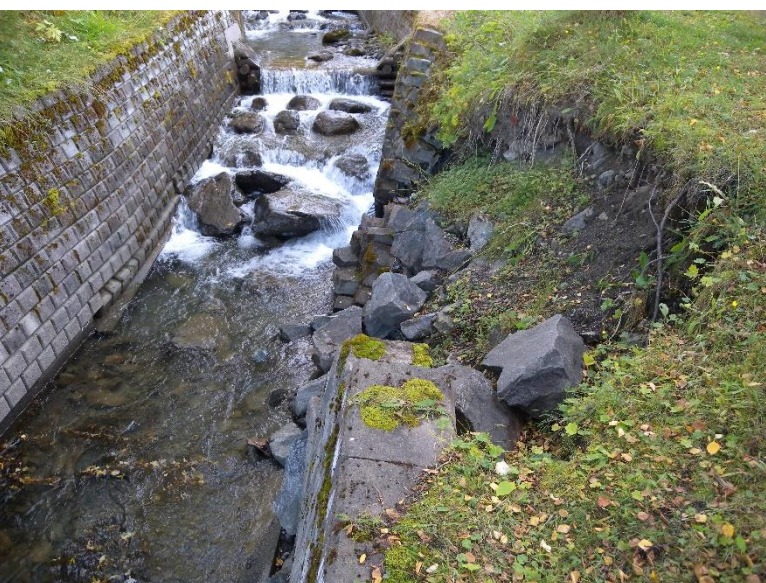


## **Klimatlaster effekter på naturlig mark och geokonstruktioner**

– geotekniska aspekter på klimatförändringen

Karin Lundström, Björn Dehlbom, Hjördis Löfroth, Bo Vesterberg





Uppdragsledare: Bo Vesterberg

Granskare: Helene Kennedy, HannaSofie Pedersen, Kerstin Konitzer

Handläggare: Karin Lundström, Björn Dehlbom, Hjördis Löfroth, Bo Vesterberg

Diariernr: 1.1-1706-0431

Uppdragsnr: 15244/304 och 17109

Hänvisa till detta dokument på följande sätt:

Lundström, K, Dehlbom, B, Löfroth, H & Vesterberg, B 2018, *Klimatlasters effekter på naturlig mark och geokonstruktioner*, – geotekniska aspekter på klimatförändringen, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping, 2018-04-16.

Foto på omslag: Karin Lundström, SGI

# Förord

Föreliggande rapport är framtagen som en del i genomförandet av SGI:s (Statens geotekniska institut) Handlingsplan för hållbart markbyggnad.

Författare till rapporten är Karin Lundström, Björn Dehlbom, Hjärdis Löfroth och Bo Vesterberg, samtliga SGI. Text rörande bergtekniska frågor har tagits fram av Johan Berglund och text rörande stranderosion har tagits fram av Per Danielsson, båda SGI. Flera figurer i kapitel 2 har arbetats fram av Jim Hedfors på SGI, baserat på data från SMHI.

Värdefulla synpunkter på rapportens innehåll har lämnats av representanter för Göteborgs stad, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, Skanska, Statens geotekniska institut, Sveriges geologiska undersökning, Sweco och Trafikverket.

Linköping 2018-04-16

Författarna



---

Bo Vesterberg  
Uppdragsledare



---

Helene Kennedy, HannaSofie Pedersen,  
Kerstin Konitzer  
Granskare



# Innehållsförteckning

<b>Sammanfattning .....</b>	<b>3</b>
<b>Ordlista .....</b>	<b>4</b>
<b>1. Inledning .....</b>	<b>8</b>
1.1 Bakgrund .....	8
1.2 Syfte.....	8
<b>2. Klimatscenarier .....</b>	<b>10</b>
2.1 Inledning .....	10
2.2 Klimatscenarier för Sverige .....	10
<b>3. Naturlig mark och geokonstruktioner .....</b>	<b>33</b>
3.1 Inledning – Naturlig mark och geokonstruktioner.....	33
3.2 Naturlig mark (jord och berg).....	33
3.3 Marköverbyggnad och markunderbyggnad .....	34
3.4 Avvattnings- och infiltrationsanläggningar samt tätningsåtgärder ....	34
3.5 Markförstärkning .....	35
3.6 Stödkonstruktioner .....	36
3.7 Grundkonstruktioner för broar, byggnader och övriga anläggningar	37
<b>4. Hur klimatlaster beaktas i dagens geotekniska regelverk.....</b>	<b>38</b>
4.1 Tillgängliga mätningar som underlag till dimensionerande klimatlaster .....	39
4.2 Vattennivåer, vattentryck, vattenflöde, vattenhastighet, vågkrafter, strömtryck och istryck.....	43
4.3 Grundvattennivå, portryck och grundvattenflöde .....	46
4.4 Temperatur inklusive köldmängd, nollgenomgångar och snötäcke..	51
4.5 Snölast och snötäckets tjocklek.....	54
4.6 Vindlast.....	55
<b>5. Dagens kunskaper om framtida klimatlaster.....</b>	<b>56</b>
5.1 Vattennivåer, vattentryck, vattenflöde, vattenhastighet, vågkrafter, strömtryck och istryck.....	56
5.2 Grundvattennivå, portryck och grundvattenflöde .....	57
5.3 Temperatur inklusive köldmängd, nollgenomgångar och snötäcke..	57
5.4 Snölast och snötäckets tjocklek.....	58
5.5 Vindlast.....	58
5.6 Klimatlaster som dimensioneringsförutsättningar .....	58

<b>6. Hur påverkas naturlig mark och geokonstruktioner av förändrade klimatlaster? .....</b>	<b>59</b>
6.1 Naturlig mark (jord och berg).....	59
6.2 Marköverbyggnad och markunderbyggnad .....	63
6.3 Avvattnings- och infiltrationsanläggningar samt tätningsåtgärder ....	64
6.4 Markförstärkning .....	66
6.5 Stödkonstruktioner .....	69
6.6 Grundkonstruktioner för broar, byggnader, betongtunnlar och övriga anläggningar .....	71
<b>7. Behov av kunskap och förslag till FoU-insatser .....</b>	<b>73</b>
7.1 Inledning .....	73
7.2 Klimatlaster .....	74
7.3 Naturlig mark.....	77
7.4 Marköverbyggnad och markunderbyggnad .....	81
7.5 Avvattnings- och infiltrationsanläggningar samt tätningsåtgärder ....	83
7.6 Markförstärkning .....	84
7.7 Stödkonstruktioner .....	85
7.8 Grundkonstruktioner för broar, byggnader, betongtunnlar och övriga anläggningar .....	86
<b>Referenser .....</b>	<b>89</b>

# Sammanfattning

I Sverige förväntas klimatförändringen innebära bland annat förändrad temperatur, nederbörd och avrinning. Det kommer att få konsekvenser för markens byggharhet och naturolyckor. Insatser av olika slag behövs för att klimatsäkra samhället, allt från storskalig omlokalisering till lokala tekniska lösningar och geotekniska förstärkningsåtgärder.

Klimatförändringen påverkar markförhållandena och därmed ett stort antal befintliga geokonstruktioner och markens byggharhet. Med geokonstruktioner avses stödjande eller bärande konstruktioner som antingen helt utgörs av jord eller berg eller vars funktion är beroende av omgivande jords eller bergs egenskaper. Exempel på geokonstruktioner är marköverbyggnad och markunderbyggnad, avvattnings- och infiltrationsanläggningar, markförstärkning, stödkonstruktioner, grundkonstruktioner för broar, byggnader och övriga anläggningar (pålade konstruktioner, plattgrundlagda konstruktioner och förankrade konstruktioner med hjälp av dragstag eller dragpålar). Geokonstruktionerna ska dimensioneras för olika laster, bland annat klimatlaster. Med klimatlaster menas exempelvis vattennivåer, vattenflöde, portryck (grundvattentryck), grundvattenflöde, temperatur, snölast och vindlast.

Uppdragets syfte var att:

- Beskriva de klimatlaster som är relevanta för naturlig mark och geokonstruktioner.
- Beskriva dagens kunskap om hur klimatlasterna kan komma att förändras och hur klimatlasterna beskrivs i nuvarande regelverk.
- Sammanställa den påverkan klimatförändringen kan ha på naturlig mark och geokonstruktioner, med dagens kunskap om förändrade klimatlaster som underlag.
- Behov av forskning och kunskapsutveckling för att dimensionering ska kunna utföras av geokonstruktioner vid nybyggnad och ombyggnad samt vid värdering av konsekvenser för befintliga konstruktioner.

Rapporten omfattar inte förorenade områden, kraftverksdammar och gruvdammar. Innehållet i denna rapport är en vidareutveckling och konkretisering av de delar som översiktligt beskrevs i ”Hållbart markbyggande – en handlingsplan i ett föränderligt klimat” (SGI Publikation 35, SGI 2017).

En beskrivning av hur olika geokonstruktioner kan påverkas av förändringar av klimatlaster baserat på dagens kunskap om framtida klimatscenarier redovisas i Kapitel 6. I Kapitel 7 presenteras behov av kunskap och förslag till forsknings- och utvecklingsinsatser. Som en bakgrund till analyserna i Kapitel 6 och 7 presenteras SMHI:s klimatscenarier (Kapitel 2), vad som menas med naturlig mark och olika typer av geokonstruktioner (Kapitel 3), hur geotekniska konstruktioner ska dimensioneras enligt dagens förhållanden samt vilka anvisningar det finns i dagens regelverk för hur ett framtida klimat kan beaktas (Kapitel 4) och dagens kunskapsläge när det gäller klimatlasternas förändring fram till år 2100 (Kapitel 5).

Kunskap om förändringen av vissa klimatlaster saknas idag. Det kan konstateras att det, generellt för alla klimatlaster, idag saknas anvisningar för hur förändringarna av dessa bör behandlas och användas vid dimensionering. I denna rapport ges förslag till forskning, inventering, uppföljning, normutveckling med mera för att hantera den framtida klimatbelastningen på befintliga och nya geokonstruktioner och naturlig mark.



# Ordlista

**Akvifer** – En i berg eller jord vattenförande formation som kan avge vatten i användbara volymer. En akvifer kan vara sluten eller öppen. I en sluten akvifer är vattnet avskilt från atmosfären och kan därmed stå under högre tryck än vattnet i en öppen akvifer.

**Anläggning** – Vägar, järnvägar, broar, m.m.

**Avvattningsanläggning** – Omfattar anläggningsdelar för att samla upp och avleda dagvatten och grundvatten, dvs. diken, dagvattenledningar, dräneringsledningar, brunnar, trummor etc.

**Dimensionerande, ex klimatlast** – Värden på laster som används för att dimensionera (utforma) geokonstruktioner.

**Erosion** – Nötande och bortförande av jord eller berg genom rinnande vatten, vind, vågor m.m.

**Finkornig jord** - Sammanfattande benämning för jordarter som domineras av kornstorlekar mindre än 0,063 mm. Exempelvis lera, silt, gyttjelera.

**Fraktil** – Är ett värde som i en statistisk fördelning avgränsar en bestämd sannolikhet eller proportion.

**Geokonstruktion, geoteknisk konstruktion** – Stödjande eller bärande konstruktion som antingen helt utgörs av jord eller berg eller vars funktion är beroende av omgivande jords eller bergs hållfasthetsegenskaper.

**Grovkornig jord** – Sammanfattande benämning för jordarter som domineras av kornstorlekar större än 0,063 mm. Exempelvis sand, grus, sandigt grus.

**Grundkonstruktion** – Del av byggnadskonstruktion som överför last från överbyggnad till jord eller berg.

**Grundvatten** – Den underjordiska delen av vattnets kretslopp i naturen. Det vatten som finns där jordens porer och bergets sprickor är helt vattenfyllda. Bildas genom infiltration av ytvatten från nederbörd eller från ytvattendrag. Grundvattenförhållandena beror därför av geologiska, topografiska, hydrologiska och klimatologiska faktorer.

**Grundvattenflöde** – Rörelser av grundvatten i en akvifer.

**Grundvattennivå** – Nivå för grundvattens övre begränsningsyta.

**Infiltrationsanläggning** – Anläggning för att ta hand om ytvatten genom att det rinner genom naturliga jordlager och ner till grundvattnet.

**Inre stabilitet** – Stabilitet hos enbart fyllnings- och konstruktionsmaterialet.

**Istryck** – Horisontal eller nära horisontal last på konstruktion orsakad av ett istäcke.

**Klimatet** – Är definitionsmässigt ett medelvärde av atmosfärens, havets och/eller jordytans tillstånd under en viss tid och över en viss yta eller på en viss plats, till exempel årsmedelvärdet av lufttemperaturen.

**Klimatfaktorer** – Temperatur (medel, högsta dygnsmedel, lägsta dygnsmedel, nollgenomgångar, köldmängd), nederbörd (års, största dygns, antal dagar med kraftig nederbörd, skyfall, årets längsta torrperiod), vind (maximal byvind), m.m.



**Klimatförändringen** – Enligt SMHI: Flera tecken talar för att klimatet håller på att förändras utöver den naturliga variationen. Genom att studera långa mätserier av både globala och regionala data kan vi se både temperatur- och nederbördsförändringar redan idag. Vi kan på detta sätt konstatera att klimatet håller på att förändras.

**Klimatindex** – Klimatindex används (av SMHI) för att utifrån uppmätta och/eller beräknade data beskriva hur klimatet är, hur det har varierat och hur det kan komma att variera i tid och rum över en viss period. Temperatur, nederbörd, avdunstning, vindar; exempelvis temperatur i luft och hav, nederbörd (regn och snö) och vind men även förändring i snötäckning och tillrinning till vattendrag.

**Klimatlast** – Vattennivåer, vattentryck, vattenflöde, vattenhastighet, vågkrafter, strömtryck, istryck; Grundvattennivå, portryck och grundvattenflöde (påverkar även jordens egentyngd och jordtryck); Temperatur inklusive köldmängd, nollgenomgångar och snötäcke; Snölast inklusive snötäckets tjocklek; Vindlast.

**Klimatmodeller** – Modeller som beskriver olika sätt som klimatsystemet kan antas svara på klimatförändringen.

**Klimatparametrar** – Nederbörd i form av regn och snö, temperatur och vind.

**Klimatscenarioer** – Avses tänkbara utvecklingar av klimatet (exempelvis enligt SMHI för Sverige).

**Klimatsystemet** – Klimatsystemet består av följande fyra huvuddelar: atmosfären, världshavet, kryosfären (snö, havsis, glaciärer) landytan och marken.

**Köldmängd** – Summan av enbart de negativa dygnsmedeltemperaturerna under exempelvis en vintersäsong.

**Mark** – Jordskorpans översta skikt som består av berg eller jord.

**Markanläggning** – Anläggning i mark.

**Markförhållanden** – Topografiska, geotekniska, geohydrologiska och bergtekniska förhållanden.

**Markförstärkning** – Begreppet markförstärkning används i föreliggande rapport som ett samlingsbegrepp för olika metoder för att förstärka mark dvs. jord och berg. Följande metoder ingår i begreppet markförstärkning i föreliggande rapport: vertikaldränering, djupstabilisering, ytstabilisering, masstabilisering, armerad jord, massutskiftning, lastanpassningsåtgärder (exempelvis tryckbankar), lättfyllning, jordspikning, komprimerad jord (ytpackning och djuppackning), pålade plattor (bankpållning, påldäck) samt förstärkt berg (exempelvis bergförankring och sprutbetong). Ovanstående definition avviker delvis från den tillämpning av begreppet markförstärkning som används i AMA Anläggning.

**Markunderbyggnad** – Del av markanläggning som ligger mellan terrassytan och undergrunden.

**Marköverbyggnad** – Del av markanläggning som påförs terrassytan. Terrassytan bildar gräns mellan marköverbyggnad och markunderbyggnad (bankfyllning) eller mellan marköverbyggnad och undergrund (skärning).

**Morän** – En av landis transporterad och avlagrad jordart med låg grad av sortering. Moränjordar består oftast av kantigt material som innehåller en blandning av alla kornstorlekar, från lerpartiklar upp till jättelika block. I stora delar av Sverige domineras moränen av sand och silt.

**MSB** – Myndigheten för samhällsskydd och beredskap.

**Naturlig mark** – Mark och tillhörande jordlager som skapats av geologiska och kvartär-geologiska processer.

**Nollgenomgång** – När temperaturen i jorden passerar noll grader Celsius (°C), antingen vid frysning eller tining.

**Portryck (porvattentryck)** – Tryck som verkar i vattnet mellan jordkornen. I högpermeabel jord, exempelvis sand, är portrycket normalt hydrostatiskt dvs. på alla nivåer under markytan lika med det tryck som orsakas av vattnets egentynghet. I finkorniga jordar, exempelvis lera, är portrycket hydrodynamiskt fördröjt vid belastning på grund av den låga permeabiliteten och kan avvika från det hydrostatiska trycket. Ibland kan jordlagerföljden leda till förekomst av olika trycknivåer i olika jordlager.

**Ras** – Snabb massrörelse i jord eller i berg. I ett ras rör sig de enskilda delarna fritt i förhållande till varandra under hela förloppet.

**SGI** – Statens geotekniska institut.

**SGU** – Sveriges geologiska undersökning.

**Skred** – Ett skred är en massa av jord (lera och/eller silt) eller en del av en bergslänt, som kommer i rörelse och som till en början är sammanhängande.

**Slamström** – En flytande massa av vatten och jord som rör sig nedför en bäckravin eller en brant sluttning. Slamströmmar uppstår i samband med intensiva nederbördstillfällena och snösmältning och är vanliga i fjällområdena men förekommer även i övriga landet.

**Släntstabilitet** – Släntstabilitet beskriver hur stabil en slänt är mot att skreda eller rasa. Släntstabiliteten uttrycks ofta med en beräknad säkerhetsfaktor som beskriver hur stora de pådrivande krafterna är i förhållande till de motståndande.

**Snölast** – den belastning (tryck) som snö skapar på en geokonstruktion.

**Strålningsdrivningsscenarioer** – Enligt SMHI: Strålningsdrivningen är skillnaden mellan mängden energi från solinstrålning som träffar jorden och hur mycket energi som jorden strålar ut till rymden igen. Vanligtvis används utsläppsscenarioer som utarbetats av FN:s klimatpanel, IPCC. I utvärderingsrapport AR5 -2014 används fyra nya scenarier för att beräkna framtida klimatförändringar, så kallade RCP:er, "Representative Concentration Pathways". RCP-scenarierna betecknas med siffror som anger den strålningsdrivning de ger upphov till år 2100.

**Strömtryck** – Last på konstruktion orsakad av rörelseenergi hos strömmande vatten.

**Stödskonstruktion** – I geoteknisk mening anordning vars primära syfte är att stödja jordmassor vid större nivåskillnader i markprofilen. I föreliggande rapport ingår följande konstruktioner i begreppet stödskonstruktion: betongstödmurar, stenmurar, armerad jord, jordspikning och permanenta spontkonstruktioner.

**TRV** – Trafikverket.

**Vattenflöde** – Mått på hur mycket vatten per tidsenhet som passerar genom en tvärsnitt av vattendraget,

**Vattenhastighet** – Mått på hur långt en vattenpartikel färdas på ett bestämt tidsintervall.

**Vattenstånd (vattennivå)** – Vattenstånd bestäms utifrån vattenytans nivå i förhållande till ett bestämt jämförelseplan.

**Vattentryck** – *Vattentryck är kraften som vatten utövar på en annan kropp per ytenhet.*

**Vindlast** – *Last på konstruktion orsakad av rörelseenergi hos luft.*

**Vågkrafter** – *Avser oftast den energi som finns i vattenvågor, som på olika sätt påverkar stränder.*

**Utsläppsscenarier** – *Från SMHI: FN:s klimatpanel IPCC har utarbetat så kallade emissionsscenarier (utsläppsscenarier) över hur atmosfären kan komma att förändras i framtiden. De flesta beräkningar med klimatmodeller följer något av dessa scenarier.*

**Öppna magasin** – *I en öppen akvifer sammanfaller grundvattenytan med grundvattenzonens övre gräns.*

# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

I Sverige förväntas klimatförändringen innebära bland annat förändrad temperatur, nederbörd och avrinning. Det kommer att få konsekvenser för markens byggbarhet och naturolyckor. Insatser av olika slag behövs för att klimatsäkra samhället, allt från storskalig omlokalisering till lokala tekniska lösningar och geotekniska förstärkningsåtgärder.

Klimatförändringen påverkar markförhållandena och därmed ett stort antal befintliga geokonstruktioner och markens byggbarhet. Med geokonstruktioner avses stödjande eller bärande konstruktioner som antingen helt utgörs av jord eller berg eller vars funktion är beroende av omgivande jords eller bergs egenskaper. Exempel på geokonstruktioner är marköverbyggnad och markunderbyggnad, avvattnings- och infiltrationsanläggningar, markförstärkning, stödkonstruktioner, grundkonstruktioner för broar, byggnader och övriga anläggningar (pålade konstruktioner, plattgrundlagda konstruktioner och förankrade konstruktioner med hjälp av dragstag eller dragpålar).

Klimatparametrar utgörs av nederbörd i form av regn och snö, temperatur och vind. Klimatlaster (som påverkas av klimatparametrarna) som vattennivåer, vattenflöde, vågkrafter, grundvattennivå, portryck, grundvattenflöde, lufttemperatur, snötäcke, snölast och vindlast är tillämpliga vid dimensionering för användning av naturlig mark och geokonstruktioner och måste därmed beaktas vad gäller framtida klimatförändringar.

För att kunna utveckla effektiva, ändamålsenliga och långsiktigt hållbara anpassningslösningar på regional, kommunal och individuell nivå behövs såväl grundläggande kunskap om hur marken påverkas av klimatförändringen liksom kunskap om effekter av hittills utförda åtgärder. Det behövs en beskrivning av hur olika geokonstruktioner geotekniskt påverkas av förändringar av klimatlaster baserat på framtida klimatscenarier.

Det finns därför ett behov av en sammanhållen beskrivning av klimatförändringen och dess geotekniska effekter på naturlig mark och geokonstruktioner. Den här rapporten är en del i genomförandet av ”Hållbart markbyggande – en handlingsplan i ett föränderligt klimat”, SGI Publikation 35 (SGI, 2017), som togs fram av SGI i början av 2017. I handlingsplanen beskrivs problematiken övergripande om klimatförändringen och dess inverkan på markförhållanden. Denna rapport har för avsikt att beskriva och konkretisera hur de geotekniska förutsättningarna och därmed markförhållanden påverkas av klimatförändringen.

## 1.2 Syfte

Uppdragets syfte var att:

- Beskriva de klimatlaster som är relevanta för naturlig mark och geokonstruktioner.
- Beskriva dagens kunskap om hur klimatlasterna kan komma att förändras och hur klimatlasterna beskrivs i nuvarande regelverk.

- Sammanställa den påverkan klimatförändringen kan ha på naturlig mark och geokonstruktioner, med dagens kunskap om förändrade klimatlaster som underlag.
- Beskriva behov av forskning och kunskapsutveckling för att dimensionering ska kunna utföras av geokonstruktioner vid nybyggnad och ombyggnad samt vid värdering av konsekvenser för befintliga konstruktioner.

Uppdraget omfattar inte förorenade områden, kraftverksdammar och gruvdammar.

Målgrupp för rapporten är i första hand berörda personer med geoteknisk kompetens hos myndigheter (Trafikverket, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, Sveriges geologiska undersökning, Boverket), kommuner, länsstyrelser och den geotekniska branschen.

Rapporten visar på kopplingen mellan klimatlaster, markförhållanden, geokonstruktioner och klimatförändringen samt behovet av ny kunskap. Denna information är viktig för att myndigheter och branschen ska kunna ställa de krav och utföra de arbeten som behövs för att klimatsäkra våra anläggningar och byggnader.

## 2. Klimatscenarier

### 2.1 Inledning

I detta kapitel sammanställs hur de klimatparametrar som påverkar geotekniska konstruktioner, förväntas förändras de närmaste 100 åren. Sammanställningen finns med eftersom den utgör grund för den analys som görs och de slutsatser som dras i efterföljande kapitel. Underlag till kapitlet har hämtats från Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut, SMHI (<http://www.smhi.se>).

Med klimatscenarier avses tänkbara utvecklingar av klimatet. Vid framtagning av scenarierna används olika varianter av framtida utsläpp av växthusgaser (utsläppsscenarioer eller stråldrivningsscenarioer) och olika sätt som klimatsystemet kan antas svara på förändringen (klimatmodeller). Genom att använda flera olika globala klimatmodeller och göra beräkningar med flera olika utsläpps-/strålningsdrivningsscenarioer, kan osäkerheter hanteras och beskrivas. De klimatanalyser som SMHI idag presenterar är beräknade med strålningsdrivningsscenarioer kallade RCP-scenarioer (**R**epresentative **C**oncentration **P**athways). Dessa beskriver förändringen av strålningsbalansen i atmosfären fram till år 2100. Exempelvis avser scenariot RCP4.5 att koncentrationen av växthusgaser i atmosfären genererar en uppvärmning motsvarande  $4,5\text{W/m}^2$  år 2100, jämfört med förindustriell nivå. Klimatscenarierna visar tänkbara utvecklingar av klimatindex som exempelvis temperatur i luft och hav, nederbörd (regn och snö) och vind men även förändring i snötäckning och tillrinning till vattendrag, finns framtaget.

### 2.2 Klimatscenarier för Sverige

På SMHI:s webbplats presenteras för hela landet beräknade förändringar av klimatfaktorer fram till år 2100 i form av kartor, diagram och material som finns fritt att tillgå. Resultaten presenteras för klimatindex<sup>1</sup> temperatur, nederbörd och vind (med underindex) och för fyra olika utsläppsscenarioer, se Tabell 1.

I rapporten presenteras *resultat från klimatscenario RCP8.5* då det i dagsläget anses ligga närmast de trender i koncentration av växthusgaser som uppmätts (SMHI, 2017). I rapporten har vi valt att presentera värden för år perioden 2069-2098. På SMHI:s webbplats presenteras även utveckling över tid uppdelat på tre perioder; år 2011-2040, 2041-2070 och 2071-2100 (med viss justering). Värden som presenteras är medelvärden av 9 klimatmodeller.

I regleringsbrevet för 2015 gavs SMHI i uppdrag att ta fram länsvisa klimatanalyser i rapportformat baserade på de nya klimatscenarierna (se <http://www.smhi.se/klimat>). Klimatanalyserna i uppdraget baseras på klimatscenarierna *begränsade utsläpp* (RCP4.5) respektive *höga utsläpp* (RCP8.5). Vid dessa analyser har några ytterligare klimatindex presenterats som inte ingår i presentationen som avser hela landet. De resultat som presenteras i rapporten är från de länsvisa analyserna, om inget annat framgår.

<sup>1</sup> Klimatindex används av SMHI för att utifrån uppmätta och/eller beräknade data beskriva hur klimatet är, hur det har varierat och hur det kan komma att variera i tid och rum över en viss period.

I denna rapport redovisas de beräknade förändringarna av temperatur, nederbörd, vind, snötäcke och tillrinning som är intressanta för dimensionering av geotekniska konstruktioner. Vi har valt att presentera kartor som täcker hela landet. I de länsvisa klimatanalyserna finns mer detaljerade kartor för respektive län. Tolkning och analys av kartorna har gjorts av rapportens författare.

Tabell 1. Klimatscenarier som använts vid senaste modelleringarna vid Rossby Centre, SMHI (efter SMHI, 2017).

Klimatscenario	Förklaring
RCP2,6	Kraftfull klimatpolitik gör att växthusgasutsläppen kulminerar år 2020, strålningsdrivningen når 2,6 W/m <sup>2</sup> år 2100 (används i IPCC, AR5). Detta scenario är det som ligger närmast ambitionerna i Klimatavtalet från Paris
RCP4,5	Strategier för reducerade växthusgasutsläpp medför att strålningsdrivningen stabiliseras vid 4,5 W/m <sup>2</sup> före år 2100 (används i IPCC, AR5).
RCP8,5	Ökande växthusgasutsläpp medför att strålningsdrivningen når 8,5 W/m <sup>2</sup> år 2100 (används i IPCC, AR5). Detta scenario är det som i dagsläget ligger närmast de uppmätta trenderna i koncentration av växthusgaser.
SRES A1B	Måttlig befolkningstillväxt, snabb global utveckling mot mer effektiva teknologier samt balanserad användning av fossila bränslen och förnyelsebar energi (används i IPCC, AR4).

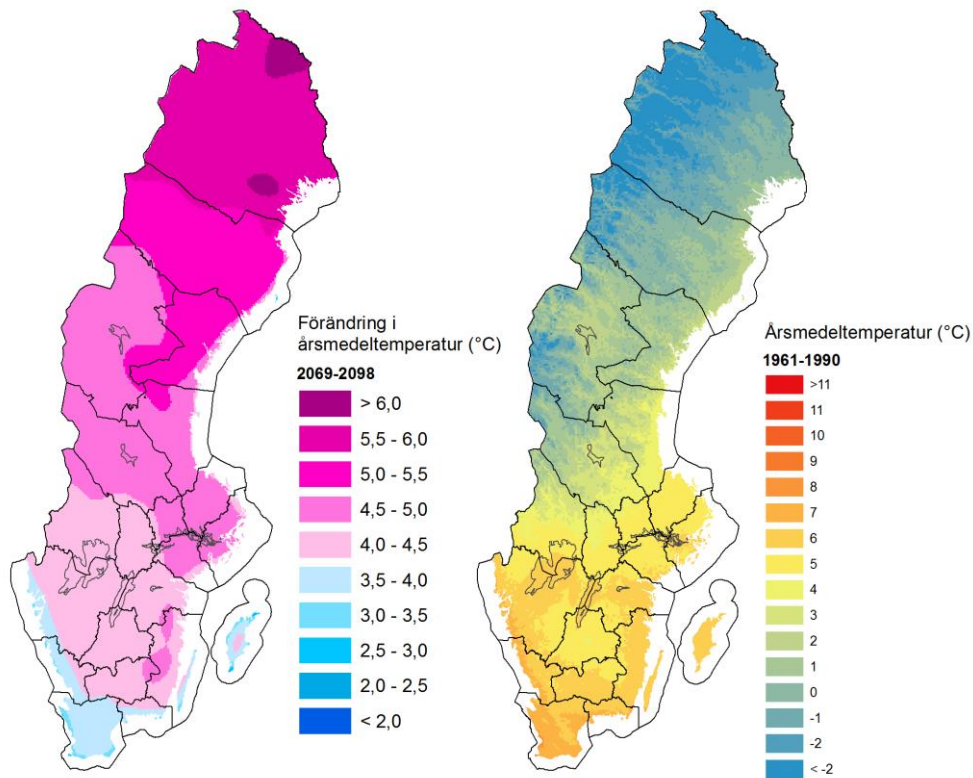


## 2.2.1 Temperatur

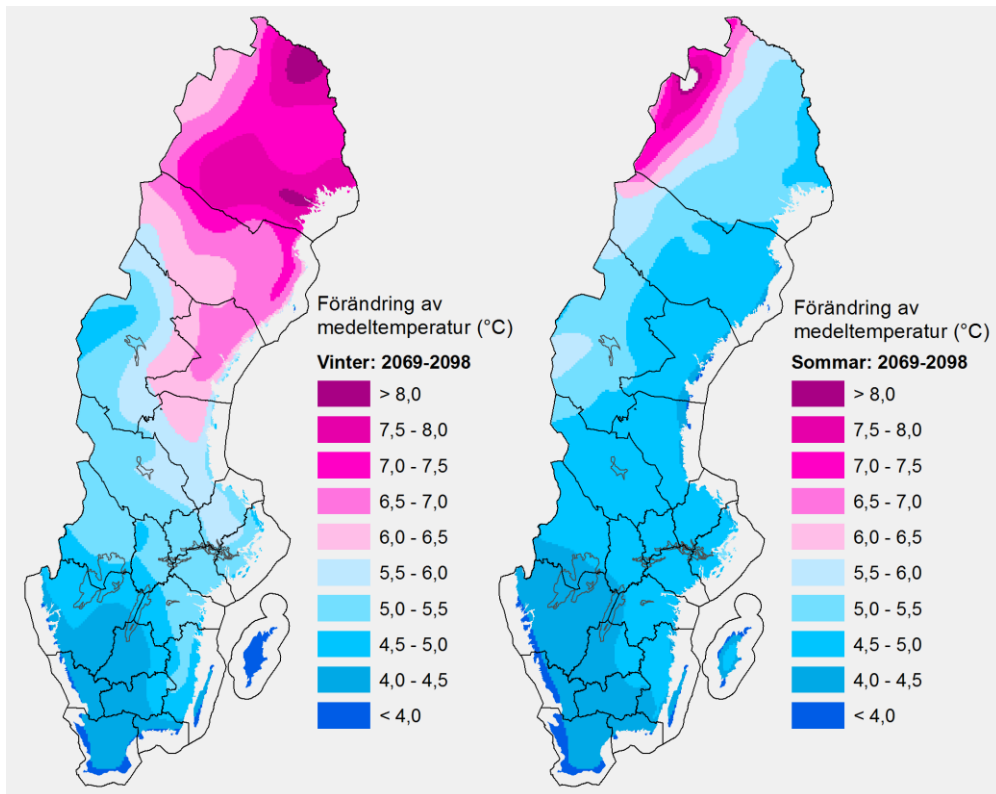
Beräkningar för medeltemperatur och för högsta och lägsta dygnsmedeltemperatur redovisas i detta avsnitt.

