



Principer för robusta beslut inför osäkra klimatförändringar

PER WIKMAN-SVAHN



PRINCIPER FÖR ROBUSTA BESLUT
INFÖR OSÄKRA KLIMATFÖRÄNDRINGAR

Per Wikman-Svahn

TRITA-IM 2016:02
ISSN 1402-7615

Avdelningen för Industriell ekologi
KTH, SE-100 44 Stockholm
www.ima.kth.se

Omslagsbild: Marc Pinter/Shutterstock.

Förord

Forskningen som presenteras i rapporten har finansierats av Myndigheten för samhällskydd och beredskap inom ramen för forskningsprogrammet Robusta beslut för att hantera klimatrisker i Sverige. Denna rapport redovisar resultat från det första av flera arbetspaket inom forskningsprogrammet, som pågår 2015-2020. Jag vill särskilt tacka mina kollegor i forskningsprogrammet: Misse Wester, Karin Mossberg Sonnek, Jonathan Metzger och Annika Carlsson-Kanyama för att de läst och kommenterat tidigare utkast på rapporten. Alla felaktigheter och misstag som trots allt finns kvar i texten är enbart mitt eget ansvar.

Per Wikman-Svahn

Stockholm, September 2016

Sammanfattning

Att anpassa våra samhällen till klimatförändringarna är svårt eftersom det är mycket osäkert hur klimatet kommer att förändras och vad detta kommer att få för effekter. Robust beslutsfattande handlar om att hitta strategier som leder till bra resultat även under stor osäkerhet. Under senare tid har flera olika metoder för robust beslutsfattande utvecklats och använts för att hantera osäkerheterna med framtida klimatförändringar.

Metoderna för robust beslutsfattande karaktäriseras av tre grundläggande principer:

1. *Omfamna osäkerhet*: utgå från de verkliga osäkerheterna och anpassa beslutsprocesserna och metoderna till att hantera den typ av osäkerheter som vi verkligen står inför.
2. *Börja med beslutssituationen*: börja med den specifika beslutssituationen och undersök konsekvenserna av olika alternativ.
3. *Leta robusta lösningar*: försök hitta robusta lösningar som fungerar bra över en stor mängd osäkra utfall.

Denna rapport beskriver och förklarar dessa principer och ger exempel på vad de innebär i praktiken. Rapporten diskuterar även fördelarna och nackdelarna med robust beslutsfattande för klimatanpassning. I en bilaga finns dessutom källor till vidare läsning om olika metoder och fallstudier.

Innehåll

1. Inledning och syfte.....	9
2. Osäkra klimatförändringar	11
3. Principer för robust beslutsfattande under osäkerhet	17
3.1 Princip 1: Omfamna osäkerheter	18
3.2 Princip 2: Börja med beslutssituationen	23
3.3 Princip 3: Leta robusta lösningar	27
4. Begränsningar med robust beslutsfattande	31
Referenser	34
Bilaga 1: Mer att läsa	39
Översiktsartiklar och rapporter	39
Olika metoder och fallstudier.....	41
Bilaga 2: Källor till figur 5.....	45

1. Inledning och syfte

Robust beslutsfattande handlar om att hitta strategier som leder till bra resultat även under mycket stor osäkerhet. Robusta strategier kan se ut på olika sätt i praktiken. De kan till exempel innebära att hitta nya typer av lösningar som klarar av att hantera många olika utfall men ändå inte kostar så mycket mer, eller som ger andra positiva effekter. De kan också innebära att skapa flexibla lösningar eller åtgärder som minskar ledtider.

Även om målet med robust beslutsfattande är att hitta robusta lösningar så är det inte säkert att resultatet verkligen blir robust. Hur väl man lyckas kan man avgöra först i efterhand. För att öka chanserna till att fatta verkligt robusta beslut har så kallade robusta beslutstödsmetoder utvecklats. Det finns många robusta beslutstödsmetoder som har använts för klimatanpassning, och litteraturen är omfattande och växer snabbt. I den här rapporten går jag därför inte igenom några specifika metoder utan hänvisar till Bilaga 1, där det finns källor för vidare läsning. I litteraturen om robust beslutsfattande används ofta robusta beslut synonymt med robusta strategier eller lösningar, och jag gör inte heller här någon skillnad mellan dessa begrepp.

Fokus för denna rapport är hur robust beslutsfattande kan användas för att hantera osäkerheter i klimatförändringarna. Men robusta beslutstödsmetoder kan också användas för att hantera

andra osäkerheter, till exempel osäkra utvecklingar inom demografi, ekonomi eller teknik.

Ett annat begrepp som liknar robusthet är resiliens. Både robusthet och resiliens används ibland för att beskriva motsatsen till sårbarhet (Aven 2014, sid 186). Men det finns också skillnader i hur de används, även om det inte finns någon allmänt etablerad syn på relationen mellan dem (Jones m.fl. 2014). När man använder termerna för att beskriva *egenskaper hos ett system* finns det dock en skillnad. Ett *resilient system* är ett system som snabbt kan återhämta sig från en störning, och ett *robust system*, är ett system som kan fortsätta att fungera tillfredsställande under störningar (Mendoza m.fl. 2016). Denna rapport handlar dock inte om system utan om *beslut*. Det innebär att robusthet handlar om egenskaper hos en strategi eller en lösning (eller ett beslut eller en beslutsprocess). En robust lösning skulle till exempel kunna vara att skapa ett resilient system.

Målet med rapporten är att ge en kort översikt över de grundläggande principerna för robust beslutsfattande. Huvudsyftet med rapporten är att ge ett underlag till det forskningsprogram om robusta beslutstödsmetoder för klimatanpassning som rapporten tagits fram inom. Förhoppningsvis kan rapporten också vara intressant för andra läsare och ge ingångar till specifika metoder och fallstudier.

Avsnitt 2 ger en bakgrund till varför robust beslutsfattande är så viktigt för att hantera osäkra klimatförändringar. Avsnitt 3 är rapportens kärna. Det beskriver tre viktiga grundläggande principer för robust beslutsfattande och sätter dessa i ett teoretiskt sammanhang. Avsnitt 4 innehåller en kritisk diskussion om några av de viktigaste begränsningarna med robust beslutsfattande. En avslutande bilaga ger källor för vidare läsning.

