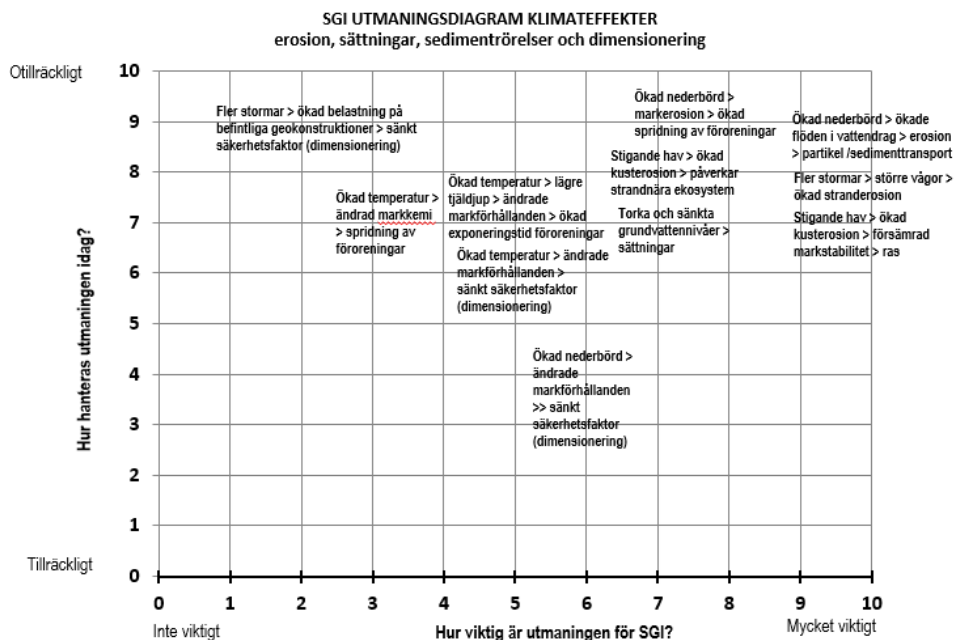
KLIMATEFFEKTER
Ökad nederbörd > ökade flöden i vattendrag > erosion > ras och skred
Ökad nederbörd > ökade flöden i vattendrag > erosion > partikel/sedimenttransport
Ökad nederbörd > förhöjda grundvattennivåer och portryck > försämrad släntstabilitet > ras och skred i ler- och siltslänter
Ökad nederbörd > markerosion > ökad spridning av föroreningar
Skyfall och intensiva regn > översvämning > markerosion och försämrad markstabilitet
Skyfall och intensiva regn > fler moränskred och slamströmmar
Skyfall och intensiva regn > erosion > ravinutveckling
Stigande hav > ökad kusterosion > försämrad markstabilitet > ras
Stigande hav > ökad kusterosion > markförlust
Stigande hav > ökad kusterosion > påverkar strandnära ekosystem
Torka och sänkta grundvattennivåer > sättningar och spridning av föroreningar
Torka och lägre flöden i vattendrag > försämrad släntstabilitet > ras och skred
Ökad temperatur > kortare snöperiod (regn istället) > erosion > ras och skred
Ökad temperatur > ändrad markkemi > spridning av föroreningar
Ökad temperatur > lägre tjäldjup > ändrade markförhållanden > ökad exponeringstid föroreningar
Ökade nollgenomgång > ökad tjälskjutning > sättningar
Ökade nollgenomgång > ökad vittring > bergras
Fler stormar > större vågor > ökad erosion
Fler stormar > stormfällan > erosion > slamströmmar
Fler stormar > ökad belastning på befintliga geokonstruktioner > sänkt säkerhetsfaktor (dimensionering)
Fler skogsbränder > markerosion > ras och slamströmmar
Ökad nederbörd > ändrade markförhållanden > sänkt säkerhetsfaktor (dimensionering)
Ökad temperatur > ändrade markförhållanden > sänkt säkerhetsfaktor (dimensionering)

De climateffekter och de konsekvenser som kan uppstå, och som ingått i klimat- och sårbarhetsanalysen för SGI:s högst prioriterade samhällsutmaningar (5.2), redovisas i två utmaningsdiagram (Figur 9 och 10). Redovisning i två diagram görs enbart för en

tydligare åskådlighet eftersom bedömningen av flera klimatteffekter och utmaningar ger närliggande placeringar i resultatmatrisen.