### Medeltemperatur

Årsmedeltemperaturen kommer till perioden 2071-2098 ha ökat i hela landet men mest i norra delen. Ökningen i årsmedeltemperatur går från 3 °C i söder till 6 °C i norr, se Figur 1. Förändring av medeltemperaturen är för hela landet som lägst under sommaren och som störst under vintern, se Figur 2.



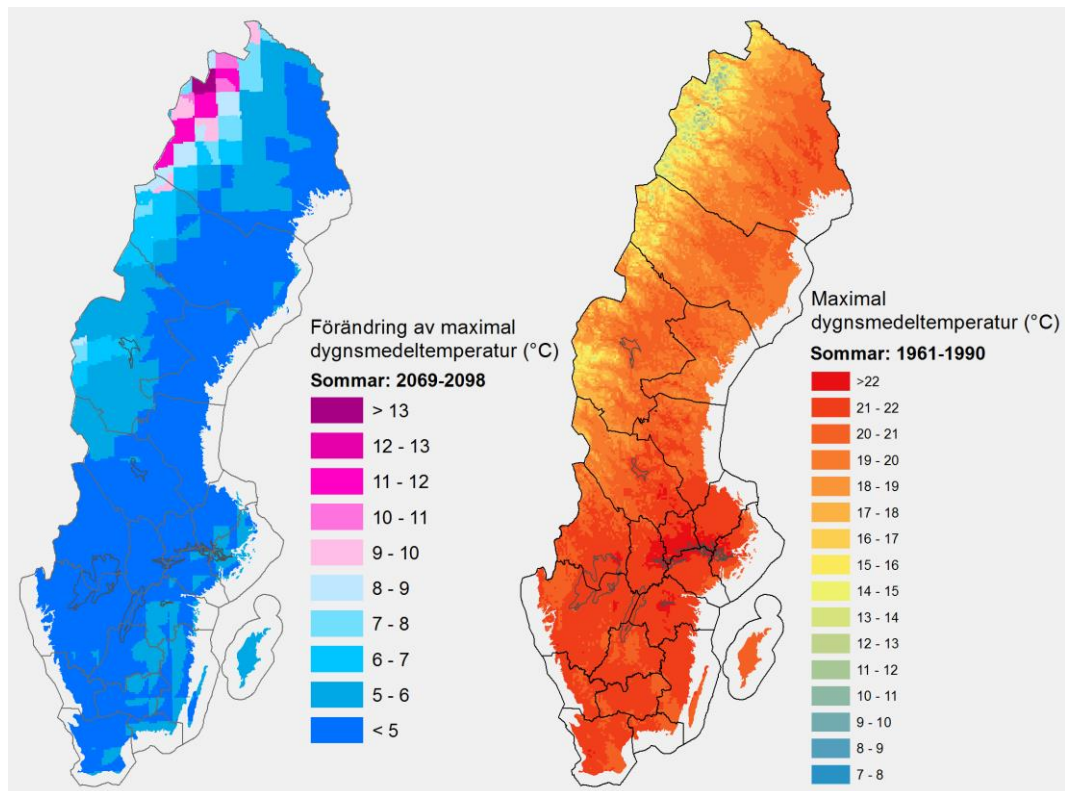
Figur 1. Förändring (ökning) av årsmedeltemperaturen (°C) till vänster för perioden 2069-2098 jämfört med 1961-1990. Till höger visas årsmedeltemperaturen för normalperioden 1961-1990. Efter Sjökvist med flera (2015). Omarbetad av SGI.



Figur 2. Förändring (ökning) av medeltemperaturen (°C) under vintern (till vänster) och sommar (till höger) för perioden 2069-2098 jämfört med 1961-1990. Efter Sjøkvist med flera (2015). Omarbetad av SGI.

### Högsta dygnsmedeltemperatur

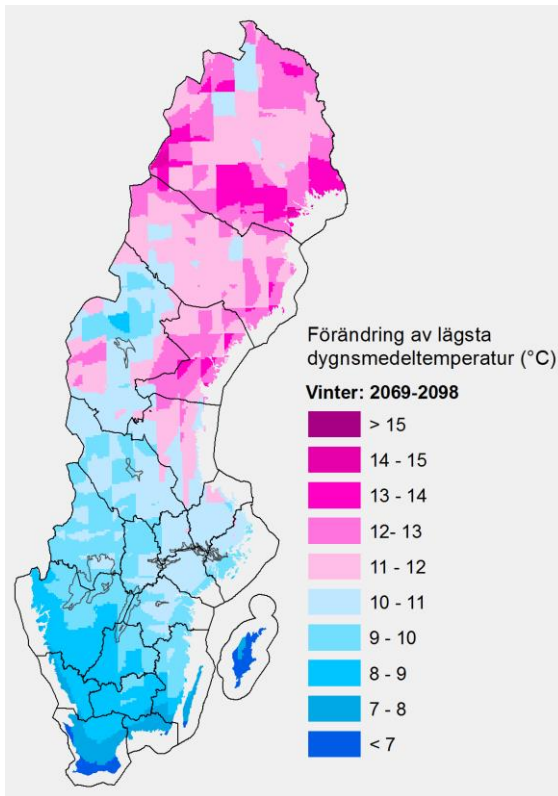
Årets högsta dygnsmedeltemperatur kommer fram till perioden 2068-2098 öka i hela landet under alla årstider. Förändring av den högsta dygnsmedeltemperaturen över *sommaren* framgår av Figur 3. Minst förändring kommer ske under vintern och högst under våren.



Figur 3. Förändring (ökning) av sommarens högsta dygnsmedeltemperatur i Sverige för perioden 2069-2098 jämfört med 1961-1990, till vänster. Till höger medel av högsta dygnsmedel för varje år under perioden 1961-1990. Efter Sjökvist med flera (2015). Omarbetad av SGI.

### Lägsta dygnsmedeltemperatur

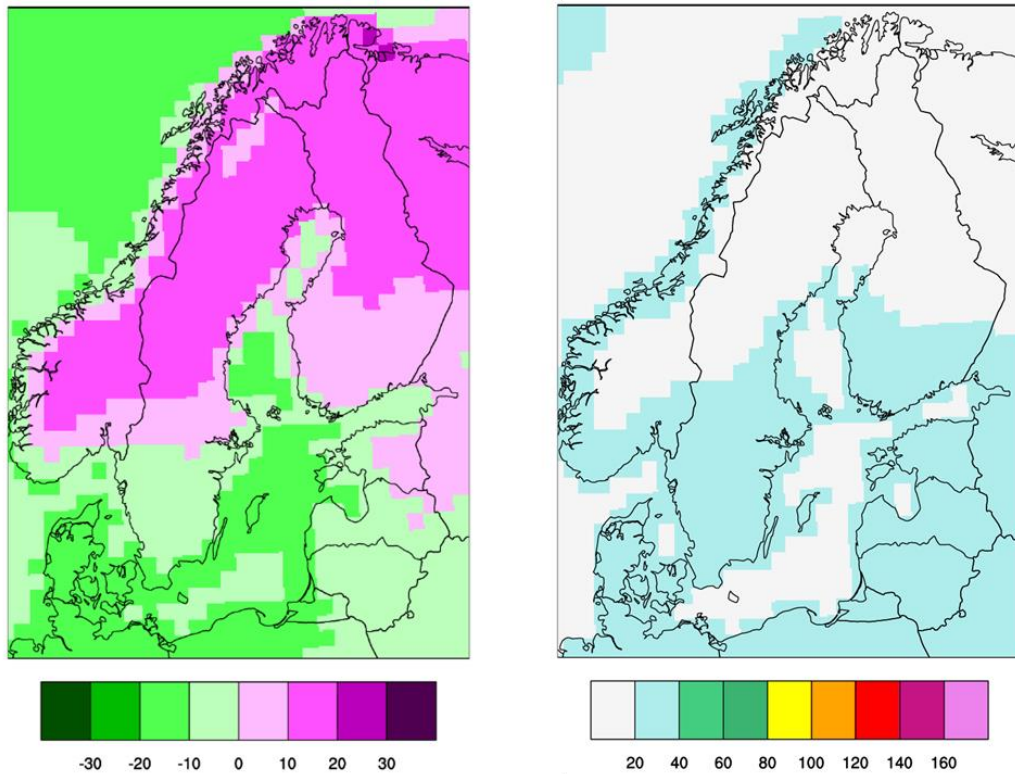
Årets lägsta dygnsmedeltemperatur kommer fram till perioden 2071-2100 öka i hela landet under alla årstider. Förändring av den lägsta dygnsmedeltemperaturen över *vintern* framgår av Figur 4. Som framgår är ökningen betydande i mellersta och norra delarna av landet. Minst förändring kommer ske under sommaren.



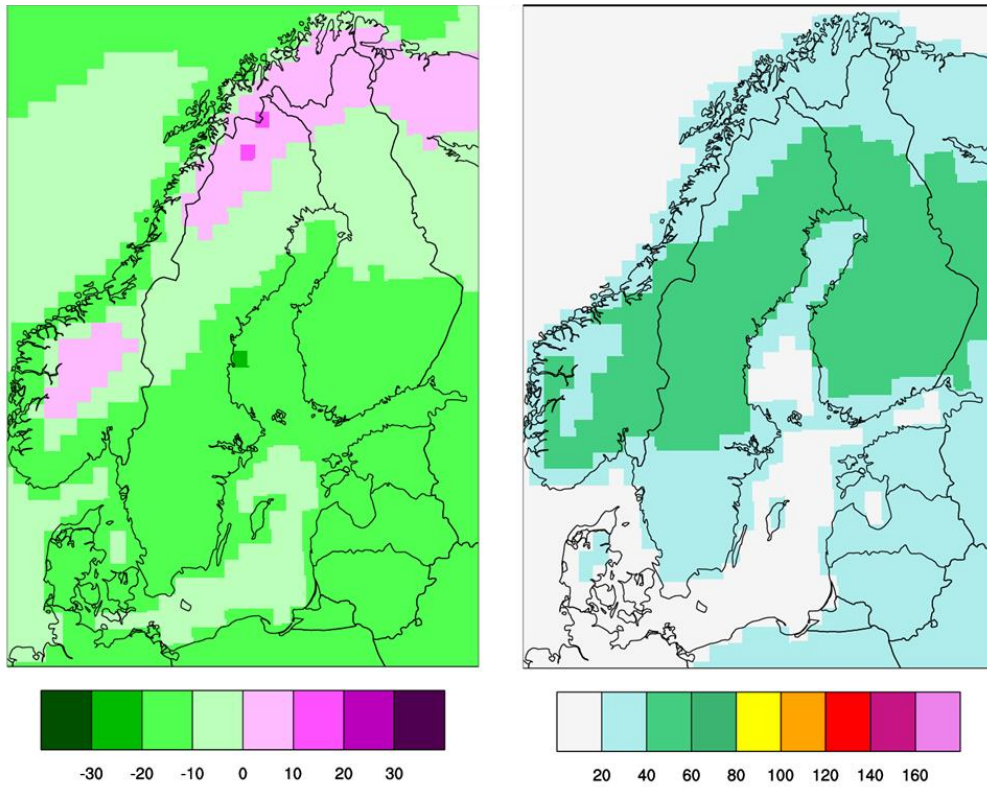
Figur 4. Beräknad förändring (ökning) av vinterns lägsta dygnsmedeltemperatur under vintern för perioden 2069-2098 jämfört med 1961-1990. Efter Sjøkvist med flera (2015). Omarbetad av SGI.

## 2.2.2 Nollgenomgångar

Med nollgenomgångar avses antal dagar då temperaturen under dygnet har varit över och under noll °C. Under vintern kommer genomgångarna fram till perioden 2071-2100 att öka markant från Mälardalen och norr över (ökning med 10-20 stycken). Förändringarna framgår av Figur 5. Nollgenomgångarna kommer under våren att minska i hela landet förutom i nordvästra delen av Norrland, se Figur 6.



Figur 5. Förändring (både minskning och ökning) av antal dagar med nollgenomgångar under vintern (vänster) för perioden 2071-2100 jämfört med 1971-2000. Till höger normala antal nollgenomgångar under vintern för perioden 1961-2016. Efter Strandberg med flera (2014).



Figur 6. Förändring (både minskning och ökning) av antalet dagar med nollgenomgångar under våren (vänster) för perioden 2071-2100 jämfört med 1971-2000 samt normala antal nollgenomgångar under vintern för perioden 1961-2016 till höger. Efter Strandberg med flera (2014).



### 2.2.3 Köldmängd

Köldmängden är summan av enbart de negativa dygnsmedeltemperaturerna under exempelvis en vintersäsong. SMHI för statistik över uppmätta köldmängder för deras väderstationer.

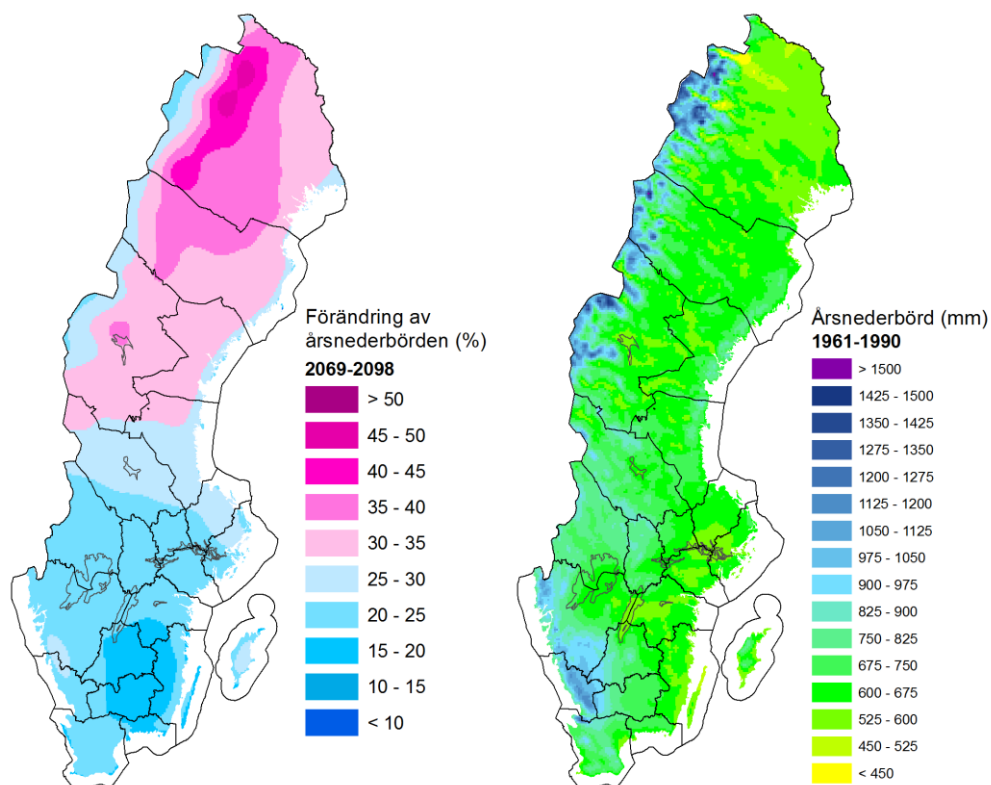
SMHI har dock inte presenterat någon förändring av köldmängden i framtidens klimat. Eftersom vinterns lägsta dygnsmedeltemperatur kommer öka i hela landet, se avsnitt 2.2.1, kan man anta att köldmängden kommer att minska.

### 2.2.4 Nederbörd

För att studera nederbördsmängder använder SMHI dels mätningar från enskilda stationer och en analys som bygger på ett rutnät med information från ptHBV (hydrologisk modell). Stationsnätet är gles i fjällvärlden och räcker inte till för att beskriva den komplexa terrängen som påverkar nederbörden, varför analyserna där är mer osäkra.

#### Årsnederbörd

Årsnederbörden kommer fram till perioden 2069-2098 öka i hela landet med störst ökning i den nordvästligaste delen (30-35 %), se Figur 7. Men även inre delarna av Norrland och Norrlands kustland kommer få stora ökningar med mellan 25 och 30 %. Övriga landets kuststräckor kommer få ökningar med 20-25 %. Den nordvästligaste delen och den sydvästra delen av landet har normalt högst årsnederbörd, vilket också framgår av Figur 7.

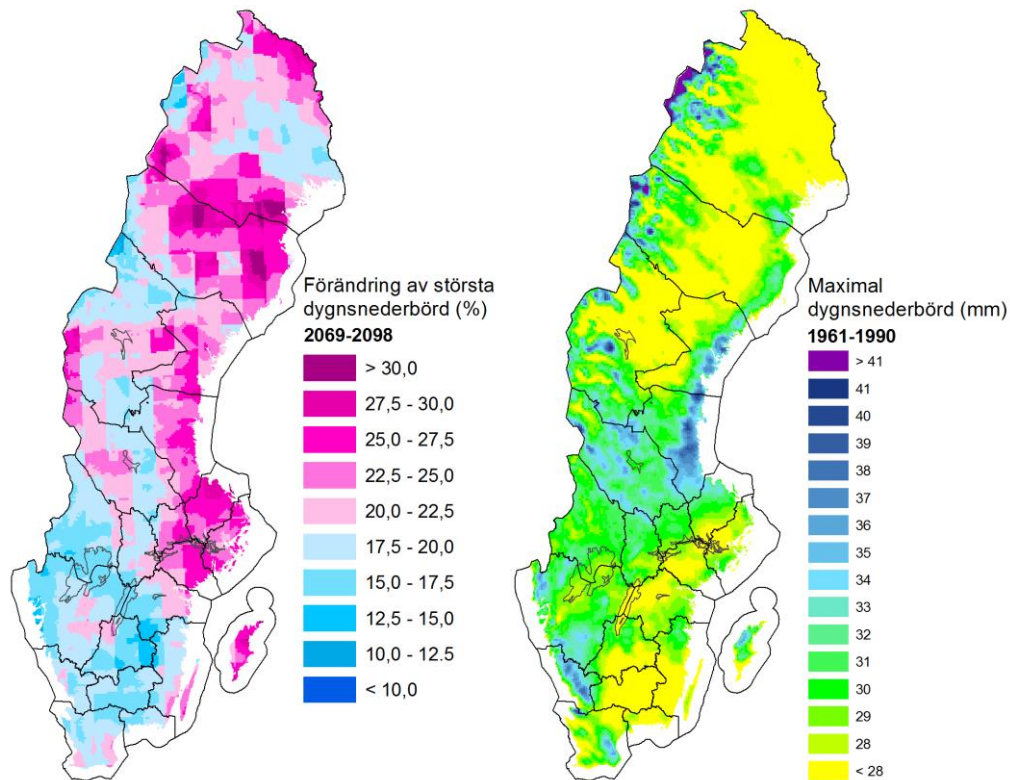


Figur 7. Förändring (ökning) av årsnederbörden (i %) för perioden 2069-2098 jämfört med 1961-1990. Normal mängd (referensperiod 1961-1990) nederbörd framgår av högra figuren (mm). Efter Sjökvist med flera (2015). Omarbetad av SGI.



### Största dygnsnederbörd

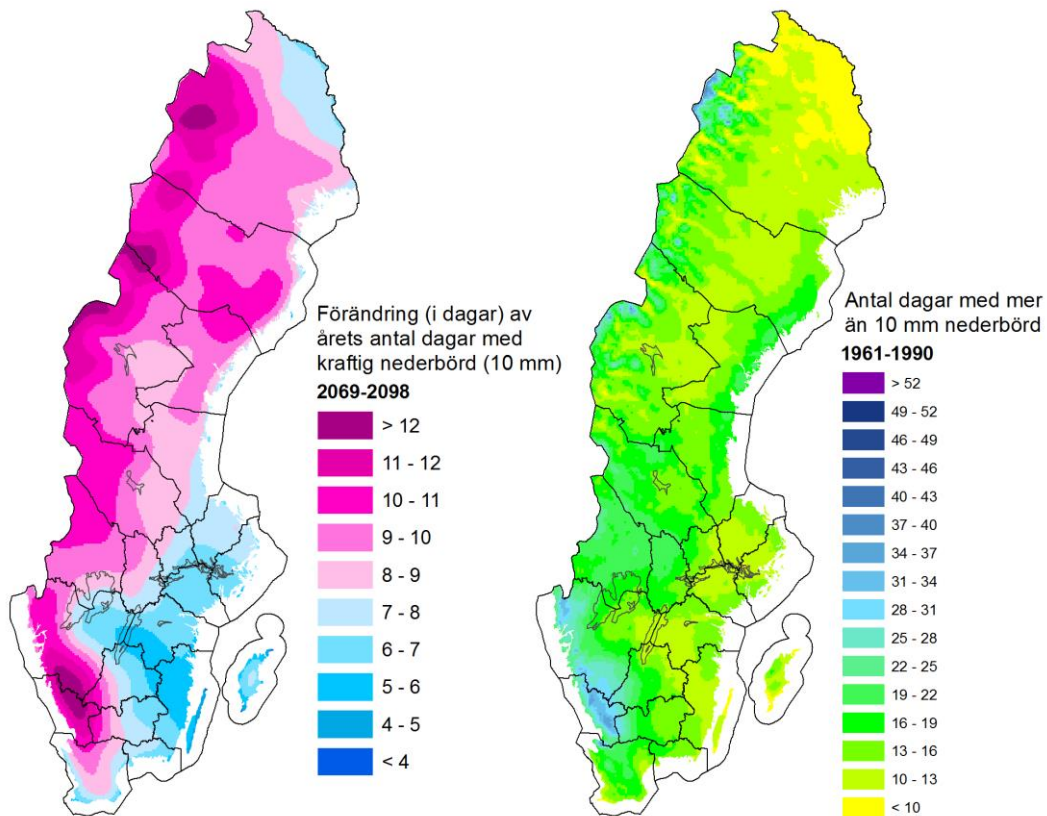
Årets största dygnsnederbörd kommer fram till perioden 2071-2100 att öka i hela landet, se Figur 8. Ökningen är mellan 20 och 30 % i stora delar av landet. Västra och vissa delar av inre Götaland får en något mindre förändring och delar av Norrlands inland och Svealands kustland får en större ökning. Som ses till höger i figuren varierar den normala, största dygnsnederbörden mellan 20 och 60 mm. De flesta delar av landet har en högsta dygnsnederbörd kring 25-40 mm.



Figur 8. Förändring (ökning) av största dygnsnederbörd (%) för perioden 2069-2098 (till vänster) jämfört med 1961-1990. Till höger årlig största dygnsnederbörd (mm) baserat på stationsdata i genomsnitt för perioden 1961-1990. Efter Sjökvist med flera (2015). Omarbetad av SGI.

### Antal dagar med kraftig nederbörd

Med kraftig nederbörd avser SMHI en nederbörd av 10 mm eller mer under ett dygn. Beräkningar visar att antalet dagar med kraftig nederbörd kommer öka i hela landet fram till perioden 2069-2098. Störst ökning fås i västra delen av landet samt i Norrland, se Figur 9.



Figur 9. Förändring (ökning i dagar) av årets antal dagar med kraftig nederbörd (10 mm eller mer) till vänster för perioden 2069-2098 jämfört med 1961-1990. Till höger genomsnitt för året av antalet fall med dygnsnederbörd på minst 10 mm baserat på pthBV-data för åren 1961-1990. Efter Sjökvist med flera (2015). Omarbetad av SGI.

## Skyfall

Med skyfall avses en större mängd nederbörd som faller på kort tid. SMHI:s definition av skyfall är minst 50 mm nederbörd sker på en timme eller minst 1 mm på en minut. Dock anser man att denna definition inte täcker in alla fall som ger effekter i samhället och föreslår att definitionen ses över (Olsson och Josefsson, 2015). I denna rapport har valts att beskriva intensiv korttidsnederbörd med varaktighet på upp till en timme.

Nästan alla händelser med intensiv korttidsnederbörd inträffar sommartid och i samband med kraftiga skurar och det är en lokal företeelse (Olsson och Josefsson, 2015). Mätningar av nederbörd har traditionellt sett utförts manuellt en gång per dygn i SMHI:s nederbördsstationer. Dessa mätningar kan därför inte registrera intensiv korttidsnederbörd och lång statistik över dessa regn saknas således. Sedan mitten av 1990-talet är dock många stationer utrustade med automatiska mätare med registrering var 15:e minut. Med statistik från dessa registreringar under 1995-2008 har återkomsttid för regn med olika varaktigheter tagits fram, se Tabell 2. Största rapporterade nederbördsmängden under korttid i Sverige uppmättes i Daglösen 2000 med 57,9 mm på 30 minuter och 61,5 mm på 1 timme.

Tabell 2. Återkomsttider av regn i mm med olika varaktigheter. Medelvärden för Sverige beräknade med hjälp av det extremaste nederbördsstillfället per år, per varaktighet och per station för automatiska mätstationer i drift 1995-2008. Efter Wern & German (2009).

Varaktighet	Återkomsttid (År)						
	1	2	5	10	20	50	100
15-min	6.7	8.7	11.2	13.1	15.0	17.6	19.6
30-min	9.1	11.7	15.3	18.0	20.9	24.7	27.8
45-min	10.4	13.4	17.4	20.6	23.9	28.5	32.1
60-min	11.4	14.5	18.8	22.2	25.8	30.7	34.6
2-tim	14.4	18.0	22.9	26.8	30.8	36.2	40.5
3-tim	16.5	20.3	25.6	29.6	33.8	39.4	43.8
4-tim	18.2	22.2	27.8	32.2	36.7	42.9	47.7
6-tim	21.0	25.5	31.6	36.2	41.0	47.3	52.2
12-tim	26.3	32.0	39.3	44.7	50.1	57.0	62.2
24-tim	31.8	38.6	47.2	53.4	59.5	67.3	73.1
48-tim	38.1	45.8	55.6	62.6	69.4	78.1	84.4
96-tim	47.6	56.8	68.6	77.3	85.6	96.3	104.2

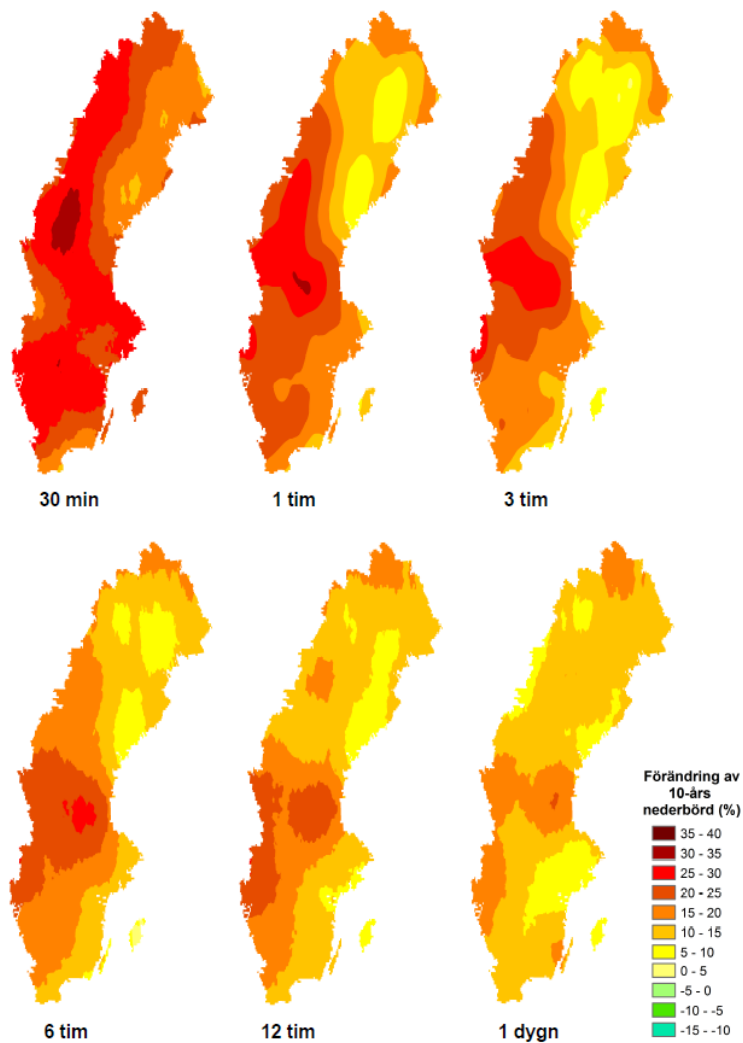
Klimatförändringen förväntas leda till mer intensiv korttidsnederbörd. SMHI har i en studie (Olsson & Foster 2013) analyserat förändringar av extrem korttidsnederbörd (nederbörd med en kort varaktighet av timmar eller mindre) Resultatet uttrycks i procentuell förändring för olika varaktigheter, framtidsperioder och i vissa fall även olika regioner. De skriver att nederbörden med en varaktighet av 30-minuter med 10-års återkomsttid ökar, i genomsnitt över landet med 15 % till 2011-2040 och med 23 % till 2041-2070. För perioden 2071-2100 sker den kraftigaste ökningen (av nederbörd med varaktighet 30 minuter) i västra Sverige, med lokalt upp till 40 %, se Figur 10.

Även för längre varaktigheter (upp till ett dygn) ökar nederbördsmängden med en återkomsttid på 10 år, se Figur 10. Från figuren framgår en tydlig väst-östlig gradient för alla varaktigheter, vilken dock avtar i styrka med ökad varaktighet. I ingen del av Sverige sker en minskning, men för långa varaktigheter sker lokalt i östra Sverige en ökning med bara ett par procent.

En extrapolering av resultaten till nederbörd med 100 års återkomsttid har även utförts men för denna ökar osäkerheten för den beräknade nederbörden, och SMHI skriver att

den därför ”måste anses synnerligen approximativ”. Resultaten visar en ökning som är marginellt större men överlag mycket likartad den för 10 års återkomsttid (knappt en procentenhet större).

