

Robust översvämningshantering under osäkerhet i framtida förtätning och klimatförändring

Ett förslag på beslutsanalys

Hannah Rosenqvist & Tove Rydén Sonesson

Division of Risk Management and Societal Safety
Lund University, Sweden

Riskhantering och samhällssäkerhet
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet

Report 5039, Lund 2017

Robust översvänningshantering under osäkerhet i framtida förtätning och klimatförändring

Ett förslag på beslutsanalys

Hannah Rosenqvist & Tove Rydén Sonesson

Lund 2017

Titel

Robust översvämningshantering under osäkerhet i framtida förtätning och klimatförändring
– Ett förslag på beslutsanalys

Författare

Hannah Rosenqvist & Tove Rydén Sonesson

Report 5039

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVRH-5039—SE

Number of pages: 148

Illustrations: 28

Sökord

Klimatförändringar, scenarier, förtätning, djup osäkerhet, robust beslutsfattande, beslutsanalys, MKA, TOPSIS, pluviala översvämningar

Keywords

Climate change, scenarios, urban densification, deep uncertainty, robust decision making, decision analysis, MCDA, TOPSIS, pluvial flooding

Abstract

The outcomes of flood management are uncertain since climate change and urban densification are expected to result in higher amounts of surface runoff, and both these changes are subject to uncertainty. When uncertainty is deep, there is a need for strategies to treat uncertainty, e.g. taking the limitations of quantification by probabilities into account, and to guide decisions to be robust to uncertainty.

In this masters thesis, a multi-criteria decision analysis (MCDA) is derived for comparing flood management measures, including their robustness to uncertainty. Performances of management measures are assessed based on five decision criteria evaluated under six scenarios, representing different states of urban densification and climate change, and six decision rules, testing the sensitivity to how uncertainty is taken into account. The resulting robust decision analysis was applied as a case study on an urban area in the municipality of Lund, Sweden.

© Copyright: Riskhantering och samhällssäkerhet, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2017.

Riskhantering och samhällssäkerhet
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

<http://www.risk.lth.se>

Telefon: 046 - 222 73 60
Telefax: 046 - 222 46 12

Division of Risk Management and
Societal Safety
Faculty of Engineering
Lund University
P.O. Box 118
SE-211 00 Lund, Sweden

<http://www.risk.lth.se>

Telephone: 046 - 222 73 60
Fax: 046 - 222 46 12

Summary

Worldwide, the processes of urbanisation and urban densification are growing stronger and the percentage of people living in cities are continuously increasing. Urbanisation, particularly as urban densification, tends to result in an increased amount of impervious surfaces, i.e. a decrease in natural infiltration. Moreover, there is a widespread consensus among scholars that climate change, in a Swedish context, will result in higher temperatures and more extreme precipitation. The processes of climate change and urban densification might thus result in a substantially increased amount of surface runoff in urban areas, potentially causing more extensive pluvial floods that affect a larger amount of people and values. The need for flood risk management to cope with future climate conditions is thus pressing. Both climate change predictions and predictions regarding social, economic and political processes such as urban densification, are characterised by deep uncertainty. Decision makers are thus in need of strategies to treat uncertainty in order to make decisions that are robust to uncertainty.

In an attempt to provide a multifaceted basis for decision making a multi-criteria decision analysis (MCDA) was derived for comparing flood management measures, including their robustness to uncertainty. Five criteria were identified and quantified as a basis for comparison: quality of life, flexibility, cost, surface area, and excess runoff volume. The performance of the measures was then assessed based on these criteria evaluated under six scenarios, representing a combination of two climate change and three densification scenarios, and six decision rules. The purpose of the decision rules was to test the sensitivity to how uncertainty is taken into account in the decision making process.

A case study, aiming to evaluate the sufficiency of the analysis, was conducted for an area in the municipality of Lund. In choosing the area characteristic requirements were an imminent flood issue and existing plans for urban densification. The case study indicated that the analysis takes into account the aspects that was deemed important and could make up a good basis for decision making.

As decision makers and other stakeholder were not consulted throughout the analysis no attempt was made to map out their preferences in order to weight the criteria. Instead a separate analysis, studying the effect of different weights, was conducted. From this analysis the conclusion was drawn that how weights are set could alter the results considerably. Thus further studies should consist of mapping out and incorporating stakeholders in the analysis process. Additional supplementary research could include deriving a method for identifying alternatives as well as conducting a spatial analysis of the effects of climate change, densification and flood measures on the excess surface runoff.

Sammanfattning

Det råder idag starka drivkrafter mot urbanisering och förtätning runt om i världen. Samtidigt finns en konsensus bland forskare att vi inom en relativt snar framtid kommer stå inför ett förändrat klimat. Effekterna av dessa förändringar antas, i en svensk kontext, innebära ett varmare klimat med kraftigare och mer frekventa skyfall. Kombinationen av kraftigare skyfall och tätare städer med större andel hårdgjorda ytor förväntas leda till att uppkomsten och effekterna av pluviala översvämningar kommer öka. Detta innebär en ökad riskbild och behov av större insatser i form av översvämningsriskhantering. Då stora osäkerheter präglar prognoser över framtida klimateffekter och förtätning behövs stöd för att strukturerade och effektiva beslut kring översvämningsåtgärder ska kunna tas.

En beslutsanalys som bygger på multikriterieanalys (MKA) under djup osäkerhet har därför tagits fram. MKA valdes för att kunna inkorporera dels kostnad och vattenhanteringskapacitet dels mjukare värden såsom livskvalitet och andra mervärden. I analysen tas åtgärdernas nyttomått fram genom en sammanvägning av dess prestationsmått med avseende på fem kriterier under sex scenarier, två klimatscenarier samt tre förtätningsscenarier, och sex beslutsregler för att hitta det mest robusta alternativet under osäkerhet.

För att utvärdera beslutsanalysens lämplighet och användbarhet testades den på ett fysiskt område i västra Lund som har översvämningsproblematik samt står inför ett stadsomvandlingsprojekt där Lunds kommun planerar att förtäta området.