Figur 9: SGI:s prioriterade utmaningar kopplade till den nationella utmaningen Ras, skred och erosion som hotar samhällen, infrastruktur och företag.



Figur 10: SGI:s prioriterade utmaningar kopplade till den nationella utmaningen Ras, skred och erosion som hotar samhällen, infrastruktur och företag.

Kunskapen är fortfarande bristfällig om graden av klimatteffekternas påverkan på olika markförhållanden och förorenade områden samt möjliga konsekvenser. Det gör att SGI:s

bedömning av klimatförändringarnas effekter och betydelse behöver uppdateras och förbättras i takt med att ny kunskap tillkommer.

#### 5.4 Bedömning av möjlig påverkan och samhällsekonomiska effekter

SGI har bedömt climateffekternas möjliga påverkan inom ansvarsområdet, det vill säga på olika markförhållanden och förorenade områden. Effekterna har bedömts utifrån ett samhällsekonomiskt perspektiv och hur de förändras över tid – nuläge (före och omkring år 2000), medellång sikt (omkring år 2050) och lång sikt (omkring år 2100). Hur effekterna på markförhållanden och spridning av föroreningar förändras över tiden är dock svårbedömt.

Den samhällsekonomiska riskbedömningen bygger på kriterier från SMHI (SMHI, 2019). Effekterna avser inte bara monetära effekter utan även påverkan på människors liv och hälsa samt på ekosystem (tabell 3).

Tabell 3. Samhällsekonomisk effekt enligt kriterier från SMHI (2019). Varje risk ska bedömas utifrån ekonomisk, social och ekologisk effekt. Den effekt som väger tyngst och som återfinns längst ner i tabellen, är styrande.

	Ekonomisk	Social	Ekologisk
<b>Liten</b>	Kostnader som kan hanteras inom befintliga kostnadsramar för myndigheten/sectorn eller vinster för några aktörer.	Störningar som påverkar några personer	Liten och tillfällig skada på ekosystems bärkraft och återhämtningsförmåga
<b>Medel</b>	Kostnader som kräver omprioriteringar för myndigheten/sectorn eller vinster för en viss sektor.	Hälsoeffekter för människor eller djur eller allvarliga störningar som påverkar fler personer	Måttlig skada på ekosystems bärkraft och återhämtningsförmåga
<b>Hög</b>	Kostnader som är svåra för myndigheten/sectorn att bära eller stora vinster för en viss sektor.	Stora hälsoeffekter för människor eller djur eller allvarliga störningar som påverkar många personer.	Allvarlig och långsiktig skada på ekosystems bärkraft och återhämtningsförmåga eller skada på riksintressen
<b>Mycket hög</b>	Kostnader som är svåra för samhället att bära eller vinster som är betydande för samhället.	Fara för människors liv och hälsa eller omfattande skada på samhällsviktig verksamhet.	Allvarlig och irreversibel skada på ekosystems bärkraft och återhämtningsförmåga eller omfattande skada på riksintressen

I figur 11 redovisas exempel på hur SGI bedömer att några markrelaterade risker kan utvecklas över tiden om inga riskförebyggande åtgärder görs. Eftersom bedömningarna är översiktliga och kunskapen om samband i vilken grad markrörelser påverkas av olika climateffekter visas endast förväntad utveckling fram till 2100 i figurerna.