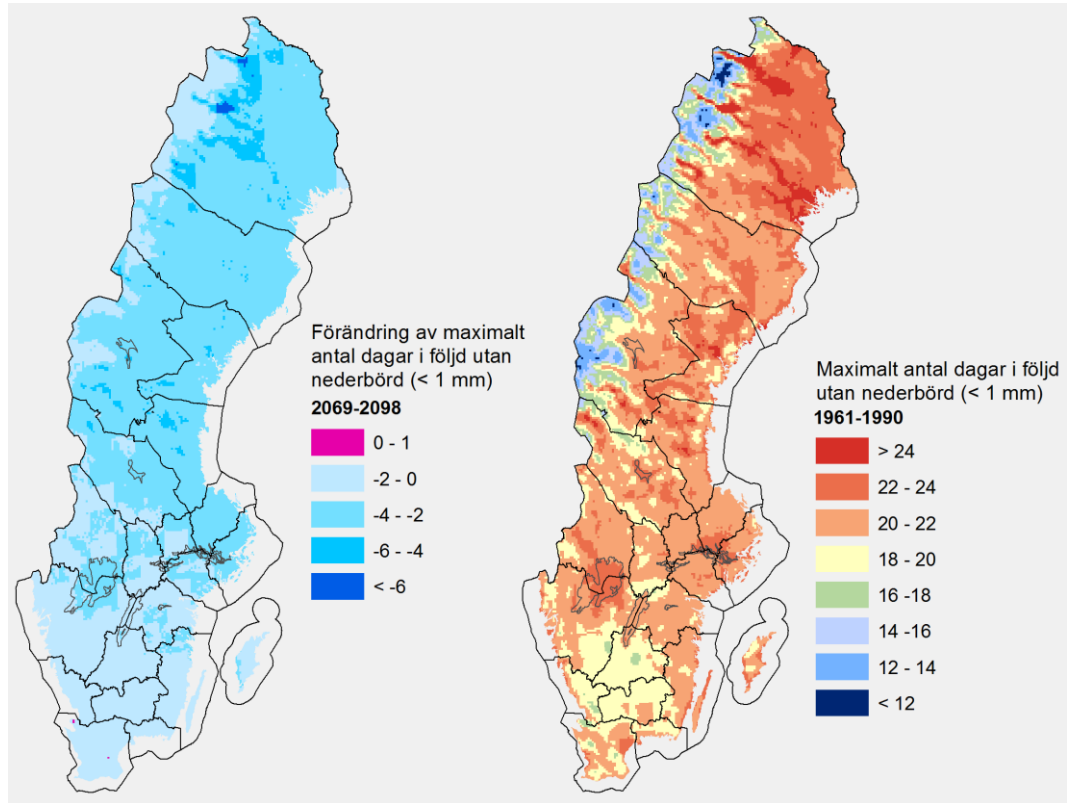
Under 2015 hade SMHI ett regeringsuppdrag som syftade till ett ”genomförande av en studie om metod för beräkning av värsta möjliga korttidsnederbörd (skyfall)”, se Olsson & Josefsson (2015). I detta arbete presenterades resultat från förändring av korttidsnederbörd, utförd med än mer högupplösta beräkningar (rumsupplösning på 12x12 km<sup>2</sup>). De nya resultaten uppvisar en mer likartad förändring för olika varaktigheter, jämfört med de tidigare beräkningarna.



Figur 10. Medelvärden av förändring (ökning) av korttidsnederbörd med 10 års återkomsttid från period 1981-2010 till period 2071-2100. Efter Olsson & Foster (2013).

### Årets längsta torrperiod

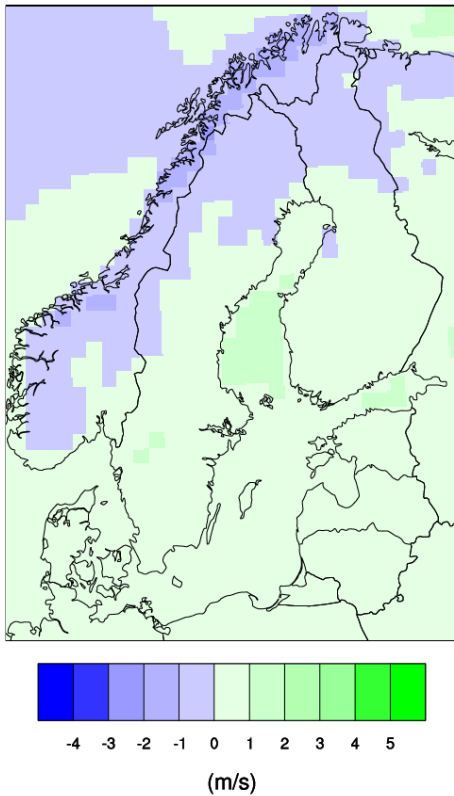
Förändring av antalet dagar i följd utan nederbörd (torrperioder) fram till perioden 2071-2100 visas i Figur 11, där även normala (1961-1990) antalet dagar utan nederbörd framgår. Som ses i figuren kommer antalet dagar i följd att minska i hela landet med den största minskningen i norra delen av landet.



Figur 11. Årets längsta period ((både minskning och ökning av antal dygn) utan nederbörd för perioden 2071-2100 jämfört med 1961-1990. Till vänster förändring (antal dygn) och till höger genomsnitt för åren 1961-1990 (ptHBV). Efter Sjökvist med flera (2015). Omarbetad av SGI.

## 2.2.5 Maximal byvind

Årets maximala byvind (m/s) kommer fram till perioden 2071-2100 att minska något i övre halvan av landet medan det i några delar av södra halvan kommer att bli en viss ökning. Den största delen av landet får ingen förändring, se Figur 12. SMHI presenterar inga analyser av medelvindens förändring och förändringar av vindar ingår inte i de länsvisa analyserna.

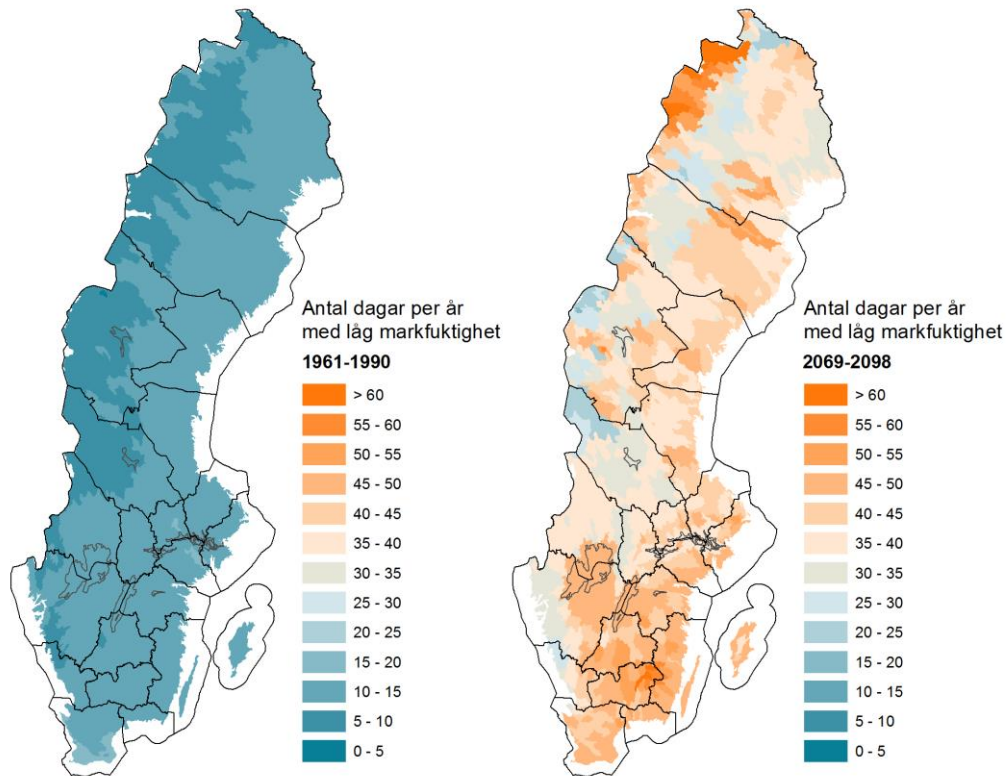


Figur 12. Förändring ((både minskning och ökning i %) av maximal byvind för perioden 2071-2100 jämfört med 1971-2000. Efter Strandberg med flera (2014).



## 2.2.6 Markfuktighet

Antalet dagar per år med låg markfuktighet kommer öka i hela landet, Figur 13. Störst blir förändringen i sydöstra delen av landet, längs några Norrlandsälvar och i norra fjällvärlden. Markfuktigheten är beräknad med hydrologisk modellering för olika avrinningsområden och är beroende på hur nederbörd, temperatur, snötäcke, tillrinning och avdunstning varierar och samspelar.



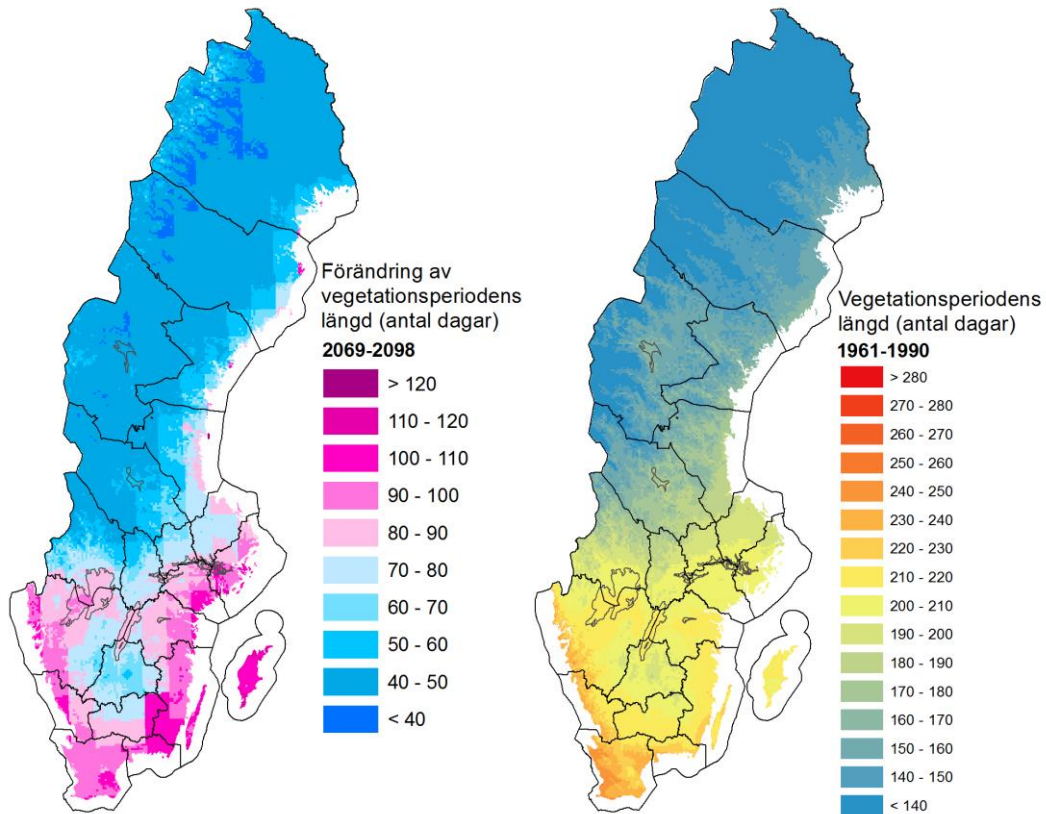
Figur 13. Antal dagar (per år) med låg markfuktighet för perioden 1960-1990 till vänster och för perioden 2069-2098 till höger. Efter Sjökvist med flera (2015). Omarbetad av SGI.



## 2.2.7 Vegetationsperiodens längd

Vegetationsperiod avser den period på året då det är tillräckligt varmt för att växterna ska kunna växa till. SMHI använder definitionen som den period då dygnsmedelvärdet överstiger +5 °C.

Vegetationsperiodens längd (antal dagar) kommer öka i hela landet med mellan 40 och 90 dagar, se Figur 14. Störst blir ökningen i Götaland och speciellt i östra delen.

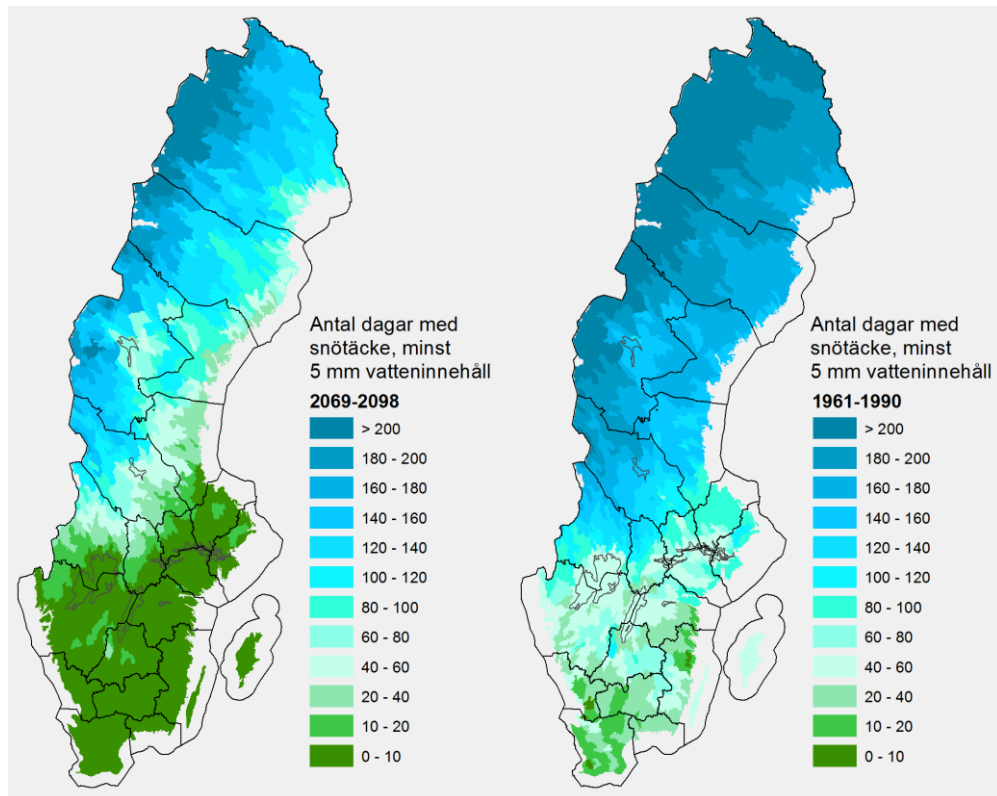


Figur 14. Förändring (ökning) av vegetationsperiodens längd (antal dagar) till vänster för perioden 2069-2098 och till höger vegetationsperiodens längd i genomsnittligt antal dygn med medeltemperatur över +5 °C för perioden 1961-1990. Efter Sjökvist med flera (2015). Omarbetad av SGI.

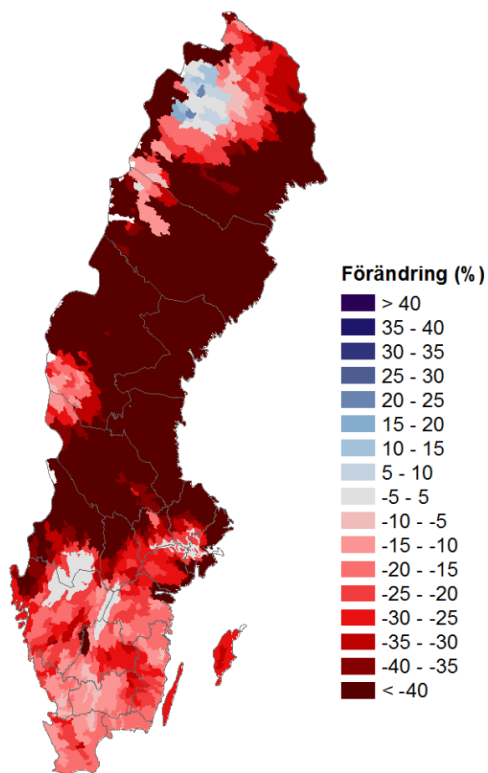
## 2.2.8 Snötäcke

SMHI presenterar sammanfattande resultat av förändringar i snötäcke baserat på de länsvisa analyserna. Antalet dagar (i medeltal) med snötäcke kommer minska i landet, se Figur 15. Störst minskning kommer ske i Norrlands kust och inland samt i södra fjällkedjan.

Snötäckets maximala *tjocklek* kommer minska i nästan hela landet, se Figur 16. Det är endast norra Norrlands fjällvärld som kommer få ett ökat maximalt snötäcke.



Figur 15. Antal dagar med snötäcke med minst 5 mm vatteninnehåll. Till vänster enligt beräkning för 2096-2098 och till höger för dagens klimat (1960-1990). Efter Sjökvist med flera (2015). Omarbetad av SGI.



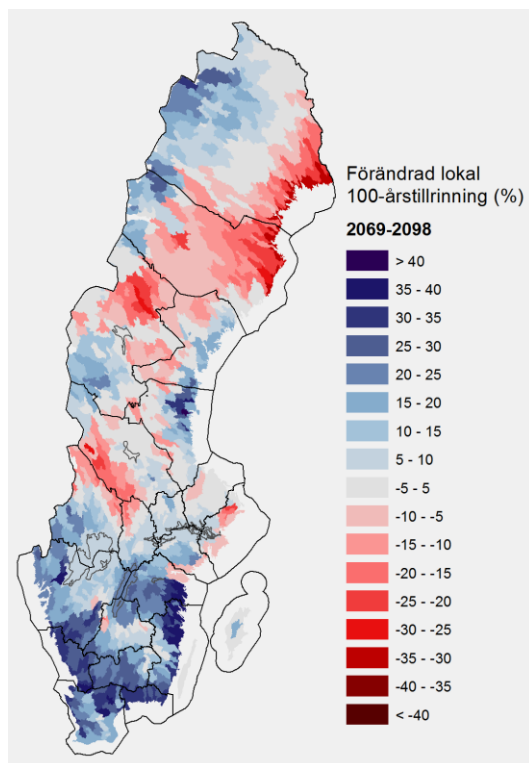
Figur 16. Procentuell förändring (både minskning och ökning) av snötäckets tjocklek för perioden 2069-2098 jämfört med medelvärdet för referensperioden 1963-1992. Efter Sjökvist med flera (2015).

## 2.2.9 Flöden i vattendrag

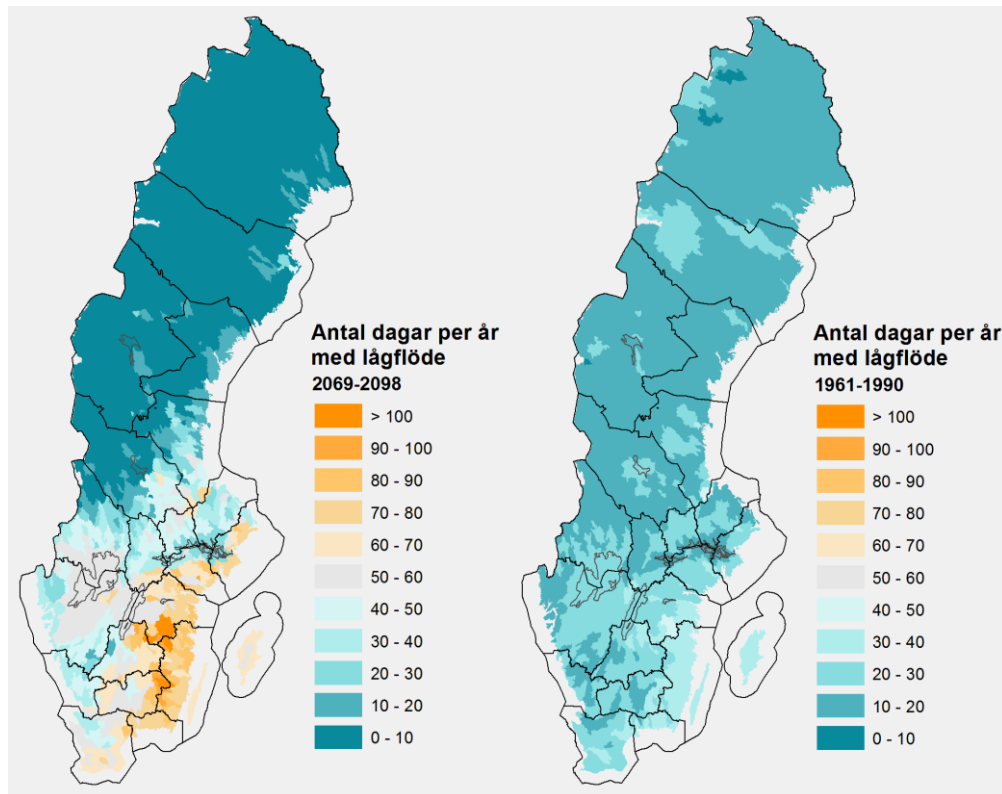
SMHI presenterar som underlag för Dricksvattenutredningen (Eklund med flera 2015) sammanfattande resultat av förändringar i flöden i vattendrag baserat på de länsvisa analyserna. Förändring av flöden i vattendrag redovisas som procentuell förändring av ett antal olika index. Vi har här valt att redovisa förändring av flöden med 100 års återkomsttid (medelvärde för nio olika klimatscenarioer) samt förändring av antal dagar med lågflöden.

Flöden med en återkomsttid av 100 år beräknas öka i södra delen av landet, längs södra Norrlandskusten samt i västra Svealand och västra Norrland fram till perioden 2069-2098 se Figur 17. I Norrlands inland och norra kustland samt nordvästra Svealand skapas normalt de högsta flödena av snösmältning under våren, 100-årsflödena beräknas där minska eftersom vårfloren blir lägre. I de länsvisa klimatanlyserna som SMHI tagit fram, presenteras förändringar i tillrinning/flöden för de större vattendragen inom respektive län.

Antal dagar då tillrinningen är lägre än medellågtillrinningen kommer att öka i södra delen av landet medan det i mellersta och norra delen inte blir någon stor förändring, se Figur 18.



Figur 17. Procentuell förändring (både minskning och ökning) av 100-årsflödet i vattendrag, för 2069-2098 jämfört med 1963-1992 (efter Eklund med flera, 2015). Omarbetad av SGI



Figur 18. Antalet dagar med lågflöden i vattendrag. Till vänster för 2069-2098 jämfört med 1963-1992 till höger (efter Sjökvist med flera 2015). Omarbetad av SGI.

## 2.2.10 Vattenstånd

Förändringar av vattenstånd i vattendrag, hav och sjöar presenteras i detta avsnitt.

### Vattendrag

Enligt SMHI (Sjökvist 2017) finns det inga landsomfattande analyser av hur vattenståndet i vattendrag kommer förändras. MSB utför översiktlig översvämningskartering av de större vattendragen och för flera av dessa är flödena klimatanpassade (se [www.msb.se](http://www.msb.se)). För de reglerade vattendragen styrs nivåerna, förutom av de naturliga förutsättningarna, även av vattendomar.

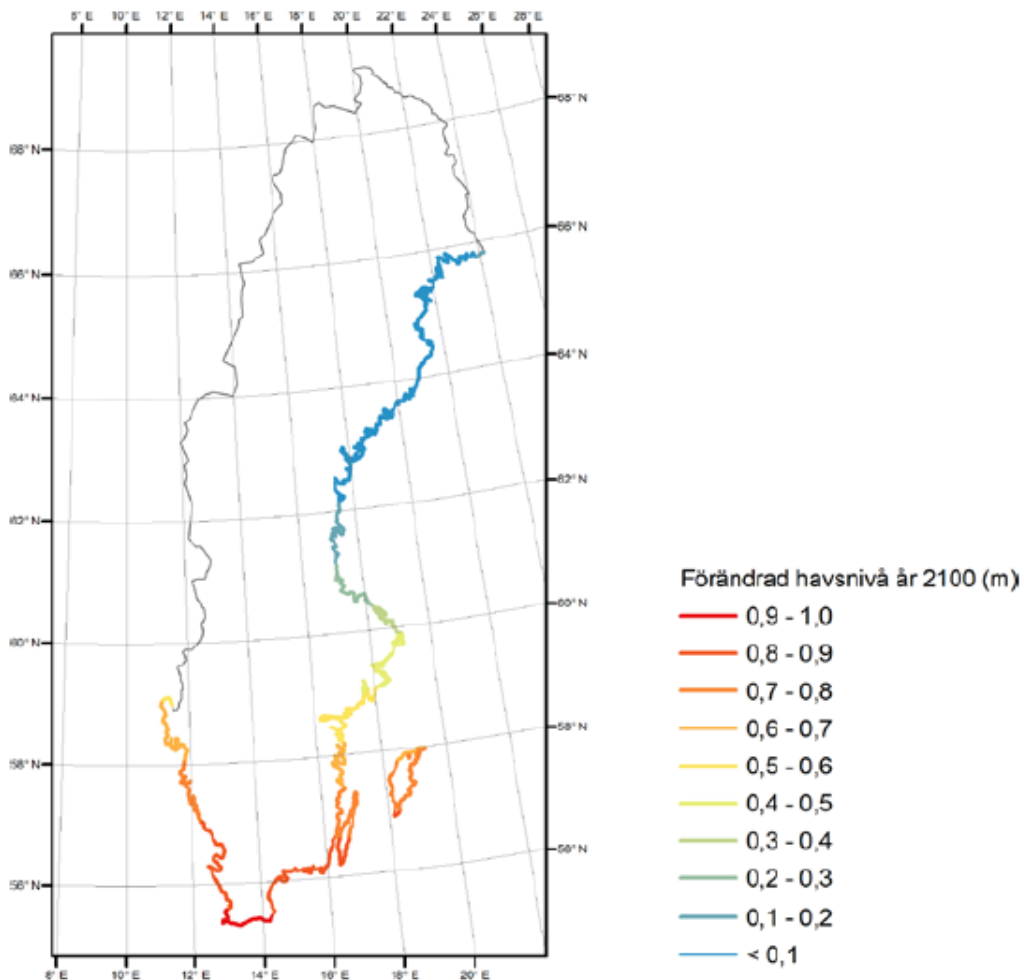
### Vattenstånd i havet

SMHI mäter vattenståndet i havet en gång i timmen på 27 platser längs Sveriges kust med hjälp av havspeglar. Sedan mätningarna startade 1886 har vattenståndet (vattennivån) höjts med kring 20 cm i södra Sverige (SMHI 2017). I Sverige påverkas det uppmätta havsvattenståndet av den pågående landhöjningen, som är som högst cirka 8 mm/år i Norra Kvarkenområdet och nära noll i Skåne och Blekinge.

Klimatförändringen kommer innebära en snabbare höjning av havets nivå jämfört med den förändring som skett det senaste seklet. Den framtida utvecklingen av havets nivåer är dock svårbedömd och omdiskuterad. Effekterna av havsnivåhöjningen blir mest märkbara i södra Sverige, där landhöjningen är liten medan effekterna är desto mindre i norra Sverige, där landhöjningen är stor. Enligt den senaste beräkningen från IPCC (Church

med flera 2013) kommer den *globala* medelhavsnivån fram till 2100 öka för utsläppsscenario RCP8.5 med mellan 0,2-0,8 m. Eklund med flera (2015) redovisar vad en meters global havsnivåhöjning under 100 år betyder för ändringen av medelnivån för havet vid Sveriges kuster när hänsyn tas till den lokala landhöjningen, se Figur 19.

SMHI håller i ett pågående projekt på med beräkningar av hur medelvattennivå och extrema vattenstånd längs Sveriges kuster förändras baserat på de senaste utsläppsscenarioerna (Andersson 2017). Beräkningarna baserat på de tidigare använda utsläppsmodellerna och klimatscenarioerna visade på en generell höjning längs Västkusten och Östkusten med kring 0,7 m (Åström med flera 2011 och Åström 2010) medan en något högre höjning beräknades för Skåne län, kring 0,9 m (Persson med flera 2011). Extrema nivåer, som vattenstånd med 100 års återkomsttid, är svårare att beräkna (Andersson 2017), men om hänsyn endast tas till att medelvattennivån stiger, så antas att vattenståndet för 100 års respektive 200 års återkomsttid kommer öka på samma sätt som medelvattenytan. Detsamma gäller 2, 10 och 50 års återkomsttid (Åström 2010). Det bör observeras att extrema havsnivåer påverkas av läget längs kusten. Nivåer i exempelvis djupa vikar, kommer, på grund av vinduppstuvning, att öka ytterligare.



Figur 19. Nettoeffekten av en meters global havsnivåhöjning under 100 år ifall hänsyn tas till den lokala landhöjningen (efter Eklund med flera, 2015).

### Vattenstånd i sjöar

I nyligen publicerade rapporter redovisas förändringar av vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och is i Vättern (Eklund med flera 2017a), Hjälmaren (Eklund med flera, 2017b), och Vänern (Eklund med flera 2017c). Utredningen visar att det för samtliga tre sjöar blir vanligare med låga nivåer.

Vattennivån i Hjälmaren väntas förändras måttligt i framtida klimat. Den tydligaste förändringen är att det väntas bli vanligare med låga nivåer, främst under sommar och höst. För de allra högsta nivåerna (beräknad högsta vattennivå) syns en ökning för det kraftigaste utsläppsscenarioet (RCP8.5).

Medelvattennivån i Vättern minskar med en till två decimeter till slutet av seklet, med ungefär lika stor minskning under alla årstider. Antal dagar per år med nivåer under sänkingsgränsen 88,3 m väntas öka från dagens cirka 1,5 månad till cirka 3 månader i mitten av seklet och till 4-6 månader i slutet av seklet. De allra högsta nivåerna, beräknad högsta vattennivå, beräknas vara oförändrade i framtiden. Det blir mindre vanligt med höga nivåer.

Om den nuvarande tappningsstrategin behålls beräknas Vänerns medelnivå öka med några cm till slutet av seklet, men skillnaderna väntas bli stora mellan olika årstider. I framtida klimat beräknas 100-årsnivå öka med 0,4–0,5 m, 200-årsnivå med 0,45-0,55 m och beräknad högsta vattennivå med i medeltal drygt 0,3 m till slutet av detta sekel om den nuvarande tappningsstrategin tillämpas. Det blir vanligare med höga nivåer.

För övriga sjöar finns det inga uppgifter i de klimatscenarier som arbetats fram av SMHI om hur vattenståndet kommer förändras i ett framtida klimat. Sjöars vattennivåer styrs av tillrinningen, avdunstningen och i många fall av regleringar. På Klimatanpassningsportalen (<http://www.klimatanpassning.se>) anges det att ”det inte går att ge något generellt svar på frågan hur vattennivåer i sjöar kommer att förändras i ett framtida klimat. En del sjöar kan komma att få högre vattennivåer medan andra sjöar, främst i sydöstra Sverige, kan få problem med låga vattennivåer. Årstidsvariationerna kan också komma att förändras”.

## 3. Naturlig mark och geokonstruktioner

### 3.1 Inledning – Naturlig mark och geokonstruktioner

Denna rapport omfattar naturlig mark (jord och berg) och geokonstruktioner. Med geokonstruktioner menas i denna rapport marköverbyggnad och markunderbyggnad, avvattnings- och infiltrationsanläggningar, tätningsåtgärder, markförstärkning, stödkonstruktioner, grundkonstruktioner för broar, byggnader och övriga anläggningar (pålade konstruktioner, plattgrundlagda konstruktioner och förankrade konstruktioner med hjälp av dragstag eller dragpålar). Även naturlig mark betraktas i denna rapport som en geokonstruktion, vars funktion är att vara stödjande och bärande.

I detta kapitel görs en kort beskrivning av de olika typerna av geokonstruktioner.

### 3.2 Naturlig mark (jord och berg)

Den naturliga markens funktion beror på markens tekniska egenskaper, geometri och de laster den utsätts för. Naturlig mark delas in i jord och berg.

Jord benämns och indelas efter kornstorleksfördelning, efter viktiga geotekniska egenskaper samt efter bildningssätt. Jordars egenskaper beror även på vatteninnehållet, det vill säga portryck under och över grundvattenytan. Portryck över grundvattenytan kan exempelvis erhållas på grund av ytvatteninfiltration eller kapillär uppsugning av vatten. Olika jordars egenskaper varierar och påverkas därför på olika sätt av klimatlaster. Någon detaljerad beskrivning av jords egenskaper görs inte här, se vidare Jordarternas indelning och benämning (Svenska geotekniska föreningen 2016) och Jordars egenskaper (Larsson 2008).