Resultaten visade att beslutsanalysen kan vara lämplig för att fatta beslut om översvämningsåtgärder då den fångar in både värden som kostnad och vattenhanteringskapacitet men också flexibilitet, ytanspråk och mervärden för livskvalitet. För att fungera som ett verkligt beslutsunderlag krävs dock mer återkoppling från beslutsfattare och andra intressenter. Beslutsfattarens preferenser ska speglas av en viktning av kriterierna vilket inte ingått i detta examensarbete. Däremot genomfördes en känslighetsanalys på viktning vilken visade att vikterna spelade stor roll för den slutliga rankingen av åtgärdsalternativen. En metod för att identifiera åtgärdsalternativ bör också utvecklas för att komplettera beslutsanalysen. Slutligen skulle en spatial analys av åtgärderna i samband med översvämningskartering vidare förbättra metoden och ge ett resultat som bättre speglar verkligheten.

Förord

Denna rapport är resultatet av ett examensarbete om 30 högskolepoäng som genomförts inom det avslutande civilingenjörsprogrammet Riskhantering vid Lunds tekniska högskola. Arbetet bidrar till forskningsprojektet SUrF (*Sustainable Urban Flood Management*) vid Lunds universitet.

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Ullrika Sahlin på Centrum för miljö- och klimatforskning vid Lunds Universitet för all värdefull hjälp och tilltro till vår förmåga att genomföra projektet.

Ett stort tack till Johanna Sörensen och Rolf Larsson på Teknisk Vattenresurslära för att ni svarat på frågor om översvämningar och peppat oss med ert intresse i arbetet.

Vi vill också tacka Carolina Lundberg och Ola Svensson på Lunds kommun som visat intresse i vårt arbete, svarat på frågor och hjälpt oss att få tillgång till information och data för att kunna genomföra fallstudien. Likaså vill vi tacka Kristina Hall på VA SYD för information kring översvämningskarteringen.

Tack också till Lina Hellström och Sofie Larsson på Region Skåne för att ni tog er tid att diskutera er verksamhet och några av de utmaningar regionen står inför.

Slutligen vill vi också tacka Per Rydén för den grundliga genomläsningen och värdefulla kommentarer kring grammatik, stavning och skillnaden mellan tankstreck och bindestreck.

Lund, mars 2017

Hannah Rosenqvist
hannah.rosenqvist@hotmail.com

Tove Rydén Sonesson
tove.ryden.sonesson@gmail.com

Innehåll

| | | |
|----------|--|----------|
| I | Inledning, bakgrund och teori | 1 |
| 1 | Inledning | 2 |
| 1.1 | Bakgrund | 2 |
| 1.2 | Syfte och målsättning | 4 |
| 1.3 | Utgångspunkter och avgränsningar | 5 |
| 1.4 | Angreppssätt | 6 |
| 1.5 | Överblick | 7 |
| 2 | Teori | 9 |
| 2.1 | Design science research | 9 |
| 2.2 | Osäkerhet | 10 |
| 2.2.1 | Indelning av osäkerheter | 10 |
| 2.2.2 | Djup osäkerhet | 12 |
| 2.3 | Klimatscenarier | 13 |
| 2.3.1 | Klimatmodeller | 14 |
| 2.4 | Begreppet robusthet | 16 |
| 2.5 | Beslutsanalys | 17 |
| 2.5.1 | Multikriterieanalys | 18 |
| 2.5.2 | MKA-processen | 19 |
| 2.6 | Regler för beslutsfattande under osäkerhet | 23 |
| 2.6.1 | Dominansprincipen | 24 |
| 2.6.2 | Maximin-regeln | 25 |
| 2.6.3 | Maximax-regeln | 25 |
| 2.6.4 | Hurwicz regel | 26 |
| 2.6.5 | Minimax regret-regeln | 26 |
| 2.7 | Förtätning | 27 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 2.8 | Pluviala översvämningar | 28 |
| 2.8.1 | Förändrad riskbild | 30 |
| 2.9 | Översvämningsskartering | 30 |
| 2.9.1 | Avrinningsmodellering | 30 |
| 2.9.2 | Olika typer av översvämningsskartering | 32 |
| II | Beslutsanalys | 35 |
| 3 | Översikt över beslutsanalys | 36 |
| 3.1 | Design science-perspektivet | 36 |
| 3.2 | Sammanfattning av beslutsanalysen | 36 |
| 4 | Systembeskrivning | 38 |
| 4.1 | Studieområdet | 38 |
| 4.2 | Robusthet och osäkerhet i systemmodellerna | 38 |
| 4.3 | Scenariokonstruktion | 39 |
| 4.3.1 | Förtätningsscenarier | 40 |
| 4.3.2 | Klimatscenarier | 41 |
| 4.4 | Åtgärder | 42 |
| 4.4.1 | Gröna tak | 43 |
| 4.4.2 | Öppna fördröjningsmagasin | 43 |
| 4.4.3 | Regnbäddar | 44 |
| 5 | Kriteriebildning | 46 |
| 5.1 | Brainstorming | 46 |
| 5.1.1 | Separera olika typer av mål | 48 |
| 5.1.2 | Skapa målhierarki | 49 |
| 5.1.3 | Pröva målen | 50 |
| 5.2 | Från mål till kriterium | 51 |
| 6 | Bedömningsmodeller | 52 |
| 6.1 | Livskvalitets- och flexibilitetsmått | 52 |
| 6.1.1 | Betygsfördelning | 52 |
| 6.1.2 | Livskvalitetsmått | 53 |
| 6.1.3 | Flexibilitetsmåtten | 55 |
| 6.2 | Kostnader | 60 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 6.3 | Ytanspråk | 61 |
| 6.4 | Beräkning av överskottsvolymer | 62 |
| 6.4.1 | Inverkan från förtätningsscenarierna | 63 |
| 6.4.2 | Översvämningsåtgärdernas inverkan | 64 |
| 6.4.3 | Slutgiltiga överskottsvolymer | 67 |
| 7 | Konsekvensanalys | 68 |
| 7.1 | TOPSIS | 68 |
| 7.1.1 | TOPSIS med intervalldata | 69 |
| 8 | Robusthetsanalys | 77 |
| III | Analys | 79 |
| 9 | Analys | 80 |
| 9.1 | Viktninganalys | 80 |
| 9.1.1 | Resultat från viktninganalysen | 81 |
| 9.1.2 | Målsökning för viktning | 85 |
| IV | Diskussion och slutsatser | 89 |
| 10 | Slutsatser och utvärdering | 90 |
| 10.1 | Kriteriernas lämplighet | 91 |
| 10.1.1 | Livskvalitet | 91 |
| 10.1.2 | Flexibilitet | 92 |
| 10.1.3 | Kostnad | 92 |
| 10.1.4 | Ytanspråk | 93 |
| 10.1.5 | Överskottsvolym | 94 |
| 10.2 | Detaljeringsgrad kontra användbarhet | 95 |
| 10.3 | Samvariation mellan kriterierna | 95 |
| 10.3.1 | Överskottsvolym och ytanspråk | 95 |
| 10.3.2 | Livskvalitets- och flexibilitetsmått | 96 |
| 10.4 | Hydraulisk modell | 96 |
| 10.5 | Metod för val av åtgärder | 97 |
| 10.6 | Involvering av beslutsfattare | 97 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 10.7 | Val av MKA-metod | 98 |
| 10.8 | Val av beslutsregler | 98 |
| 11 | Diskussion | 99 |
| 11.1 | Måluppfyllnad | 99 |
| 11.2 | Vidare forskning | 102 |
| 11.3 | Avslutande kommentarer | 103 |
| A | Bilagor | 111 |
| A.1 | Script | 111 |
| A.1.1 | Main-fil | 111 |
| A.1.2 | TOPSIS med intervalldata | 119 |
| A.1.3 | Maximin-kriteriet | 124 |
| A.1.4 | Maximax-kriteriet | 126 |
| A.1.5 | Hurwicz-kriteriet | 127 |
| A.1.6 | Minimax regret-kriteriet | 128 |
| A.1.7 | Läsa in Exceldataark för ark | 129 |
| A.2 | GIS - Volymberäkningar | 129 |
| A.3 | Datasammanställning | 130 |
| A.4 | Dominanstest | 132 |
| A.4.1 | Den osäkre beslutsfattaren | 132 |
| A.4.2 | Den sparsamme beslutsfattaren | 133 |
| A.4.3 | Den bostadsbyggande beslutsfattaren | 134 |
| A.4.4 | Den riskaverta beslutsfattaren | 135 |