2. Osäkra klimatförändringar

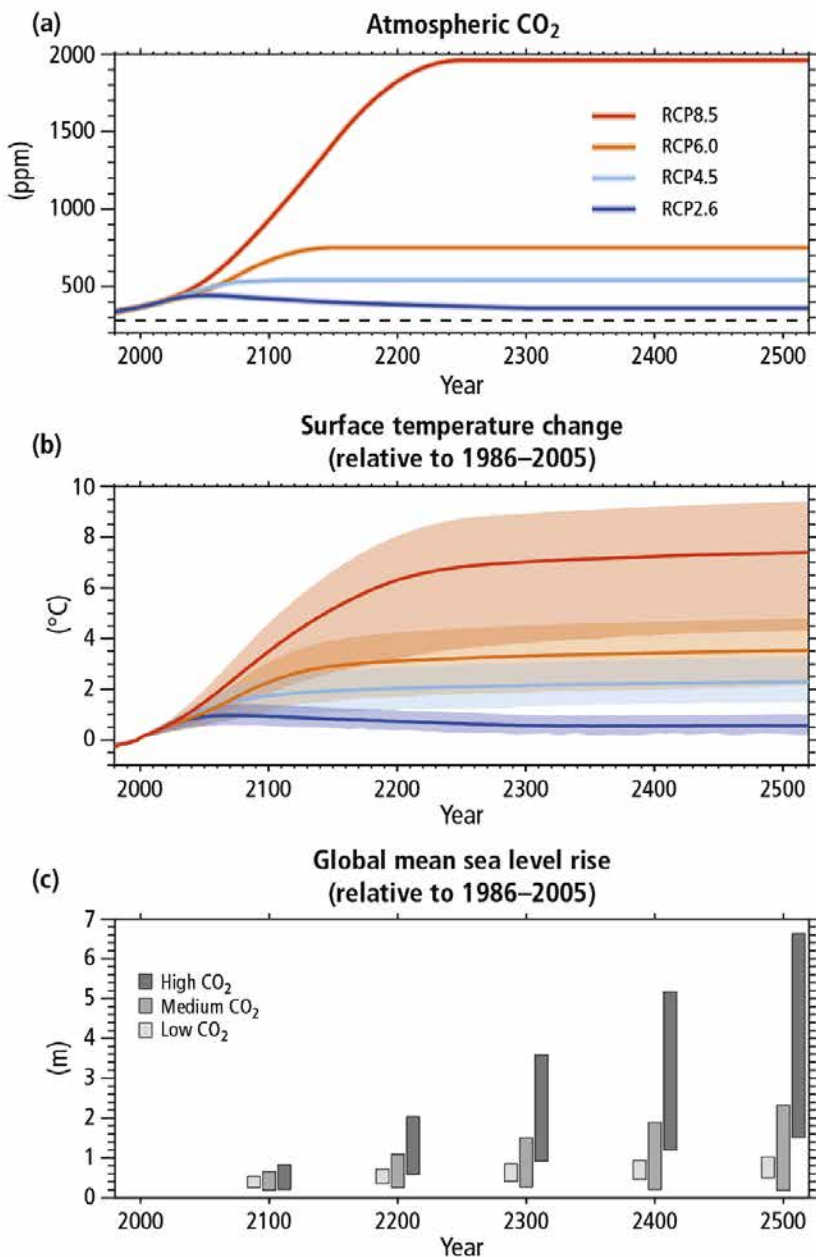
Robust beslutsfattande är särskilt lämpligt för beslut som måste förhålla sig till stora osäkerheter, som har långa tidshorisonter och potentiellt irreversibla konsekvenser (Hallegatte 2009). Några exempel på sektorer där dessa typer av beslut är vanliga finns i tabell 1. Men robust beslutsfattande kan förstås också vara användbart för andra typer av beslut och inom andra områden.

Tabell 1 Exempel på sektorer med långa livstider och stor potentiell utsatthet (exponering) för klimatförändringar. Ju fler plustecken, desto högre grad av exponering för klimatförändringar. Anpassad från Hallegatte (2009).

Sektor	Tidsskala	Exponering
Vatteninfrastruktur (t.ex. dammar och reservoarer)	30–200 år	+++
Fysisk planering (t.ex. längs vattendrag eller i kustområden)	> 100 år	+++
Översvämningsskydd (t.ex. vallar)	30–150 år	+++
Byggnader och hus (t.ex. isolering, fönster)	30–150 år	++
Transportinfrastruktur (t.ex. hamnar och broar)	30–200 år	+
Stadsplanering (t.ex. förtätning, parker)	> 100 år	+
Energiproduktion (t.ex. kylsystem för kärnkraft)	20–70 år	+

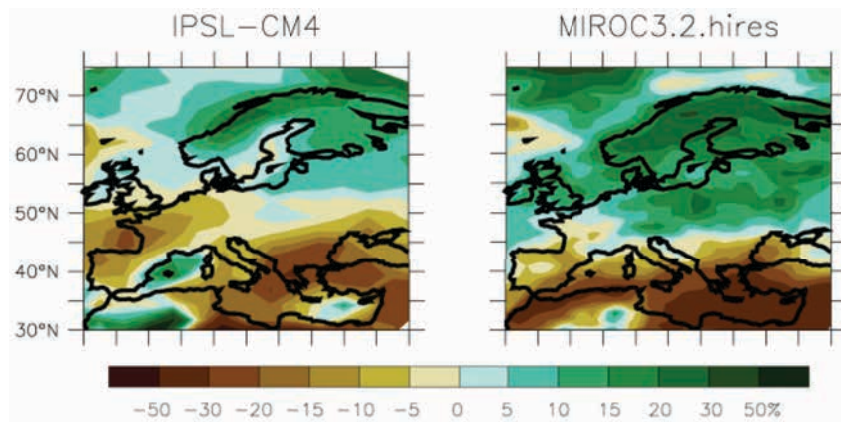
Hur klimatet kommer att förändras på lång sikt är mycket osäkert. Det finns två viktiga grundorsaker till osäkerheten om klimatförändringarna. Den ena är utvecklingen av våra samhällen, inklusive den tekniska och politiska utvecklingen, vilket påverkar

framtida koncentrationer av växthusgaser i atmosfären. Den andra källan till osäkerhet är svårigheterna att förutsäga hur klimatet kommer att förändras givet en viss koncentration av växthusgaser i atmosfären. Klimatforskningen skiljer ofta mellan dessa två orsaker till osäkerheter genom att presentera resultat i form av så kallade *projektioner*. En projektion betyder i dessa sammanhang ett resultat som förutsätter ett antagande om ett specifikt scenario. Olika scenarier ger då upphov till olika projektioner. Ett tydligt exempel på detta visas i figur 1, där olika scenarier för framtida koncentrationer av växthusgaser (figur 1 a) används för att ta fram projektioner för framtida förändringar i global medeltemperatur (figur 1 b) och havsnivå (figur 1 c).



Figur 1 Scenarier och projektioner från IPCC:s femte utvärderingsrapport. (a) Scenarier för koncentrationer av växthusgaser i atmosfären (Representative Concentration Pathways, RCP:er). (b) De skuggade områdena visar osäkerheten för projektioner av global medeltemperatur. (c) Projektioner av havsnivåhöjning för tre olika utsläppsscenarier. (Bild: IPCC 2014, Figur 2.8).

Den globala medeltemperaturen (som i figur 1 b) är ett användbart mått på den globala klimatförändringen i genomsnitt, men för lokal eller regional klimatanpassning behöver man ofta ta hänsyn till andra faktorer, till exempel riskerna för extrem värme och extrem nederbörd. Detta skapar ännu mer osäkerhet eftersom regionala och lokala klimatvariabler generellt sett är ännu svårare att förutsäga än ett globalt genomsnitt. Ett exempel på detta är hur olika klimatmodeller i vissa fall kan ge helt olika resultat för vissa regioner (se figur 2).



Figur 2 Exempel på regionala klimatprojektioner för Europa av årlig förändring av nederbörd för två olika klimatmodeller (IPSL-CM4 och MIROC3.2). Brun är minskad nederbörd och grön är ökad nederbörd. Notera att för vissa regioner (t.ex. England, Skåne, Tyskland) så resulterar den ena projektionen i minskad nederbörd och den andra i ökad nederbörd (Bild: Anpassad från Christensen m.fl. 2007, Figur 11-14-sm).

Att utvärdera effekterna av klimatförändringarna och olika alternativa beslut innebär dessutom ytterligare osäkerheter. I slutändan skapar det något som kan beskrivas som en kaskad av osäkerhet (se figur 3).



Figur 3 Schematisk bild över hur osäkerheten ökar (kaskaden av osäkerhet) för (1) olika framtida samhällsutvecklingar (teknik, ekonomi, livsstil osv), (2) framtida utsläpp av växthusgaser, (3) globala klimatprojektioner, (4) regionala klimatprojektioner, (5) lokala effekter av klimatförändringar, (6) anpassningsåtgärder. (Anpassad från Wilby & Dessai 2010).