Berg indelas normalt efter dess mineralogiska och genetiska ursprung. När det gäller stabiliteten i berg och dess bärande förmåga är dessa indelningar sällan relevanta vid svenska förhållanden, eftersom det nästan uteslutande är de svagaste strukturerna i berget som avgör vilka laster det kan bära. Det är också i samma svaga strukturer som i princip all porositet och därmed allt grundvatten och vattenflöden existerar. I samband med större infrastrukturprojekt väljer man ofta att dela in berget i zoner och domäner, efter bedömd hållfasthet och hydrogeologiska egenskaper, med tydligt samband med sprickighet och porositet. Vid mindre berguttag, vid bedömning av bergslänter eller av berg för grundläggning, är någon sådan indelning sällan aktuell, utan lokala sprickor och andra porösa strukturer avgör hållfasthet och bärlighet. Dessa funktioner påverkas i sin tur av klimatlaster. Det rör sig framförallt om lermineral och fyllosilikat som är mer lättvittrade och erosionskänsliga.

Den naturliga markens stödjande och bärande funktion med avseende på exempelvis stabilitetsbrott påverkas även av markens geometri. Geometrierna kan variera på ett oändligt antal sätt. I denna rapport görs indelning baserat på olika typer av geometrier eller naturområden med specifika problemställningar enligt följande:



- Plan mark.
- Naturliga slänter.
- Bäckraviner.
- Schaktslänter.
- Strandzoner.

Olika geometrier och specifika naturområden enligt ovan påverkas på olika sätt av klimatlasten.

### 3.3 Marköverbyggnad och markunderbyggnad

Marköverbyggnad och markunderbyggnad används för att fördela rörliga eller permanenta laster till undergrunden för att reducera sättningar och/eller minska sannolikheten för att brott inträffar. Utöver detta fungerar dessa som tjälskyddande lager, dränerar bort ytvatten och grundvatten samt skyddar undergrunden mot erosion och slamströmmar samt fungerar som materialskiljande lager mellan olika materialtyper. Någon detaljerad beskrivning av marköverbyggnad och markunderbyggnad görs ej här, se vidare AMA Anläggning (Svensk Byggtjänst 2017) och Trafikverkets regelverk.

Idag tillverkas marköverbyggnad och markunderbyggnad ofta av krossat berg med olika kornstorleksfördelning. I äldre befintliga konstruktioner utgörs dessa ofta av naturliga jordmaterial. Olika typer av fyllning, exempelvis bankfyllning för vägar och järnvägar, utförs ofta av naturliga jordmaterial. Marköverbyggnader och markunderbyggnader för infrastruktur, markanläggningar och byggnadskonstruktioner kan indelas översiktligt enligt nedan:

- Marköverbyggnadslager.
- Markunderbyggnadslager.
- Fyllningsmaterial.
- Övriga material, exempelvis geotextil och frostisolering av cellplast, ingående i marköverbyggnad och markunderbyggnad.

Olika materiallager har olika sammansättning och funktion och påverkas därför på olika sätt av klimatlasten.

### 3.4 Avvattnings- och infiltrationsanläggningar samt tätningåtgärder

Avvattning utförs för att samla upp och avleda regnvatten eller grundvatten från en markanläggning. Vid risk för oönskad grundvattensänkning i omgivningen på grund av en utförd anläggning kan vatteninfiltration till vattenförande jordlager utföras. Detta görs exempelvis för att undvika sättningar. Avvattnings- och infiltrationsanläggningar är antingen en del av en geokonstruktion eller en förutsättning för en geokonstruktionens funktion med avseende på klimatlasten och tas därför med i denna rapport.

Avvattnings- och infiltrationsanläggningar kan indelas enligt följande:

- Trummor.
- Dräneringsanläggningar och diken inklusive dränerande material i marköverbyggnad och markunderbyggnad.
- Grundvattensänkingsåtgärder.
- Dagvattendammar och dylikt.
- Infiltrationsanläggningar.

Tätning av jord eller berg kan utföras för undermarksanläggningar vid risk för grundvattensänkning.

Någon detaljerad beskrivning av avvattnings- och infiltrationsanläggningar samt tätningsåtgärder görs inte här, se vidare AMA Anläggning (Svensk Byggtjänst 2017) och Trafikverkets regelverk.

Då samtliga anläggningar enligt ovan utförs för att ta hand om ytvatten och grundvatten påverkas funktionen direkt av olika klimatlaster.

### 3.5 Markförstärkning

Vid belastning av sedimentjordar och finkornig morän erfordras ofta någon form av markförstärkning med hänsyn till risk för stabilitetsbrott, sättningar och vibrationsstörningar. Det finns ett stort antal åtgärder som kan tillämpas beroende på problemställning och jordart. Någon detaljerad beskrivning av markförstärkningsmetoder görs ej här, se vidare Trafikverkets TK Geo och TR Geo (Trafikverket 2013, 2014a) och Svenska Geotekniska Föreningens webbplats (<http://www.sgf.net>).

Markförstärkning indelas i föreliggande rapport enligt följande:

- Stabiliserad jord (exempelvis kalkcementpelarförstärkning, masstabilisering eller ystabilisering) utförs för att förbättra stabiliteten (bankar, naturliga slänter, schaktslänter) och minska sättningarna. Stabilisering av jord innebär att jordens egenskaper förändras genom inblandning av olika typer av stabiliseringsmedel.
- Vertikaldränering utförs för att påskynda sättningsförloppet så att det avslutas under byggskedet, innan konstruktionen tas i bruk. Metoden leder även till en ökad hållfasthet i undergrunden.
- Lastanpassningsåtgärder (exempelvis förbelastning, tryckbankar eller förändringar av slänters geometri) utförs antingen av stabilitetsskäl för bankar och slänter eller för att påskynda sättningsförlopp.
- Lättfyllning (exempelvis lättklinker, cellplast eller skumglas) minskar belastningen på naturlig jord jämfört med jordfyllning och utförs för att förbättra eller bibehålla stabiliteten och minska sättningarna.
- Armerad jord kan utföras genom användning av geonät i marköverbyggnads- och markunderbyggnadslager för att öka bärrighet, stabilitet och fördela laster till undergrunden.

- Massutskiftning utförs med hänsyn till stabilitet och sättningar och innebär att ej bärkraftig jord schaktas bort och ersätts med sprängsten, bergkrossmaterial eller friktionsjord.
- Komprimering av jord utförs för att öka bärigheten och minska sättningsrisken i jordlager. Komprimering av jord utförs genom ytpackning eller djuppackning så att jordens egenskaper förbättras genom omlagring.
- Pålade plattor (exempelvis bankpålning eller påldäck) utförs av stabilitets- och sättningsskäl och innebär att last från trafik och fyllning förs ned till bärkraftig jord genom pålar via någon form av betongplatta.
- Förstärkt berg (exempelvis bultning, nät eller sprutbetong) utförs för att öka stabiliteten hos bergslänter. Injektering används som tätningsåtgärd.

Olika förstärkningsmetoder har olika uppbyggnad och funktion och påverkas därför på olika sätt av klimatlast.

### 3.6 Stödkonstruktioner

Stödkonstruktioner används då det saknas utrymme för att utforma en slänt med säker lutning. Alternativt används en stödkonstruktion som stabilitetsförstärkningsmetod, exempelvis en spont, på grund av lös jord. Vidare används stödkonstruktioner av mer permanent art för kajer, vägskränningar, järnvägsbankar, samt djupa schakter inom exempelvis industrin och gruvnäringen.

Någon detaljerad beskrivning av stödkonstruktioner görs inte här, se vidare Trafikverkets TK Geo och TR Geo (Trafikverket 2013 och 2014a), Sponthandboken (Ryner med flera 1996), IEG Tillämpningsdokument Stödkonstruktioner (IEG 2011) och Svenska Geotekniska Föreningens webbplats (<http://www.sgf.net>).

Stödkonstruktioner kan indelas enligt följande:

- Betongstödmurar.
- Stenmurar.
- Armerad jord (exempelvis geonät, jordspikning eller gabioner).
- Spontkonstruktioner.
- Slitsmurar.
- Sekantpåleväggar.
- Etc.

Olika stödkonstruktioner har olika uppbyggnad och funktion och påverkas därför på olika sätt av klimatlast.

### 3.7 Grundkonstruktioner för broar, byggnader och övriga anläggningar

Permanent och variabla laster från broar, byggnader och andra anläggningar förs ned till undergrunden genom olika typer av grundkonstruktioner. Olika grundkonstruktioner används beroende av konstruktion och markförhållanden.

Någon detaljerad beskrivning av olika grundläggningsmetoder görs inte här, se vidare handboken Plattgrundläggning (Bergdahl med flera 1993), handboken Pålgrundläggning (Olsson & Holm 1993), IEG Tillämpningsdokument Plattgrundläggning (IEG 2010a), IEG Tillämpningsdokument Pålgrundläggning (IEG, 2010b), Pålkommissionens rapporter (<http://www.palkommissionen.org>) samt Trafikverkets regelverk.

Grundkonstruktioner för broar, byggnader och övriga anläggningar kan översiktligt indelas enligt nedan:

- Pålgrundläggning (exempelvis med spetsburna eller mantelburna pålar).
- Plattgrundläggning (exempelvis grundplattor på kohesionsjord, grundplattor på mellanjord och friktionsjord, grundplattor på berg, fundament för markanläggningar).
- Undermarkskonstruktioner i jord.

Olika grundläggningsmetoder har olika uppbyggnad och funktion och påverkas därför på olika sätt av klimatlast.

Då byggnader och anläggningar grundläggs under grundvattenytan påverkas konstruktionen av rådande portryck. Detta innebär ofta att konstruktioner behöver förankras med dragstag eller dragpålar för att vattnets lyftkrafter inte skall påverka konstruktionens funktion eller kvalitet. Detta innebär att konstruktionen behöver dimensioneras för det framtida förväntade dimensionerande värdet under konstruktionens livslängd.

## 4. Hur klimatlaster beaktas i dagens geotekniska regelverk

Geotekniska konstruktioner, som pålar, stödkonstruktioner (exempelvis sponter), slänter och plattor, måste dimensioneras för de laster som de kommer utsättas för under sin livslängd. Vissa av dessa laster är så kallade klimatlaster, exempelvis vattentryck, snötyngd, vindlaster och tjäle.

Geokonstruktioner ska dimensioneras i brott- och bruksgränstillstånd enligt anvisningar i Eurokod samt svenska föreskrifter baserade på Eurokod. I dessa föreskrifter framgår vilka olika laster och lastkombinationer som ska användas vid dimensionering. Vissa klimatlasters finns det inget exakt mått på, exempelvis ytvatten- och grundvattentryck, utan för att få ett dimensionerande värde för dessa måste mätningar och statistiska analyser av befintliga data utföras. Som underlag för implementering av de geotekniska delarna av europastandarderna till svenska förhållanden finns ett antal så kallade tillämpningsdokument framtagna av IEG (se <http://www.sgf.net>).

Klimatparametrar omfattar nederbörd i form av regn och snö, temperatur och vind. Följande klimatlaster (som påverkas av klimatparametrarna), är tillämpliga vid dimensionering av naturlig mark och geokonstruktioner (för definitioner av dessa se Kapitel 3) och måste därmed beaktas på grund av framtida klimatförändringar:

- Vattennivåer, vattentryck, vattenflöde, vattenhastighet, vågkrafter, strömtryck och istryck.
- Grundvattennivå, portryck och grundvattenflöde (påverkar även jordens egentynghet och jordtryck).
- Temperatur inklusive köldmängd, nollgenomgångar och snötäcke.
- Snölast inklusive snötäckets tjocklek.
- Vindlast.

Enligt SS-EN 1990 ska laster klassificeras med hänsyn till deras variation i tiden enligt följande:

- Permanenta laster till exempel bärverkens egentynghet, tyngd av fast utrustning och vägbeläggning samt indirekta laster orsakade av krympning och ojämna sättningar.
- Variabla laster till exempel nyttig last på bjälklag, balkar och yttertak samt vindlast och snölast.
- Olyckslaster till exempel explosion samt påkörning från fordon.

Klimatlasters antas allmänt vara variabla laster. Det gäller dock inte last som orsakas av fritt vatten och grundvatten. Dessa laster kan antas vara antingen permanenta eller variabla laster eller en kombination av permanenta och variabla, beroende på hur de varierar med tiden. För variabla laster ska det karakteristiska värdet motsvara antingen ett övre värde med en avsedd sannolikhet att inte överskrida eller, ett undre värde med en avsedd sannolikhet att uppnås, under en viss angiven referensperiod eller ett nominellt värde som kan anges för fall där en statistisk fördelning inte är känd.

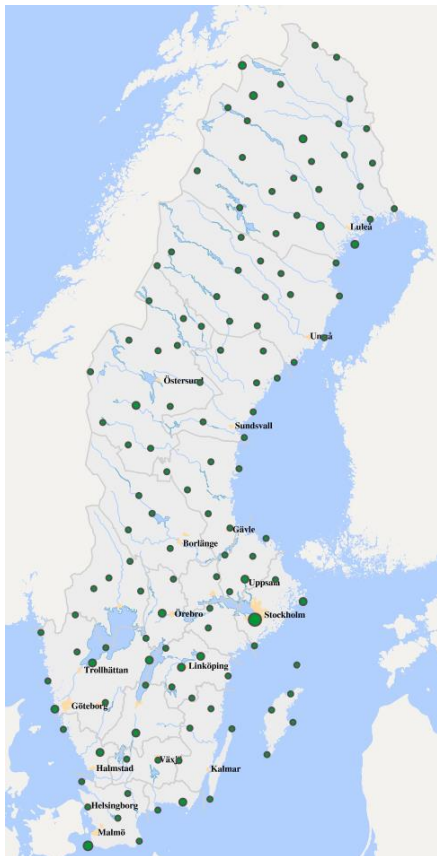
I SS-EN 1990 baseras det karakteristiska värdet för klimatlaster på att deras tidsvarierande del överskrids med en sannolikhet av 0,02 under en referensperiod av ett år. Detta motsvarar ett medelvärde för en återkomsttid av 50 år för den tidsvarierande delen. I vissa fall gör emellertid karaktären hos lasten eller den valda dimensioneringssituationen, att en annan fraktil eller återkomsttid är mer riktig.

I detta kapitel görs först en beskrivning av vilka underlag, i form av mätningar, som används som indata till dimensionerande laster. Därefter ges en beskrivning av hur olika klimatlaster tillämpas idag i gällande normer och föreskrifter. Dessutom beskrivs om, och i så fall hur det, med dagens normer, kan tas hänsyn till förändringar av klimatlaster (på grund av att klimatet förändras).

## 4.1 Tillgängliga mätningar som underlag till dimensionerande klimatlaster

Nederbördsmängder innefattar årsnederbörd, största dygnsnederbörd, antal dagar med kraftig nederbörd, skyfall och årets längsta torrperiod samt fördelningen av nederbörden under året. Nederbörd ingår inte som last i Eurokodsystelet och där finns inte heller uppgifter om nederbördsmängder med olika återkomsttid.

SMHI observerar nederbörd och relativ fuktighet varje timme i manuella och automatiska mätstationer spridda över hela landet (totalt 750 stycken varav 120 automatiska), Figur 20. Även Trafikverket har mätstationer för nederbörd med automatisk registrering utplacerade efter vägnätet. Vid dessa väderstationer mäts även temperatur och vindhastighet.



Figur 20. Mätstationer för automatisk registrering av nederbörd. SMHI:s. Efter <http://www.smhi.se>

För uppgifter om vattenföring och vattenstånd har SMHI ett så kallat hydrologiskt grundnät bestående av cirka 330 mätstationer, se Figur 21. Dessa ägs och drivs av SMHI eller vattenkraftsindustrin. De flesta av dessa stationer mäter vattenföring (vattenflöde i 85 vattendrag). Baserat på dessa mätningar kan det tas fram flödesstatistik, som exempelvis högsta högvattenflöde och medelvattenföring. För definitioner av dessa, se Tabell 3. I sex insjöar mäter SMHI vattenstånd; Väneren, Vättern, Mälaren, Hjälmaren, Siljan och Storsjön.

Baserat på observationer och kunskap om markanvändning, jordar och topografi i avrinningsområdet, kan även modellberäkningar utföras av exempelvis flöden, vattenstånd och total avrinning. SMHI utför idag detta med hjälp av den hydrologiska modellen S-HYPE och de har gjort beräkningar för cirka 38 000 delavrinningsområden i Sverige.

SMHI mäter vattenstånd i havet på 27 platser längs våra kuster och våghöjd i havet på fyra platser, se Figur 22. Havsströmmar mäter SMHI endast på två platser; Väderöarna och Huvudskär Ost.

Vindriktning och vindhastighet mäter SMHI på cirka 150 ställen längs kusterna och i inlandet fördelade över hela riket. SMHI mäter temperatur på ca 170 ställen fördelade över landet.

SMHI mäter snödjup på omkring 200 platser fördelade över hela landet. Baserat på dessa finns det bland annat statistik över normalvärden för snödjup under olika månader och normalt antal dygn med snötäcke per år.

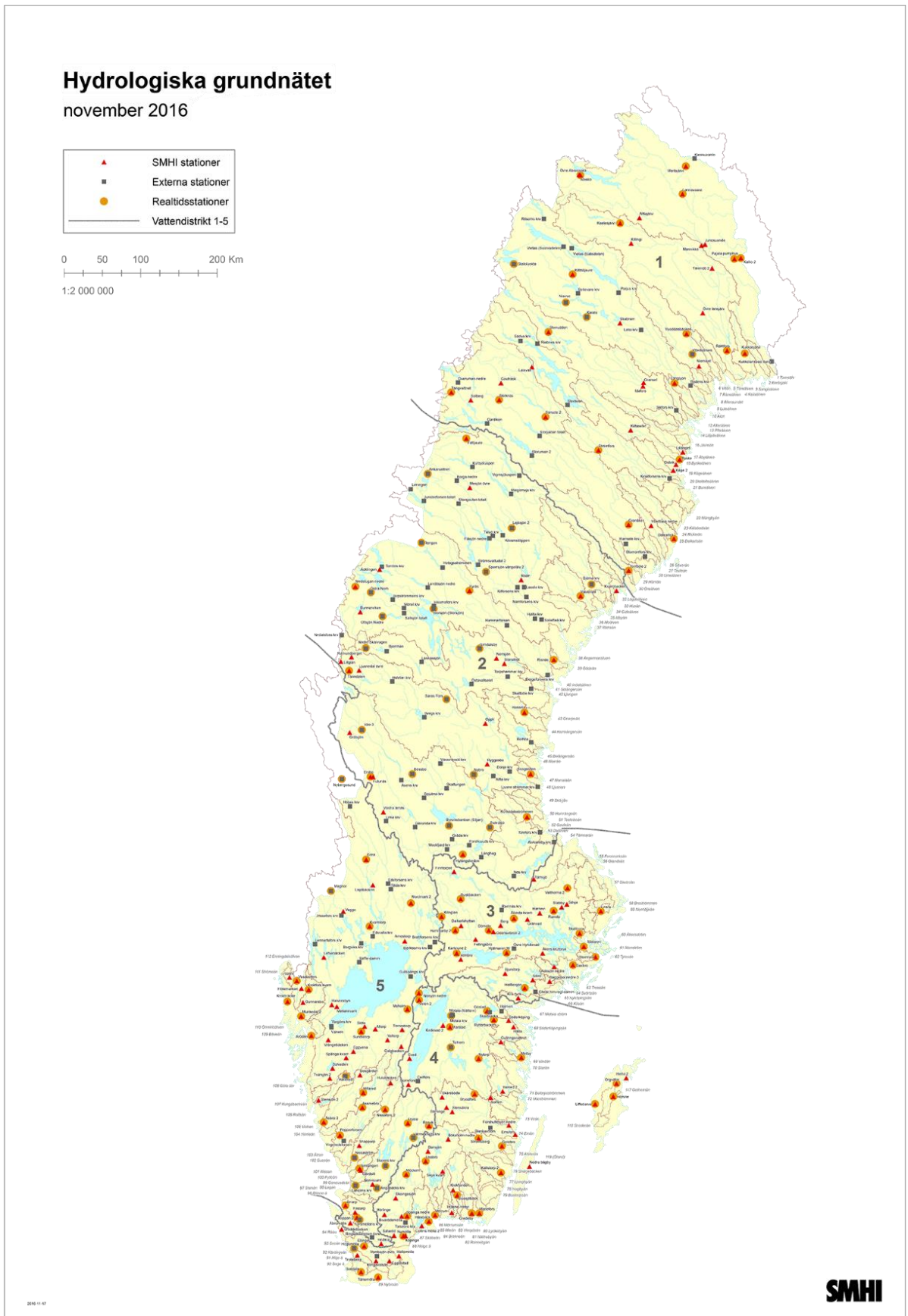
Mätningar av grundvattennivåer utförs på nationell nivå av Sveriges geologiska undersökning (SGU). Deras mätningar (grundvattennätet) startade i slutet av 1960-talet och omfattar cirka 300 stationer i ett 70-tal områden, se Figur 23. Nivåmätningarna görs vanligen manuellt två gånger per månad men sedan några år tillbaka pågår en övergång till automatiska mätningar inklusive överföring och presentation av data. Totalt är idag cirka 70 stationer automatiska och mäter grundvattennivån flera gånger per dygn.

Mätningar av portryck görs inte inom något nationellt mätprogram. Mätningar utförs normalt inför dimensionering på aktuell plats.

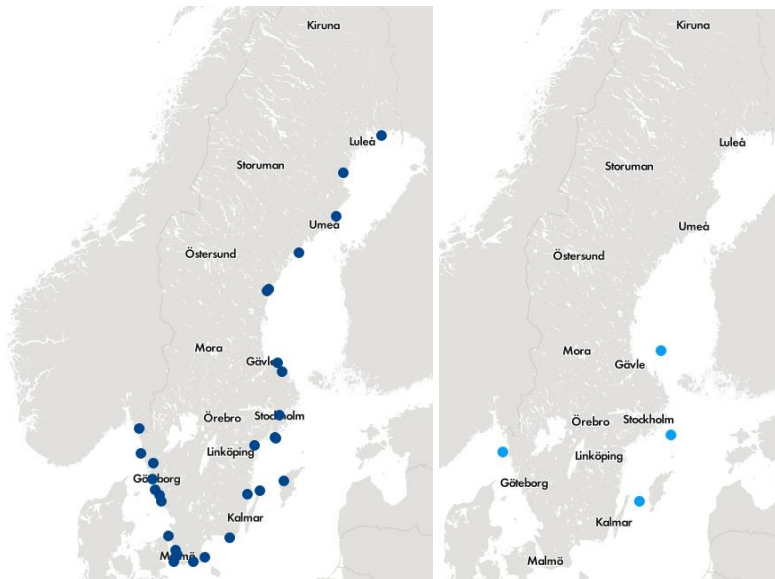
Tabell 3. Definition av hydrologiska parametrar (enligt SMHI 2017).

Parameter	Definition
Medelhögvattenföring (MHQ)	Medelvärde av varje års högsta dygnsvattenföring
Medelhögvattenstånd (MHW)	Medelvärde av varje års högsta dygnsvattenstånd
Lägsta lågvattenföring (LLQ)	Lägsta uppmätta eller beräknade flödet
Lägsta Lågvattenstånd (LLW)	Lägsta uppmätta eller beräknade vattenståndet
Högsta högvattenföring (HHQ)	Det högsta uppmätta eller beräknade flödet
Högsta högvattenstånd (HHW)	Det högsta uppmätta eller beräknade vattenståndet





Figur 21. SMHI:s hydrologiska mätstationer (efter <http://www.smhi.se>).



Figur 22. SMHI:s mätstationer för vattenstånd i havet (vänster) och våghöjd i havet (höger) (efter SMHI, 2017).



Figur 23. SGU:s grundvattenobservationsnät (efter SGU 2017).

## 4.2 Vattennivåer, vattentryck, vattenflöde, vattenhastighet, vågkrafter, strömtryck och istryck

Vatten på marken påverkar geotekniska konstruktioner som last (exempelvis upptryck, mothållande last, pådrivande last, strömtryck) och som eroderande krafter (strömmande vatten i vattendrag och längs kuster). Vatten på marken i fruset tillstånd ger trycklaster och eroderande krafter.

Vattnets nivå, tryck, flöde och hastighet påverkas av klimatparametrarna nederbörd, temperatur och vind. Uppgifter om klimatparametrarna krävs för att ta fram dimensionerande värden på de geotekniska lasterna. Exempelvis påverkas nivån för högsta högvatten i ett vattendrag, bland annat av nederbördsmängder i avrinningsområdet, se Avsnitt 4.1.

### 4.2.1 Dimensioneringsanvisningar enligt dagens förhållanden

När det gäller vattennivåer, vattentryck, vattenflöde och vattenhastighet finns inga regler i Eurokodsystelet mer än att laster från fritt vatten ska beaktas. Inte heller i Boverkets konstruktionsregler, EKS 10 (Boverket 2016a), finns specificerat hur dessa laster ska beaktas.

För permanenta konstruktioner är det praxis i Sverige att vattennivåer, vattentryck (inklusive upplyft), vattenflöde och vattenhastighet i vattendrag beräknas som en last med ett högsta värde med en viss återkomsttid, ett medelvärde och ett lägsta värde med en viss återkomsttid för exempelvis broar, trummor och geokonstruktioner för infrastrukturanläggningar. Uppgifter om värden på dessa får tas fram i varje enskilt fall baserat på tillgängliga data. För temporära konstruktioner kan dock andra värden än enligt ovan tillämpas.

För infrastrukturektorn har Trafikverket i Sverige egna tilläggsregler. Enligt Trafikverkets regelverk, TK Geo och TR Geo (Trafikverket, 2013 och 2014a) och Krav och råd brobyggande (Trafikverket 2016a och 2016b), ska vattennivåer, vattentryck (inklusive upplyft), vattenflöde och vattenhastighet i vattendrag beräknas som en last med ett högsta värde och ett lägsta värde för exempelvis broar, trummor och geokonstruktioner för infrastrukturanläggningar. Vilket värde på lasten som tillämpas beror på vilka funktioner som ska verifieras för olika typer av konstruktioner. Dimensionerande värden i brottngränstillstånd ska motsvara vattennivå, vattentryck, vattentryck och vattenhastighet med en viss återkomsttid. Generellt tillämpas återkomsttider mellan 50-200 år för geokonstruktioner och broar, beroende av konsekvensen av klimatlasten. Avvattningsanläggningar dimensioneras enligt Trafikverkets rådsskrift "Avvattningsteknisk dimensionering och utformning – MB 310" (Trafikverket, 2014b) i vilken dimensionerande vattenflöde baseras på avrinningsområdets yta samt begreppet dimensionerande nederbörd. När det gäller dimensionerande nederbörd hänvisas till Svenskt Vatten "Publikation P104, Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem" (Svenskt Vatten 2011). I publikationen redovisas bland annat hur extremflöden (maximala/dimensionerande flöden), som är underlag för dimensionering av maximalt flöde i ledningar och diken, kan bestämmas direkt från blockregnsstatistik, statistiska typregn eller kontinuerliga regnserier. Enligt MB 310 ska avvattningssystem dimensioneras för en återkomsttid varierande mellan 1-20 år beroende avvattningsförutsättningarna och konsekvenserna vid bräddning.

Som underlag för dimensionering i varje enskilt projekt behöver vattennivåer, vattentryck, vattenflöden och vattenhastigheter i vattensystem bestämmas baserat på observationspunkter i aktuellt vattensystem samt statistiska analyser som bygger på historiska observationer. Exempelvis ger Trafikverket i sin skrift TK Geo och TR Geo (Trafikverket 2013 och 2014a) exempel på hur beställning av flödesdata (nivåer, momentanflöden, sjöprocent, avrinningsområde) kan göras från SMHI.

Som underlag för dimensionering av erosions- och översvämningsskydd vid kusten finns inga regelverk eller standarder i Sverige, det som används idag är ofta amerikansk standard från US Army Corps of Engineers (2002). Vid dimensionering tas främst hänsyn till högsta högvatten (HHW), högsta våghöjd, samt översköljningseffekter.

Vid dimensionering av broar ska istryck, enligt Trafikverkets regelverk, Krav Brobyggande (Trafikverket 2016a), beaktas. Storleken på istrycket, som ska antas angripa på nivåerna MHW och MLW, bestäms genom särskild utredning. De i regelverket angivna minsta värdena kan användas om isen i broläget inte förväntas vara tjock, istäcket inte påverkas av strömmande vatten och drivande is inte förekommer. I övriga fall utreds istryckets storlek med hänsyn till lokala förhållanden och konstruktionens utformning. Vägledning vid bestämning av istryck ges i "Istryck mot bropelare" (Vägverket 1987).

Istryck kan även vara aktuellt i strandzoner med hänsyn till erosion. Det finns dock inte några svenska normer som behandlar denna last med avseende på erosion.

För broar ska strömtryck och vågkrafter bestämmas enligt SIS dokument "Krafter från vågor och strömmar på kustnära byggnadsverk" (SIS 2007). Som underlag för att beräkna vågkrafter erfordras statistik från historiska observationer av vattenstånd i kombination med olika beräkningsmetoder för att beräkna vågkrafter.

Beskrivning av hur skydd mot strömmande vatten ska konstrueras finns, för geokonstruktioner för väg och järnväg, i TK Geo och TR Geo (Trafikverket 2013 och 2014a). Erosionsskydd i samband med förstärkningsåtgärder för slänter finns beskrivet i Skredkommissionens rapport 1:94 (Skredkommissionen, 1994). Hur vågkrafter och inverkan från fartygs svallvågor ska beaktas beskrivs i Vägverkets handbok "Erosionsskydd i vatten vid väg- och brobyggnad" (Vägverket 1978). Erosionsskydd längs havsstränder kan dimensioneras enligt anvisningar i Coastal Engineering manual (US Army Corps of Engineers 2002) och i Environmental engineering for coastal shore protection (US Army Corps of Engineers 1989).

När det gäller ytvattenflöde i slänt ska denna last, enligt TK Geo och TR Geo (Trafikverket 2013 och 2014a), beaktas bland annat med avseende på ytvattenflödets storlek, grundvattennivå och klimatzon.

Riktlinjer för dimensionering av åtgärder mot slamströmmar ges av SGI (Rankka & Fallsvik 2005). Där rekommenderas att en nederbördsintensitet med en återkomsttid av minst 100 år väljs. Varaktigheten för nederbörden väljs baserat på förhållanden i det aktuella avrinningsområdet.

#### 4.2.2 Dimensionering med hänsyn till framtida klimat

I vare sig Eurokod eller Boverkets konstruktionsregler finns angivet hur ett framtida klimat bör beaktas vid dimensionering. Inom EU fastställdes en klimatanpassningsstrategi år 2013 (European Commission 2013). Inom CEN och CENELEC har inledande planeringsarbete utförts avseende anpassning av europastandarder till ett förändrat klimat (CEN-CENELEC 2016). Boverket har i en förstudie (Boverket 2016b) gjort bedömningen att det erfordras fortsatt arbete med att gå igenom och genomlysna byggregler kopplat till klimatförändringarna.

För brokonstruktioner över vattendrag anger Trafikverket i sin skrift *Krav Brobyggande* (Trafikverket 2016a) att ”förväntade klimatförändringar under brons avsedda tekniska livslängd ska beaktas. I rådsdokumentet skrivs att ”de förväntade klimatförändringar under brons avsedda tekniska livslängd kan beaktas med de faktorer som anges i MB 310 *Hydraulisk dimensionering*” (Trafikverket 2014b). I den nu gällande versionen av MB 310 finns dock inte några faktorer angivna utan man anser att man tagit ”marginal för klimatförändringen i de kravnivåer som ansatts”. I den äldre version ”VVMB 310” (Vägverket 2008), redovisas justeringsfaktorer för medelhögvattnenföring (MHQ) baserade på samma underlag som den svenska klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU 2007).

För dimensionering av bärförmåga, stadga och beständighet för vägkonstruktioner anger Trafikverket i TRVK Väg (Trafikverket 2011b) att dimensionering av klimatlast ska göras för aktuell klimatzon. Hur man bör justera dessa zoner med hänsyn till ett framtida klimat, finns dock inga uppgifter om i skriften. Det samma gäller dimensionering med hänsyn till tjältryck (Trafikverket, 2011a).