Viktiga begrepp

| | |
|--------------------------|---|
| <i>Beslutsanalys</i> | Ett verktyg som ska utgöra ett stöd i och stärka den mänskliga beslutsprocessen. Exempel på beslutsanalyser är kostnads-nyttoanalys och MKA. |
| <i>Beslutsregel</i> | En beslutregel definieras i detta examensarbete som ett strukturerat sätt för beslutsfattare att ta beslut under osäkerhet. I arbetet har beslutsreglerna maximin, maximax, dominansprincipen, minimax regret och Hurwicz använts. |
| <i>Djup osäkerhet</i> | Djup osäkerhet uppstår när beslutsfattare inte kan komma överens om systemmodellen, sannolikheter för de osäkra parametrarna i systemmodellen och/eller värdefunktioner. Under djup osäkerhet används ofta scenarier och/eller intervall för att beskriva osäkerheterna i systemet. |
| <i>Dominansprincipen</i> | En beslutsprincip där man utgår ifrån att man aldrig bör välja ett alternativ som domineras av ett annat. Att ett beslutsalternativ dominerar ett annat innebär att dess sämsta utfall är bättre än det sämre alternativets sämsta. |
| <i>Flexibilitet</i> | Flexibilitet kopplas i detta examensarbete främst till de studerade åtgärderna. En åtgärd anses vara flexibel om den uppvisar stabilitet, reversibilitet, har billiga säkerhetsmarginaler och minskar bindningstiden för ett givet beslut. |
| <i>Förtätning</i> | Förtätning är en typ av urbanisering där staden växer inom ett redan exploaterat område. |

| | |
|------------------------|---|
| <i>Hurwicz regel</i> | En beslutsregel där hänsyn kan tas både till det bästa och det sämsta möjliga utfallet hos ett beslutsalternativ. Med hjälp av ett α -värde väljer man hur mycket det bästa respektive det sämsta utfallet värderas. Ett α -värde på 0.5 innebär lika vikt. |
| <i>Hårdgjorda ytor</i> | Hårdgjorda ytor är ytor där vatten inte kan infiltrera. En ökad mängd hårdgjorda ytor leder generellt till ökad ytavrinning. |
| <i>Intervall</i> | Intervall kan tillskrivas osäkra parametrar och variabler när kunskapsosäkerhet gör att det inte är möjligt att tilldela dem sannolikhetsfördelningar. |
| <i>Intressenter</i> | Intressenter är de aktörer, delar av allmänheten och beslutsfattare som kan anses ha ett intresse i en fråga, exempelvis översvänningshantering i ett område. |
| <i>Klimatmodeller</i> | Klimatmodeller är globala eller regionala förenklade modeller som sätts samman för att beskriva effekterna av möjlig framtida utveckling, så som klimatförändringar. Klimatmodeller kan exempelvis användas för att simulera framtida nederbörds mängder. |
| <i>Klimatscenarier</i> | Flera beskrivningar av möjliga utvecklingar av det framtida klimatet. Klimatscenarier beskrivs oftast i meteorologiska termer. |
| <i>Kriterium</i> | Ett definierat krav som ska uppfyllas för att en händelse ska accepteras. I detta arbete används kriterier för att jämföra olika beslutsalternativ. |
| <i>Maximax-regeln</i> | En beslutsregel där det bästa utfallet för varje alternativ plockas ut och det alternativ med bäst bästa utfall väljs. |
| <i>Maximin-regeln</i> | En beslutsregel som innebär att man plockar ut det sämsta utfallet för varje alternativ och väljer det alternativ med bäst sämsta utfall. |