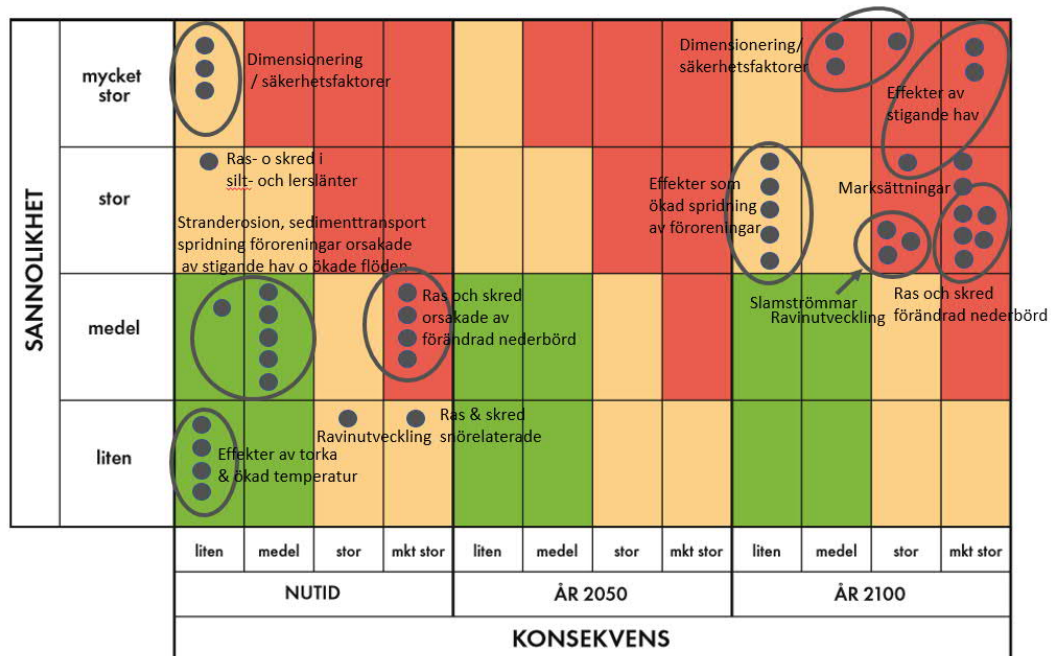
Bedömda risker redovisas utifrån det prioriterade utmaningsområdet Ras, skred och erosion som hotar samhälle, infrastruktur och företag med Översvämning och Biologiska och ekologiska effekter integrerade som beskrivs i avsnitt 4.3.

De samhällsekonomiska bedömningarna av markrelaterade risker utgår från att inga ytterligare åtgärder vidtas. Sannolikheterna bygger på uppskattad frekvens av referensscenarion där "låg" är mer sällan än en gång vart hundra år, "medel" är [oregelbundet] en gång vart tionde till hundra år, "hög" är en gång varje till vart tionde år och "mycket hög" är flera gånger per år. När det gäller stigande hav kan dock inte en återkommande frekvens användas eftersom förändringen sker successivt och ur gällande

tidsperspektiv blir permanent. Definitionen av de olika klasserna följer vägledningen från SMHI (SMHI, 2019).

Klimat- och sårbarhetsanalysen visar att sannolikheten för alla mark- och sedimentrörelser med påföljande konsekvenser ökar i ett förändrat klimat (Figur 11). Med stigande hav, höga vattenflöden och efter ras, skred, erosion samt översvämningar ökar risken att föroreningar sprids. De samhällsekonomiska effekterna kan bli mycket höga i form av kostnader som är svåra för samhället att bära, fara för människors liv och hälsa eller omfattande skada på samhällsviktig verksamhet. Skred utgör alltid en fara för människors liv eller samhällsviktig verksamhet och den ökande sannolikheten för ras och skred är därför en högst angelägen risk att fortsätta förebygga. Marksättningar bedöms öka då markförhållanden ändras och grundkonstruktioner på dagens bebyggelse inte längre stämmer med de markförhållanden som rådde då husen byggdes och infrastrukturen anlades. Det kan medföra höga skadekostnader som kan vara svåra att bära för fastighetsägarna och påverka många människor. Motsvarande skador kan också förväntas bli vanligare på anläggningar för till exempel transportinfrastruktur.