Att hitta sätt att bättre hantera denna explosion av osäkerhet som klimatförändringarna innebär på längre sikt är den viktigaste orsaken till varför det behövs robusta beslut.

3. Principer för robust beslutsfattande under osäkerhet

Litteraturen om robust beslutsfattande för klimatanpassning är snabbt växande, och det finns många olika specifika metoder (se Bilaga 1), men metoderna har några saker gemensamt. En litteraturstudie av publicerade artiklar och rapporter om robusta beslutstödsmetoder för klimatanpassning visade att tre områden var centrala:

- 1) hur man beskriver och hanterar osäkerheter
- 2) informationsflöde från beslutsunderlag till beslut
- 3) vilken typ av strategier man bör använda

Det dominerande förhållningssättet i litteraturen om robusta beslutstödsmetoder för klimatanpassning för dessa tre områden kan sammanfattas med tre principer:

Princip 1: Omfamna osäkerheter

Utgå från de verkliga osäkerheterna och anpassa beslutsprocesserna och metoderna till att hantera den typ av osäkerheter som vi verkligen står inför.

Princip 2: Börja med beslutssituationen

Börja med den specifika beslutssituationen och undersök konsekvenserna av olika alternativ. Samla därefter in ytterligare information för de osäkra faktorer som är särskilt relevanta för det aktuella beslutet.

Princip 3: Leta robusta lösningar

Försök hitta robusta lösningar som fungerar bra över en stor mängd osäkra utfall. Var öppen för nya typer av lösningar. Går det till exempel att bygga bort sårbarheten för osäkerheterna på ett enkelt eller billigt sätt? Går det att hitta lösningar som är flexibla och kan anpassas över tiden?

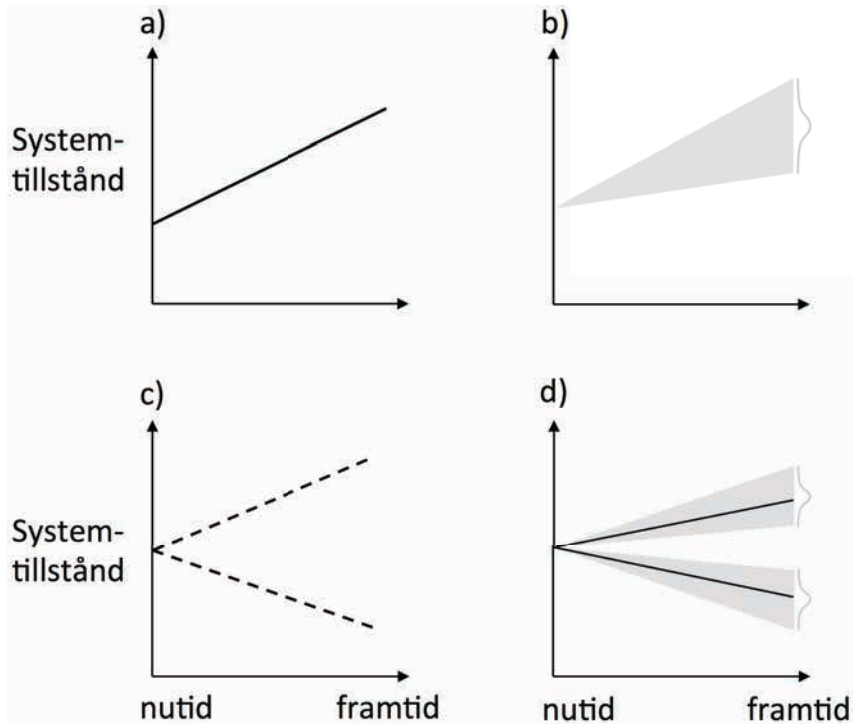
Dessa principer formuleras på olika sätt i litteraturen (för andra formuleringar, se till exempel Lempert & Kalra 2011, Dessai & Wilby 2011, Weaver m.fl. 2013, Walker m.fl. 2013, Herman m.fl. 2015, Mendoza m.fl. 2016). Här följer en mer utförlig beskrivning av principerna och områdena som principerna verkar inom.

3.1 Princip 1: Omfamna osäkerheter

Det huvudsakliga motivet för robust beslutsfattande är att bättre kunna hantera stora osäkerheter. Det finns många olika sätt att klassificera osäkerheter (se t.ex. Walker m.fl. 2003, Spiegelhalter & Riesch 2011, Aven 2011), och de olika sätten kan vara användbara i olika sammanhang. Maier m.fl. (2016) presenterar ett klassifikationssätt som är användbart för att analysera hur man kommunicerar och hanterar osäkerheter för framtida klimatförändringar. Denna klassifikation består av tre olika paradigmer (grundläggande synsätt) för hur man kan modellera framtiden:

- a) förväntad framtid
- b) kvantifierbart osäker framtid
- c) multipla troliga framtider (figur 4 a–c).

En kombination av paradigmen (b) och (c) är också vanlig i klimatsammanhang (figur 4 d).



Figur 4 De tre paradigmen för att beskriva osäkerheter: (a) förväntad framtid, (b) kvantifierbart osäker framtid och (c) multipla troliga framtider. (d) En kombination av paradigmet multipla framtider med paradigmet om kvantifierbart osäker framtid (till exempel genom att ange sannolikheten för olika framtidsscenarioer). (Anpassad från Maier m.fl. 2016).

Förväntad framtid (figur 4 a) är baserad på en bästa gissning om hur framtiden kommer att utveckla sig. Här antas egentligen att det inte finns någon osäkerhet alls (det är en deterministisk beskrivning). Ett exempel är att använda ett enda scenario för framtida havsnivåhöjning fram till år 2100.

Kvantifierbart osäker framtid (figur 4 b) beskriver utvecklingen som en sannolikhetsfördelning över osäkra utfall. De osäkra utfallen beskrivs alltså inom ett väl avgränsat område av möjliga utfall. Ett exempel är dimensionering av vattenflöden i termer av sannolikheter (t.ex. hundraårsflöden, vilket innebär att sannolikheten för att flödet överträds är 1/100 per år).

Multipla troliga framtider (figur 4 c) beskriver flera olika versioner av framtiden eller olika framtidsscenarioer. Detta paradigm används ofta när man har olika processer som inte enkelt kan beskrivas i en enda modell, eller där de största osäkerheterna inte kan fångas av en enskild modell, utan snarare i sammanhanget där modellen används. Ett exempel är de olika scenarier för koncentrationer av växthusgaser som används av IPCC (jämför figur 1 a).