| | |
|--------------------------------|--|
| <i>Minimax regret-regeln</i> | En beslutsregel som fokuserar på förlorade möjligheter. Det alternativ med minst alternativförlust väljs eftersom man då har minst att ångra vid ett negativt utfall. |
| <i>MKA</i> | Multikriterieanalys. En beslutsanalys som kan utvärdera flera motstridiga kriterier vid beslutsfattande. |
| <i>Pluviala översvämningar</i> | Översvämningar orsakade av skyfall. |
| <i>Robusthet</i> | Definieras i detta arbete som ett prestationsmått på okänslighet mot framtida tillstånd. |
| <i>Scenario</i> | En konsekvent och trovärdig beskrivning av ett möjligt framtida tillstånd. |
| <i>TOPSIS</i> | Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution. En multikriterieanalysmetod för att vikta samman olika prestationsmått och ranka beslutsalternativ utifrån detta värde. |
| <i>Urbanisering</i> | En förflyttning av människors bostadsplats från landsbygd till stadsområden. Förtätning är en form av urbanisering. |
| <i>Översvämningskartering</i> | En karta som visar vilka områden som hotas av översvämning vid givna vattenflöden eller skyfall. Kartering bygger ofta på en hydraulisk modell. |

Del I

Inledning, bakgrund och teori

1 | Inledning

I detta kapitel beskrivs examensarbetets bakgrund: drivkrafter mot förtätning och klimatförändringar samt hur dessa påverkar den framtida riskbilden med avseende på översvämnningar. Vidare presenteras dess syfte, målsättningar och avgränsningar mycket kortfattat. Det innehåller även, för att underlätta den vidare läsningen, en överblick i form av en kort sammanfattning av rapportens olika delar.

1.1 Bakgrund

Mänskliga aktiviteter såsom utsläpp av växthusgaser till följd av förbränning av fossila bränslen och förändring i markanvändning driver de globala klimatförändringarna. Hur det framtida klimatet kommer att se ut beror till stor del på hur utvecklingen av dessa drivkrafter fortlöper. Orsaken till klimatförändringar ligger alltså i stor utsträckning i hur vi bygger och utvecklar våra samhällen men man kan också säga att lösningen på problematiken finns i densamma. Att begränsa klimatförändringar är fortfarande möjligt men det krävs en drastisk förändring av hur vi lever våra liv samt det politiska klimatet (Hall, Lund och Rummukainen 2015).

Förändrad markanvändning är en mänsklig aktivitet som historiskt har och i framtiden förväntas få mycket stor inverkan på våra ekosystem och de ekosystemtjänster de producerar (Metzger m. fl. 2006). En av vår tids största drivkrafter till förändringar i markanvändningen är urbanisering (Eigenbrod m. fl. 2016) och majoriteten av de europeiska städerna uppvisar historiskt en kontinuerlig tillväxt. Urbaniseringens syfte har varit allt från att göra plats för fler invånare till att, i de städer där invånarantalet minskar, öka levnadsytan (Broitman och Koomen 2015; Haaland och Bosch 2015).

I jakten på att skapa fler och större levnadsytor uppstår i huvudsak två typer av effekter på befintliga ekosystemtjänster. För det första fås vid en omvandling av till exempel jordbruksmark till stadsmiljö en direkt minskning av ekosystemtjänsten. För det andra leder ökningen av populationen till högre tryck på de tjänster som

finns kvar (Eigenbrod m. fl. 2016). Utöver dessa effekter kan de mänskliga aktiviteter som bryter ner jordbruksmarken och klimateffekter leda till svårare förhållanden för det framtida jordbruket (Elgåker och Kaaman 2015).

Mot bakgrund av detta menar Elgåker och Kaaman (2015, s. 28) i sin rapport för Länsstyrelsen Skåne att samhället måste anpassa sig till dessa nya villkor och ”*för att nå en omställning av samhället behöver fysisk planering leda till större resurseffektivitet*”. Författarna menar vidare att ett steg mot en sådan effektivisering kan vara större fokus på förtätning. Till skillnad från stadsutbredning är förtätning när staden växer inåt genom att fylla ut de tomrum som ofta uppstått när städer vuxit fram (Broitman och Koomen 2015; WSP 2013). Det är viktigt att poängtera att förtätning och stadsexpansion inte är processer som står i direkt konflikt med varandra utan kan ske, och sker, simultant (Broitman och Koomen 2015).

I Skåne finns 16 procent av Sveriges totala jordbruksmark och i regionen producerades runt 40 procent av Sveriges totala skörd av de vanligaste spannmåls- och oljegrödorna. En reduktion av jordbruksmark till följd av exploatering innebär därför inte bara påverkan på den skånska befolkningen utan också på hela landets. Exploatering av denna mark får därför enligt lagstiftning endast ske om den tillför långsiktig och väsentlig samhällsnytta (Elgåker och Kaaman 2015).

Projektet Strukturbild för Skåne initierades 2005 genom ett samarbete mellan Region Skåne och de skånska kommunerna. Syftet med projektet är att skapa ett kunskapsunderlag och gemensamma strategier för hållbar fysisk planering samt att sammanföra regionens utvecklingsarbete med kommunernas översiktsplanering. En del i projektet och regionens rekommendationer är att jobba med förtätning av de orter som redan har goda kollektivtrafikförbindelser. Städerna kan därmed växa utan att göra anspråk på den högvärdiga jordbruksmarken och samtidigt uppmuntras till mindre bilberoende samt orternas funktionalitet och tillgänglighet ökar (Andersson m. fl. 2013). Samma typ av arbete bedrivs i många av de skånska kommunerna. I Lunds kommun finns en utbyggnads- och boendestrategi där det framgår tydligt att prioritet ligger på att växa inåt samt att målsättningen till år 2025 är att generera 900–1200 nya bostäder i kommunen (Lunds Kommun 2016). Dessa målsättningar syns också i projektet *Strukturbild MalmöLund* som bland annat bygger på att stärka och utveckla de regionala noderna längs med järnvägslinjen mellan Malmö och Lund genom tät och blandad bebyggelse. Perspektivet här är en 20-årsperiod (MalmöLund 2014).