Särskilt klimateffekten stigande hav tillsammans med en ökad sannolikhet för stranderosion kan ge irreversibla skador på strandnära ekosystem och riksintressen som idag är belägna i hotade områden. Riskerna med ett stigande hav bedöms därför vara de mest angelägna att åtgärda. Ekologiska effekter som allvarlig och irreversibel skada på ekosystems bärkraft och återhämtningsförmåga, eller omfattande skada på riksintressen bedöms också kunna bli mycket hög som en följd av mer omfattande mark- och sedimentrörelser samt ökad spridning av föroreningar.



Figur 11. Arbetsmaterial från den samhällsekonomiska bedömningen av risker kopplade till mark om inte ytterligare motåtgärder vidtas. Sannolikhet och konsekvens är uppskattade enligt nationellt rekommenderad metodik (SMHI 2019).

All bebyggelse och byggnadsverk ska lokaliseras till mark som är lämpad för ändamålet med hänsyn till bland annat människors hälsa och säkerhet samt risken för olyckor, översvämning och erosion. Sannolikheten för att vi redan idag bygger fel är hög eftersom riktlinjer och standarder för till exempel grundläggning och byggnation inte tar hänsyn till ändrade markförhållanden (se kapitel 4). Det är därför nödvändigt att öka kunskapen om markens lämplighet och att anpassa dimensioneringen för att inte säkerhetsmarginalerna ska minska markant till slutet av århundradet. Kunskapen om hur förutsättningarna för ravinutveckling och slamströmmar kommer ändras är begränsad. Riskerna med de markrörelserna kan därför vara underskattade och analysen behöver förnyas när mer kunskap finns.

En sammanfattande riskmatris finns i avsnitt 5.6. Riskmatrisen illustrerar vilka händelser som är mest prioriterade att vidta åtgärder mot.

## 5.5 Analys av risker

Här redovisas resultat för sannolikheter och konsekvenser för klimatrelaterade händelser inom myndighetens uppdrag och ansvarsområde. För att bedöma konsekvensen av en viss påverkan har analyserna utgått från sådant som redan inträffat och en bedömning gjorts vilka konsekvenser som skulle kunna uppstå i olika tidsperspektiv.

Ras, skred och erosion samt sättningar, slamstömmar och ravinbildning  
Ras, skred och andra markrörelser kan ske med olika utbredning och frekvens. SGI utgick i analysen från skred större än en hektar med potential för allvarliga konsekvenser. Analysen kan behöva upprepas och förfinas utifrån olika markrörelser utbredning och frekvens. Sveriges geologiska undersökning (SGU, 2020) anger frekvens för ras och skred med olika utbredning enligt nedan:

- små ras och skred <1 ha, inträffar i dagens klimat flera gånger varje år (sannolikhet för påverkan idag = mycket stor)
- måttliga ras och skred 1–10 ha, inträffar i dagens klimat ca vart 3–5 år (sannolikhet för påverkan idag = stor)
- stora ras och skred >10 ha, inträffar i dagens klimat ca vart 10–20 år (sannolikhet för påverkan idag = medel).

I ett förändrat klimat med stigande hav, ökade flöden, mer intensiva skyfall och förändrade markvattenförhållanden bedömer SGI att sannolikheten för alla typer av jord- och sedimentrörelser ökar inom stora delar av landet. Det är dock främst i landets sydvästra delar, delar av Mellansverige samt områden längs älvdalarna i Norrland som det finns skredbenägna jordarter och där ras- och skredriskerna är mer sannolika. Även i små vattendrag i andra delar av landet kan erosion leda till att mindre ras och skred förekommer i strandkanten. Områden med brant terräng drabbas mer sannolikt av ras och slamströmmar. Även branta klintkuster i södra Sverige utsätts för erosion på grund av havets och vågornas inverkan vilket kan leda till ras.

Ett förändrat klimat med höjda havsnivåer, ökad nederbörd, avrinning och flöden ökar förutsättningarna för erosion längs stränderna vid kuster, sjöar, vattendrag och i mark. En ökad erosion längs stränderna medför större risker för skador på strandnära bebyggelse och infrastruktur, spridning av föroreningar och påverkan på områden med natur- och kulturvärden.