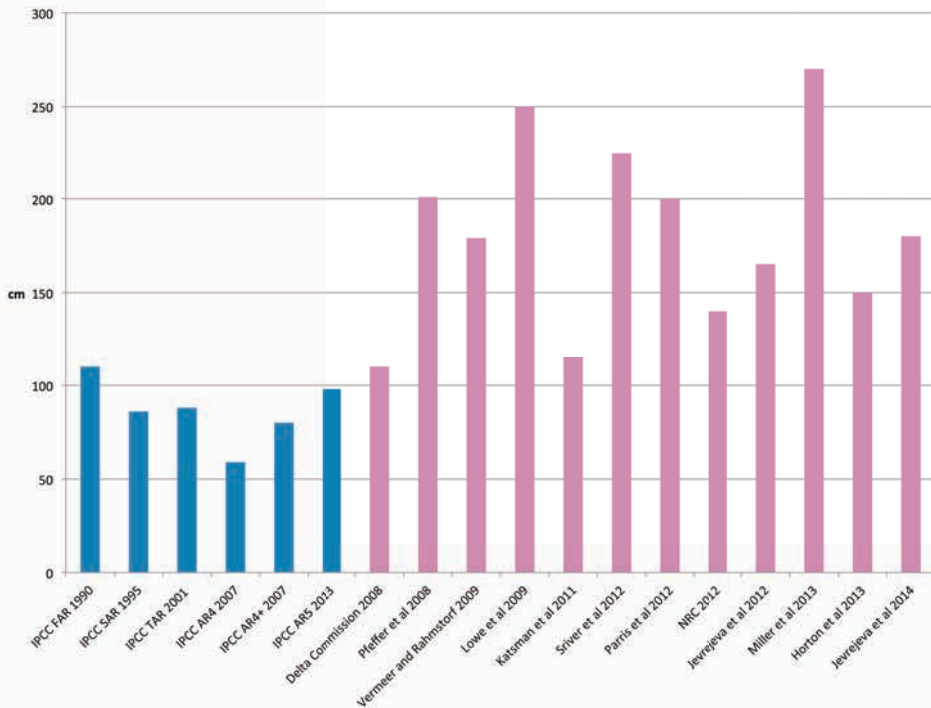
Paradigmet om multipla troliga framtider kan också inkludera en kvantitativ beskrivning av osäkerhet för olika framtider (figur 4 d). Ett exempel är IPCC:s projektioner av olika klimatparametrar, som beskriver en kvantitativ osäkerhet för olika framtider (jämför figur 1b).

Resultat från klimatforskning (t.ex. IPCC-rapporterna) presenteras ofta med paradigmet om multipla troliga framtider (figur 4 c eller 4 d) och det är sällsynt med en beskrivning av klimatförändringar i termer av sannolikhetsfördelningar (figur 4 b).

Principen att omfamna osäkerheter har särskild betydelse för klimatanpassning. Man bör vara uppmärksam på vilken osäkerhetsbeskrivning som används i underlagen (t.ex. från IPCC) och vara medveten om problemen som kan uppstå i att överföra informat-

ion från ett paradigm till ett annat. Även om det rent teoretiskt går att gå från paradigmet om multipla framtider (scenarier) till paradigmet om kvantifierbar osäkerhet (sannolikheter) så är det mycket svårt i praktiken. Att göra bra expertbedömningar av subjektiva sannolikheter är svårt, och det finns anledning att misstänka att många viktiga samhällsbeslut bygger på dåligt genomförda expertbedömningar (Morgan 2014). Det bästa är antagligen att undvika att göra subjektiva sannolikhetsbedömningar genom att använda sig av metoder som klarar av att hantera en beskrivning av osäkerheter enligt paradigmet om multipla framtider, vilket alltså många robusta beslutsmetoder är speciellt anpassade för.

Principen att omfatta osäkerheter innebär också man bör ta mer hänsyn till riskerna för mer extrema utfall. Extrema utfall är generellt sett väldigt dåligt undersökta av forskningen. Därför är det svårt att finna en vetenskaplig konsensus om dessa. Ett tydligt exempel på svårigheterna med att bedöma mer extrema utfall är frågan hur mycket havsytan kommer att höja sig i framtiden till följd av klimatförändringarna. I figur 5 visas det högsta värde som redovisas för havsnivåhöjning fram till år 2100 i de fem IPCC-rapporterna, samt ett urval av inflytelserika studier om havsnivåhöjning som publicerats under de senaste åren.



Figur 5 Det högsta värde som redovisas för havsnivåhöjning fram till år 2100 i de fem IPCC-rapporterna (blåa staplar), samt ett urval av inflytelserika studier om havsnivåhöjning som publicerats under de senaste åren (röda staplar). Observera att för den fjärde utvärderingsrapporten från IPCC AR4 redovisas två siffror (AR4 och AR4+). Studierna försöker typiskt sett inte göra en bedömning av det värsta fallet, utan de högsta värdena är beroende av olika antaganden för olika studier, vilket gör det svårt att jämföra dem. Se Bilaga 2 för källor till siffrorna.

Om vi som exempel tar IPCC:s senaste rapport, där det högsta värdet som anges är 98 centimeters havsnivåhöjning som ett globalt genomsnitt fram till år 2100 för det högsta utsläppscenariot (RCP8.5) (Church m.fl. 2013a). Detta har i vissa fall tolkats som att IPCC:s bedömning är att det värsta fallet för havsnivåhöjning fram till år 2100 är 1 meter. Författarna till IPCC:s havsnivåka-

pitel har därför varit tvungna att förtydliga att det angivna intervallet inte alls innefattar värsta fallet, och att sannolikheten för att havsnivån ligger *utanför* det angivna intervallet är ungefär en tredjedel (Church m.fl. 2013b). IPCC:s bedömning för framtida havsnivåer är dessutom angiven som en *projektion*, det vill säga att den gäller på villkor att ett specifikt scenario inträffar för framtida koncentrationer av växthusgaser i atmosfären (RCP8.5). Återigen ett exempel på hur klimatforskningen presenterar osäkerheten enligt paradigmet om multipla framtider. IPCC säger alltså inget om vad sannolikheten är för att havet stiger mer än en meter, utan bara sannolikheten givet ett visst utsläppsscenario.

Frågan om vilket som är det värsta fallet för områden med stor vetenskaplig osäkerhet bör ses som en form av riskbedömning. Därför är det extra viktigt att man är tydlig med hur man presenterar osäkerheter i det vetenskapliga underlaget (Hansson & Aven 2014).

3.2 Princip 2: Börja med beslutssituationen

Litteraturen om robust beslutsfattande för klimatanpassning brukar skilja mellan två olika grundläggande typer av processer för beslutsfattande utifrån den huvudsakliga riktningen av informationsflödet. Här benämns de *top-down* och *bottom-up* (liksom i Knaggård 2015) men andra namn används också i litteraturen.

Top-down-processer börjar med detaljerade analyser av kunskapsläget och osäkerheter, som därefter används som underlag för beslut. Top-down-processen är så vanlig i klimatsammanhang att den troligen ofta är underförstådd (och därför namnlös). IPCC:s stora utvärderingsrapporter kan ses som uppbyggda enligt en top-down-process, där en arbetsgrupp först tar fram projekt-

ioner för framtida klimatförändringar som sedan används av de två andra arbetsgrupperna för att analysera effekterna och möjliga policyåtgärder för dessa (Jones m.fl. 2014).

En typisk top-down-process inom klimatområdet börjar med att man tar fram globala klimatprojektioner, som skalas ned till regionala projektioner och därefter används för att analysera sårbarheter och ge underlag för beslut. Den svenska klimat- och sårbarhetsutredningen (Statens offentliga utredningar 2007) är ett exempel på en top-down-process. Traditionell scenarioplanering (t.ex. van der Heiden 2005) kan också ses som en top-down-process (Maier m.fl. 2016).

En bottom-up-process börjar istället med beslutssituationen och utgår från beslutsfattarnas kunskap om relevanta sårbarheter och lösningar. Denna kunskap används som utgångspunkt för att identifiera kritiska tröskelvärden där lösningarna inte längre fungerar. Först därefter görs en mer detaljerad analys av osäkerheter, men då fokuserat på relevanta områden.