Mot denna bakgrund är det därför nödvändigt att klimatanpassa vårt samhälle. I Skåne innefattar klimatförändringarnas effekter bland annat förändring i temperatur, nederbörd och havsnivå. Höga kostnader och andra negativa effekter på samhälle och individer är tätt sammankopplade med extrema vädersituationer som skyfall, stigande havsnivå och höga vattenstånd men också värmeböljor (Hall, Lund och Rummukainen 2015). Detta innebär att vi måste anpassa våra städer för att kunna hantera de konsekvenser som följer av exempelvis extrema skyfall.

Förtätning vare sig den drivs av ambitionen att värna om jordbruket, skapa förutsättningar för ekonomisk tillväxt eller ökad livskvalitet och tillgänglighet kan innebära minskning av ekosystemets inneboende översvämningsreduktion (Eigenbrod m. fl. 2016). Med fler människor, verksamheter och värden på mindre yta ökar också konsekvenserna av dessa översvämningar då fler värden drabbas (SMHI 2014; Eigenbrod m. fl. 2016). Förtätning kan därför leda till problem om man tar hänsyn till att ett framtida klimat kan innebära tätare skyfall. Denna konflikt vill vi här belysa.

1.2 Syfte och målsättning

Nödvändig förtätning behöver alltså kombineras med åtgärder för att minska risk för översvämning. Eftersom risken för skyfall och därmed översvämning är behäftad med stor osäkerhet kring klimatförändring och dess effekter, finns det ett behov av att kunna ta hänsyn till denna osäkerhet vid planering. Det övergripande syftet är att identifiera ett tillvägagångssätt för att bedöma olika översvämningsåtgärders robusthet mot osäkerhet. Analysen av robusthet tas fram på ett förenklat beslutsproblem som kan tillämpas för att prioritera klimatanpassningsåtgärder för att minska översvämningsrisk vid fysisk planering. Problemet utgår från fysisk planering i samband med Region Skånes och de skånska kommunernas rådande målbild om förtätning. För att ytterligare precisera arbetet utarbetades fem målsättningar.

1. Kartlägga vilken typ av osäkerheter som präglar översvämningshanterings-systemet och ta fram lämpliga tillvägagångssätt för att hantera dessa.
2. Genomföra en litteraturstudie som syftar till att klargöra begreppet robust beslutsfattande samt ta fram en definition av begreppet robust som lämpar sig i sammanhanget.
3. Ta fram en modell som bedömer effekten av olika översvämningsåtgärder med avseende på kriterier som kan utgöra underlag i en beslutsanalys. Kriterierna bör återspegla ett brett spektrum av samhällsintressen som är relevanta att ta hänsyn till i den fysiska planeringen.
4. Ta fram ett tillvägagångssätt för att med hjälp av olika beslutsregler bedöma hur robusta olika åtgärder är mot osäkerhet från klimatförändringar och framtida förtätning.
5. Tillämpa den resulterande beslutsanalysen på ett verkligt område och undersöka betydelsen av beslutsregler och viktningar av beslutskriterier.

1.3 Utgångspunkter och avgränsningar

Beslutsanalysen avgränsas till att behandla pluviala översvämningar, det vill säga översvämningar som uppstår vid skyfall. Studerade åtgärder avgränsas till fördröjningslösningar som fokuserar på att mildra effekterna av framtida klimatförändringar, så som kraftiga skyfall, och inte reducera själva klimatförändringarna i sig. Klimatanpassningsåtgärderna påverkar systemet genom att reducera dess sårbarhet mot översvämningar alternativt dess exponering mot översvämningar genom att reducera överskottsvolymen.

Fokus i beslutsanalysen ligger på hur ett givet antal fördröjningsåtgärder kan prioriteras för att skapa ett beslutsunderlag för att underlätta översvänningsarbetet i den fysiska planeringen. För att begränsa arbetet har beslutsanalysen förenklats. Identifiering av möjliga åtgärder bör göras annorlunda i en verklig tillämpning. Det tillvägagångssätt som presenteras här kan utökas med en mer avancerad metod för att ta fram åtgärder, exempelvis genom strukturerad brainstorming tillsammans med fackmän och intressenter.

Åtgärdernas effekt har inte heller kunnat undersökas spatialt eftersom en utvecklad översvänningsmodellering inte ingått i detta examensarbete. Vid fortsatt arbete med beslutsanalysen bör åtgärdernas effekt analyseras spatialt för att få bättre underlag till bedömningar av åtgärderna.

I examensarbetet har vi valt att avgränsa oss geografiskt och testa beslutsanalysen på en fördjupad översiktsplannivå. Analysmetoden bör dock vara användbar även på översiktsplannivå då mycket av det kommunala översvänningsarbetet sker centralt. Det är viktigt att poängtera att ett större geografiskt område ställer större krav på att tid kan avsättas för översvänningsmodellering.

Eftersom det inte var möjligt att modellera effekten av RCP-scenarierna utan att ställa upp och anpassa en avancerad översvänningsmodell har två skyfallsscenarioer baserade på befintliga översvänningskarteringar nyttjats. I framtida studier hade det varit önskvärt att anpassa modellerna så att RCP-scenarierna går att studera.

Examensarbetet och beslutsanalysen tar ej någon konkret hänsyn till beslutsfattarens preferenser gällande de olika kriterierna och scenarierna, varken i form av viktning eller vid framtagande av kriterier. Däremot tas möjliga beslutsfattarperspektiv in i antaganden samt genom en känslighetsanalys över hur resultaten förändras vid olika viktning. Ämnet beaktas också i diskussionen kring framtida utveckling av arbetet.

Effekter av de olika avgränsningarna diskuteras löpande i rapporten alternativt i dess diskussionskapitel, kapitel 10.

1.4 Angreppssätt

Framtagandet av beslutsanalysmetoden följer de riktlinjer för *design science research* som presenteras i teoriavsnittets avsnitt 2.1. Nedan följer en kort sammanfattning av den övergripande metodik som nyttjats genom examensarbetets olika delar.