Som en följd av höjda havsnivåer i kombination med stormar kommer erosionen att öka längs landets kuster, framför allt längs stränder i södra Sverige som består av erosionsbenägna jordar. Omfattande kusterosion sker redan längs delar av Skånes och Hallands kust, där strandlinjen på vissa ställen har förskjutits över 200 meter inåt land under den senaste 40-årsperioden. En allt högre havsnivå gör att havet kommer att nå tidigare opåverkade landområden och utsätta dessa för erosion. I kombination med stigande havsnivåer kan därmed förlusten av mark ytterligare förstärkas.

Erosion längs stränderna vid kusten, sjöar och vattendrag är en naturlig process som formar vårt landskap och är nödvändig för att skapa förutsättningar för ekosystem och biologisk mångfald. Olika ingrepp i naturen kan påverka processen. Problem uppstår när erosionen hotar bebyggelse, infrastruktur och andra samhällsvärden. Det finns redan idag mål- och intressekonflikter mellan olika sektorer. Åtgärder för att minska erosion för att skydda bebyggelse och infrastruktur kan ha negativ påverkan på miljön. Likaså kan lösningar som främjar miljön behöva ske på bekostad av andra ekonomiska, kulturella och sociala intressen. Med ett förändrat klimat kommer nämnda målkonflikter bli tydligare. Den stora utmaningen ligger i att hitta lösningar som är långsiktigt hållbara utifrån de olika miljömässiga, sociala och ekonomiska förutsättningar.

Ökad tillrinning och ökade flöden kan leda till ökad erosion i vattendragen såväl på botten som i strandzonen. Erosion kan även påverka vägar och järnvägar. Exempelvis kan underdimensionerade eller igensatta vägtrummor skapa översvämningar där vattnet tar nya vägar som orsakar erosion. Inre erosion kan uppstå i väg- och järnvägsbankar och ge stabilitetsproblem. Ett ökat antal nollgenomgångar kan orsaka tjälskador och erosion i dikesslänter. I värsta fall kan erosionen leda till ras och skred så att hela vägen eller järnvägen försvinner på grund av underminering.

Erosionsförebyggande åtgärder i ett område där erosionen är ett problem kan få följd effekter både uppströms och nedströms i vattendraget. Erosion ger i sin tur lägre mothåll för slänterna i anslutning till vattendraget och därmed minskar säkerheten mot ras och skred. Ökade vattenflöden kan också orsaka erosion kring geokonstruktioner som är grundlagda i vattendrag, vilket kan äventyra deras funktion. Minskade vattenflöden som leder till låga vattennivåer kan, i sin tur, orsaka lägre mothåll för slänter mot vattendrag, och därmed lägre säkerhet för skred och ras. I branta sluttningar kan ökad nederbörd och skyfall leda till att jordmaterial transporteras nedför sluttningen. Vid exploatering och olika typer av skogliga åtgärder, exempelvis avverkning, byggande av skogsbilvägar och dikning, där vattnets avrinning och hastighet påverkas, kan erosionen öka och leda till fler ras, skred och slamströmmar.

Ökad vattenströmning på och i marken kan leda till ökad erosion, ravinbildning, ras och skred. Vidare kan det innebära en ökad risk för inre erosion och borttransport av material i skiktade jordar och i porösa berg. De här processerna kan leda till en försvagning av geokonstruktioner, sättningar och en ökad förorenings spridning från förorenade områden (se vidare nedan).

SGI bedömer att risken för ras, skred, erosion och andra markrörelser kommer öka till slutet av århundradet beroende på en rad olika climateffekter som stigande hav, ökade flöden, mer intensiva skyfall och förändrade markvattenförhållanden. Konsekvenserna

bedöms som mycket stora både ur ett ekonomiskt, socialt och ekologiskt perspektiv. Skadekostnader kan bli svåra att bära för samhället, fara för människors liv och hälsa eller omfattande skada på samhällsviktig verksamhet kommer föreligga i ökad omfattning. Även allvarliga och irreversibla skador på både ekosystems bärkraft och återhämtningsförmåga eller omfattande skador på riksintressen är att vänta.