Ett exempel på en bottom-up-process är uppgraderingen av den stora Themsensbarriären som skyddar Londonområdet mot höga vattennivåer i floden Themsen. Arbetet med att göra en plan för Themsensbarriären började med att sårbarheten för den existerande barriären utvärderades. Därefter testades känsligheten för extrema klimatscenarier, och kritiska tröskelvärden och initiala lösningar identifierades (Ranger m.fl. 2010). De initiala extremscenarierna och lösningarna utvecklades över tiden. Initialt användes ett värsta fall på + 4,2 meters lokalt högvattenstånd, detta reviderades sedan ned till + 2,7 meter baserat på en mer detaljerad expertbedömning (Ranger m.fl. 2013). Processen utvecklade en robust strategi, som bestod av flexibla lösningar (se nästa av-

snitt). (Se också Bilaga 1 för fler exempel på robust beslutsfattande med bottom-up-metoder).



Figur 6 Themsenbarriären. Bild: Marc Pinter/Shutterstock.

Top-down-processer kan fylla viktiga funktioner för att till exempel identifiera olika områden eller sektorer i samhället som är särskilt sårbara för klimatförändringar. Top-down-processer kan också ha som mål att hitta robusta lösningar. Om till exempel i förväg definierade scenarier används så är ett vanligt mått för robusthet andelen scenarier där en strategi fungerar tillfredsställande. I en bottom-up-process så är dock inte scenarierna givna i förväg utan genereras i processen genom en kombination av parametrar som beskriver osäkerhet i beslutssituationen och omvärlden. För bottom-up-metoder definieras istället robusthet ty-

piskt som ett mått på hur stor variation av parametrar som en strategi kan klara av tillfredsställande.

Principen att börja med beslutssituationen innebär att följa en bottom-up-process. Även om en top-down-process också kan användas för robust beslutsfattande så är det tydligt att litteraturen om robusta beslutstödsmetoder i huvudsak rekommenderar bottom-up-processer när osäkerheterna är svåra eller djupa och bäst beskrivs som multipla troliga framtider (Jones m.fl. 2014). Orsaken är att top-down-processer generellt sett har svårare att hantera situationer med stor osäkerhet.

Lempert & Kalra (2011) pekar ut följande problem för top-down-processer i situationer av stor osäkerhet:

- De kan innebära att osäkerheterna tonas ned, om beslutsprocessen inte klarar av att hantera alltför stora osäkerheter.
- De gör det svårare att skapa konsensus för ett beslut, om intressenter har olika intressen och olika förväntningar om framtiden.
- De gör det svårare att ta hänsyn till viktig information hos beslutsfattarna, som skulle behöva komma in i ett tidigare stadium i framtagandet av kunskapsunderlagen.

Ytterligare en nackdel med top-down-processer är att de scenarier som används inte alltid är anpassade för den aktuella beslutssituationen. En bottom-up-process utgår istället från beslutssituationen och kan anpassa de scenarier som används så att de stödjer letandet av robusta strategier som kan hantera större osäkerhet. Det finns förstås också problem med bottom-up-processer, vilket diskuteras i avsnitt 4.

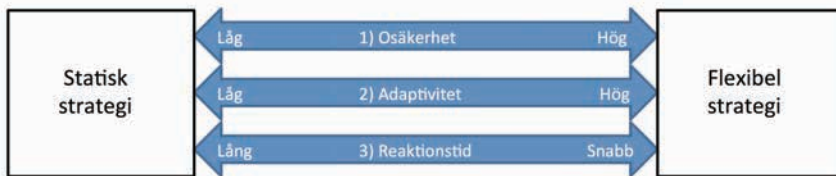
3.3 Princip 3: Leta robusta lösningar

Målet med robust beslutsfattande är att hitta robusta lösningar eller strategier. Robusta strategier kan delas upp i två huvudtyper: *statiska* och *flexibla* (Maier m.fl. 2016).

En statistisk robust strategi är en i förhand bestämd lösning som fungerar tillfredsställande under många olika framtidsscenarier. Ett exempel på en robust statistisk strategi för att skydda en teknisk installation mot översvämningar är att bygga den på en tillräckligt stor höjd (med säkerhetsmarginal) så att den inte kan bli översvämmad under sin livstid.

En flexibel (eller adaptiv) robust strategi består av flera olika, flexibla alternativ som specialanpassats för att passa för olika framtida omständigheter, och där beslutsfattaren har en valmöjlighet att byta mellan dem beroende på hur framtiden utvecklar sig. De enskilda lösningarna i en flexibel strategi är inte nödvändigtvis robusta i sig själva, men tillsammans skapar de en flexibel strategi. Ett exempel på en flexibel strategi för att bygga ett översvämningsskydd vid havet är att förbereda olika handlingsvägar beroende på hur mycket havsytan stiger. Planeringen av Themsenbarriären använde sig av en flexibel strategi, där flera olika paket av åtgärder identifierades beroende på hur mycket havet stiger (Ranger m.fl. 2013).

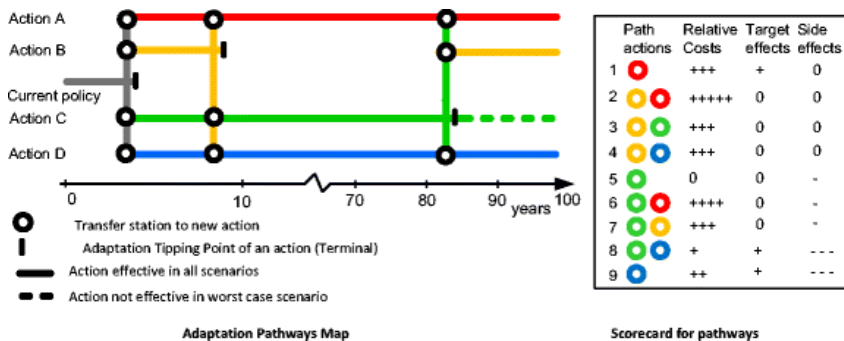
När bör man då välja en statistisk strategi och när är det bättre med en flexibel strategi? Det beror förstås på många situationsspecifika faktorer, men Maier m.fl. (2016) menar att valet mellan en statistisk eller flexibel strategi tenderar att påverkas av tre faktorer: hur stor osäkerheten är över planeringshorisonten, hur enkelt det går att ändra lösningar och hur lång tid det tar att implementera lösningar i förhållande till hur snabba förändringar det finns (se figur 7).



Figur 7 Faktorer som påverkar valet av en statisk eller flexibel strategi (Anpassad från Maier m.fl. 2016).

1. *Osäkerhet.* Om osäkerheten är stor är det ofta svårt att hitta statistiska lösningar som fungerar bra över alla möjliga utfall som inte innebär orimligt stora ekonomiska eller sociala kostnader. Därför tenderar flexibla strategier att vara mer lämpliga i situationer med stor osäkerhet.
2. *Adaptivitet.* Om det enkelt går att ändra lösningar, till exempel genom att byta ut, avsluta eller utöka olika lösningar så finns det goda förutsättningar för en flexibel strategi. Men om det är svårt att ändra en implementerad lösning, till exempel att flytta på infrastruktur i stor skala, så kan en statisk strategi vara att föredra.
3. *Reaktionsid.* Om det går snabbt att reagera på förändringar i omvärlden så är ofta en flexibel strategi bra. Om det tvärtom tar lång tid att genomföra förändringar jämfört med hur omvärlden förändras så passar det bättre med en statisk robust strategi.

Ett exempel på hur man kan utvärdera olika flexibla lösningar är "Adaptation Pathways-map" som visar olika beslutsalternativ och olika beslutspunkter över tiden (se figur 8).



Figur 8 Ett exempel på en så kallad Adaptation Pathways-karta (vänster) och ett utvärderingskort, som visar kostnader och nyttor över de 9 olika möjliga vägarna genom kartan. Kartan visar att nuvarande lösning ("current policy") inte längre fungerar efter fyra år, och då måste en av fyra alternativa vägar väljas (alternativ A, B, C eller D). Alternativ A och D är statistiskt robusta lösningar som fungerar bra över 100 år över alla osäkra scenarier. Alternativ B och C är flexibla lösningar. Alternativ B fungerar ytterligare 5 år, och sedan måste en annan lösning väljas. Alternativ C fungerar bra i cirka 85 år, och sedan måste en annan lösning sökas. Bild: Kwakkel m.fl. (2015).