I den inledande fasen av arbetet låg stort fokus på att sätta samman ett så heltäckande bakgrundsmaterial som möjligt för att skapa en god grund att bygga beslutsanalysen på. I detta material ingick osäkerhetsbegreppet, robust beslutsfattande, beslutsanalyser, beslutsregler, klimatscenarier, förtätningens fördelar, nackdelar och drivkrafter, bakgrund till pluviala översvämningar och hur dess karaktär kan tänkas förändras i ett framtida klimat och översvämningskarteringsalternativ. En sammanställning av stora delar av materialet finns presenterat i rapportens teoriavsnitt men i de hänseenden vi upplevt att det behövs för förståelsens skull presenteras det istället i anslutning till de steg av beslutsanalysen där det är aktuellt.

Parallellt med litteraturstudien och det övriga arbetet tog vi vid behov kontakt med olika experter och fackmän inom bland annat översvämningsarbete, GIS-programvara och osäkerhet samt tjänstemän på Lunds kommun och Region Skåne för att få en djupare insikt i ämnet och den aktuella problematiken.

Examensarbetet har syftat till att genomföra en beslutsanalys som kan ta hänsyn till flera olika intressen utan att en monetärisering behöver ske. Förhoppningen är att metoden ska möjliggöra att hänsyn tas till ett bredare spektrum av intressen där såväl mjukare sociala värden som teknisk prestanda kan täckas in.

För att kunna jämföra fördröjningsåtgärdernas prestation utifrån olika intressen valdes en multikriterieanalys (MKA) som grund för modellen. Analystypen är konstruerad så att man utifrån identifierade mål och intressen kan sammanställa ett set av, för systemet och beslutssituationen, representativa kriterier. Kriterierna kan beskrivas genom kvalitativ eller kvantitativ information och behöver inte vara direkt jämförbara. Åtgärdens prestationsmått bedöms med avseende på kriterierna. I detta arbete viktas vi ihop kriterierna med en metod som heter TOPSIS. Vi använder oss av en variant som kan hantera osäkerhet i form av intervall på prestationsmåten.

För att testa åtgärdernas robusthet mot osäkerhet sammanställdes utfallet från sex olika beslutsregler och resultaten dem emellan jämfördes för att synliggöra huruvida en åtgärd står sig väl, inte bara under många scenarier utan även i förhållande till val av beslutsregel.

För att få en känsla för hur applicerbar modellen är valde vi att testa den på ett verkligt område i Lunds kommun. Eftersom den huvudsakliga konflikten som studeras i examensarbetet är den mellan översvämningar och förtätning var det viktigt i valet av område att det fanns någon form av översvämningsproblematik samt planer

på förtätning. Det var också viktigt att det fanns en befintlig översvämningmodell eller översvämningsskartering tillgänglig eftersom en sådan är mycket tidskrävande att ställa upp och har därför fallit utanför ramen för detta examensarbete. I samråd med kommunen valdes ett område i västra Lund mellan Norra ringen och Bryggaregatan som uppfyllde dessa tre punkter.

De översvämningsskarteringar som fanns tillgängliga för området var framtagen av VA SYD och utgjordes av två stycken översvämningssimuleringar för ett 50- respektive ett 100-års regn. Regnen simulerades med en varaktighet på 6 timmar och en klimatafaktor 1.3. De två simuleringarna fick utgöra var sitt skyfallsscenario som vidare kombinerades med tre förtätningsscenarioer vilket gav totalt sex scenarier att studera åtgärderna utifrån.

1.5 Överblick

DEL I - INLEDNING, BAKGRUND OCH TEORI

- Kapitel 1 Introduktion till den övergripande bakgrunden av examensarbetet samt dess målsättning, avgränsningar och angreppssätt.
- Kapitel 2 Bakgrund till de antaganden och metoder som har använts i examensarbetet. Drivkrafter som resulterar i den problematik som bemöts i examensarbetet presenteras och åtgärdernas påverkansmekanismer lyfts.

DEL II - BESLUTSANALYS

- Kapitel 3 En konceptuell bild av den framtagna beslutsanalysen presenteras och läsanvisningar för resterande delar av analysen ges.
- Kapitel 4 Det studerade systemet, här studieområdet och de studerade åtgärderna, presenteras övergripande. Vidare definieras de förtättnings- och skyfallsscenarioer som utnyttjas för att undersöka robustheten hos åtgärderna.
- Kapitel 5 Metodik för första steget av MKA, kriteriebildningen, tas fram för den givna situationen. Viktiga intressen identifieras och formuleras med hjälp av målbildning till fem stycken kvalitativt eller kvantitativt kvantifierbara kriterier.
- Kapitel 6 De fem kriterierna studeras djupare och metoder för att ta fram värden för kriterierna för åtgärderna under de olika scenarierna tas fram.

- Kapitel 7 TOPSIS-metodiken med intervalldata presenteras ingående.
- Kapitel 8 Beslutsreglerna för beslutsfattande under osäkerhet som utgör robusthetsanalysen presenteras och robustheten hos åtgärderna i det studerade området vid likformig värdering testas.

DEL III - ANALYSER

- Kapitel 9 En viktningsanalys görs för att undersöka hur resultatet från modellen kan förändras beroende på beslutsfattarens värderingar.

DEL IV - DISKUSSION OCH SLUTSATSER

- Kapitel 10 Slutsatser från arbetet presenteras, beslutsanalysen och dess delmetoder utvärderas och potentiell vidareutveckling av analysen diskuteras. Kriteriernas svagheter och eventuella beroenden dem emellan bemöts.
- Kapitel 11 Avgränsningar, fortsatt forskning och måluppfyllnad diskuteras mer djupgående.

2 | Teori

I kapitlet beskrivs de teorier och koncept som ligger till grund för de antaganden och val som gjorts för att utveckla modellen. Kapitlet innehåller bakgrund till osäkerhet, klimatscenarier, robusthet, pluviala översvämningar, översvämningsmodellering samt normativa modeller för beslutsanalys.