För dimensionering av avvattningsanläggningar har Trafikverket i sin skrift ”Avvattningsteknisk dimensionering och utformning” (Trafikverket 2014b) valt att ta marginal för klimatförändringar i de kravnivåer som ansätts istället för att försöka sig på specifika uppräkningsparametrar (se även stycket ovan). Svenskt Vatten väljer i sin publikation P110 (Svenskt Vatten 2016) att ange en klimatfaktor som bör tillämpas för att ta hänsyn till ökad nederbörds mängd och nederbördsintensitet vid dimensionering av avvattningsanläggningar. De skriver att: ”Bedömning av klimatfaktorens storlek bör göras utifrån det senaste kunskapsläget presenterat av SMHI. Nya bedömningar kommer att göras av SMHI, varför klimatfaktorn kan komma att ändras”. I publikationen ges en rekommendation baserat på kunskapsläge i december 2015. De rekommenderar att en klimatfaktor på minst 1,25 bör användas för nederbörd med kortare varaktighet än en timme. För regn med längre varaktighet, upp till ett dygn, bör klimatfaktorn väljas till minst 1,2. Klimatfaktorn är samma för hela Sverige. Dessa värden bygger på den analys som SMHI gjort av förändringar av korttidsnederbörd, se avsnitt 2.2.4. I MSB:s rapport *Vägledning för skyfallskartering* (MSB, 2017) anges att man för att ta hänsyn till klimatförändringen bör inkludera en klimatfaktor på 1,2-1,5 samt att karteringen bör genomföras med minst två regn med olika återkomsttid och att en känslighetsanalys bör ingå.

För dimensionering av geokonstruktioner anges i TKGeo (Trafikverket 2014a) två krav vad gäller klimatförändringar rörande vattenflöden. För höga bankar ska val av fyllningsmaterial beaktas med hänsyn till extrema vattenflöden på grund av bland annat klimatförändringar. Där det är svårt att komplettera erosionsskydd bör framtida klimatförändringar beaktas vid dimensionering av erosionsskydd. Någon metodik för detta presenteras dock inte.

Vad gäller utredning av förutsättningar för slamströmmar ger SGI (Rankka & Fallsvik 2005) inga råd hur ett framtida klimat bör värderas vid utredningar.

## 4.3 Grundvattennivå, portryck och grundvattenflöde

### 4.3.1 Dimensionering enligt dagens förhållanden

Nederbörsmängder omfattande årsnederbörd, största dygnsnederbörd, antal dagar med kraftig nederbörd, skyfall och årets längsta torrperiod samt fördelningen av nederbörden under året påverkar marken indirekt genom laster som avser grundvattennivåer, portryck och grundvattenflöden. Som beskrivits tidigare nämns inte nederbörd i Eurokodsyste-met. När det gäller grundvattennivåer, portryck och grundvattenflöde finns inga regler i Eurokodsyste-met, mer än att laster från grundvatten ska beaktas och att karakteristiska värden på grundvattennivåer ska vara uppmätta, nominella eller uppskattade övre eller undre ni-våer. Några ytterligare regler redovisas inte i Boverkets konstruktionsregler (EKS 10).

Enligt Trafikverkets TK Geo och TR Geo (Trafikverket 2013, 2014a) ska prognostisering av grundvattennivåer och portryck göras baserat på observationspunkter för det specifika projektet, där dessa värden jämförs med närbelägna referensrör med en lång observations-tidsserie för att erhålla 50-årsvärdet i observationspunkten. Längre återkomsttid tillämpas om konsekvenserna av lasten är betydande. Största eller lägsta värde tillämpas för di-mensionering i brottgränstillstånd, beroende på vilket värde som är ogynnsammast. Enligt Skredkommissionens rapport 3:95 (Skredkommissionen 1995), som används vid dimen-sionering av naturliga slänter, tillämpas samma metodik för prognostisering av portryck som beskrivits avseende Trafikverket ovan, med skillnaden att maximivärdet ska baseras på ett portryck med återkomsttid på 200 år. I IEG:s vägledning för tillämpning av Skred-kommissionens rapporter 3:95 och 2:96 (delar av) anges att maximivärdet ska baseras på ett portryck med återkomsttid på 100 år.

I praktiken tillämpas ovanstående metodik sparsamt på grund av för korta mätserier inom aktuella projekt och begränsningar i omfattning av referensrör geografiskt och för olika typer av akviferer i SGU:s grundvattennät.

Vid dimensionering i bruksgränstillstånd, exempelvis beräkning av sättningar, ska medel-värde av grundvattenlast tillämpas.

Långtidsobservationsnät som omfattar kombinerade mätningar av grundvattennivåer och portryck för olika typer av akviferer, vilket är grunden för att kunna göra uppföljning av klimatförändringar som är användbara ur geoteknisk synvinkel, saknas i Sverige.

När det gäller grundvattenflöde i slänt så ska åtgärder utformas efter särskild utredning där bland annat vattenflödets storlek och utloppsområden bedöms.

### 4.3.2 Framtida klimatscenarier

Framtida förändringar i temperatur och nederbörd, se avsnitt 2.2, kommer leda till föränd-ringar av vattennivåer (i sjöar, hav och vattendrag), vattentryck (portryck) och vattenflö-den i marken. Dessa är lokala och beror bland annat på jordarter (och dessas egenskaper),

jordlagerförhållanden, markytans topografi, underliggande bergytas lutning och egenskaper, avdunstning, snösmältning och vegetation. Nivåer, tryck och flöden förändras över året och över tid.

I Eurokod (SS-EN 1997-2:2007) anges att ”dimensionering av nivåer på grundvatten ska väljas från tillgängliga hydrologiska data och observationer som ger de mest ogynnsamma förhållanden som skulle kunna inträffa för det dimensioneringsfall som avses”. Det finns inga anvisningar för hur dessa värden ska tas fram för konstruktioner med lång livslängd (exempelvis 100 år).

I Boverkets konstruktionsregler EKS 10 (Boverket 2016a) finns inte heller något angivet om, eller hur, förändringar till följd av klimatet på dessa parametrar, ska värderas.

I Trafikverkets dokument TK Geo och TR Geo (Trafikverket 2013, 2014a) anges att dimensionerande vattentryck för permanenta anläggningar ska bestämmas utifrån mest ogynnsamma vattennivå eller portryck med minst 50 års återkomsttid. I de fall konsekvenserna är betydande ska längre återkomsttid användas. Hur hänsyn bör tas till att återkomsttiderna kommer att förändras i framtiden, ges dock inte.

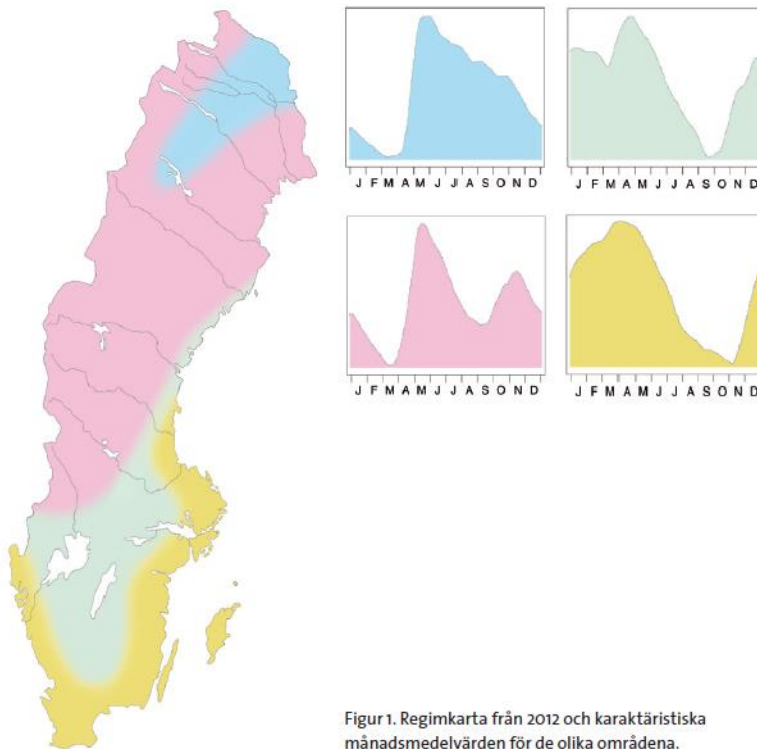
### **Modellering av framtida grundvattennivåer**

SMHI har modellerat grundvattennivåernas framtida fluktuationer i öppna grundmagasin med hjälp av den hydrologiska modellen S-HYPE (se Vikberg med flera 2015). Modelleringen utfördes för både långsamreagerande och snabbreagerande grundvattenmagasin för tidsperioderna 2021-2050 och 2069-2098 samt för utsläppsscenarierna RCP 4.5 och RCP 8.5. Analyser utfördes därefter av SGU för att åskådliggöra förändringar i beräknade, framtida grundvattennivåer jämfört med uppmätta nivåer under referensperioden 1961-1990 (Vikberg med flera 2015). Snabbreagerande grundvattenmagasin finns i morän och i berg och de reagerar snabbt på nederbörd och torka. De långsamreagerande grundvattenmagasinen utgörs främst av isälvsavlagringar (exempelvis rullstensåsar). Eftersom isälvsavlagringar vanligen inte utgör något intresse ur geoteknisk synvinkel redovisas här endast resultat från de snabbreagerande magasinerna. Vi har dessutom valt att begränsa oss till tidsperioden 2069-2098 samt till utsläppsscenarioet RCP 8.5.

Grundvattennivåerna i de snabbreagerande grundvattenmagasinen som SGU mäter, varierar i medeltal över ett år med cirka 3 meter i höglänta områden med öppna akviferer och mindre genomsläpplig morän. I låglänta områden med slutna akviferer och mer genomsläpplig morän är amplituden normalt mindre, i många fall mindre än 1 meter (Vikberg med flera, 2015).

Enligt Vikberg med flera (2015) har tidigare studier visat att modellen S-HYPE kan användas för att modellera grundvattennivåer för delavrinningsområden i Sverige. Det krävs dock att det finns mätserier med uppmätta grundvattennivåer inom delavrinningsområdet som kan korreleras mot de beräknade grundvattennivåerna. Är korrelationen bra kan modellen och de beräknade grundvattennivåerna användas för det specifika delavrinningsområdet. SGU har endast mätserier för ett fåtal av landets delavrinningsområden och av dessa visar en mindre andel en god korrelation mellan uppmätta grundvattennivåer och de med S-HYPE beräknade värdena. Modellering av grundvattennivåernas framtida förändring är därför vansklilig och de studier som utförts kan inte visa en bild av förväntade grundvattennivåer över hela Sverige.

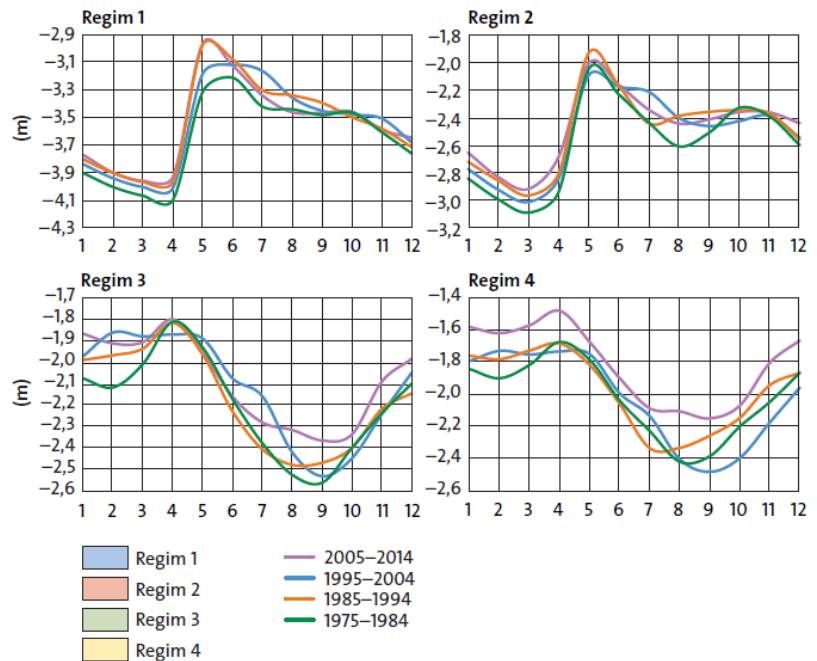
De snabbreagerande grundvattenmagasinens årstidsvariationer kan beskrivas med hjälp av så kallade regimkurvor. Kurvornas utseende beror av hydrogeologi och klimat vilket gör att regimkurvorna ser olika ut beroende på var i landet man befinner sig. SGU har delat in Sverige i fyra grundvattenregimer, se Figur 24. Indelningen baseras på uppmätta värden i SGU:s grundvattennät.



Figur 24. Regimkarta för Sverige framställd 2012 samt karaktäristiska månadsmedelvärden för de olika områdena (efter Lagergren 2015).

Lagergren (2015) undersökte eventuella trender och förändringar i uppmätta grundvattennivåer i SGU:s grundvattennät under perioden 1975-2014 inom områden med olika hydrologiska regimer. Resultaten presenteras i Figur 25. Där framgår att grundvattennivåerna generellt har ökat under perioden i praktiskt taget hela landet. För regimområdena 1, 2 och 4 har såväl de högsta som de lägsta nivåerna ökat. För regimområde 3 är de högsta nivåerna oförändrade medan de lägsta har ökat.





Figur 6. Månadsmedelvärden för tidsperioderna 1975–1984, 1985–1994, 1995–2004 och 2005–2014 i olika regimområden.

Figur 25. Regimkarta som visar förhållandena 2012 samt månadsmedelvärden för tidsperioderna 1975-1984, 1985-1994, 1995-2004 samt 2005-2014 (efter Vikberg med flera, 2015).

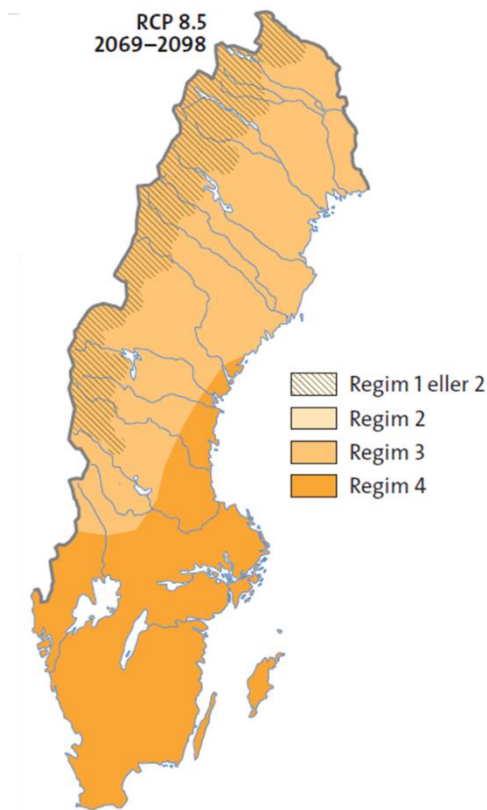
SGU:s analys av hur grundvattennivåerna i snabbreagerande grundvattenmagasin kan förväntas förändras i ett framtida klimat visar på följande:

*I hela norra halvan av landet förväntas de lägsta och högsta grundvattennivåerna att öka. Framförallt kommer grundvattennivåerna under vintern att öka. Grundvattennivåernas amplitud minskar något.*

*I mellersta och sydvästra delen av landet väntas de högsta och lägsta nivåerna bli oförändrade.*

*I de östra delarna av södra Sverige väntas de lägsta nivåerna att minska och det syns en viss tendens till att även de högsta kommer att minska. Det innebär att amplituden förväntas minska något på ostkusten.*

Samma analys visar att grundvattenmagasinens årstidsvariationer indelade i regimer förväntas förändras så att regimerna 3 och 4 breder ut sig norröver samt att regim 1 och regim 2 förekommer endast i fjällvärlden, se Figur 26. Det är viktigt att tänka på att de lokala förhållandena är avgörande för nivåvariationen, varför beräkningar för ett helt regimområde kan ge generella resultat som kan avvika från verkligheten vid en specifik plats.



Figur 26. Framtida grundvattenregimer i snabbreagerande grundvattenmagasin. Utsläppsscenario RCP 8.5 (efter Vikberg med flera, 2015).

### Diskussion

Resultaten från modelleringen som SGU presenterat bygger på cirka 20 referensrör, varför det kan vara svårt att dra generella slutsatser av de förväntade grundvattennivåerna över hela Sverige. Studier av Lagergren (2015) visar att grundvattennivåerna generellt har ökat under de senare åren i så gott som hela landet.

Hur förändringar i grundvattennivån påverkar portryck och vattenflöden i marken finns idag inga analyser av. I jordar som är skiktade med omväxlande täta och permeabla jordlager, kan det förekomma vattenflöden i andra riktningar än vertikalt. Då nederbörden förändras kan dessa vattenflöden förändras. Det finns idag heller inga analyser av hur dessa kan komma att förändras i framtiden.

Grundvattnets påverkan av stigande havsnivåer i kustområden har inte ingått i SGU:s modellering. Dessa nivåer påverkas både av nederbörd och stigande hav och kan troligen inte beräknas med traditionella metoder för grundvattenberäkning.

Slutligen kan konstateras att det råder stora osäkerheter i hur grundvattennivåer och portrycksnivåer kommer att förändras framöver.

## 4.4 Temperatur inklusive köldmängd, nollgenomgångar och snötäcke

### 4.4.1 Dagens förhållanden

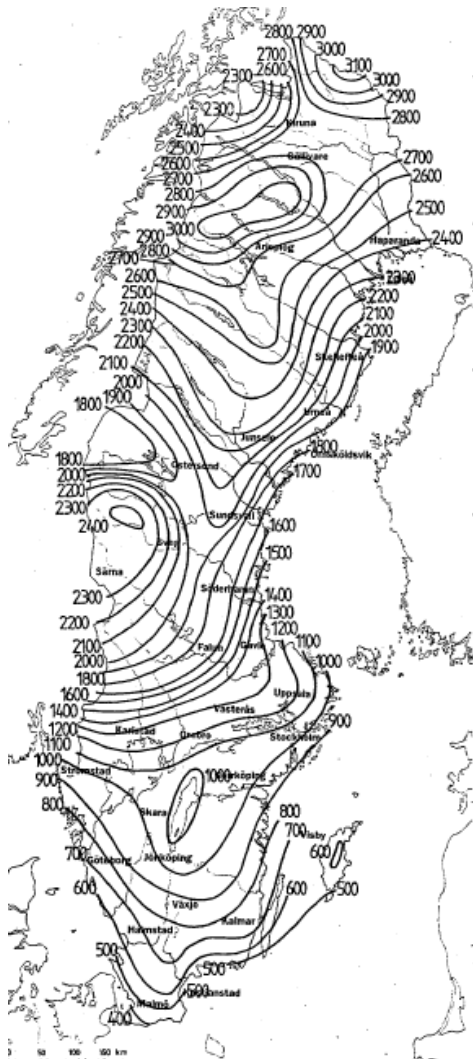
I Eurokods systemet ges principer och råd för bestämning av temperaturlast på byggnader, broar och andra bärverk. Temperaturlast klassificeras som en variabel indirekt last. I SS-EN 1991c anges information om maximal och minimal lufttemperatur för Sveriges kommuner. Maximal och minimal lufttemperatur är värden som med sannolikheten 0,02 överskrids eller underskrids en gång per år. I övrigt hänvisas till nationella bilagor. Några ytterligare information avseende max- och mintemperatur redovisas inte i Krav och råd brobyggande (Trafikverket 2016a och 2016b). I Boverkets konstruktionsregler EKS 10 (Boverket 2016a) redovisas isotermkartor för maximal respektive minimal lufttemperatur under en timme. Maximal och minimal lufttemperatur är värden som med sannolikheten 0,98 inte överskrids en gång per år och är ekvivalent med 50 års återkomsttid. Kartorna baseras på mätdata från 148 meteorologiska stationer. Maximal lufttemperatur i Sverige är 40 °C och minimal lufttemperatur är -48 °C.

Dimensionering av järnvägar, vägar, broar, byggnader och andra anläggningar med avseende på tjällyftning och frostdjup görs baserat på historiska observationer av köldmängd. Köldmängd definieras som summan av dygnsmedeltemperatur under noll °C per vintersäsong. Köldmängd anges i negativa dygnsgrader. Köldmängd kan anges dels som maximiköldmängd, det vill säga den maximalt uppmätta köldmängden, under en vintersäsong för en viss observationsperiod omfattande ett stort antal år, dels som köldmängd med en viss återkomsttid, som är en statistisk beräkning baserat på maximiköldmängden per vintersäsong under ett stort antal år och slutligen medelköldmängd som avser medelvärdet av köldmängden per säsong under ett stort antal observationsår. Det finns inga regler i Eurokods systemet som gäller köldmängd och tjäle och inte heller i Boverkets konstruktionsregler EKS 10 (Boverket 2016a), mer än att temperatureffekter, det vill säga, risk för tjälskjutning ska beaktas.

I Krav och råd brobyggande (Trafikverket 2016a och 2016b) hänvisas till EN-ISO 13793 "Byggnaders termiska egenskaper - Värmeisolering av grunder för att undvika tjällyftning" (SIS 2001), vad gäller frostskyddsåtgärder för grundläggning. I EN-ISO 13793 tillämpas köldmängd genom parametern Frysindex (Freezing index). Frysindex definieras som 24 gånger summan av skillnaden mellan 0 °C och den dagliga genomsnittliga externa lufttemperaturen, som ackumuleras dagligen över frysperioden inkluderat både positiva och negativa skillnader. Frysperioden avser period under vilken den genomsnittliga dagliga externa lufttemperaturen förblir mindre än 0 °C, tillsammans med eventuella frysning- eller upptiningstider om de leder till frysning. Några statistiska data som avser frysindex för olika länder redovisas inte, men det rekommenderas att återkomsttid 50 eller 100 år ska tillämpas.

För järnvägar redovisas en karta över underballastjocklek i AMA Anläggning 17 (Svensk Byggtjänst 2017). Tjockleken baseras på principen att terrassytan ska vara frostfri för en köldmängd med 50 års återkomsttid, som redovisades i JärnvägsAMA 98 (Banverket 2003), se Figur 27. Underlaget har tagits fram av SMHI baserat på uppmätt köldmängd vid 100 platser under perioden 1961/62 till 1997/1998. Historiskt har frostfritt djup inom järnvägssektorn baserats på köldmängdsobservationer och tjälobservationer i fält där hänsyn delvis tagits till snötäckets inverkan, se bland annat SJ meddelande nr 8 (Jerbo 1963) och Statens Väginstutts meddelande 91 (Fellenius & Rengmark 1959). Som

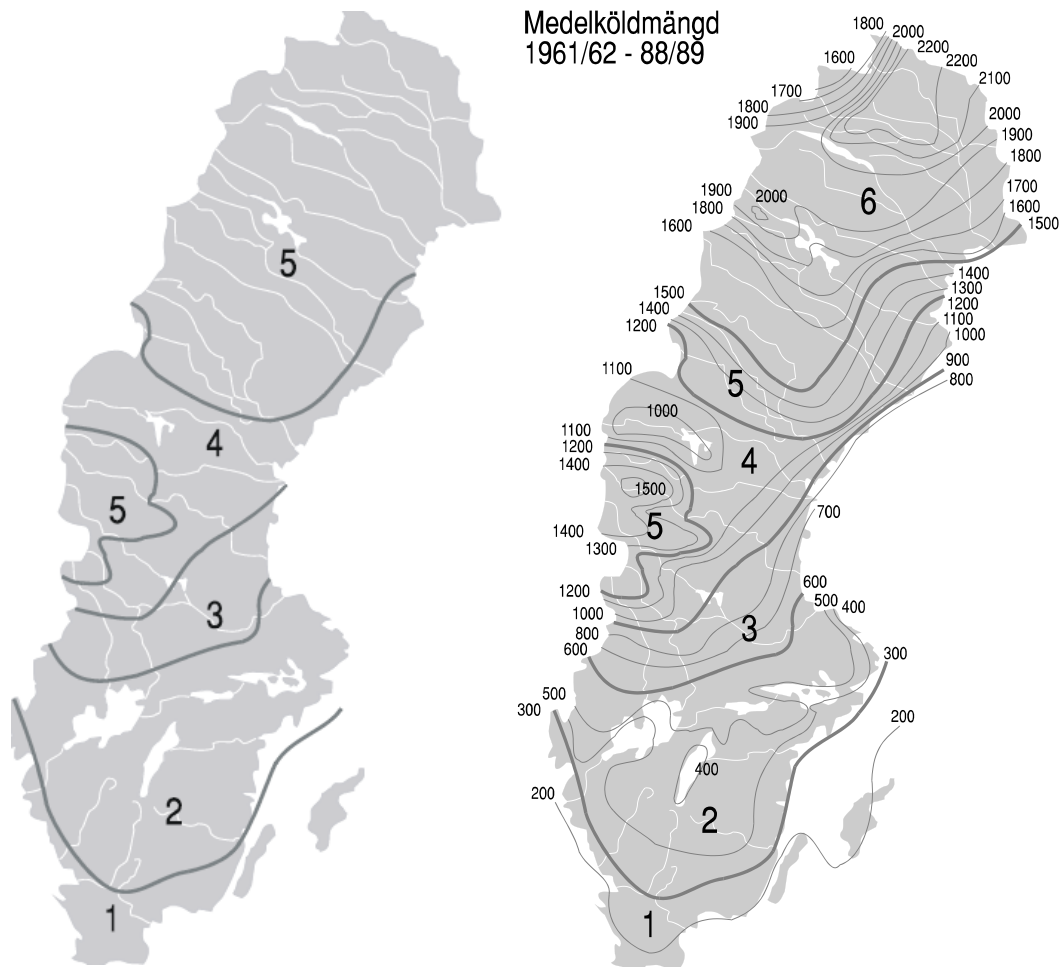
underlag för frostdjupskarta (tjocklek hos underballast) redovisad i JärnvägsAMA 98, har beräkningar utförts som redovisas i rapporten Subballast och crushed aggregates – phase III (Knudsen 2001), baserat på köldmängd med 50 års återkomsttid. I rapporten anges att redovisade frostfria djup baseras på snötäckt mark och snöfyllt ballastlager för norra Sverige. För södra Sverige har frostfritt djup beräknats utan snö. Det bör dock påpekas att mätningar och även numeriska simuleringar som utförts visar att frostfria djupet kan vara större än de som redovisas på kartorna och att snöns inverkan är svår att simulera, se exempelvis rapporten ”Underballast av krossmaterial, etapp 2, dimensioneringsfilosofi” (Knutsson & Westerberg 1999).



Figur 27. Köldmängd  $-^{\circ}\text{Cd}$  (negativa graddygn) med återkomsttid 50 år (JärnvägsAMA 98).

Vägdimensionering baseras, enligt TRVK Väg (Trafikverket 2011b), på fem klimatzoner i Sverige enligt Figur 28, där indelningen bygger på medelköldmängden. Nuvarande klimatzoner har funnits i normsystemet för vägar sedan ATB Väg 2002 (Vägverket 2002) och kommer ursprungligen från en tidigare indelning enligt Figur 28, som baserades på medelköldmängd mellan perioden 1961/62-1988/89. Medelvärdena motsvarar ungefär 30-70 % av maxvärdena med 50 års återkomsttid enligt Figur 27. Till skillnad från järnväg, där frostpassiva fyllningslager utförs till frostfritt djup, görs dimensionering av vägöverbyggnad med ledning av en tjällyftningsberäkning, enligt TRVMB 301 (Trafikverket 2011a). Beräkning av tjällyftning, som baseras på klimatdata för en mätstation som har

likartade klimatförhållanden som det aktuella vägobjektet. Klimatdatan innehåller uppmätta timvärden för vägytans temperatur under oktober till och med april vid en mätstation. Dimensionering utförs med Trafikverkets program PMS Objekt (Trafikverket 2016c) som innehåller en databas med temperaturdata från och med vintersäsongen 1993/1994. Samtliga säsonger för vald station ska beräknas med avseende på tjällyft och tjäldjup. Säsongen som ger största tjällyft ska anses vara dimensionerande.



Figur 28. Klimatzoner vid vägdimensionering enligt dagens regelverk till vänster (enligt ATB Väg 2002, Vägverket 2002) samt till höger äldre klimatzoner med medelköldmängd  $^{\circ}\text{Cd}$  (negativa grad-dygn) mellan 1961/62-88/89 (enligt ATB Väg 2000, Vägverket 2000).

#### 4.4.2 Framtida klimatscenarier

Det finns inga råd eller anvisningar för att beakta förändringar av temperaturkrafter på grund av ett framtida klimat i dagens normer och regelverk. Det pågår dock planeringsarbete som gäller klimatanpassning inom EU, CEN, CENELEC, se avsnitt 4.2.2.

Det finns heller inga anvisningar av hur en ökad temperatur och ett minskat snötäckande bör beaktas avseende tjällyftning och frostsprängning. De kartor som visar köldmängd och klimatzoner (som presenteras i avsnitt 4.4.1) innefattar inga anvisningar för hur dessa bör uppdateras.

Det framtida klimatet med ett ökat antal nollgenomgångar och högre temperaturer vintertid innebär troligen att tjälnedträngningen minskar men möjligen att tjällyftningen ökar

och att större problem uppstår med jordflytning i de övre jordlagren. Simonsen (1993) skriver i rapporten "Vägars bärighet under tjällossningen" att:

*En långsam tjälnedträngning (moderata frystemperaturer) skapar vanligen ett förhållande under vilka maximal bildning av islinser uppstår. Milda vintrar ger större tjällyftning per frostmängdenhet än kalla vintrar. Detta beror på att tjälnedträngningen är långsam och vatten därför hinner sugas upp till frysfronten för att där bilda islinser. Under en mild vinter är tjäldjupet litet och ackumulering av is uppstår i regel högt upp i jordvolymen. För ett finkornigt jordmaterial med relativt hög permeabilitet, exempelvis silt, medför en långsam tjälnedträngning förutsättningen för kraftig anrikning av is i övre delar av jordvolymen. Under dessa förutsättningar kommer ett omslag i temperaturnivån snabbt att påverka den högt belägna isbildningen och förorsaka vattenövermättning och porvattenövertryck, vilket i sin tur resulterar i ett ostabilt jordmaterial med låg skjuvhållfasthet och deformationsmotstånd.*

Problematiken är dock komplex eftersom det även spås att snötäcket kommer att minska i hela landet. Ett minskat snötäcke ger möjlighet för kyla att tränga djupare ner i jordlagren. Tillsammans med ett ökat antal perioder med upptining av jorden kan det bli fler tillfällen med låg bärighet. Detta gäller speciellt för gamla befintliga vägar och järnvägar som byggts med lågkvalitativa material i över- och underbyggnad, vilket leder till skador och deformationer vid trafikbelastning.

## 4.5 Snölast och snötäckets tjocklek

### 4.5.1 Dagens förhållanden

Snölast påverkar geokonstruktioner indirekt genom ökad eller minskad belastning på grundkonstruktioner för exempelvis byggnader eller broar.

Snölast definieras i Eurokodsystemet som en variabel last. I SS-EN 1991a ges vägledning för bestämning av de värden på snölast som skall användas vid dimensionering av bärvärk i byggnader och anläggningar. I skriften ges information om karakteristiska värden för snölast för olika länder. Karakteristisk snölast avser ett värde med en årlig sannolikhet för överskridande av 0,02, vilket motsvarar en återkomsttid på 50 år.

I Boverkets konstruktionsregler EKS 10 (Boverket 2016a) redovisas kartor med snölast på mark som gäller för dimensionering av byggnader i Sverige. Snölast på mark motsvarar värden som med sannolikheten av 0,98 inte överskrids en gång per år, vilket är ekvivalent med 50 års återkomsttid, baserad på mätdata från 148 meteorologiska stationer.