Principen att leta robusta lösningar innebär alltså att försöka hitta statistiska eller flexibla lösningar som minskar sårbarheten för osäkerhet. Men ibland kan det vara svårt att klassificera en strategi som rent statisk eller rent flexibel. Vad ska man till exempel kalla en strategi som består av ett helt paket av åtgärder? Åtgärderna kan till exempel vara bättre övervakningsrutiner, utbyte av data, institutionella reformer, att överbrygga ansvarsområden som ligger i "stuprör" inom och mellan olika organisationer, mer katastrofförberedelser och förändrade incitamentsstrukturer, till exempel genom försäkringar och lagar (Garcia m.fl. 2014). En sådan strategi med ett batteri av åtgärder är på sätt och vis statisk, eftersom den bygger på att införa åtgärder som inte i sig själva förändras över tiden, men samtidigt innebär åtgärderna att flexibiliteten ökar.

Hur man bär sig åt för att hitta robusta strategier är en konst i sig, och även om man kan luta sig mot tumregler så kommer det alltid

att finnas situationsspecifika faktorer som har stor betydelse. Själva processen att försöka hitta robusta flexibla eller statiska strategier kan också bidra till kreativitet och genom robust beslutsfattande kan man skapa nya typer av lösningar som man annars inte hade tänkt på.

4. Begränsningar med robust beslutsfattande

Även om det finns många fördelar med att använda principerna för robust beslutsfattande och robusta beslutstödsmetoder så bör man också vara medveten om problem och begränsningar. Här presenteras några kritiska aspekter som diskuteras i litteraturen.

Ett första problem är att det finns många olika sätt att definiera vad som menas med en robust strategi, och det kan vara svårt att säga att ett robusthetsmått är bättre än något annat (Aven 2013, Giuliani & Castelletti 2016). Detta är relaterat till vad som har kallats meta-problemet att ”besluta hur man ska besluta” (Herman m.fl. 2015). Aven (2014, sid 153) menar att eftersom det finns så många olika sätt att definiera robusthet, och ingen självklart är mer naturlig eller bättre än någon annan, så måste man vara försiktig i att dra slutsatser utifrån en enskild robusthetsanalys. Aven förespråkar att en beslutsprocess (oavsett om den baseras på robusta beslutstödsmetoder eller inte) alltid bör innefatta ett moment av kritisk reflektion kring beslutsunderlagen, inklu-

sive vetenskapliga osäkerheter och eventuella mått på måluppfyllelse (såsom robusthet eller optimalitet).

Det finns också en risk att robusthet används som ett svepskäl för att undvika besvärliga men nödvändiga beslut. Bradley & Steele (2015) menar till exempel att idén om att skjuta på beslut till framtiden många gånger minskar snarare än ökar möjligheterna, på grund av förändringar i bakgrundsmiljön. Preston m.fl. (2013) hävdar att riktiga ”no-regret”-lösningar knappast existerar och att de kanske inte alls är lämpliga för att hantera de stora utmaningarna inför klimatförändringarna. Det kan också vara svårt i praktiken att använda sig av robusta beslutsstödsmetoder. En översikt över ekonomiska beslutsstödsmetoder för klimatanpassning (Watkiss m.fl. 2014) fann att de ofta är väldigt resurskrävande och ställer höga krav på kvantitativ information och expertis.

Det finns dock de som hävdar att det går att tillämpa light-varianter av robusta beslutsstödsmetoder (t.ex. Hallegatte m.fl. 2012, Lempert & Kalra 2011, McDaniels m.fl. 2012). De tre principer som presenterades i förra avsnittet skulle kunna utgöra grunden för en sådan light-variant. Men det finns också risker med light-varianter. En seriös tillämpning av principerna för robust beslutsfattande i en beslutsprocess kan innebära motstånd hos de inblandade. En mer etablerad beslutsstödsmetod kan då vara ett stöd i att förändra hur man vanligen tänker och arbetar.

Det finns många olika metoder för robust beslutsfattande och det pågår en intensiv utveckling och forskning av dessa. En tydlig trend man kan se i litteraturen är att olika metoder kombineras och slås ihop. Till exempel så har metoderna *Adaptive policy-making*, *Adaptation tipping points* och *Adaptation Pathways* nyligen slagits ihop till en metod som kallas *Dynamic policy adaptive pathways (DAPP)*. *Decision Scaling* har kombinerats med

Adaptation Pathways till Climate Risk Informed Decision Analysis (CRIDA) (se Bilaga 1).

Den snabbt växande litteraturen tyder på ett internationellt ökande intresse för robust beslutsfattande för klimatanpassning. Denna rapport och det forskningsprogram den är framtagen inom är en del av detta ökade intresse, och förhoppningsvis kommer fler aktörer också i Sverige att vilja försöka använda robust beslutsfattande för att bättre hantera osäkra klimatförändringar.

Referenser

- Aven, T. (2011). On different types of uncertainties in the context of the precautionary principle. *Risk Analysis*, 31(10), s. 1515–1525.
- Aven, T. (2013). On how to deal with deep uncertainties in a risk assessment and management context. *Risk Analysis*, 33(12), s. 2082–2091.
- Aven, T. (2014). *Risk, Surprises and Black Swans: Fundamental Ideas and Concepts in Risk Assessment and Risk Management*. Taylor & Francis.
- Bradley, R., & Steele, K. (2015). Making Climate Decisions. *Philosophy Compass*, 10(11), s. 799–810.
- Christensen, J. H., m.fl. (2007) Regional Climate Projections. i Solomon, S., D., m.fl. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Church, J. A., m.fl. (2013a). Sea Level Change. i Stocker, T.F., m.fl. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Church, J. A., mf.l. (2013b). Sea-Level Rise by 2100. *Science*, 342, s. 1445–1447.
- Dessai, S. & Wilby, R. (2011). *How Can Developing Country Decision Makers Incorporate Uncertainty about Climate*

- Risks into Existing Planning and Policymaking Processes?*
World Resources Report Uncertainty Series.
<http://www.worldresourcesreport.org>
- García, L.E., m.fl. (2014). *Beyond Downscaling: A Bottom-Up Approach to Climate Adaptation for Water Resources Management*. AGWA Report 01. World Bank.
- Giuliani, M., & Castelletti, A. (2016). Is robustness really robust? How different definitions of robustness impact decision-making under climate change. *Climatic Change*, 135(3), s. 409–424.
- Hansson, S. O., & Aven, T. (2014). Is risk analysis scientific? *Risk Analysis*, 34(7), s. 1173–1183.
- Hallegatte, S. (2009). Strategies to adapt to an uncertain climate change. *Global Environmental Change*, 19(2), s. 240–247.
- Hallegatte, S., m.fl. (2012). *Investment decision making under deep uncertainty – application to climate change*. World Bank Policy Research Working Paper.
http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2143067
- Herman, J. D., m.fl. (2015). How Should Robustness Be Defined for Water Systems Planning under Change ?, 141(10), *Journal of Water Resources Planning and Management* 141.10 (2015): 04015012
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf
- Jones, R. N., m.fl. (2014). Foundations for decision making. i Field, C.B., m.fl. (red.) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth As-*