2.1 Design science research

Design science research (DSR) är en vetenskaplig gren där det övergripande målet är att "develop knowledge that the professionals of the discipline in question can use to design solutions for their field problems", det vill säga "ta fram kunskap som fackmän kan nyttja för att skapa lösningar på problem som existerar i den bransch de verkar" [egen översättning] (Aken 2005, s. 20). DSR innefattar en problemlösningssorienterad process där förståelse och kunskap om problemet och dess lösning fås genom byggandet och tillämpandet av en artefakt som exempelvis kan vara en metod eller en modell (Hevner m. fl. 2004). Forskning inom DSR bygger i stor utsträckning på att fackmän publicerar sina reflektioner och slutsatser från projekt inom sin bransch där de har nyttjat sin generella yrkesmässiga kunskap för att skapa situationsspecifika lösningar (Aken 2005). Hevner m. fl. (2004) presenterar sju riktlinjer för en effektiv DSR-process:

Riktlinje

1: Design as an Artifact

2: Problem Relevance

Beskrivning

DSR ska producera en genomförbar artefakt i form av ett koncept, en modell eller en metod.

Målet med DSR är att utveckla teknologibaserade lösningar till viktiga och relevanta problem.

| | |
|-------------------------------|---|
| 3: Design Evaluation | Nyttan, kvalitén och effektiviteten av en design-artefakt ska noggrant demonstreras med hjälp av väl genomförda bedömningar och utvärderingar. |
| 4: Research Contributions | Effektiv DSR ska bidra med tydliga och verifierbara bidrag till det studerade fältet. |
| 5: Research Rigor | DSR bygger på användandet av noggranna metoder både i byggandet och utvärdering av artefakten. |
| 6: Design as a Search Process | Sökandet efter en effektiv artefakt kräver användandet av befintliga medel för att nå önskade mål och samtidigt tillfredsställa de regler som finns i problemområdet. Detta kan underlättas genom en iterativ sökprocess där avgränsningarna successivt utökas. |
| 7: Communication of Research | DSR ska presenteras väl både emot teknologisk och managementorienterad publik. Användarvänlighet ska prioriteras. |

Den metod som tillämpats för att ta fram beslutsanalysen i detta examensarbete följer i stora drag metoden för DSR och de sju riktlinjer som presenteras ovan.

2.2 Osäkerhet

Walker m. fl. (2003, s.8) definierar begreppet osäkerhet som ”*any departure from the unachievable ideal of complete determinism*” det vill säga *en avvikelse från det ouppnåeliga ideal som utgör fullständig determinism* [egen översättning]. Denna definition täcker in alla typer av osäkerhet som kan finnas i ett system. I examensarbetet utgörs det studerade systemet av dels det geografiska området och dess interna och externa påverkansmekanismer, dels beslutssituationen i sig. Inom begreppet påverkansmekanismer ryms exempelvis klimatförändringar, förtätning och de studerade översvämningsåtgärderna.

2.2.1 Indelning av osäkerheter

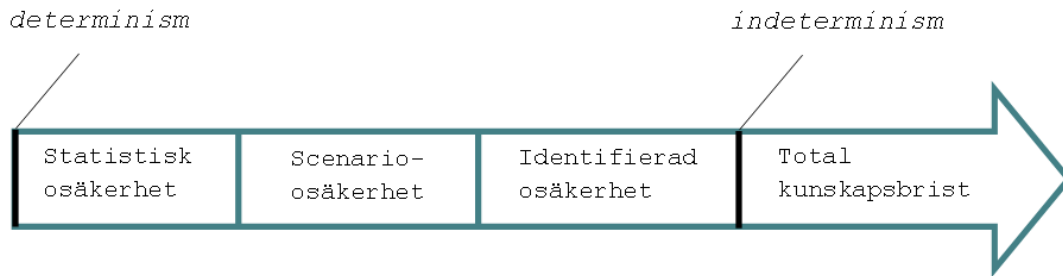
Osäkerhet kan delas in i olika kategorier. Den klassiska uppdelningen är (1) stokastisk osäkerhet (variabilitet) och (2) epistemisk osäkerhet (kunskapsosäkerhet). Variabilitet beskriver inneboende naturliga förändringar i systemet som inte kan reduceras,

till exempel variationer i nederbörd under årets årstider. Denna typ av osäkerhet är speciellt kopplad till komplexa naturliga och mänskliga system där det alltid finns slumpmässig variation. Kunskapsosäkerhet beskriver, som namnet antyder, en brist på information eller kunskap om systemet, till exempel mätfel eller tvetydig information. Kunskapsosäkerheter går, åtminstone i teorin, att reducera genom att exempelvis göra fler mätningar eller anskaffa mer information (Maier m. fl. 2016).

Walker m. fl. (2003), som i sin artikel fokuserar på osäkerhet i beslutssituationer, beskriver att osäkerheter kan finnas på olika platser i en systemmodell. Det kan vara användbart att definiera var osäkerheter finns så att man på ett tydligt sätt kan förstå kopplingen mellan osäkerheter i modellen och resultatet. Det finns generellt fem platser i systemmodellen där osäkerheter kan befinna sig:

- *Kontext* – osäkerhet i de förutsättningar och problemformuleringar som ligger till grund för de systemavgränsningar som gjorts, exempelvis externa ekonomiska, politiska eller miljömässiga förhållanden som formar kontexten för problemet i fråga.
- *Modell* – osäkerhet i den konceptuella modellen som beskriver systemet i fråga, till exempel förhållanden mellan variabler, formen på modellen samt fel i modellens prediction.
- *Input* – osäkerhet i de data som beskriver det nuvarande systemet samt osäkerhet i ingående numeriska värden på variabler som beskriver drivkrafter i systemet.
- *Parametrar* – osäkerhet i de data och metoder som används för att tilldela numeriska värden till modellens parametrar.
- *Output* – den samlade osäkerheten från de tidigare nämnda platserna som spridit sig genom modellen och visar sig i de resulterande numeriska värdena på utgående variabler från modellen.

Vidare diskuterar Walker m. fl. (2003) att osäkerheter kan delas in i olika nivåer som sträcker sig från fullständig determinism, en ideal situation där vi vet allting exakt, till total kunskapsbrist. De olika nivåerna, statistisk osäkerhet, scenariosäkerhet, identifierad osäkerhet och total kunskapsbrist, illustreras i figur 2.1 och nivåerna beskrivs mer i detalj i avsnitt 2.2.2. Den fortlöpande pilen i figuren illustrerar att vi inte kan veta den totala omfattning av vår kunskapsbrist, eftersom det finns så kallade *unknown unknowns*, det vill säga det vi inte vet att vi inte känner till. Författarna poängterar att fullständig determinism inte går att uppnå vid beslutsfattande.