#### Påverkan geokonstruktioner och skador vid markbyggnad

Klimat effekter som ökad nederbörd med påföljande höjda grundvattennivåer kan medföra en minskning av jordens hållfasthet och en ökning av trycket mot geokonstruktioner. Det kan leda till att säkerheten mot ras och skred i naturliga och konstruerade slänter kommer att minska, att säkerheten mot brott kommer att minska för stödkonstruktioner samt att säkerheten mot upplyftning av undermarkkonstruktioner kommer att minska. Varmare somrar kan dock också medföra sänkta grundvattennivåer. Det kan ge sättningar i lös jord och i porös berggrund, minskat mothåll för konstruktioner och orsaka att organiska material som till exempel träpålar ruttnar.

Högre havsnivåer och ytvattennivåer i sjöar leder till ökad belastning på geokonstruktioner som tidigare legat över vattenytan och som nu utsätts för vattnets eroderande kraft. Geokonstruktioner under markytan, såsom pålar och fundament, utsätts för ökat tryck. Stormar med kraftig vinduppstuvning i kombination med högt havsvattenstånd leder ibland till kortvarig men kraftig översvämning och erosion, vilket kräver ordentliga marginaler vid dimensionering och underhåll. Kontinuerligt stigande havsnivåer längs södra Sveriges kuster kommer att fortgå under åtminstone flera sekler. Låga ytvattennivåer leder omvänt till minskat mothållande tryck på geokonstruktioner. Det kan orsaka lägre mothåll för slänter och därmed lägre säkerhet för skred och ras, samt att stabiliteten för stödkonstruktioner minskar.

Kortare perioder med tjäle och fler tjälcykler påverkar geokonstruktioner genom till exempel bärighetsproblem för vägar, järnvägar och flygplatser samt genom att grundläggning för vindutsatta konstruktioner påverkas genom en ökad känslighet för stormar under vintern.

Lokalisering till lämplig mark för nya geokonstruktioner blir allt viktigare och de behöver byggas robusta och beständiga, och därmed också dimensioneras för att motstå framtida klimatkänsligheter under hela sin livslängd. Befintliga geokonstruktioner behöver uppgraderas eller skyddas för att motstå framtida klimatkänsligheter under sin resterande livslängd. Behovet av säkert markutnyttjande och valet av lokalisering av bebyggelse och anläggningar blir allt viktigare.

SGI bedömer att risken för otillräckliga säkerhetsfaktorer vid grundläggning och anläggning av olika geokonstruktioner i ett förändrat klimat är en viktig utmaning som inte hanteras tillräckligt av i samhället idag. Sannolikheten för att dimensionering och säkerhetsfaktorer inte beräknas utifrån de markförhållanden som kommer råda vid slutet av århundradet är mycket stor och konsekvenserna kan bli relativt höga skadekostnader.

#### Spridning av föroreningar

I Sverige finns idag cirka 80 000 förorenade områden, varav cirka 1 800 bedöms utgöra en mycket stor risk för människors hälsa och miljön. Klimatförändringens effekter kan på olika sätt påverka miljö- och hälsoriskerna för förorenade områden och deponier. Det

gäller föroreningarnas biotillgänglighet, toxicitet och rörlighet men också hur föroreningar transporteras och sprids.

Perioder med ökad nederbörd som alternerar med torra kan leda till fluktuerande grundvattennivåer och konsekvenser med ökad spridning av föroreningar. Förändrade grundvattenförhållanden kan också ha betydelse för processer som nedbrytning och fastläggning av föroreningar genom att parametrar som syretillgång och biologisk aktivitet påverkas.