I Krav och råd brobyggande (Trafikverket 2016a och 2016b) anges att snölast ska beaktas för broar med tak och för öppningsbara järnvägsbroar. Inga nationella krav vad gäller laster redovisas.

Snölast tillämpas inte som variabel last vid dimensionering för geokonstruktioner varken i Eurokodsystemet eller det svenska regelverket, förutom för grundkonstruktioner för

byggnader och broar. Påverkan från smältande vatten från snö eller ”snöhögar”, som infiltreras i jorden beaktas ej heller vid dimensionering av geokonstruktioner. Observationer av skred som uppkommit på grund av denna lastsituation finns dock från siltslänter i Sverige.

Snötäcket tjocklek är en parameter som tillämpas indirekt vid bestämning av frostfritt djup. Någon information om snötäcket tjocklek finns varken i Eurokods systemet eller det svenska regelverket.

#### 4.5.2 Framtida klimatscenarier

Antalet dagar med snötäcke kommer minska i landet och mest i Norrland. Det maximala snötäcket kommer också minska i hela landet och därmed troligen även den snölast som konstruktioner ska dimensioneras för. Det finns i dagens regelverk ingen information om hur hänsyn bör tas till förändringen. Det pågår dock planeringsarbete vad gäller klimatanpassning inom EU, CEN, CENELEC, se avsnitt 4.2.2.

## 4.6 Vindlast

### 4.6.1 Dagens förhållanden

Vindlast påverkar geokonstruktioner indirekt genom ökad eller minskad belastning på grundkonstruktioner för exempelvis byggnader, broar eller fundament för stolpar och master.

Vindlast definieras i Eurokods systemet som en variabel last. I SS-EN 1991b ges vägledning för bestämning av naturlig vindlast mot varje belastad yta som beaktas vid dimensioneringen av byggnader och anläggningar.

I Boverkets konstruktionsregler EKS 10 (Boverket, 2016a) redovisas karta för vilka referensvindhastigheter som ska användas när dimensionerande vindlast beräknas. Referensvindhastigheten avser medelvindhastighet under 10 minuter på höjden 10 m över markytan med råhetsfaktor  $z_0 = 0,05$  och med upprepningstiden 50 år.

I Krav och råd brobyggande (Trafikverket 2016a och 2016b) anges att vindlast ska beaktas enligt SS-EN 1991b, med vissa specifikationer och förtydliganden.

Vindlast är inte relevant som variabel last vid dimensionering för geokonstruktioner, förutom för grundkonstruktioner för byggnader och broar samt fundament för stolpar och master.

### 4.6.2 Framtida klimatscenarier

Den maximala byvinden kommer öka i hela landet. Hur medelvindhastigheten som ligger till grund för dagens referensvindhastighet, förändras finns dock inga uppgifter om.

Det finns i dagens regelverk ingen information om hur hänsyn till förändringen bör tas. Det pågår dock planeringsarbete vad gäller klimatanpassning inom EU, CEN, CENELEC, se avsnitt 4.2.2.

## 5. Dagens kunskaper om framtida klimatlaster

I Kapitel 4 beskrivs hur geotekniska konstruktioner ska dimensioneras enligt dagens förhållanden samt vilka anvisningar det finns i dagens regelverk för hur ett framtida klimat kan beaktas. Det kan konstateras redan här inledningsvis att det, generellt för alla klimatlaster, saknas anvisningar för hur förändringarna bör behandlas vid dimensionering av geotekniska konstruktioner. I brist på anvisningar förekommer det att beställaren tar fram projektspecifika krav avseende klimatlaster.

De flesta klimatlaster är beroende av ett flertal olika faktorer, inklusive olika klimatfaktorer. Det krävs därför omfattande inventeringar, mätningar och analyser för att bestämma på vilket sätt klimatlasterna förändras framöver. I detta kapitel görs en sammanställning över dagens kunskapsläge när det gäller klimatlasternas förändring fram till 2100. Sammanställningen bygger på de underlag som presenteras i tidigare kapitel. Beskrivningen görs utifrån samma indelning av klimatlasterna som i Avsnitt 4.4.

### 5.1 Vattennivåer, vattentryck, vattenflöde, vattenhastighet, vågkrafter, strömtryck och istryck

Temperatur, nederbörd, avdunstning och vindar är klimatindex som alla påverkar vattennivåer, vattentryck, vattenflöde, vattenhastighet, vågkrafter, strömtryck och istryck.

100-årsflödet i vattendragen kommer öka i stora delar av landet förutom i Norrlands kustland och inland samt delar av inre Svealand.

Ökade flöden kan ge ökade vattenhastigheter i de avsnitt längs vattendraget där flödet inte kan bredda. Det i sin tur kan leda till högre strömtryck.

Ökade flöden kan ge ökade vattenstånd i vattendragen. MSB utför översiktlig översvämningsskartering för de större vattendragen i Sverige. I flera av dessa är 100-års och 200-årsflödena klimatanpassade.

I södra Sverige kommer antalet dagar med lågflöden att öka. Det kan ge en minskning av lägsta lågvattenstånd men för många vattendrag påverkas detta även av eventuella regleringar (vattendomar).

Medelvattenståndet i havet kommer öka, mest i södra delen av landet. Högsta och lägsta nivåer för olika återkomsttider kommer tas fram av SMHI och presenteras våren 2018.

För Hjälmaran, Vänern och Vättern beräknas att det blir vanligare med låga vattennivåer. För Hjälmaran syns även en ökning av den högsta nivån. För Vättern beräknas de högsta nivåerna bli oförändrade och mindre vanliga. Vänerns högsta vattennivå väntas öka med drygt 0,3 m och det blir vanligare med höga nivåer. När det gäller förändringar av vattenståndet i övriga insjöar finns inga prognoser framtagna.

När det gäller förändringar i isars tjocklek och därmed istryck finns inga prognoser framtagna. Istrycken och isens rörelser kan i vissa vattendrag minska och i andra öka.



Förändring av våghöjd längs våra kuster finns det inga uppgifter om. Våghöjd påverkas bland annat av vindar till havs och då det inte heller finns några scenarier för medelvind framtagna är det svårt att sja om hur våghöjderna kommer förändras. SMHI har gjort beräkningar för olika värsta scenario som kommer presenteras våren 2018.

Antal dagar med kraftig nederbörd kommer öka i ett framtida klimat, störst blir ökningen under sommaren. Även skyfallen kommer öka i hela landet.

## 5.2 Grundvattennivå, portryck och grundvattenflöde

Temperatur, nederbörd och avdunstning är klimatindex som påverkar grundvattennivå, portryck och grundvattenflöde.

SGU:s (Vikberg med flera 2015) utredning om hur grundvattennivåerna i öppna, snabbreagerande magasin förändras, baseras på cirka 30 referensrör spridda över landet. Resultaten visar att det i norra halvan av landet kan förväntas ökade nivåer av såväl de lägsta som de högsta nivåerna under året. I mellersta och västra delen av landet förväntas nivåerna bli oförändrade medan de i östra delen förväntas sjunka. Dock har lokala förhållanden, så som topografi, jordlagerförhållanden och temperatur, påverkan på grundvattennivåerna och det kan därför vara svårt att dra slutsatser för hela landet av en begränsad analys. Grundvattennivåernas förändring i framtiden kan därför vara annorlunda över året och vara större eller mindre än de som utredningen visar.

Ökade grundvattennivåer i skiktade jordar kan ge ökade grundvattenflöden.

Grundvattennivåer kring vattendrag, sjöar och kustområden har inte ingått i SGU:s utredning. Dessa påverkas, förutom av nederbörd, temperatur och avdunstning, även av vattenståndet.

Det finns inga analyser framtagna av hur portryck i kohesionsjord kommer förändras. Ökade grundvattennivåer kan leda till ökade portryck men i kombination med ökade temperaturer, framförallt i sydöstra delen av landet, kan portrycken istället minska på små djup under markytan.

## 5.3 Temperatur inklusive köldmängd, nollgenomgångar och snötäcke

Årsmedeltemperaturen, årets högsta dygnsmedeltemperatur och årets lägsta dygnsmedeltemperatur kommer att öka i hela landet.

Hela landet kommer få en viss minskad längd av längsta torrperioden.

Vegetationsperiodens längd kommer öka i hela landet. Störst blir ökningen i Götaland och speciellt i östra delen

För köldmängd finns inga scenarier framtagna av SMHI.

Under vintern kommer antalet nollgenomgångar att öka markant från Mälardalen och norröver.

Antal dagar med snötäcke kommer minska i hela landet. Ett minskat snötäcke kan leda till ökad tjälnedträngning.

## 5.4 Snölast och snötäckets tjocklek

Temperatur och nederbörd, och till viss del vindar, är klimatindex som påverkar dessa klimatlaster.

Snötäckets tjocklek kommer att minska.

Snölasten kommer troligen därmed att minska men skulle i vindutsatta lägen kunna öka på grund av ökade byvindar som ger upphov till snödrev. Även kommande eventuella förändringar av luftfuktighet kan påverka snötäckets densitet och därmed den snölast som verkar på konstruktioner.

## 5.5 Vindlast

Årets maximala byvind kommer minska något i övre halvan av landet medan södra delen av landet kan få en viss ökning. Medelvindens förändring finns inga scenarier framtagna för.

## 5.6 Klimatlaster som dimensioneringsförutsättningar

Klimatlaster är i dagens regelverk och praxis baserade på en sannolikhetsberäkning av lasternas värde för en vald återkomsttid, se Kapitel 4. De förändringar av klimatlaster som presenterats av SMHI är generellt inte presenterade som förändring av återkomsttider. För dimensionering av geokonstruktioner i ett framtida klimat krävs att förändring av klimatlaster med olika återkomsttider tas fram.

## 6. Hur påverkas naturlig mark och geokonstruktioner av förändrade klimatlaster?

I detta kapitel görs en beskrivning av hur olika geokonstruktioner kan påverkas av förändringar av klimatlaster baserat på framtida klimatscenarier fram till år 2100. Då det saknas detaljerad kunskap om hur flertalet av klimatlasterna kommer att förändras, bygger beskrivningen på författarnas fackmannamässiga bedömningar av dessa förändringar.

Det bör påpekas att nedanstående beskrivningar är översiktliga då påverkan på naturlig mark och geokonstruktioner beror på storleken på förändringen av klimatlasterna. Förändringar av klimatlasterna finns idag inte specificerade i gällande normer och regelverk. Förändringarna kan variera mellan olika områden i landet, där förändringen i vissa fall blir negativ och i andra fall positiv. Det betyder att konsekvenserna av nedanstående beskrivningar kan variera mellan allvarliga och obetydliga. För att kunna beskriva konsekvenserna noggrant erfordras mer detaljerad kunskap om klimatlasternas förändring för olika delar av landet, dels som underlag för dimensionering av nybyggda konstruktioner, dels som underlag för värdering av konsekvenser för befintliga konstruktioner. Se förslag till FoU-insatser i Kapitel 7.

### 6.1 Naturlig mark (jord och berg)

Naturlig mark, vilket kan omfatta mark i tätorter eller naturmark, påverkas av laster från konstruktioner, trafiklaster och anläggningar samt klimatlaster.

Det finns idag inga heltäckande detaljerade analyser av hur grundvattennivåer kan förändras i ett framtida klimat. Det finns inga studier av hur portrycksnivåer och grundvattenflöden kan komma att förändras nationellt. Därför ges i detta avsnitt en beskrivning av såväl ökade som minskade nivåer och flöden.

#### 6.1.1 Plan mark

Ökad årsnederbörd och ökat antal dagar med kraftig nederbörd innebär att ansamlingar av vatten lättare bildas. Möjligheten till infiltration av en ökad mängd vatten minskar i områden med en större andel hårdgjorda ytor, vilket innebär ökat behov av att leda bort överskottsvatten. För byggnader på plan mark (med källare) innebär detta att dräneringskapaciteten kan vara underdimensionerad, vilket innebär större risk för fuktskador. Det är i norra halvan och västra delen av landet som problemen förväntas bli störst.

Långa perioder med torka innebär att grundvattenytan sjunker och för naturlig mark med sättningsbenägna jordar kan sättningar därmed komma att utbildas. Finns det inom dessa områden ytligt grundlagda byggnadsverk kan detta leda till sättningsskador. Längre torrperioder kan vidare innebära att sprickor bildas i den övre delen av jordprofilen (orsakade av torkan direkt eller av uppsugning av vatten av befintliga träd). Detta kan orsaka sprickor i enklare infrastruktur som cykelvägar, parkeringar och mindre gator. Årets längsta torrperiod bedöms dock minska något i hela landet.

Ökning av vegetationsperiodens längd i hela landet innebär att vegetationen under en längre period av året kan hjälpa till att suga upp överskottsvatten från nederbörd och ge ett ökat naturligt erosionskydd, vilket är en positiv effekt som till viss del kan motverka konsekvenserna av ökad nederbörd. Detta gäller dock inte under vintern då stora förändringar i nederbörden förväntas.

Ökat antal nollgenomgångar under vintern från Mälardalen och norröver, innebär för tjälskjutande jordar som silt att omväxlande hävning och sättning kan utbildas vilket leder till att den övre delen av jordprofilen kommer att luckras upp. Detta kan innebära sättningar i ytligt grundlagda icke tjälskyddande konstruktioner som enklare fritidshus, ojämnheter i gator och cykelvägar och ojämnheter och håligheter i parkmark. Vägar byggda med lågkvalitativt överbyggnadsmaterial och dåligt underhållna vägar, vilka redan idag uppvisar svåra tjälskador, kommer att påverkas ytterligare.

Högre grundvattennivåer innebär större sannolikhet för stående vatten i lågpunkter i samband med nederbörd. Detta ger en ökad belastning på befintliga dagvattensystem, dränering och trummor, och med större risk för fuktskador i byggnader.

Lägre grundvattennivåer innebär att sättningar kommer att utbildas inom områden med sättningsbenägna jordar. I urbaniserad miljö kan detta vara aktuellt om fyllningen inte är dimensionerad med hänsyn till framtida scenarier. I obebyggd mark blir påverkan sannolikt mindre då jorden genom årtusendena redan utsatts för långa perioder med låga grundvattennivåer. Inom områden där sättningar utbildas kan nivåkillnader uppkomma mellan mark och pålade byggnader samt mellan ledningar i mark och byggnader med vattenläckage och erosionskador som följd.

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

## 6.1.2 Naturliga slänter

### Slänter i jord

Ökad årsnederbörd och ökat antal dagar med kraftig nederbörd innebär en ökad avrinning i naturliga slänter. I de fall där växttäcket är tunt eller där inget skyddande växttäck finns kommer det att leda till en ökad erosion i slänter med erosionskänsliga jordarter, som exempelvis silt och sand. Ökat antal dagar med skyfall och kraftig nederbörd kommer att leda till större sannolikhet för slamströmmar och ras i slänter i sand och morän. Det är i norra halvan av landet som problemen kommer bli som störst.

Ökad tillrinning till vattendrag kommer att leda till ökade flöden i vattendragen vilket ökar erosionen såväl i botten som i strandzonen. Detta leder till att sannolikheten för skred och ras i såväl obebyggda som bebyggda naturliga slänter längs vattendragen ökar i alla typer av jord. Den ökade tillrinningen (100-årstillrinning) är som störst i södra Sverige, i västra delarna av Norrland samt i södra Norrlands kustland. Vattendrag i södra Sverige kommer få flera 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 vallar som byggs

för att skydda mot stigande vattennivåer, är dimensionerade för klimatförändringen. Detta kan leda till att vatten slår över vallarna vid höga vattennivåer, och kan orsaka skador på, och i värre fall, genombrott av vallarna.

Ökat istryck och isrörelser kan ge ökad erosion i strandzonen.

Vänern, Vättern och Hjälmarén kommer få lägre lågvattennivåer och det leder till minskad stabilitet för slänter mot sjöarna och därmed större sannolikhet för skred och ras i slänter mot vattnet.

Högre grundvattennivåer innebär en minskning av jordens hållfasthet vilket ökar sannolikheten för ras och skred.

Ökad årsnederbörd, ökat antal dagar med skyfall och kraftig nederbörd leder till ökad erosion i slänter i strandzonen. Det är i norra halvan av landet som problemen kommer att bli som störst.

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

Ökat antal nollgenomgångar under vintern från Mälardalen och norröver, innebär för slänter i tjälskjutande jordar som silt, ansamling av ytligt vatten vilket leder till att den övre delen av jordprofilen kommer att luckras upp. Detta 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) orsakar en vattenmättnad i det övre jordlagret som leder till minskad effektivspänning och därmed mindre motstånd mot rörelser. Det är framförallt ifrån Mälardalen och norröver som nollgenomgångarna ökar.

Minskat antal dagar med snötäcke i hela landet innebär ett större antal dagar som naturliga slänter är exponerade för nederbörd i form av regn under den period under året då växttäckets är mindre utbrett, dvs. då jorden inte täcks av grönskande växter som suger upp vatten och binder jorden. Detta medför ökad erosion i slänterna och därmed ökad sannolikhet för ras och skred.

### **Slänter i berg**

Pådrivande laster och faktorer kopplat till klimat som kan minska stabiliteten i berg kan i korthet beskrivas som grundvattentryck, (grund-)vattenflöde, istryck och svälltryck i lermineral. Eventuella cykliska belastningar från dessa faktorer påskyndar degenerering av hållfastheten i bergstrukturer som är kritiska för stabiliteten.

För de fall där grundvattenakvifärer ovanför berget får ökade nivåer, påverkas även trycket i underliggande bergakvifär (i huvudsak spräckor).

Lägre grundvattennivåer kan innebära att växter torkar ut och dör. Växtlighet i anslutning till bergslänter har ofta rottrådar ner i sprickor i berget. När rottrådar dör, minskar sprängkraften från dessa, 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/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.

### **6.1.3 Schaktslänter**

#### **Slänter i jord**

Effekterna på permanenta schaktslänter i jord liknar de för naturliga jordslänter (se föregående avsnitt).

Ökad årsnederbörd, ökat antal dagar med skyfall och kraftig nederbörd leder till ökad erosion och sannolikhet för ytliga skred och därmed ökat behov av erosionskydd i slänterna. Det är i norra halvan av landet som problemen kommer bli som störst.

Höjda grundvattennivåer leder till minskad hållfasthet och större sannolikhet för skred. Det leder också till större sannolikhet för utflöde av grundvatten i slänterna vilket också kan orsaka erosion och ett ökat behov av erosionskydd.

#### **Slänter i berg**

Effekterna på schaktade bergslänter liknar de för naturliga bergslänter (se föregående avsnitt). Vid schaktning har man dock avlägsnat en del av det naturliga stödet för kvarstående berg, och därför har ett sämre utgångsläge och i högre grad kan vara beroende av eventuell förstärkning i konstruktionen. I framförallt äldre, schaktade bergslänter är både förekomst och status av bultförstärkning vanligen dåligt känd och dokumenterad, vilket gör att man sällan kan tillgodoräkna sig någon förstärkningskomponent även om den skulle finnas.

### **6.1.4 Bäckraviner**

Ett ökat antal dagar med kraftig nederbörd under sommaren och fler skyfall leder till större sannolikhet för slamströmmar längs bäckraviner. Det är i norra halvan av landet som problemen kommer bli som störst. 100-årsflödet i vattendragen i västra delarna av Norrland kommer öka vilket även det leder till större sannolikhet för slamströmmar och erosion.

### 6.1.5 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 ökad erosion och översvämning. Detta kommer påverka byggnader och infrastruktur, genom såväl erosion, ras och skred som översvämning.

Det är främst kusten i Halland, Skåne, Blekinge, östra Småland, Öland och Gotland som kommer påverkas av stigande havsnivåer och ökad erosion.

Idag skyddas kusten på flera ställen av naturliga sanddynor, våtmarker och byggda erosionsskydd. Det är främst vågor och strömmar som eroderar kusten, och detta kommer förvärras när havet stiger.

I ett framtida klimat med högre havsnivå kommer vågorna att erodera sanddynorna högre upp och vid extremväder kan havsnivån stiga till +3 m, vilket kommer påverka kusten både genom erosion och översvämning.

Dagens erosionsskydd är 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. Naturanpassning kommer att ha större betydelse i ett föränderligt klimat, liksom att gynna den biologiska mångfalden.

Inte heller vallar som byggts för att skydda mot stigande hav, är dimensionerade för höjda vattennivåer. Detta kan leda till att vatten kan slå över vallarna vid höga vattennivåer, och kan orsaka skador på och genombrott av vallarna.

## 6.2 Marköverbyggnad och markunderbyggnad

Det finns idag inga heltäckande detaljerade analyser av hur grundvattennivåer kan förändras i ett framtida klimat. Det finns inga studier av hur portrycksnivåer och grundvattenflöden kan komma att förändras. Därför ges i detta avsnitt en beskrivning av såväl ökade som minskade nivåer och flöden.

Ökad nederbörd (årsnederbörd, dygnsnederbörd, kraftig nederbörd och skyfall) innebär att befintliga marköverbyggnader och markunderbyggnader med öppen ytstruktur, som inte utförts med dränerande och hållfast material enligt dagens praxis, det vill säga markunderbyggnader med finkornigt material högt upp i konstruktionen, kommer att er hålla ökat vatteninnehåll. Det är i norra och västra delen av landet som problemen kommer bli som störst.

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. Det är framförallt i södra Sverige som 100-årsflödena väntas öka. Vågkrafter och istryck finns det inga prognoser för. Ökning av antal dagar med kraftig nederbörd och antal skyfall leder till större krafter på bankslänter och ytterlänter. Det är i västra delen av landet som problemen kommer bli som störst. 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 minska mothållet för bankar vilket i sin tur leder till ökad sannolikhet för skred och ras. Ett ökat antal dagar med lågt vattenstånd kommer inträffa i södra Sverige.

För vägar, järnvägar och andra markanläggningar som är belägna kustnära kan stigande havsnivåer (gäller södra delen av landet) 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. Dessa sättningar 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 försämrade 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.

Enligt SMHI:s analyser kommer årsmedeltemperaturen att öka och antal dagar med snötäcke att minska fram till 2100 i hela landet. Vid mindre frostdjup kommer risken för tjälskjutning att minska. Minskad maximal köldmängd ger lägre frostdjup, men frostdjupet som tillämpas exempelvis för järnväg, är som beskrivits i avsnitt 4.4 beroende av snödjupet, vilket innebär att det är svårt att bedöma konsekvensen av den ökade temperaturen. 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. Det är framförallt ifrån Mälardalen och norröver som nollgenomgångarna ökar.

### **6.3 Avvattnings- och infiltrationsanläggningar samt tättningsåtgärder**

Befintliga avvattnings- och infiltrationsanläggningar påverkas i hög grad av de ökade nederbördsmängderna som spås för hela landet. Framförallt kan de ökningar av antal dagar med kraftig nederbörd och ökning av antal skyfall påverka dessa anläggningar negativt.



Det finns idag inga heltäckande detaljerade analyser av hur grundvattennivåer kan förändras i ett framtida klimat. Det finns inga studier av hur portrycksnivåer och grundvattenflöden kan komma att förändras. Därför ges i detta avsnitt en beskrivning av såväl ökade som minskade nivåer och flöden.

### 6.3.1 Trummor

De ökade nederbördsmängderna och ökade tillfällena med skyfall innebär en risk att trummor inte kan avbörda inkommande vattenflöden. Störst är risken i västra delen av landet. Det kan leda till bortspolning av trummor och väg/järnvägsbank. Högre flöden i vattendragen uppströms trummor kan leda till erosion och slamströmmar som när de når trumman kan få denna att sätta igen. En igensatt trumma orsakar översvämningar och vattnet kan ta nya vägar. Det finns även en risk att trummor kollapsar och en störtflod kan bli resultatet. 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. Lägre flöden förväntas i södra Sverige.

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

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

### 6.3.2 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 dessa anläggningar.

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. Dessa riskerar därmed att sättas igen. Vid en igensättning tappar anläggningen/materialet sin dränerande förmåga.

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

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

### 6.3.3 Åtgärder för grundvattensänkning

Kring en del geokonstruktioner behövs permanenta grundvattensänkande åtgärder. Vid högre grundvattennivåer och större nederbörsmängder kan dimensionering enligt dagens normer och för dagens nivåer, vara otillräckliga. Kapaciteten för befintliga grundvattensänkande anläggningar bör ses över med hänsyn till ökade grundvattennivåer. Otillräcklig kapacitet ökar sannolikheten för exempelvis översvämningar, fuktskador och inläckage till tunnlar och vägportar. Det kan även ge inre erosion i exempelvis skärningslänter vid vägportar.

Högre grundvattenflöden kan ge ökad risk för inre erosion som kan leda till igensättning av tidigare utförda grundvattensänkande åtgärder.

Temporära grundvattensänkande åtgärder kan påverkas på samma sätt som de permanenta, i ett framtida klimat.

### 6.3.4 Dagvattendammar och dylikt

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 porttrycket ökar.

Större nederbörsmängder leder till större tillrinning till dammar och dessa kan därmed översvämmas. Det kan också leda till ett högre tryck mot dammväggar än dessa är dimensionerade för, och därmed en risk för dammbrott. Årsmedelnederbörden kommer framförallt att öka i Norrland och speciellt i nordvästra Norrland.

### 6.3.5 Infiltrationsanläggningar

Högre grundvattenflöden kan leda till att större mängder finjord förs in mot infiltrationsåtgärder och att dessa därmed riskerar att sättas igen.

Grundläggningen av anläggningarna påverkas av förändrade grundvatten- och porttrycksförhållanden på samma sätt som för dräneringsanläggningar (se avsnitt 6.3.2).

### 6.3.6 Tätningsåtgärder

Högre grundvattennivåer och grundvattenflöden kan leda till att befintliga tätningsåtgärder inte är tillräckliga samt att tätning kan krävas där tätning tidigare inte erfordrats.

## 6.4 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 enligt avsnitt 6.1 och delvis konsekvenser för mark-  
underbyggnader enligt avsnitt 6.2.

Det finns idag inga heltäckande detaljerade analyser av hur grundvattennivåer kan föränd-  
ras i ett framtida klimat. Det finns inga studier av hur portrycksnivåer och grundvattenflö-  
den kan komma att förändras. Därför ges i detta avsnitt en beskrivning av såväl ökade  
som minskade nivåer och flöden.

#### **6.4.1 Djupstabilisering**

För naturliga slänter samt vägar, järnvägar, andra markanläggningar och byggnader, som  
är belägna invid vattendrag och sjöar där undergrunden förstärkts genom djupstabilise-  
ring, kommer ett ökat antal dagar med lågt vattenstånd i södra Sverige att minska mothål-  
let för slänten eller bankarna, vilket i sin tur leder till ökad sannolikhet för skred.

Högre grundvattennivåer innebär en avlastning och därmed en minskning av spänning-  
arna under banken och sättningensrisken.

Vid lägre grundvattennivåer för vägar, järnvägar, markytor, byggnader och ledningar, där  
sättningsbenägen undergrund förstärkts genom djupstabilisering, ökar risken för att sätt-  
ningar kommer att utbildas.

Tidigare forskning indikerar att hållfastheten ökar och sättningsegenskaperna förbättras  
med tiden (efter åtgärden), för djupstabilisering. Det finns dock begränsat underlag om  
långtidsegenskaperna, varför konsekvensen inkluderande ovanstående förändringar av  
klimatlaster är osäker.

#### **6.4.2 Vertikaldränering**

Vertikaldränering har i huvudsak utförts för att ta ut sättningarna under byggskedet vid  
belastning från bankar. Vid lägre grundvattennivåer för vägar, järnvägar, markytor, och  
ledningar, där sättningsbenägen undergrund förstärkts genom vertikaldränering, erhålls  
samma effekt som för en oförstärkt bank på lera dvs. ökad risk för att sättningar kommer  
att utbildas.

Högre grundvattennivåer innebär en avlastning och därmed en minskning av effektiv-  
spänningarna under banken och av sättningensrisken.

#### **6.4.3 Lastanpassningsåtgärder**

Förbelastning utförs för att ta ut sättningarna under byggskedet. Tryckbankar, förbelast-  
ning och förändrad släntgeometri utförs för att förbättra stabiliteten.

På samma sätt som för vertikaldränering kommer lägre grundvattennivåer leda till ökad  
risk för att sättningar kommer att utbildas oavsett lastanpassningsåtgärd.

Högre grundvattennivåer innebär en avlastning och därmed en minskning av effektiv-  
spänningarna under banken och av sättningensrisken.

#### 6.4.4 Lättfyllning

Ökad årsnederbörd och största dygnsnederbörd innebär att lättfyllningar i form av lättklinker och skumbetong i befintliga markunderbyggnader med öppen ytstruktur, kommer att erhålla ökat vatteninnehåll. Årsnederbörden och största dygnsnederbörden ökar i hela landet men årsnederbörden ökar mest i norra halvan av landet. För lågt belägna vägar, järnvägar och andra markanläggningar innebär högre grundvattennivåer och högre vattennivåer också ett ökat vatteninnehåll i lättfyllningskonstruktionerna vilket leder till ökad risk för deformationer på grund av trafiklast och skador på ytskikt samt att behovet av underhållsåtgärder och avvattningsåtgärder kommer att öka. Även lättfyllningsbankars inre stabilitet påverkas negativt.

Lättfyllningskonstruktioner som är utsatta för upplyft på grund av fritt vatten och grundvatten kommer att utsättas för högre upplyftningskrafter vid höjda vattennivåer och grundvattennivåer. Riskerna för upplyft och behov av stabiliserande åtgärder beror på grundläggningsnivåer och är mest kritiskt för bankar av cellplast.

Högre grundvattennivåer innebär en avlastning och därmed en minskning av effektivspänningarna under banken och av sättningsrisken.

Vid lägre grundvattennivåer för vägar, järnvägar, markytor, byggnader och ledningar, där lättfyllning använts som avlastning på grund av sättningsbenägen undergrund, ökar risken för att sättningar kommer att utbildas.

#### 6.4.5 Armerad jord

Armering av bankar, exempelvis med geonät, utförs för att öka bankstabiliteten eller för att öka lastspridningen, exempelvis mellan bankpålade plattor. Bankar som är armerade påverkas därför på ett likartat sätt som markunderbyggnad enligt avsnitt 6.2. Specifikt kan armeringens stabilitetshöjande förmåga påverkas negativt av ökade vattennivåer i den armerade jorden.

#### 6.4.6 Massutskiftning

Massutskiftning utförs normalt av lös organisk jord och lera som ersätts med grovkornigt material, mestadels sprängstensfyllning. Grovkornigt material påverkas marginellt eller inte alls av förändrade klimatlaster.

#### 6.4.7 Komprimerad jord

Komprimerad fyllning ingår under markunderbyggnader i avsnitt 6.2. Packning och djuppackning kan även utföras av naturligt lagrad sand. Konsekvensen av ökat vatteninnehåll på grund av ökade vattennivåer och grundvattennivåer samt konsekvensen av lägre grundvattennivåer liknar konsekvenserna hos markunderbyggnader enligt avsnitt 6.2 dvs. högre grundvattennivåer innebär en minskning av jordens hållfasthet vilket ökar sannolikheten för ras och lägre grundvattennivåer innebär en belastningsökning som ökar risken för att sättningar kommer att utbildas.

### 6.4.8 Pålade plattor

För påldäck och bankpålning kan lägre grundvattennivåer leda till sättningar i jorden runt pålarna och påhängslaster vilket leder till ökade pållaster och minskad säkerhetsnivå vad gäller brott i pålarna och för kohesionspål risk för sättningar av konstruktionerna. Effekterna är dock beroende av konsolideringsförhållanden och rådande spänningar samt att pålar kan ha högre bärförmåga i verkligheten än vad de dimensionerats för, varför de negativa konsekvenserna av lägre grundvattennivåer är högst osäkra.