- essment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, s. 195–228.
- Kwakkel, J. H., m.fl. (2015). Developing dynamic adaptive policy pathways: a computer-assisted approach for developing adaptive strategies for a deeply uncertain world. *Climatic Change*, 132(3), 373–386.
- Knaggård, Å., (2015). Att fatta beslut för flera möjliga framtider. i Hall, M., m.fl. *Klimatsäkrat Skåne*. CEC Rapport Nr 02. Centrum för miljö- och klimatforskning, Lunds universitet, s 209–217.
- Lempert, R., & Kalra, N. (2011). Managing Climate Risks in Developing Countries with Robust Decision Making. World Resources Report Uncertainty Series.
http://www.wri.org/sites/default/files/uploads/wrr_lempert_and_kalra_uncertainty_.pdf
- Maier, H. R., m.fl. (2016). An uncertain future, deep uncertainty, scenarios, robustness and adaptation: How do they fit together? *Environmental Modelling & Software*, 81, 154–164.
- McDaniels, T., m.fl. (2012). Using Expert Judgments to Explore Robust Alternatives for Forest Management under Climate Change. *Risk Analysis*, 32(12), s. 2098–2112.
- Mendoza, G., m.fl. (red.) (2016) *Water Resources Planning & Design for an Uncertain Future. Climate Risk Informed Decision Analysis (CRIDA)*. <http://alliance4water.org>
- Morgan, M. G., (2014). Use (and abuse) of expert elicitation in support of decision making for public policy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(20), s. 7176–7184.
- Preston, B. L., m.fl. (2013) Climate adaptation heuristics and the science/policy divide. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, s. 467–497.
- Ranger, N., m.fl. (2010). *Adaptation in the UK: a decision-making process*. Policy Brief. Grantham Research Institute on

- Climate Change and the Environment and Centre for Climate Change Economics and Policy.
- Ranger, N., m.fl. (2013). Addressing “deep” uncertainty over long-term climate in major infrastructure projects: four innovations of the Thames Estuary 2100 Project. *EURO Journal on Decision Processes*, 1(3–4), s. 233–262.
- Spiegelhalter, D. J., & Riesch, H. (2011). Don’t know, can’t know: embracing deeper uncertainties when analysing risks. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1956), s. 4730–4750.
- Statens offentliga utredningar (2007), *Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter*, SOU 2007:60, Statens offentliga utredningar.
- van der Heijden, K., 2005. Scenarios: the Art of Strategic Conversation (2:a upplagan). John Wiley & Sons.
- Walker, W. E., m.fl. (2003). Defining Uncertainty: A Conceptual Basis for Uncertainty Management in Model-Based Decision Support. *Integrated Assessment*, 4(1), s. 5–17.
- Walker, W. E., m.fl. (2013). Adapt or perish: A review of planning approaches for adaptation under deep uncertainty. *Sustainability (Switzerland)*, 5(3), s. 955–979.
- Watkiss, P., m.fl. (2014). The use of new economic decision support tools for adaptation assessment: A review of methods and applications, towards guidance on applicability. *Climatic Change*, 132(3), s. 401–416.
- Weaver, C. P., m.fl. (2013). Improving the contribution of climate model information to decision making: the value and demands of robust decision frameworks. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 4(1), s. 39–60.
- Wilby, R. L., & Dessai, S. (2010). Robust adaptation to climate change. *Weather*, 65(7), s. 176–180.

Bilaga 1: Mer att läsa

Översiktsartiklar och rapporter

Climatic Change October 2015, Volume 132, Issue 3.
<http://link.springer.com/journal/10584/132/3/page/1>

Specialnummer av tidskriften Climatic Change om osäkerhet och klimatanpassning.

Cox, L. A. T. (2012). Confronting Deep Uncertainties in Risk Analysis. *Risk Analysis*, 32(10), s. 1607–1629.

Går igenom 10 kvantitativa metoder för beslutsfattande under stor osäkerhet. Fokus är inte klimatanpassning, utan snarare traditionell riskanalys.

Herman, J. D., m.fl. (2015). How Should Robustness Be Defined for Water Systems Planning under Change ?, *141(10), Journal of Water Resources Planning and Management* 141.10 (2015): 04015012

Går igenom olika bottom-up-metoder för hantering av osäkerhet och jämför dessa.

Jones, R.N., m.fl. (2014). Foundations for decision making. i Field, C.B., m.fl. (red.) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press, s. 195–228.

Ett kapitel av den senaste IPCC-rapporten som har ett avsnitt som särskilt diskuterar robust beslutsfattande för klimatanpassning.

Hallegatte, S., m.fl. (2012). *Investment decision making under deep uncertainty – application to climate change*. World Bank Policy Research Working Paper.

http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2143067

En rapport från Världsbanken som presenterar olika metoder för beslutsfattande under osäkerhet och ger flera exempel på hur de kan tillämpas inom klimatanpassning.

Knaggård, Å., (2015). Att fatta beslut för flera möjliga framtider. i Hall, M., m.fl. *Klimatsäkrat Skåne*. CEC Rapport Nr 02. Centrum för miljö- och klimatforskning, Lunds universitet, s 209–217.

Ett kapitel som ger en kortfattad översikt över bottom-up-metoder för robust beslutsfattande under stor osäkerhet.

Kwakkell, J. H., m.fl. (2016). Coping with the Wickedness of Public Policy Problems: Approaches for Decision Making under Deep Uncertainty. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142(3).

En kort översikt om robusta beslutsstödsmetoder och hur de kan tillämpas på vattenresursplanering.

Walker, W. E., m.fl. (2013). Adapt or perish: A review of planning approaches for adaptation under deep uncertainty. *Sustainability (Switzerland)*, 5(3), s. 955–979.

En omfattande översikt över olika metoder för beslutsfattande under osäkerhet, hur de förhåller sig till varandra och deras historiska rötter.

Weaver, C. P., m.fl. (2013). Improving the contribution of climate model information to decision making: the value and demands of robust decision frameworks. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 4(1), s. 39–60.

Översiktsartikel över robusta beslutsstödsmetoder och vilka nya krav de ställer på framtagandet av information om klimatförändringar.

Olika metoder och fallstudier

Brown, C., m.fl. (2011). A decision-analytic approach to managing climate risks: Application to the upper great lakes. *Journal of the American Water Resources Association*, 47(3), s. 524–534.

Beskriver decision-scaling-metoden.

Mendoza, G., m.fl. (red.) (2016) *Water Resources Planning & Design for an Uncertain Future. Climate Risk Informed Decision Analysis (CRIDA)*. <http://alliance4water.org>

En omfattande rapport som beskriver CRIDA-metoden, som är en kombination av flera robusta beslutsstödsmetoder och ger exempel från vattenresurshantering.

Kwadijk, J. C. J., m.fl. (2010). Using adaptation tipping points to prepare for climate change and sea level rise: a case study in the Netherlands. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1(5), s. 729–740.

Beskriver metoden Adaptation tipping points.

Lempert, R. (2012). Scenarios that illuminate vulnerabilities and robust responses. *Climatic Change*, 117(4), 627–646.

Beskriver metoden Robust decision-making (RDM).

Haasnoot, M., m.fl. (2013). Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. *Global Environmental Change*, 23(2), s. 485–498.

Beskriver metoden Dynamic adaptive policy pathways.

Poff, N. L., m.fl.. (2015). Sustainable water management under future uncertainty with eco-engineering decision scaling. *Nature Climate Change*, (September), doi:10.1038/nclimate2765

Beskriver metoden eco-engineering decision scaling.

Prudhomme, C., m.fl. (2010). Scenario-neutral approach to climate change impact studies: Application to flood risk. *Journal of Hydrology*, 390(3-4), s. 198–209.