Av industrihistoriska skäl är många förorenade områden lokaliserade intill sjöar, vattendrag och kust. Det innebär i sin tur att de kan finnas på platser som är extra sårbara för markrörelser, erosion och översvämningar vilket medför ökad risk för spridning av föroreningar om inga åtgärder vidtas. Ändrade strömförhållanden kan också öka riskerna för spridning av förorenade sediment. Vid bedömning av miljö- och hälsorisker för förorenade områden samt behovet av saneringsåtgärder är det därför viktigt att också ta hänsyn till geotekniska förhållanden och de climateffekter som är att vänta.

SGI bedömer att risken för ökad spridning av föroreningar i ett förändrat klimat är en viktig utmaning som hanteras allt för lite av i samhället idag. Sannolikheten för att spridningen av föroreningar ökar till slutet av århundradet är stor och konsekvenserna kan bli stora hälsoeffekter för människor och djur samt ge allvarliga och långsiktiga skador på ekosystems bärkraft och återhämtningsförmåga.

## 5.6 Lagar och andra författningar

Enligt §6 i SFS 2018:1428 ska myndighetens klimat- och sårbarhetsanalys identifiera bestämmelser i lagar och andra författningar som påverkar myndighetens arbete med klimatanpassning.

De lagar och författningar som i övrigt förutom SFS 2018:1428 särskilt påverkar SGI:s arbete med klimatanpassning är

- Kommunallagen (1991:900)
- Plan- och bygglagen (2010:900)
- Miljöbalken (1998:808)
- Lagen om skydd mot olyckor (2003:778)
- Lagen om kommuners och landstings åtgärder vid extraordinära händelser i fredstid (2006:544)

De hinder som har identifierats berör PBL:s och MB:s inbördes relation. PBL ställer krav på att marken ska vara lämplig med hänsyn till risken för ras, skred, erosion och översvämning. I många fall avgörs markens lämplighet av åtgärder utanför planområdet eller av åtgärder som behövs först på lång sikt. Åtgärder som får tillstånd enligt MB behöver uppföras inom en genomförandetid. Kraven i PBL kan därför tvinga fram åtgärder som inte behövs förrän på lång sikt.

Kommunen saknar vidare möjlighet att avslå ansökan om bygglov som är i linje med gällande detaljplan. Det kan leda till att ny bebyggelse uppförs i områden som regleras av äldre detaljplaner som är olämpliga sett till risken för ras, skred, erosion eller översvämning.



## 5.7 Sammanfattande riskmatris och slutsatser

Större markrörelser i byggd miljö utgör redan idag en fara för människors liv och samhällsviktig verksamhet. Sannolikheten att skred och andra markrörelser ökar som en följd av klimatförändringens effekter är mycket stor. Att kostnader kan uppstå som är svåra för samhället att bära tillsammans med irreversibla skador på till exempel ekosystem och riksintressen gör att SGI liksom regeringen bedömer att Ras, skred, erosion som hotar samhällen, infrastruktur och företag är en väl motiverad nationell utmaning som kräver åtgärder.

Det är viktigt att den fortsatta samhällsplaneringen tar hänsyn till hur olika klimateffekter påverkar geotekniska risker, förorenade områden och ekosystemens bärkraft. Riskerna med ett stigande hav bedöms vara de mest angelägna att åtgärda.

Det finns fortfarande ett stort behov av forsknings- och utvecklingsinsatser för att öka kunskapen i samhället liksom att förmedla redan befintlig kunskap om de markrelaterade risker i ett föränderligt klimat.

<b>SANNOLIKHET</b>	mycket stor	Sänkt säkerhetsfaktor							Sänkt säkerhetsfaktor		Kusterosion		
	stor	Sättningar Försämrad markstabilitet						Spridning av föroreningar Slamströmmar	Försämrad markstabilitet Sättningar Raviner		Erosion Skred Ras		
	medel	Kusterosion Erosion Skred Ras											
	liten	Spridning av föroreningar	Slamströmmar Ravinutveckling										
		liten	medel	stor	mkt stor	liten	medel	stor	mkt stor	liten	medel	stor	mkt stor
		<b>NUTID</b>				<b>ÅR 2050</b>				<b>ÅR 2100</b>			
		<b>KONSEKVENNS</b>											

Figur 12. Samhällsekonomisk bedömning av några risker kopplade till mark om inte ytterligare motåtgärder vidtas. Sannolikhet och konsekvens är uppskattade enligt nationellt rekommenderad metodik (sektion 4.4).