Sättningar i jorden under plattorna kan även leda till att det blir ett glapp mellan pålplattorna och underliggande jord. För ett påldäck leder detta normalt inte till några negativa konsekvenser. Vid bankpålning överförs jordlasten mellan pålplattorna till pålplattorna genom valvverkan. Vid sättningar i jorden under och mellan pålplattorna kan denna valvverkan påverkas så att plattornas funktion för lastspridning av banklast till pålarna försämras.

### 6.4.9 Förstärkt berg

Korrosion av bultstål i förstärkta bergslanter medför försämrad hållfasthet. Korrosionsprocessen gynnas av förhållanden med omväxlande perioder mellan luft och vatten kring bulten. De lokala klimateffekterna och bultens läge vid passage av öppna sprickor är avgörande för om processen eskalerar eller inte. Erosion i sprickor som följd av klimatförändringar kan också blottlägga bultar i sprickor som tidigare inte utsatts för korrosion.

För tunnlar kommer konsekvenser av högre grundvattennivåer innebära ökade laster från hydrostatiskt tryck i vissa lägen, som kan minska säkerhetsfaktorn något för aktuellt förstärkningssystem. Man kan också lokalt räkna med ökat inläckage av vatten till tunneln och lokalt ökade problem med isbildning.

## 6.5 Stödkonstruktioner

Stödkonstruktioner påverkas till största delen av ökad nederbörd och förändrade grundvattennivåer. Det finns idag inga heltäckande detaljerade analyser av hur grundvattennivåer kan förändras i ett framtida klimat. Det finns inga studier av hur portrycksnivåer och grundvattenflöden kan komma att förändras. Därför ges i detta avsnitt en beskrivning av såväl ökade som minskade nivåer och flöden.

### 6.5.1 Betongstödmurar och stenmurar

Stödmurar utförs normalt med dränering och är inte vattentäta. Konsekvensen av ökad nederbörd är därför beroende av den befintliga dräneringens funktion. Om den befintliga dräneringen har erforderlig kapacitet och funktion för att avbörda ökad nederbörd blir effekten på stödmurens funktion sannolikt marginell. Har dräneringen inte tillräcklig kapacitet kan vattengenomträngning genom muren öka. Om den befintliga dräneringen har bristfällig kapacitet kan ökad årsnederbörd, högre dygnsnederbörd, fler dagar med kraftig nederbörd och fler skyfall innebära att mer vatten kan bli stående bakom stödmurar, såväl ytligt stående vatten som stående vatten i det återfyllda materialet bakom stödmuren. Detta innebär ett högre vattentryck och därmed högre belastning mot muren, vilket innebär risk för rörelser av stödmuren. Även minskat antal dagar med snötäcke kan vara en

bidragande orsak till fler tillfällen med stående vatten bakom murar. Förändring i kortvarig nederbörd blir som störst i västra delen av landet medan årsnederbörden ökar mest i norra delen.

Högre grundvattennivåer innebär att hållfastheten i friktionsjord och mellanjord minskar. Högre högsta grundvattennivåer och högre grundvattennivåer i början av året innebär att i dessa fall att stabiliteten hos grundlagda murar vid dessa tillfällen kommer att vara lägre än de dimensionerats för. Säkerhetsnivån för dessa murar kommer då att minska.

Ökad nederbörd tillsammans med fler nollgenomgångar innebär att stående vatten bakom murar omväxlande fryser och tinar vilket kan leda till sprängverkan och sprickbildning i murarna om dräneringen bakom stödmuren har bristande funktion. Om vattengenomträngning förekommer genom stödmuren kan svallisproblem uppstå. Nollgenomgångarna ökar mest från Mälardalen och norröver. Årsnederbörden ökar mest i norra delen av landet.

### **6.5.2 Armerad jord**

Förhållandena ovan gäller även för stödkonstruktioner med armerad jord.

### **6.5.3 Permanenta sponter**

Även för permanenta sponter leder ökad nederbörd, kraftig nederbörd och skyfall till att vatten kan bli stående bakom sponten, vilket innebär en högre belastning på sponten och att säkerheten mot brott minskar. Förändring i kortvarig nederbörd blir som störst i västra delen av landet medan årsnederbörden ökar mest i norra delen.

Högre grundvattennivåer påverkar bakåtförankrade sponter och andra sponter som inte är slagna till berg på motsvarande sätt som för murar. Hållfastheten i jorden minskar vid högre grundvattennivå. Detta innebär att säkerheten mot brott minskar jämfört med de förutsättningar eller randvillkor som antogs gälla vid dimensionering.

Sponter (stålsponter) är mindre känsliga än murar för sprängverkan av fler nollgenomgångar som leder till omväxlande frysande tinande stående vatten.

Ökade maximala dygnstemperaturer kan innebära ökade spänningar i stämp och stag. Ökningen är i stort lika över landet.

Ökade vattenflöden, strömtryck, vågkrafter och istryck kommer att påverka stödkonstruktioner belägna i eller invid fritt strömmande vatten, såsom kajer, med ökad sannolikhet för skador på konstruktionerna eller bortspolning av konstruktioner.

## 6.6 Grundkonstruktioner för broar, byggnader, betongtunnlar och övriga anläggningar

### 6.6.1 Grundläggning – generellt

Det finns idag inga heltäckande detaljerade analyser av hur grundvattennivåer kommer att förändras i ett framtida klimat. Det finns inga studier av hur portrycksnivåer och grundvattenflöden kan komma att förändras. Södra Sverige förväntas få höjda havsvattennivåer medan vattenstånden i vattendrag och mindre sjöar inte finns någon uppgift om. Därför ges i detta avsnitt en beskrivning av såväl ökade som minskade nivåer och flöden.

Höjda vattennivåer kommer att påverka byggnader i närheten av vattendrag, sjöar och havet, genom ökad risk för inläckage 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 nedbördsmängder 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 dessa 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 bortspolning av dessa. Hänsyn måste även tas till ökade strömtryck och i förekommande fall vågkrafter.

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

Ökade eller minskade snölast och vindlast påverkar indirekt eller direkt grundkonstruktioner för exempelvis byggnader, vindkraftverk och master. Snötäcket tjocklek kommer minska i hela landet, men i kombination med i vindutsatta lägen kan det lokalt istället öka på grund av snödröj.

### 6.6.2 Pålgrundläggning

Högre grundvattennivåer kan påverka mantelburna friktionspålars geotekniska bärförmåga, då bärförmågan är beroende av jordens hållfasthet utmed pålens mantel. Jordens

dränerade hållfasthet minskar med ökande grundvattennivå. Effekten bör dock normalt bli begränsad i relation till mantelbärande pålars kapacitet.

För pålgrundlagda konstruktioner kan lägre grundvattennivåer leda till sättningar i jorden runt pålarna vilket leder till ökade påhängslaster på pålelementet och därmed minskad säkerhetsnivå vad gäller brott i pålarna och för mantelburna pålar risk för ökade sättningar av konstruktionerna. Effekterna är dock beroende av konsolideringsförhållanden och rådande spänningar samt att pålar kan ha högre bärförmåga i verkligheten än vad de dimensionerats för, varför konsekvenserna inkluderande lägre grundvattennivåer är högst osäkra. Vid lägre grundvattennivåer ökar risken för att träpålar ruttnar med påföljd att byggnader får sättningsskador. Vid lägre grundvattennivåer ökar risken för korrosion på stålpålar, vilket minskar pålarnas konstruktiva bärförmåga.

Vid lägre grundvattennivåer för markytor angränsande till pålgrundlagda byggnader kommer sättningar utbildas vilket påverkar anslutningar mellan mark och byggnader samt leder till differenssättningar mellan ledningar och byggnader. Det innebär att underhållsåtgärder mellan pålgrundlagda byggnader och markytor utanför byggnaderna kommer att öka, liksom behov av ledningsreovering för ledningsövergångar till byggnader.

### **6.6.3 Plattgrundläggning**

För plattgrundlagda broar och byggnader kommer jordens hållfasthet att minska vid högre grundvattennivåer, vilket kommer att leda till lägre säkerhet vad gäller bärlighetsbrott.

För plattgrundlagda broar, byggnader eller undermarkskonstruktioner grundlagda på eller i sättningsbenägna jordar kan lägre grundvattennivåer leda till att konstruktionerna skadas på grund av sättningar.

Ökat antal nollgenomgångar under vintern från Mälardalen och norröver, innebär för tjälskjutande jordar som silt, omväxlande hävning och sättning vilket leder till att den övre delen av jordprofilen kommer att luckras upp. Detta kan innebära sättningar i ytligt grundlagda icke tjälkyddade konstruktioner. Minskat snödjup och därmed minskande reducerande isolerande förmåga, ökar dessa effekter.



## 7. Behov av kunskap och förslag till FoU-insatser

### 7.1 Inledning

I Kapitel 7 presenteras behov av kunskap och förslag till forsknings- och utvecklingsinsatser. Förslagen är en vidareutveckling och konkretisering av delar som översiktligt beskrevs i ”Hållbart markbyggande – en handlingsplan i ett föränderligt klimat”, SGI Publikation 35, 2017, (SGI, 2017), baserat på de kunskapsluckor som sammanställts i den här rapporten. I kapitlet tas upp såväl behov av forskning och utveckling, som inventering, uppföljning och normutveckling, för att klara den framtida klimatbelastningen på befintliga och nya geokonstruktioner och naturlig mark.

I avsnitt 7.2 beskrivs de identifierade kunskapsluckorna som gäller nuvarande och framtida klimatlaster. I avsnitt 7.3 beskrivs kunskapsbehovet avseende kopplingen mellan förväntade klimatlaster och påverkan på naturlig mark och geokonstruktioner.

I detta kapitel föreslagna projekt och åtgärder har inte ordnats (prioriterats) efter behov av att utföras utan denna prioritering föreslås utföras som en fortsättning på detta arbete och i samarbete med andra organisationer.

Det bör dock påpekas att projekt avseende precisering av framtida klimatlaster borde vara högprioriterade, dels som underlag för dimensionering av nybyggda konstruktioner, dels som underlag för värdering av konsekvenser för befintliga konstruktioner. Precisering av klimatlaster är även väsentligt vid prioritering av FoU-insatser inom det geotekniska området. De föreslagna projekten avseende olika geokonstruktioner i avsnitt 7.2 - 7.8 är en blandning av högprioriterade projekt och projekt som är av mer långsiktig kunskapsuppbyggande karaktär. Klimatpåverkan kommer att vara olika inom olika delar av landet (exempelvis kan grundvattennivåerna öka inom vissa delar av landet och sjunka inom andra delar av landet), vilket påverkar prioriteringen av forskningsprojekten.

För nybyggnads- och ombyggnadsprojekt är det redan idag möjligt att hantera framtida klimateffekter inom det befintliga geotekniska regelsystemet förutsatt att klimateffekterna har specificerats. Som nästa steg efter arbetet med denna rapport rekommenderar vi därför att det påbörjas ett projekt där ett myndighetsövergripande ramverk tas fram för att hantera framtida klimatlaster, så att dessa laster kan hanteras inom det befintliga geotekniska regelsystemet för nybyggnads- och ombyggnadsprojekt. När framtida klimatlaster preciserats är det även möjligt att på ett tillräckligt noggrant sätt analysera de långsiktiga effekterna på befintliga anläggningar.

## 7.2 Klimatlaster

### 7.2.1 Dimensionerande vattenflöden med olika återkomsttid för vattendrag

Som underlag för ny och befintlig bebyggelse och även bedömning av erosions- och stabilitetsrisker för Sveriges olika vattendrag erfordras information till samhällsbyggnadsaktörerna i Sverige vad gäller dimensionerande vattenflöden med hänsyn till framtida klimat.

För att mäta vattenföring har SMHI och vattenkraftsindustrin 330 mätstationer, som redovisas på SMHI:s webbplats.

Ett projekt bör genomföras där modellberäkningar av framtida vattenflöden med olika återkomsttid görs för SMHI:s och vattenkraftsindustrins 330 mätstationer.

### 7.2.2 Inventering av mätstationer och historiska vattenståndsnivåer samt framtagning av dimensionerande vattenståndsnivåer med olika återkomsttid för vattendrag och sjöar

För att samhällets städer och infrastruktur ska kunna anpassas till framtida vattenståndsnivåer erfordras information till samhällsbyggnadsaktörerna i Sverige. Detta är grundläggande information när nya bostadsområden och ny infrastruktur planeras (exempelvis vilka områden som är lämpliga för byggnation och lägsta golvnivåer för nya byggnader) samt även vid planering av skyddsvallar och skyddssponter invid vattendrag och sjöar. För att mäta vattenföring har SMHI och vattenkraftsindustrin 330 mätstationer, som redovisas på SMHI:s webbplats. SMHI mäter dock vattenstånd endast i 6 insjöar. Med största sannolikhet finns det betydligt fler aktörer som mäter vattenstånd (vattenkraftsindustrin, kommuner etc.) där historiska vattennivåer finns att tillgå.

Ett projekt bör genomföras där en inventering och sammanställning av Sveriges samtliga vattenståndsmätare utförs. Baserat på detta underlag installeras kompletterande vattenståndsmätare där så erfordras, för att kunna följa vattenståndets utveckling med tiden. Baserat på historiska observationer av vattenstånd samt modellberäkningar utförs prognoser av framtida vattenstånd med olika återkomsttid.

### 7.2.3 Underlag för analys av erosion längs vattendrag

Ökade flöden och förändrade flödesmönster under året ger förändring i vattenhastigheter och strömtryck mot slänter, bottnar och konstruktioner i vattendrag. Ökade vattenhastigheter ger ökad förutsättning för erosion. Ökad erosion innebär förändrad stabilitet i slänterna längs vattendraget. Som underlag för dimensionering av geokonstruktioner längs vattendrag krävs kunskap om hur vattenhastigheter förändras. Det behövs även en ökad kunskap om kopplingen mellan vattenhastighet och erosionsförlopp. Det gäller även för befintliga konstruktioner.

Ett projekt bör genomföras där kritiska avsnitt med hänsyn till vattenhastigheter längs vattendrag som SGI tidigare inte har skredriskarterat, identifieras för dagens och ett framtida klimat.

#### 7.2.4 Underlag för analys av erosion längs havskusten

Ökade vattenstånd, ökad medelvind (i kombination med eventuella förändrade vindförhållanden) samt ökade våghöjder, kommer leda till större sannolikhet för erosion längs våra havskuster. Det krävs ett utökat mätprogram av våghöjder samt av strömmar som underlag för beräkningar och analyser av erosionsförhållanden längs våra kuster. Det krävs också analyser av hur maximala vattenstånd, vindar och strömmar kommer förändras i ett framtida klimat. Nya återkomsttider är viktiga indata.

#### 7.2.5 Underlag för prognostisering av framtida grundvatten- och portrycksnivåer samt vägledning och regelverk för mätning av grundvattennivåer och portryck

Mätningar av grundvattennivåer utförs bland annat av Sveriges geologiska undersökning och omfattar cirka 300 stationer i ett 70-tal områden. Grundvattenmätningar utförs även av en del större kommuner. Långtidsobservationsnät som omfattar kombinerade mätningar av grundvattennivåer och portryck för olika typer av akviferer saknas i Sverige. Detta är dock nödvändigt för att kunna dimensionera geokonstruktioner för framtida grundvattenlaster och göra uppföljning av klimatförändringar och dess påverkan på befintliga geokonstruktioner vad gäller brott- och deformationsrisker. Enligt Trafikverkets regelverk ska prognostisering av grundvattennivåer och portryck göras baserat på observationspunkter för det specifika projektet, där dessa värden jämförs med närbelägna referensrör med en lång observationstidsserie för att erhålla 50-årsvärdet i observationspunkten. I praktiken tillämpas ovanstående metodik sparsamt på grund av att det genomförs mätningar med för korta mätserier vid aktuella projekt och på grund av för få referensrör i SGU:s grundvattennät eller att de inte ligger i liknande terränglägen som de där prognostiseringen ska utföras för. Det finns inga rör i branta sluttningar i morän varför det råder kunskapsbrister hur grundvattenförhållanden ser ut i sådana formationer. Vidare behöver grundvattenförändringar i kustnära områden studeras. Referensrören är inte anpassade till geotekniska applikationer.

I syfte att anpassa geokonstruktioner till ett framtida klimat krävs således flera insatser inom området grundvatten och portryck. Portryck är klimatlaster som har stor inverkan när det gäller geotekniska brott- och deformationsrisker.

Nedan föreslås ett projekt som indelas i två delar:

##### 1. Upprättande av ett geotekniskt grundvatten- och portrycks nät

Som underlag för ett geotekniskt grundvatten- och portrycks nät görs först en inventering av befintliga mätningar hos exempelvis myndigheter, kommuner, konsulter och kraftindustrin. Baserat på detta upprättas ett grundvatten- och portrycks nät som omfattar hela Sverige och ligger kring infrastruktur, samhällen och vattendrag som bedöms påverkas mest av framtida klimatförändringar. Nätet bör omfatta olika typer av jordprofiler, topografier och akviferer så att underlaget är relevant för olika tillämpningar. Nätet bör omfatta minst 150-200 mätstationer som inte är påverkade av mänskliga aktiviteter såsom grundvattenuttag och dylikt. En plan tas fram med prioriteringsordning för mätstationerna.

Efter att den inledande analysen enligt ovan utförts, genomförs installation av nya stationer stegvis, förslagsvis under en 5-10 årsperiod. Mätningar måste pågå under lång tid och data insamlas minst dagligen.

## *2. Framtagning av vägledning för mätning och prognostisering av grundvattennivå, portryck och grundvattenflöde i ett framtida klimat. Underlag för dimensionering av geokonstruktioner*

Det finns ett stort behov av utförliga vägledningar och krav (i normer och regelverk) för hur mätning, analys och prognostisering ska utföras av grundvatten och portryck vid dimensionering av geokonstruktioner, för dagens klimat. Det samma gäller för ett framtida klimat.

Antalet områden där det har utförts modelleringar av hur framtidens klimat kommer att påverka grundvattensituationerna är begränsade och därmed inte tillräckliga för att kunna användas nationellt. Det krävs exempelvis fler mätningar i olika avrinningsområden och olika terränglägen för att modelleringarna ska kunna användas i en större skala. Modelleringarna behöver utökas, utvecklas och testas. I detta arbete måste samordning ske mellan olika kompetenser (exempelvis geologi, hydrogeologi, geoteknik och hydrologi) för att resultaten ska bli tillämpbara.

### **7.2.6 Temperaturförändringarna som underlag vid dimensionering av nya geokonstruktioner**

Vid framtagning av klimatlaster för dimensionering av geokonstruktioner för dagens klimat, används bland annat så kallade klimatzoner och köldmängdskartor. Dessa bygger på historiska data. Underlag för nya indelningar behöver tas fram. Arbetet bör bygga på ny forskning och utveckling om de förändrade temperaturernas och snömängdernas effekt på marklagrens tekniska egenskaper (se behov av forskning under avsnitt 7.3 och 7.4).

### **7.2.7 Förändring av medelvindhastighet som underlag vid dimensionering av nya geokonstruktioner**

Det saknas beräkningar för hur medelvindhastigheten kommer förändras över hav, sjöar och land. I dagens regelverk ligger medelvindhastigheten som grund för den vindlast som geokonstruktioner ska dimensioneras för. Det krävs därför att förändring av medelvindhastigheten beräknas.

### **7.2.8 Underlag för prognostisering av nederbörd och vattenföring i små avrinningsområden**

För analys av sannolikheten för slamströmmar i bäckraviner och längs sluttningar erfordras uppgift om dimensionerande nederbörd i avrinningsområdet. SMHI:s mätstationer behöver omfatta fler automatiska mätare så att kortvarig nederbörd och skyfall kan analyseras. Bäckraviner i fjällområden har ofta stora topografiska skillnader mellan den övre och nedre delen av avrinningsområdet. Därför krävs, förutom uppgifter om skyfallens intensitet för olika varaktigheter, även uppgifter om skillnader i nederbörd beroende på höjd över havet. Detta har i princip inte tidigare studerats i Sverige.

Det erfordras även nya och bättre underlag och modeller för beräkning av momentanflöden i små avrinningsområden. För detta krävs mätningar av flöden i bäckraviner med små avrinningsområden. Det utförs i princip inga kontinuerliga mätningar idag.

### **7.2.9 Förändring av isbildning och iskrafter längs vattendrag som underlag för dimensionering av geokonstruktioner**

Förändrade flöden, temperaturer och nederbörd kommer förändra förutsättningarna för isbildning i vattendrag och sjöar. Det behöver tas fram data på vilka förändringar som är att vänta och vilka vattendrag och sjöar förändringarna är som störst. Därefter krävs justering av befintlig metodik för beräkning av iskrafter som konstruktioner påverkas av.

### **7.2.10 Återkomsttider**

Klimatlaster är i dagens regelverk och praxis baserade på en sannolikhetsberäkning av lasternas värde för en vald återkomsttid, se Kapitel 4. De förändringar av klimatlaster som presenterats av SMHI är generellt inte presenterade som förändring av återkomsttider. För dimensionering av geokonstruktioner i ett framtida klimat krävs att förändring av klimatlaster med olika återkomsttider tas fram.

### **7.2.11 Normer, föreskrifter och rådsdokument**

Normer, föreskrifter och rådsdokument behöver uppdateras vad gäller de, i ett framtida klimat, förändrade klimatlasterna.

## **7.3 Naturlig mark**

### **7.3.1 Förändring av förutsättningarna för ras/skred till följd av förändrade grundvatten- och portrycksförhållanden**

Det krävs studier av hur förändrade grundvatten- och portrycksförhållanden påverkar stabiliteten för befintliga slänter i alla olika typer av jordar, akviferer och terränglägen.

Det är viktigt att den översiktliga kartläggning av förutsättningar för skred, ras och slamströmmar som administreras av MSB, görs så att höjd tas för kommande klimatförändringar. Det är vidare väsentligt att kommuner, där kartläggningen har utförts, arbetar vidare med detaljerade utredningar och förebyggande åtgärder.

Det är viktigt att de skredriskkarteringar som utförs av SGI längs med prioriterade vattendrag, även fortsättningsvis görs med hänsyn till ett framtida klimat. Det är också väsentligt att kartläggningen fortsätter för återstående vattendrag.

### **7.3.2 Effekter av sättningar i mark i tätbebyggda områden på grund av lägre grundvattennivåer**

Sättningar av gator och annan mark i tätorter kommer att leda till differenssättningar mellan markytor och byggnader, mellan ledningar i mark och byggnader. Konsekvenserna beror på hur stora förändringar i grundvattennivån som kommer att ske och hur anläggningar i mark är grundlagda. Inom detta område måste inventeringsarbete och teoretiska studier genomföras för att belysa konsekvenserna. Det finns dessutom behov av att ta fram möjliga förebyggande åtgärder. Det krävs en identifiering av områden där grundvattennivåerna kommer minska.

### **7.3.3 Grundvattenflöden i naturliga slänter och schaktslänter**

Kunskapen om horisontella grundvattenflöden i skiktade jordar är begränsad. En ökad nederbördsmängd, ett ökat antal skyfall och en ökad temperatur kommer sannolikt leda till ett ökat grundvattenflöde i vissa områden.

Det krävs utveckling av metoder för att kartlägga förekomst av horisontella grundvattenflöden. Det finns även behov av att utveckla modeller för att beräkna flödena, risken för inre erosion och förutsättningar för ravinbildning. Det krävs även framtagning av metoder för att förhindra erosion till följd av dessa flöden.

### **7.3.4 Förändring av ytavrinning till följd av ökad korttidsnederbörd och ökade temperaturer**

Ökad korttidsnederbörd, ökat antal skyfall och ökade temperaturer ökar förutsättningarna för ytlig erosion på mark och i slänter. Det behövs studier av effekten av klimatförändringen på förutsättningar för ytavrinning och ytlig erosion.

### **7.3.5 Förändring av hållfasthet i ytliga jordlager på grund av ett ökat antal nollgenomgångar**

Ett ökat antal nollgenomgångar kan leda till en uppluckring av de ytligaste jordlagren och därmed att jorden får en lägre hållfasthet. Detta är speciellt fallet i siltiga jordar. Uppluckring i kombination med ökade nederbördsmängder och ett ökat antal skyfall leder till högre sannolikhet för erosion och skred eller ras.

Det finns behov av ett projekt för att studera hur stort problemet är, var i landet problemet föreligger och hur det kan förhindras.

### **7.3.6 Förändring av förutsättningarna för erosion och ras/skred till följd av förändrade vegetationsförhållanden**

Växter kan genom sin vattensugande förmåga, sina rötter och sitt bladverk minska sannolikheten för erosion och ytliga skred och ras i slänter. En ökad nederbördsmängd och ett ökat antal skyfall på slänter med liten vegetationstäckning leder till en ökad erosion, vilken i sin tur kan leda till skred och ras.

Det behöver tas fram riktlinjer för hur naturliga och schaktade slänter ska skyddas mot erosion, hur vegetation kan etableras i en slänt, vilken vegetation som är lämplig, samt hur vegetationen ska skötas för att stå emot ett framtida klimat med fler skyfall.

### **7.3.7 Metoder för att bestämma erosionsförhållanden i vattendrag och sjöar**

Erosion längs vattendragens botten och slänter kan leda till ras och skred.

Som underlag för beräkning av vattenhastigheter och förutsättningar för erosion krävs uppgifter om de topografiska förhållandena under vattenytan. Batymetriska mätningar bör

utföras i de stora vattendragen med vissa intervall för studier av förändringar av geometrin samt som indata för simuleringar av erosion. Fokus ligger på de vattendrag där klimatförändringarna spår högre flöden och där intilliggande slänter har låg stabilitet.

Det krävs vidare förbättring och omfattande kalibrering av de modeller som finns för att beräkna såväl erosion i strandlinjen, i släntfot och längs botten.

Det krävs även nya och säkrare metoder för att bestämma de tekniska egenskaperna på jorden som används som indata till erosionsberäkningar. Det handlar både om fältmetoder och laboratoriemetoder.

Det krävs studier av olika förebyggande åtgärders omgivningspåverkan.

### **7.3.8 Metoder för att bestämma erosionsförhållanden vid kusten**

Erosion längs havskuster kan leda till ras och skred och till att kusten drar sig inåt på flera ställen i södra Sverige. Erosionsförutsättningarna påverkas av vattenstånd, våghöjder, strömmar, undervattenstopografin (batymetri) och jordens egenskaper.

Grunddata i form av batymetri, våghöjder och strömmar saknas utefter stora delar av kusten i södra Sverige.

Metoder för att simulera och prognostisera klimatets påverkan på stränder bör utvecklas vidare.

### **7.3.9 Effekter av förändrade klimatlaster på befintliga erosions- och översvämningsskydd**

Stigande havsnivåer kommer göra befintliga erosionsskydd otillräckliga. Skydden kommer behöva förstärkas eller byggas om. Traditionella stenskoningar behöver troligen bytas ut mot naturanpassade lösningar. Går inte erosions- och översvämningsskydden att höjas mer måste andra strategier finnas tillgängliga för att hantera klimatpåverkan så som planerad reträtt av byggnader och infrastruktur.

### **7.3.10 Hållfasthetsegenskaper hos befintliga erosions- och översvämningsskydd**

Stigande havsnivåer och stigande grundvattennivåer kommer påverka hållfasthetsegenskaperna hos erosions- och översvämningsskydden. Skydden kommer också på sikt att behöva höjas.

### **7.3.11 Tillståndsbedömning av befintliga erosions- och översvämningsskydd**

Vid stigande havsnivå kommer erosionen ske högre upp i strandbrinken och i många fall kommer översvämning inträffa. Mycket infrastruktur och byggnader finns längs kusten i södra Sverige och denna måste antingen skyddas eller flyttas.

Många traditionella stenskoningar måste byggas om till naturanpassade skydd för att främja god ekologisk status vid kusten.

### **7.3.12 Analys av förutsättningarna för slamströmmar**

Beräkningsmetoder och undersökningsmetoder för att bedöma förutsättningarna för slamströmmar behöver förbättras och kalibreras mot inträffade händelser. Beräkningar och dimensionering av åtgärder bör inkludera effekter av ett framtida klimat.

Det är viktigt att den översiktliga kartläggning av områden med förutsättningar för ras och slamströmmar som MSB administrerar fortsätter. Det är vidare viktigt att kommuner där kartläggningen har utförts arbetar vidare med detaljerade utredningar och förebyggande åtgärder.

Det krävs en fortsatt samverkan mellan myndigheter för att minska skogsbruksåtgärders negativa påverkan på förutsättningarna för ras och slamströmmar. Det behövs en uppföljning och analys av det kartunderlag för identifiering av känsliga områden som tagits fram.

Det behövs en analys av vegetationsförändringarnas påverkan på risken för ras och slamströmmar.

### **7.3.13 Effekter av ett förändrat klimat på bergets stabilitet och bärighet över landet**

Det finns begränsad forskning kring hur aktuella klimatscenarier påverkar laster på naturliga slänter och bergkonstruktioner. Det finns dock tydliga samband mellan klimatfaktorer och ras i berg. Vilka faktorer som påverkar var behöver undersökas.

### **7.3.14 Metodik för stabilitetsberäkning av bergslänter med hänsyn till effekten av nya klimatlaster**

Med utgångspunkt från föregående studie behövs metodik för stabilitetsberäkningar av bergslänter utvecklas, där hänsyn tas till effekten av klimatförändringar. Anläggningar dimensioneras ofta med ett 120-årsperspektiv. Analyser behövs av vilka förändringar som krävs i designen av slänter och dessas förstärkningssystem, för att bibehålla funktionen.

### **7.3.15 Förebyggande åtgärder mot ras, skred, erosion och slamströmmar**

I syfte att förebygga sannolikheten för ras, skred, erosion och slamströmmar i ett framtida klimat krävs en rad åtgärder.

Kunskapen och erfarenheten av förebyggande åtgärder för slamströmmar är begränsad i Sverige. Det krävs därför en analys av befintliga åtgärder samt att nya åtgärder testas och utvärderas.

Det krävs framtagande av nya förebyggande åtgärder mot yterrosion i naturliga och schaktade slänter och slänter i strandzoner. Dessa ska klara större flöden i vattendrag, större grundvattenflöden, ökade nederbörds mängder, fler skyfall och förändrade vegetationsförutsättningar. Det kan vara åtgärder så som naturanpassade åtgärder (vegetation enbart eller i kombination med byggmaterial), avledning av vatten, markförstärkning, strömstyrning.



Åtgärder för att minska skogsbrukets påverkan på förutsättningarna för ras och slamströmmar behöver tas fram och utförda åtgärder behöver följas upp.

Det kan krävas en översyn av regleringar i vattendrag på grund av klimatförändringar. Det kan i sin tur leda till ändrade förutsättningar för skred, ras, erosion och översvämningar.

### **7.3.16 Naturanpassade erosionsskydd**

Erosionsskydd och klimatanpassningsåtgärder bör i första hand utföras i samklang med naturen för att säkerställa den biologiska mångfalden samtidigt som erosionsskydden skall minska erosionen och klimatpåverkan. Det finns begränsad kunskap om detta idag, och olika metoder måste byggas och testas innan vägledning för design av naturanpassade erosionsskydd kan tas fram. Som nämns ovan kommer troligen många traditionella erosions- och översvämningsskydd behöva byggas om till naturanpassade skydd för att upprätthålla en god ekologisk status längs kust och vattendrag.

SGI driver utvecklingsprojekt om naturanpassade erosionsskydd med medel från nuvarande klimatanslag.

### **7.3.17 Normer, föreskrifter och rådsdokument**

Normer, föreskrifter och rådsdokument behöver uppdateras vad gäller de, i ett framtida klimat förändrade förhållanden, kring stabilitet för naturliga slänter i jord och berg, erosion, slamströmmar och förändrade förutsättningar för sättningar.