Beskriver en så kallad scenarioneutral metod för att hantera översvämningsrisker.

Ranger, N., m.fl. (2013). Addressing “deep” uncertainty over long-term climate in major infrastructure projects: four innovations of the Thames Estuary 2100 Project. *EURO Journal on Decision Processes*, 1(3-4), s. 233–262.

Redovisar hur man hanterade osäkerheterna med havsnivåhöjning för att säkerställa funktionen vid uppgraderingen av Themsenbarriären.

Ranger, N., m.fl. (2010). *Adaptation in the UK: a decision-making process*.

En lite längre rapport som går igenom det bottom-up-ramverk för beslutsfattande om klimatanpassning som bland annat använts i Themsen 2100-projektet.

Bilaga 2: Källor till figur 5

Tabell 2 Detaljer och källor till de olika studierna om havsnivåhöjning i figur 5.

Namn	Högsta värde (cm)	År (referensår)	Antagande om utsläpps-scenario	Osäkerhetsparadigm a), b), c) eller d) = kombination av c och b	Källa
IPCC FAR	110	2100 (1990)	IPCC90A	c)	Warrick and Oerlemans 1990 (Figure 9.6, s. 277)
IPCC SAR	86	2100 (1990)	IS92a	c)	Warrick et al 1996 (Table 7.8, s. 381)
IPCC TAR	88	2100 (1990)	A1FI	c)	Church et al 2001 (s. 642)
IPCC AR4	59	2090–2099 (1980-1999)	A1FI	c)	Meehl et al 2007 (Table 10.7, s. 820)
IPCC AR4+	80	2100 (1980-1999)	A1FI	c)	Church et al 2011 (s. 133)
IPCC AR5	98	2100 (1986–2005)	RCP8.5	d)	Church et al 2013 (s. 1186)
Delta Commission 2008	110	2100	N/A	N/A	Delta Commission 2008 (s. 111)
Pfeffer et al 2008	201	2100	A1FI	c)	Pfeffer et al 2008 (s. 1 342)

Vermeer and Rahmstorf 2009	179	2100 (1990)	A1FI	d)	Vermeer and Rahmstorf 2009 (s. 21531)
Lowe et al 2009	250	2095 (1990)	N/A	d)	Lowe et al 2009 (s. 32)
Katsman et al 2011	115	2100 (1990)	A1FI	c)	Katsman et al 2011 (s. 631)
Sriver et al 2012	225	2100	RCP8.5	c)	Sriver et al 2012 (s. 898)
Parris et al 2012	200	2100 (1992)	N/A	b), c)	Parris et al 2012 (Table 2, s. 12)
NRC 2012	140	2100 (2000)	A1FI	c)	National Research Council 2012 (Table 5.2, s. 89)
Jevrejeva et al 2012	165	2100 (1980-2000)	RCP8.5	d)	Jevrejeva et al 2012 (Table 3, s. 17)
Miller et al 2013	270	2100 (2000)	RCP8.5	c)	Miller et al 2013 (s. 7)
Horton et al 2014	150	2100 (2000)	RCP8.5	d)	Horton et al 2014 (Table 1, s. 3)
Jevrejeva et al 2014	180	2100 (2000)	RCP8.5	d)	Jevrejeva et al 2014 (s. 4)

Referenser till tabell 2

- Church, J. A., et al., (2001) Changes in sea level. In *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noquer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, s. 639–693
- Church, J. A., Gregory, J. M., White, N. J., Platten, S. M., & Mitrovica, J. X. (2011). Understanding and projecting sea level change. *Oceanography*, 24(2), s. 130–143.
doi:10.5670/oceanog.2011.3
- Church, J.A., et al. (2013)a 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. et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Church, J. A., et al. (2013b) Sea-Level Rise by 2100. *Science*, 342, s. 1445–1447.
- Delta Commission, 2008. *Working together with water. A living land builds for its future* [online]. Findings of the Deltacommissie 2008. <http://www.deltacommissie.com/en/advie>
- Horton, B. P., S. Rahmstorf, S.E. Engelhart and A. C. Kemp, A. C. (2014). Expert assessment of sea-level rise by AD 2100 and AD 2300. *Quaternary Science Reviews*, 84, s. 1–6.
doi:10.1016/j.quascirev.2013.11.002
- Jevrejeva, S., Moore, J. C., & Grinsted, A. (2012). Sea level projections to AD2500 with a new generation of climate change

- scenarios. *Global and Planetary Change*, 80-81, s. 14–20.
doi:10.1016/j.gloplacha.2011.09.006
- Jevrejeva, S., Grinsted, A, & Moore, J. C. (2014). Upper limit for sea level projections by 2100. *Environmental Research Letters*, 9(10), 104008. doi:10.1088/1748-9326/9/10/104008
- Katsman, C. a., Sterl, A., Beersma, J. J., Brink, H. W., Church, J. a., Hazeleger, W., ... Weisse, R. (2011). Exploring high-end scenarios for local sea level rise to develop flood protection strategies for a low-lying delta – the Netherlands as an example. *Climatic Change*, 109(3-4), s. 617–645.
doi:10.1007/s10584-011-0037-5
- Lowe, J. A., Howard, T. P., Pardaens, A., Tinker, J., Holt, J., Wakelin, S., Milne, G., Leake, J., Wolf, J., Horsburgh, K., Reeder, T., Jenkins, G., Ridley, J., Dye, S., Bradley, S. (2009), *UK Climate Projections science report: Marine and coastal projections*. Met Office Hadley Centre, Exeter, UK.
- Meehl, G. A., et al. (2007), Global Climate Projections, in *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller, s. 747–845, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, New York, USA.
- Miller, K. G., Kopp, R. E., Horton, B. P., Browning, J. V, Kemp, A. C., & Al, M. E. T. (2013). A geological perspective on sea-level rise and its impacts along the U.S. mid-Atlantic coast. *Earth's Future*, s. 1–16. doi:10.1002/2013EF000135
- National Research Council. (2012) *Sea-Level Rise for the Coasts of California, Oregon, and Washington: Past, Present, and Future*. National Academies Press, 201 pp.

- Parris, A., P. Bromirski, V. Burkett, D. Cayan, M. Culver, J. Hall, R. Horton, K. Knuuti, R. Moss, J. Obeysekera, A. Sallenger, and J. Weiss. (2012) *Global Sea Level Rise Scenarios for the US National Climate Assessment*. NOAA Tech Memo OAR CPO-1.
- Pfeffer, W. T., J. T. Harper, and S. O'Neel (2008), Kinematic constraints on glacier contributions to 21st-century sea-level rise. *Science* 321, s. 1340–1343.
- Sriver, R. L., Urban, N. M., Olson, R., & Keller, K. (2012). Toward a physically plausible upper bound of sea-level rise projections. *Climatic Change*, 115(3-4), s. 893–902. doi:10.1007/s10584-012-0610-6
- Warrick, R.A. and J. Oerlemans, (1990) Sea Level Rise, In: *Climate Change, The IPCC Assessment*. J.T. Houghton, G.J. Jenkins and J.J. Ephraums (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, s. 257–281.
- Warrick, R., Provost, C., Meier, M., Oerlemans, J., & Woodworth, P. (1996). Chapter 7 (Changes in Sea Level). *2nd Assessment report of the intergovernmental Panel on Climate Change*, Houghton J, et al.(Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Vermeer, M., & Rahmstorf, S. (2009). Global sea level linked to global temperature. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(51), s. 21 527–21 532. doi:10.1073/pnas.0907765106

RAPPORT
STOCKHOLM 2016

TRITA-IM 2016:02
ISSN 1402-7615