## 5.8 Fortsatt arbete

Slutsatserna från klimat- och sårbarhetsanalysen kommer utgöra underlag inför revideringen av SGI:s handlingsplan för klimatanpassning. Handlingsplanen för hållbart markbyggande revideras under hösten 2020 och en ny handlingsplan som uppfyller förordningens krav ska gälla från januari 2021.

Handlingsplanen kommer upprättas enligt SMHI:s rekommendationer med myndighetsmål och åtgärds mål respektive myndighetsåtgärder och anpassningsåtgärder

för att underlätta den årliga uppföljningen i KLIRA och samarbetet med andra myndigheter kring åtgärder för att minska markrelaterade risker.

I det fortsatta arbetet är det också viktigt att lyfta fram möjligheter med anledning av de utmaningar som finns för ett hållbart markbyggande. Det finns utrymme för innovationer som till exempel utveckling av modeller som beslutsstöd för hur förändrade markförhållanden kan integreras i planering, robusta konstruktioner och byggmaterial, nya företags- och marknadsmodeller, processer för omvandling av avfall till resurser, att möjliggöra giftfria kretslopp samt kostnadseffektiva system för kartering och övervakning av förändrade markförhållanden. Ett hållbart markbyggande erbjuder därmed både utmaningar och möjligheter i samhällsbyggandet.

## Referenser

Boverket (2011) Boverkets byggregler (föreskrifter och allmänna råd) BFS 2011:6. Ändrad t.o.m. BFS 2020:4.

Byggföretagen (2020) <https://byggforetagen.se/statistik>

Europeiska kommissionen (2021) EN Eurocode Parts, <https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu>

IPCC (2018) Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.

IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. Weyer (eds.)].

Lundström K., B. Dehlbom, H. Löfroth, B. Vesterberg (2018) Klimatlasters effekter på naturlig mark och geokonstruktioner – geotekniska aspekter på klimatförändringen uppdragsrapport, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping.

Regeringen (2018) Regeringens proposition 2017/18:163 Nationell strategi för klimatanpassning.

SGI (2017) Hållbart markbyggande – en handlingsplan i ett föränderligt klimat. SGI Publikation 35. Statens geotekniska institut, Linköping.

SGU (2016) Riksöversikt finkorniga jordars skredbenägenhet. Sveriges geologiska undersökning, Uppsala.

SGU (2017) Riksöversikt stranderosion. Sveriges geologiska undersökning, Uppsala.

SGU (2020): Klimat- och sårbarhetsanalys för SGU. Helena Dahlberg, Emil Vikberg Samuelsson, Anna Hedenström. Internt PM. Sveriges geologiska undersökning, Uppsala.

SMHI (2018) <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/vagledning-klimatscenarioer/vad-ar-rcp-1.80271>

SMHI (2019) Rekommendationer för arbetet med klimatanpassning.

SMHI (2019) <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/klimatscenarioer/info/haag>

SMHI (2021) Klimatscenarioer analyser. <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/klimatscenarioer/>

Svensk författningssamling (2009) Förordning (2009:945) med instruktion för Statens geotekniska institut. Ändrad t.o.m. SFS 2019:1073.

Svensk författningssamling (2010) Plan- och bygglag 2010:900 (PBL). Ändrad t.o.m. SFS 2020:603.

Svensk författningssamling (2018) Förordning 2018:1428 om myndigheters klimatanpassningsarbete.

Sveriges Byggindustrier (2015) Fakta om byggandet.

WSP (2020) Utvärdering av SGI:s Handlingsplan för hållbart markbyggande 2017-2020.



**STATENS  
GEOTEKNISKA  
INSTITUT**

Statens geotekniska Institut

581 93 Linköping

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

E-post: [sgi@sgi.se](mailto:sgi@sgi.se)

Växelnr: 013-20 18 00