## **7.4 Marköverbyggnad och markunderbyggnad**

### **7.4.1 Effekt av förändrade klimatlaster på befintlig infrastruktur**

Det behöver utredas hur förändrade klimatlaster påverkar jordens nedbrytning, omlagring, styvhet och hållfasthet (och därmed deformation och bärförmåga) under och i geokonstruktioner vid påverkan av trafiklast. Modeller för att beräkna effekter av cykliska trafiklast i vattenmättad grovjord och blandkornig jord i ett framtida klimat med ökad nederbörd, ökade grundvattennivåer och vattennivåer samt tjäluppluckring behöver utvecklas. Klimatpåverkan för bankar uppbyggda av finkornig jord samt behov av justering av erosionsskyddsåtgärder behöver studeras. Riskbedömningsmetoder och metoder för tillståndsbedömning behöver utvecklas för att kunna prioritera åtgärder. Problemställningar som gäller befintliga bankar och utveckling av tillståndsbedömning redovisas i projektförslag nedan.

### **7.4.2 Hållfasthetsegenskaper hos befintliga bankar**

Vid en ökning av vattennivåer och grundvattennivåer kan stabiliteten för väg- och järnvägsbankar med stort innehåll av finjord, påverkas negativt. Dels på grund av att den dränerade hållfastheten minskar vid vattenmättnad, dels genom risker för utspolning av finmaterial i bankarna. Vid den här typen av analyser är det väsentligt att bra kunskaper, och

bra metoder, för bestämning av jordens egenskaper finns och tillämpas vid beräkningarna. Det behöver utvecklas nya och mer tillförlitliga metoder för att bestämma hållfastheten hos siltiga jordar samt finkorniga och blandkorniga moräner, samt hur hållfastheten påverkas av förändringar i vattenmättnadsgrad för relevanta kornfördelningar. Det gäller provtagningsmetoder, laboratoriemetoder, sonderingsmetoder och geofysiska metoder.

### **7.4.3 Tillståndsbedömning och riskvärdering som gäller hållfasthet hos undergrunden till befintliga marköverbyggnader och markunderbyggnader för väg, järnväg och markanläggningar**

Vid belastning från bankar sker hållfasthetsförändringar med tiden i underliggande finkornig jord. Om det sker en tillväxt av hållfastheten beror på jordens överkonsolideringsgrad, hur stor belastningen är och hur stora sättningar som utbildats. Vid höjning av grundvattennivåerna sker en minskning av jordens hållfasthet. För befintliga bankar kan denna hållfasthetsminskning bli mindre eller större än den hållfasthetsökning som skett med tiden genom belastningen av banken samt trafiklast. Det behöver utvecklas metodik för att kunna utföra översiktliga tillståndsbedömningar med direkta eller indirekta metoder vad gäller egenskapsförändringar med tiden under befintliga bankar samt vidareutveckling av riskvärderingsmetodik.

### **7.4.4 Sättningar hos befintliga bankar vid sjunkande grundvattennivåer**

Vid sjunkande grundvattennivåer finns risk för att sättningar uppkommer i finkornig jord under befintliga bankar. Vilken effekt som kommer att erhållas beror dels på hur grundvattenfluktuationerna kommer se ut under en årssäsong och hur dessa fluktuationer påverkar porttrycken i den finkorniga jorden. Risken för att sättningar ska utbildas behöver analyseras och för det behövs kunskaper, förutom om grundvattenförhållanden och dess fluktuationer, även kunskaper om jordens egenskaper. En positiv effekt som minskar risken för sättningar under befintliga bankar vid sjunkande grundvattennivåer är överkonsolideringsgraden hos de flesta svenska lerorna samt tillväxten i överkonsolideringsgrad med tiden på grund av krypning och åldrande. I obebyggd mark finns sannolikt många områden med en ”överkonsolideringsbuffert”, då jorden genom årtusendena redan utsatts för långa perioder med låga grundvattennivåer. I en urbaniserad miljö där uppfyllning utförts, vilken inte dimensionerats med hänsyn till framtida klimatscenarier kommer dock konsekvensen av en grundvattensänkning bli större. Sammanställningar av överkonsolideringsgrad för svensk lera är begränsade. Undersökningar som gäller detta erfordras för svenska leror för ett stort antal lokaler inom olika områden i Sverige som underlag för riskbedömningar av sättningar i ett framtida klimat. Befintliga bankar på oförstärkt finkornig jord och finkornig jord med vertikaldränering behöver analyseras.

### **7.4.5 Förändringar av tjälnedträngning och tjäldjup och hur detta påverkar konstruktioner**

Järnvägar och vägar dimensioneras på olika sätt när det gäller påverkan från tjäle. Marköverbyggnad för järnvägar dimensioneras så att nollgradsotermen ska understiga terrassytans nivå för en köldmängd med 50 års återkomsttid. Vägar dimensioneras med ledning av tjällyftningsberäkningar som baseras på mätningar av vägytans temperatur från vintern

1993/1994 och framåt. Den kallaste uppmätta vintersäsongen används som underlag i beräkningarna. Vilken återkomsttid detta innebär varierar mellan olika lokaler och är oklar. Det är sannolikt en betydligt mer frekvent återkomsttid än för järnväg. För järnväg ingår snötäckets tjocklek som isolerande lager i tjäldjupsberäkningarna. För vägar ingår inte snötäckets tjocklek i beräkningarna.

Det behöver utredas hur ett minskat snödjup, minskat antal dagar med snö, fler nollgenomgångar, förändrade grundvattenförhållanden samt en minskad köldmängd påverkar tjälnedträngning och tjäldjup i olika jordar. Analys utförs även av framtida luftköldmängd/vägyteköldmängd med bestämd återkomsttid, vilket ingår som underlag för val av underhållsintervall.

#### **7.4.6 Förändrade förutsättningar för upplyft på låglänta marköverbyggnader**

Problematik avseende upplyft på grund av höjda grundvattennivåer är aktuellt för byggnader, lättfyllning, dagvattendammar, brunnar, ledningar, låglänta marköverbyggnader under väg- och järnvägsportar etc. Problemställningen beskrivs gemensamt under avsnitt 7.8.

#### **7.4.7 Normer, föreskrifter och rådsdokument**

Normer, föreskrifter och rådsdokument behöver uppdateras kring de, i ett framtida klimat förändrade förhållanden, avseende marköverbyggnad och markunderbyggnad.

### **7.5 Avvattnings- och infiltrationsanläggningar samt tätningståtgärder**

#### **7.5.1 Effekt av ökade nederbördsmängder och ökat antal skyfall på anläggningarna**

Det erfordras en riskbedömning och översyn av kapaciteten för befintliga trummor under vägar och järnvägar. Den krävs en vidareutveckling av befintlig metodik för riskvärdering som tar hänsyn till ett framtida klimat samt framtagning av direkta eller indirekta metoder för tillståndsbedömning.

Det behöver utföras åtgärder som förhindrar att trummor lyfts upp, att trummor sätts igen (av jord, grenar och annat), att erosion uppkommer i bankar samt att för vissa trummor krävs byte till större trumdimension. Det behövs anvisningar för beräkning av dimensionerande flöden som tar hänsyn till ett framtida klimat. Metoderna behöver även ta hänsyn till att sannolikheten för slamströmmar kommer att öka i vattendrag.

Det behövs även en riskbedömning och översyn av befintliga diken, grundvattensänkande anläggningar och infiltrationsanläggningar. Anvisningar för dimensionering av nya anläggningar som tar hänsyn till ett framtida klimat, måste tas fram.

## **7.5.2 Förändrade förutsättningar för upplyft av dagvattendammar, brunnar och ledningar**

Problematik avseende upplyft på grund av höjda grundvattennivåer är aktuellt för byggnader, lättfyllning, dagvattendammar, brunnar, ledningar, låglänta marköverbyggnader under väg- och järnvägsportar etc. Problemställningen beskrivs gemensamt under avsnitt 7.8.

## **7.5.3 Normer, föreskrifter och rådsdokument**

Normer, föreskrifter och rådsdokument behöver uppdateras kring de, i ett framtida klimat förändrade förhållanden, vad gäller avvattnings- och infiltrationsanläggningar.

## **7.6 Markförstärkning**

### **7.6.1 Effekt av förändrade grundvattennivåer på befintlig djupstabilisering för väg, järnväg och markanläggningar**

Stabiliteten och sättningsrisken påverkas av förändrade grundvattennivåer för lera förstärkt genom djupstabilisering. Tidigare forskning indikerar att hållfastheten ökar och att sättningsegenskaperna hos den förstärkta jorden förbättras med tiden (efter att åtgärden utförts). Denna förbättring av egenskaper kan således motverka den försämring som förändrade grundvattennivåer leder till. Det finns dock begränsat underlag vad gäller långtidsegenskaper för djupstabilisering, varför konsekvensen av förändrade klimatlaster är osäker. Undersökningar kring förändring av egenskaperna för djupstabilisering med tiden bör utföras.

### **7.6.2 Effekt av förändrade grundvattennivåer på befintlig vertikaldränering för väg, järnväg och markanläggningar**

Vid lägre grundvattennivåer för vägar, järnvägar, markytor och ledningar, där sättningbenägen undergrund förstärkts genom vertikaldränering, ökar risken för att ytterligare sättningar kommer att utbildas. Analyser ingår i föreslaget projekt: "Sättningar hos befintliga bankar vid sjunkande grundvattennivåer" under avsnitt 7.4.4.

### **7.6.3 Effekt av förändrad nederbörd och grundvattennivåer på befintlig lättfyllning för väg, järnväg och markanläggningar**

Ökad årsnederbörd och största dygnsnederbörd innebär att lättklinker och skumbetong i befintliga markunderbyggnader med öppen ytstruktur, kommer att erhålla ökat vatteninnehåll. Vid höjda vattennivåer och grundvattennivåer kan lågt belägna lättfyllningsbankar erhålla ökat vatteninnehåll. Vid cyklisk belastning från trafiklast erhålls större deformationer och ökad nedbrytning vid vatteninnehåll jämfört med ett torrt material. Studier bör därför utföras av risk för ökad sättning och nedbrytning för vattenmättad lättfyllning på grund av cyklisk belastning. Även lättfyllningsbankars inre stabilitet påverkas av ökat vatteninnehåll, varför en analys av hållfasthetsförändringar vid vattenmättad lättfyllning bör utföras.

#### **7.6.4 Effekt av förändrade grundvattennivåer på befintlig bankpålning för väg, järnväg och markanläggningar**

Vid sjunkande grundvattennivåer finns risk för att sättningar uppkommer i finkornig jord under pålplattor för bankpålning. Vid pålar till fast botten ökar risken att det uppkommer ”glapp” under plattor, vilket kan påverka förstärkningens funktion. Konsekvensen kring denna problemställning bör analyseras kopplat till existerande eller nya beräkningsmodeller för bankpålning.

#### **7.6.5 Tillståndsbedömning och riskvärdering vad gäller befintlig markförstärkning för väg, järnväg och markanläggningar**

Vid en förändring av grundvattennivåerna sker en förändring av förstärkningens egenskaper. Det behöver utvecklas metodik för att kunna utföra översiktliga tillståndsbedömningar med direkta eller indirekta metoder kring egenskapsförändringar med tiden för markförstärkning under befintliga bankar samt vidareutveckling av riskvärderingsmetodik.

#### **7.6.6 Normer, föreskrifter och rådsdokument**

Normer, föreskrifter och rådsdokument behöver uppdateras kring de, i ett framtida klimat förändrade förhållanden, för markförstärkning.

### **7.7 Stödkonstruktioner**

#### **7.7.1 Effekt av förändring av grundvattennivå och ytvatten på befintliga stödkonstruktioner**

Ett ökat vatteninnehåll i jorden bakom stödkonstruktioner minskar hållfastheten i jorden och därmed stabiliteten för konstruktionen. Ett ökat antal skyfall och ökad temperatur kan leda till att ytvatten inte hinner rinna undan. Om vattengenomträngning förekommer genom stödmuren kan svallisproblem uppstå.

Det krävs en översyn av permanenta stödkonstruktioner för att analysera vilka säkerhetsmarginaler som finns och om och var det behövs stabilitetshöjande åtgärder (exempelvis dränerande åtgärder).

Beständigheten för konstruktioner i mark vid förändrade vattenförhållanden behöver också studeras.

#### **7.7.2 Effekt av ökad maximal dygnstemperatur på stödkonstruktioner**

Det kan behövas en översyn av hur dimensionerande spänningar i stämp och stag förändras på grund av ökade maximala dygnstemperaturer.

### **7.7.3 Tillståndsbedömning och riskvärdering vad gäller befintliga stödkonstruktioner**

Vid förändrade klimatlaster, speciellt ändrade grundvattennivåer, kommer befintliga stödkonstruktioner att påverkas. Egenskapsförändringar sker sannolikt med tiden såväl i jordmaterialet bakom som under befintliga stödkonstruktioner. Vilka förändringar som sker och om de innebär en förbättring eller försämring behöver utredas.

Det behövs utveckling av direkta eller indirekta metoder för tillståndsbedömning och mätning av jordtryck mot bärförmåga för befintliga stödkonstruktioner.

### **7.7.4 Effekt av förändrade vattenflöden och islaster på stödkonstruktioner i vattendrag**

Problemställningen beskrivs gemensamt under: ”Effekt av förändrade vattenflöden och islaster på stödkonstruktioner och grundkonstruktioner i vattendrag” i avsnitt 7.8.

### **7.7.5 Förebyggande åtgärder**

Eventuellt behov av nya metoder för att åtgärda befintliga stödkonstruktioner analyseras och åtgärder tas fram vid behov.

### **7.7.6 Normer, föreskrifter och rådsdokument**

Normer, föreskrifter och rådsdokument behöver uppdateras avseende de, i ett framtida klimat förändrade förhållanden, avseende stödkonstruktioner.

## **7.8 Grundkonstruktioner för broar, byggnader, betongtunnlar och övriga anläggningar**

### **7.8.1 Effekt på nya och befintliga bostadsområden och infrastruktur på grund av höjda vattennivåer och grundvattennivåer**

I samband med planering av nya bostadsområden i närheten av hav, vattendrag och sjöar är det nödvändigt att det finns information om vilka vattennivåer som kan förväntas under konstruktionernas livslängd. På samma sätt är det viktigt att denna information används för planering av skyddsåtgärder för befintliga bostadsområden. Se projekt under avsnitt 7.2

Vid höjda grundvattennivåer ökar risken för att befintliga byggnader med källare kommer att påverkas vad gäller inläckage och mögel. För låglänta väg- och järnvägsportar ökar risken för inläckage, speciellt för äldre broar med stenlandfästen.

Redovisning av framtida vattennivåer i förhållande till planerade och befintliga bostadsområden utförs (projekt under avsnitt 7.2). En översiktlig konsekvensutredning utförs vad gäller påverkan på befintliga bostadsområden och infrastruktur på grund av höjda grundvattennivåer.

### **7.8.2 Beständigheten hos grundkonstruktioner i mark**

Beständigheten för grundkonstruktioner i mark (platt- och pålgrundläggning) vid förändrade vatten- och grundvattenförhållanden behöver studeras.

### **7.8.3 Effekt av förändrade vattenflöden och islaster på stödkonstruktioner och grundkonstruktioner i vattendrag**

Det krävs en studie av hur olika klimatlaster påverkar olika stöd- och grundkonstruktioner. Studien kan göras genom att ett antal typfall simuleras med olika extremvärden på klimatlasterna. Resultaten kan ligga till grund för fortsatta mer detaljerade studier av de fall där effekterna bedöms som störst. Det kan vara att utveckla metoder för bedömning av erosionsförhållanden kring konstruktioner i strömmande vatten och risk för bortspolning av dessa, exempelvis brostöd och befintliga erosionskydd. Det kan också gälla utveckling av metoder för bestämning av erosion av is och istryck mot bryggor, kajer etc. och utredning av risken för vågor som slår mot konstruktioner.

### **7.8.4 Dimensionering av upplyft på konstruktioner, lättfyllning, dammar, brunnar, ledningar och låglänta marköverbyggnader**

Problematik kring upplyft på grund av höjda vatten- och grundvattennivåer är aktuellt för byggnader (speciellt byggnader med källare), lättfyllning (lättklinker, skumglas och cellplast), dagvattendammar, brunnar, ledningar, låglänta marköverbyggnader under väg- och järnvägsportar etc.

Vid höjda vatten- och grundvattennivåer kommer att stort antal befintliga konstruktioner påverkas. En inventering av omfattningen konstruktioner som kan påverkas samt effekten för olika typer av konstruktioner erfordras. En analys av upplyfteffekten för olika typer av jordar behöver genomföras med hänsyn till olika jordars permeabilitet och effekterna av olika typer av dräneringsåtgärder. Utveckling av dimensioneringsmodeller för dimensionering av upplyft behöver genomföras.

### **7.8.5 Förändringar av tjälnedträngning och tjäldjup och hur detta påverkar konstruktioner**

Precis som för ”Marköverbyggnad och markunderbyggnad” krävs en studie av hur tjäldjup och tjälnedträngning förändras och påverkar grundkonstruktioner (se avsnitt 7.4).

### **7.8.6 Effekt av förändrade grundvattennivåer på plattgrundlagda befintliga byggnader, broar och anläggningar**

Vid sjunkande grundvattennivåer ökar risken för sättningar i befintliga plattgrundlagda konstruktioner, grundlagda på sättningsbenägna jordar (lera, silt, sand). Vid höjda grundvattennivåer minskar jordens hållfasthet, vilket minskar plattornas bärförmåga. Det erfordras en översyn över vilka säkerhetsmarginaler det finns hos befintliga plattgrundlagda byggnader på jordar av sand, silt och lera med hänsyn till förändrade grundvattennivåer. En översyn erfordras också av befintliga modeller för sättningsberäkningar för sand och silt jämfört med uppföljningar av verkliga objekt. Inventering och analys vad gäller

ovanstående problemställningar måste genomföras. Analys av överkonsolidering, se projekt under avsnitt 7.4.

### **7.8.7 Inventering av klimatförändringens betydelser för bergtunnlars stabilitet**

Befintliga tunnlar är dimensionerade med tanke på dagens, eller gårdagens förhållanden. Detta kan innebära att tröskelnivåer behöver ses över, eventuellt byggas om. Dimensionerande dränerings- och pumpkapacitet likaså. En inventering av nuläget vad gäller känsligheten från nya klimatlaster behöver göras.

Ett ökat hydrostatiskt tryck kan förväntas ge ökade laster på bärande tunnelsystem. Det behöver utredas om de säkerhetsmarginaler man använder idag är tillräckliga.

Isbildning är ett problem under vintern i många tunnlar. Problemet kan förväntas minska i södra Sverige, men troligen öka i vissa delar av norra Sverige. Detta bör analyseras.

### **7.8.8 Effekt av lägre grundvattennivåer på pågrundlagda befintliga byggnader, broar och anläggningar**

För pålade konstruktioner kan lägre grundvattennivåer leda till ökade påhängslaster på pålarna. De modeller som tillämpas vad gäller påhängslaster behöver analyseras och vidareutvecklas för att kunna bedöma konsekvenserna av grundvattenförändringars påverkan på befintliga pålar. Lägre grundvattennivåer ger differenssättningar i lera mellan byggnader/infrastrukturanläggningar och markytor/ledningar, vilket måste analyseras.

### **7.8.9 Tillståndsbedömning och riskvärdering vad gäller plattgrundlagda och pågrundlagda befintliga byggnader, broar och anläggningar**

Vid förändrade klimatlaster, speciellt ändrade grundvattennivåer, kommer befintliga grundkonstruktioner att påverkas. Egenskapsförändringar sker sannolikt med tiden för befintliga grundkonstruktioner som kan motverka den förändrade belastning som framtida klimatlaster leder till. Det erfordras utveckling av direkta eller indirekta metoder för tillståndsbedömning och mätning av bärförmåga för befintliga plattor och pålar samt vidareutveckling av riskvärderingsmetodik.

### **7.8.10 Förebyggande åtgärder**

Eventuellt behov av nya metoder för att åtgärda befintliga grundkonstruktioner analyseras och åtgärder tas fram vid behov.

### **7.8.11 Normer, föreskrifter och rådsdokument**

Normer, föreskrifter och rådsdokument behöver uppdateras kring de, i ett framtida klimat förändrade förhållanden, vad gäller grundkonstruktioner.



# Referenser

- Andersson, M (2017). SMHI, personlig kontakt.
- Banverket (2003). JärnvägsAMA 98. BVS 581.161. Banverkets komplement till AMA 98. Borlänge.
- Bergdahl U, Ottosson E, Stigson Malmborg B. (1993). Plattgrundläggning. AB Svensk Byggtjänst och Statens Geotekniska Institut.
- Boverket (2016a). Boverkets konstruktionsregler, EKS 10.
- Boverket (2016b). Rapport 2016:14. Miljö- och klimatanpassade byggregler. Förstudie.
- CEN-CENELEC (2016). CEN-CENELEC guide 32. Guide for addressing climate change adaptation in standards. Edition 1, 2016-04.
- Church, J.A., P.U. Clark, A. Cazenave, J.M. Gregory, S. Jevrejeva, A. Levermann, M.A. Merrifield, G.A. Milne, R.S. Nerem, P.D. Nunn, A.J. Payne, W.T. Pfeffer, D. Stammer and A.S. Unnikrishnan, (2013). Sea Level Change. *In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Eklund, A., Axén Mårtensson, Bergström, S., Björck, E., Dahné, J., Lindström, L., Nordborg, D., Olsson, J., Simonsson, L., Sjökvist, E. (2015). SMHI, Klimatologi Nr 14, Sveriges framtida klimat Underlag till dricksvattenutredningen. Norrköping.
- Eklund, A., Tofeldt, L., Tengdelius-Brunell, J., Johnell, A., German, J., Sjökvist, E., Rasmusson, M., Andersson, E. (2017a). Vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och is i Vättern. Beräkningar för dagens och framtidens klimatförhållanden. Klimatologi Nr 42. SMHI.
- Eklund, A., Johnell, A., Tofeldt, L., Tengdelius-Brunell, J., Andersson, M., Ivarsson, C-L., German, J., Sjökvist, E., Andersson, E. (2017b). Vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och is i Hjälmarén. Beräkningar för dagens och framtidens klimatförhållanden. Klimatologi Nr 43. SMHI.
- Eklund, A., Tofeldt, L., Johnell, A., Andersson, E., Tengdelius-Brunell, J., German, J., Sjökvist, E., Rasmusson, M., Harbman, U., Andersson, E. (2017c). Vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och is i Väneren. Beräkningar för dagens och framtidens klimatförhållanden. Klimatologi Nr 44. SMHI.
- European Commission (2013). The EU Strategy on adaptation to climate change.
- Fellenius. B., Rengmark, F., (1959). Köldmängdskartor över Sverige. Statens väg-institut meddelande 91. Stockholm.
- IEG (2010a). IEG Rapport 7:2008. Tillämpningsdokument – EN 1997–1 kapitel 6, Plattgrundläggning. Implementeringskommissionen för Europastandarder inom Geoteknik.
- IEG (2010b). IEG Rapport 8:2008, rev 2. Tillämpningsdokument – EN 1997–1 kapitel 7, Pålgrundläggning. Implementeringskommissionen för Europastandarder inom Geoteknik.

- IEG (2010c). IEG Rapport 4:2010. Tillståndsbedömning/klassificering av naturliga slän-  
ter och slänter med befintlig bebyggelse och anläggningar. Vägledning för tillämp-  
ning av Skredkommissionens rapporter 3:95 och 2:96 (delar av). Implementerings-  
kommissionen för Europastandarder inom Geoteknik.
- IEG (2011). IEG Rapport 2:2009, Rev 1. Tillämpningsdokument, EN 1997-1, kapitel 9,  
Stödkonstruktioner. Implementeringskommissionen för Europastandarder inom  
Geoteknik.
- Jerbo, A., (1963). Största tjäldjupet vintrarna 1939-1963. Meddelande från Statens järn-  
vägars centralförvaltning geotekniska kontoret. Meddelande nr 8. Stockholm.
- Knudsen, S., (2001). Subballast of crushed aggregates. Phase III. Dokument 200001284-  
1. Norges geotekniska institut. Oslo.
- Knutsson, S., Westerberg, B., (1999). Underballast av krossmaterial, etapp 2, dimension-  
eringsfilosofi. Institutionen för Väg och Vattenbyggnad. Avdelningen för geotek-  
nik. Luleå tekniska universitet.
- Lagergren, H., (2015). Grundvattennivåns tidsmässiga variationer i morän och jämförel-  
ser med klimatscenarier. SGU-rapport 2015:20. Uppsala.
- Larsson, R., (2008). Jords egenskaper. Information 1. Statens geotekniska institut. Linkö-  
ping.
- MSB (2017). Vägledning för skyfallskartering. Tips för genomförande och exempel på  
användning. MSB1121 - augusti 2017. Karlstad.
- Olsson C, Holm G., (1993). Pågrundläggning. AB Svensk Byggtjänst och Statens geo-  
tekniska institut. Linköping.
- Olsson, J., Foster, K. (2013). Extrem korttidsnederbörd i klimatprojektioner för Sverige.  
SMHI, Klimatologi nr 6. Norrköping.
- Olsson, J., Josefsson, W. (2015). Skyfallsuppdraget ett regeringsuppdrag till SMHI. KLI-  
MATOLOGI Nr 37. Norrköping.
- Persson, G., Sjökvist, E., Åström, S., Eklund, D., Andréasson, J., Johnell, A., Asp, M.,  
Olsson, J., Nerheim, S. (2011). Klimatanalys för Skåne län. SMHI Rapport nr  
2011-52. Norrköping.
- Pålkommisionen (2017). [www.palkommissionen.org](http://www.palkommissionen.org)
- Rankka, K., Fallsvik, J., (2005). Stability and run-off conditions - Guidelines for detailed  
investigation of slopes and torrents in till and coarse-grained sediments. Statens  
geotekniska institut, SGI. Rapport 68. Linköping.
- Ryner, A., Fredriksson, A., Stille, H. (1996). Sponthandboken. Handbok för konstruktion  
och utformning av sponter. Byggforskningsrådet.
- SGF (2017). [www.sgf.net](http://www.sgf.net)
- SGI (2017). Hållbart markbyggande – en handlingsplan i ett föränderligt klimat, SGI  
Publikation 35, Statens geotekniska institut, Linköping.
- SGU (2017). [www.sgu.se](http://www.sgu.se)
- Simonsen E. (1993). Vägars bärighet under tjällossning – en litteraturstudie.
- SIS (2001). Byggnaders termiska egenskaper - Värmeisolering av grunder för att undvika  
tjällyftning. SS-EN ISO 13793:2001, Statens standardiseringsinstitut, SIS.

- SIS (2007). Krafter från vågor och strömmar på kustnära byggnadsverk. SS-ISO 21650:2007, Statens standardiseringsinstitut SIS.
- Sjökvist, E., Axén Mårtensson, J., Berggren Clausen, S., Berglöv, G., Björck, E., Dahné, J., Hallberg, K., Köplin, N., Nordborg, D., Nylén, L., Tengdelius Brunell, J., Södling, J. (2015). Klimatscenarier för Sverige. SMHI Klimatologi nr 15. Klimatscenarier för Sverige Bearbetning av RCP-scenarier för meteorologiska och hydrologiska effektstudier. Norrköping.
- Sjökvist, E. (2017). Personlig kommunikation.
- Skredkommissionen (1994). Erosionsskydd i samband med förstärkningsåtgärder för slänter. Skredkommissionens rapport 1:94. Linköping.
- Skredkommissionen (1995). Anvisningar för släntstabilitetsutredningar. Skredkommissionens rapport 3:95. Linköping.
- SMHI (2017). [www.smhi.se](http://www.smhi.se)
- SOU (2007). Sverige inför klimatförändringarna - hot och möjligheter, Statens offentliga utredningar, SOU 2007:60, Stockholm.
- Strandberg, G., Barring, L., Hansson, U., Jansson, C., Jones, C., Kjellström, E., med flera., (2014). CORDEX scenarios for Europe from the Rossby Centre regional climate model RCA4. Reports Meteorology and Climatology, 116. SMHI, SE-60 176. Norrköping.*
- Svenska Geotekniska Föreningen, (2016). Jordarternas indelning och benämning. SGF Rapport 2:2016.
- Svensk Byggtjänst (2017). AMA Anläggning 17. Stockholm.
- SVENSK STANDARD SS-EN 1990. Eurokod – Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk.
- SVENSK STANDARD SS-EN 1991. Eurokod 1: Laster på bärverk.
- Eurokod 1: Laster på bärverk –Del 1–1: Allmänna laster – Tunghet, egentyngd, nyttig last för byggnader.
- Eurokod 1: Laster på bärverk –Del 1–2: Allmänna laster – Termisk och mekanisk.
- Eurokod 1 – Laster på bärverk –Del 1–3: Allmänna laster – Snölast.
- Eurokod 1: Laster på bärverk –Del 1–4: Allmänna laster – Vindlast.
- Eurokod 1: Laster på bärverk –Del 1–5: Allmänna laster – Temperaturpåverkan.
- SVENSK STANDARD SS-EN 1997
- Eurokod 7: Dimensionering av geokonstruktioner –Del 1: Allmänna regler.
- Eurokod 7: Dimensionering av geokonstruktioner –Del 2: Marktekniska undersökningar.
- Svenskt Vatten (2011). Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem. Publikation P104. Stockholm.
- Svenskt Vatten (2016). Avledning av dag-, drän- och spillvatten. Funktionskrav, hydraulisk dimensionering och utformning av allmänna avloppssystem. Del I – Policy och funktionskrav för samhällens avvattning. Publikation P110. Stockholm.
- Trafikverket (2011a). Beräkning av tjällyftning, TRVMB 301. Trafikverkets metodbeskrivningar. TDOK 2011:315. Borlänge.

- Trafikverket (2011b). Trafikverkets tekniska krav Vägkonstruktion, TRVK Väg. TRV 2011:072. TDOK 2011:264. Borlänge.
- Trafikverket (2013). Trafikverkets tekniska råd för geokonstruktioner TR Geo 13. Dokument-ID TDOK 2013:0668.
- Trafikverket, 2014a. Trafikverkets tekniska krav för geokonstruktioner TK Geo 13. Dokument-ID TDOK 2013:0667.
- Trafikverket (2014b). Avvattningsteknisk dimensionering och utformning (MB 310). TDOK 2014:0051.
- Trafikverket (2016a). Krav Brobyggande. TDOK 2016:0204.
- Trafikverket (2016b). Råd Brobyggande. TDOK 2016:0203.
- Trafikverket (2016c). Trafikverkets windowsbaserade verktyg PMS Objekt för analys och design av vägöverbyggnader. [www.trafikverket.se](http://www.trafikverket.se).
- Trafikverket (2017). [www.trafikverket.se](http://www.trafikverket.se)
- US Army Corps of Engineers (1989). Environmental engineering for coastal shore protection. Engineering and Design. Engineer Manual No. 1110-2-1204. Washington.
- US Army Corps of Engineers (2002). Coastal engineering manual, Engineering and Design. Engineer Manual No. 1110-2-1100. Washington.
- Vikberg, E., Thunholm, B., Thorsbrink, M. Dahné, J., (2015). Grundvattennivåer i ett förändrat klimat – nya klimatscenarier. SGU-rapport 2015:19. Uppsala.
- Vägverket (1978). Erosionsskydd i vatten vid väg- och brobyggnad. Rapport 1987:18.
- Vägverket (1987). Istryck mot bropelare. Rapport 1987:43.
- Vägverket (2000). Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktion. ATB VÄG. Borlänge.
- Vägverket (2002). Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktion. ATB VÄG 2002. Borlänge.
- Vägverket (2008). Hydraulisk dimensionering. VVMB 310. Borlänge.
- Wern, L., German, J., (2009). Korttidsnederbörd i Sverige 1995–2008. Meteorologi Nr 139/2009. SMHI. Norrköping.
- Åström, S. (2010) Kompletterande beräkningar havsvattenstånd Bråviken. SMHI Rapport nr 2010–60. Norrköping.
- Åström, A., Nerheim, S., Andersson, M., (2011). Uppdaterad klimatanalys av havsvattenstånd i Västra Götalands Län. SMHI, Rapport Nr 2011–45. Norrköping.



**Statens geotekniska institut**  
581 93 Linköping

E-post: [sgi@swedgeo.se](mailto:sgi@swedgeo.se)  
Växeln: 013-20 18 00