Figur 2.1: Beskrivning av de olika nivåerna av osäkerhet som kan finnas i ett system, från determinism till total kunskapsbrist (Walker m. fl. 2003).

2.2.2 Djup osäkerhet

Ett relativt nytt begrepp som används för att beskriva den nivå av osäkerhet som inte kan kvantifieras med sannolikheter är *deep uncertainty*, i fortsättningen benämnt som djup osäkerhet (Cox 2012). Lempert, Popper och Bankes (2002) definierar djup osäkerhet som det tillstånd där beslutsfattaren inte vet, eller där flera beslutsfattare inte kan komma överens om, systemmodellen, sannolikheter för de osäkra parametrarna i systemmodellen och/eller värdefunktioner. Lempert, Popper och Bankes använder begreppet djup osäkerhet i kontexten beslutsfattande och komplexa system.

Begreppet djup osäkerhet möjliggör användandet av flera olika framtida utfall. I komplexa system som innefattar klimatförändringar, teknologiutveckling och förändringar i det socioekonomiska och politiska klimatet är det därför lämpligt att beskriva systemets osäkerhet genom djup osäkerhet eftersom man vill undvika att göra en bästa gissning för hur framtiden kommer se ut när kunskap och information om framtiden är bristfällig (Maier m. fl. 2016). Ett sätt att utnyttja olika möjliga framtida utfall, till exempel vid arbete med framtida klimatförändringar, är att beskriva dem genom scenarier, eller i klimatförändringsexemplet klimatscenarier. En djupare beskrivning av specifikt klimatscenarier följer i avsnitt 2.3.

Scenarier kan användas för att hantera osäkerhet kopplad till ett systems externa omgivning och dess effekt på systemet. Scenarier ska underbyggas med sammanhängande och konsekventa antaganden om nyckelmekanismer och samband i systemet. Scenariometodiken är lämplig för att beskriva ett systems framtida omgivning om det finns ett antal troliga utfall och man inte kan säga något om sannolikheten för de olika utfallen. Användandet av scenarier är därför kopplat till osäkerheter på en nivå bortom statistisk osäkerhet, figur 2.1. Identifierad osäkerhet innebär att man vet att det finns osäkerhet men man har inte tillräcklig vetskap om förhållanden och mekanismer i det system som studeras för att beskriva den (Walker m. fl. 2003).

Ett annat vanligt angreppssätt för att hantera osäkerhet hos variabler och parametrar är att tilldela sannolikhetsfördelningar som beskriver hur dessa varierar med avseende på en naturlig slump, den osäkerhet som är behäftad med dem, eller båda. Sannolikhetsfördelningar är användbara om man har precisa uppskattningar på stokastisk osäkerhet, exempelvis slumpmässig variation så kallad variabilitet (Ferson och Siegrist 2012).

Sannolikheter kan också användas för att beskriva kunskapsosäkerhet direkt med hjälp av experter eller genom Bayesianska principer för att kvantifiera osäkerhet. En fördel med sannolikheter för att beskriva osäkerhet är att man kan kombinera den osäkerhet som kommer från olika källor till en gemensamt mått på osäkerhet. Det görs exempelvis genom Monte Carlo-simulering, där man drar slumpantal från ingångsvärden och beräknar utgångsvärden. Osäkerheten i utgångsvariabler kan därefter sammanfattas med olika mått såsom förväntade värden, troliga värden eller sannolikhet för att ett gränsvärde överskrids (Apostolakis 1990).

Ferson och Siegrist (2012) beskriver att det kan finnas situationer där underlaget för att kvantifiera kunskapsosäkerhet med sannolikheter är för svagt. I dessa fall kan det vara lämpligare att representera kunskapsosäkerhet med intervall. Det kan vara intervall på det numeriska värdet av en sannolikhet som beskriver en relativ frekvens (variabilitet) eller en variabel. Ett intervall är inte samma sak som en likformig fördelning, det vill säga att det riktiga värdet ligger i intervallet $[a, b]$ utan att säga något om hur sannolikt det är att värdet befinner sig på en viss plats i intervallet. Ferson och Siegrist belyser vikten av att inte anta att alla värden i intervallet är lika sannolika (likformig fördelning) eftersom detta implicit antyder att vi vet hur värdet förväntas variera. Vid beräkning med intervall kommer osäkerhet i utgångsvärden från en modell också att beskrivas med intervall. Det är möjligt att kombinera sannolikheter och intervall för att skilja på stokastisk osäkerhet från kunskapsosäkerhet, eller för att väga in svagheter i olika källor till kunskapsunderlaget (Sahlin 2016).

2.3 Klimatscenarier

Ett scenario kan definieras som en konsekvent och trovärdig beskrivning av ett möjligt framtida tillstånd och kan inom klimatforskningen användas som underlag för till exempel konsekvensanalyser, sårbarhetsbedömningar och miljömål (Hall, Lund och Rummukainen 2015).

Det finns flera olika typer av klimatscenarier som baseras på olika typer av information och antaganden. De klimatscenarier som låg till grund för FN:s klimatpanels (IPCC) rapporter om framtida klimat mellan år 2000 och 2007 kallas för SRES-scenarier (Special Report on Emission Scenarios, Nakicenovic and Swart (red.), 2000). SRES-scenarierna grundades på antaganden om globala socio-ekonomiska ut-

vecklingar som bland annat befolkningstillväxt, klimatpolitik, ekonomi och globalisering. Framtida utsläpp av växthusgaser förväntades i dessa scenarier bero på hur världen utvecklas (Persson, Nylén m. fl. 2015).

I IPCC:s rapport från 2013 presenteras nya globala utsläppsscenarioer som används för att beräkna prognoser på framtida klimatförändringar (IPCC 2013). Dessa utsläppsscenarioer kallas Representative Concentration Pathways (RCP) och beskriver klimatpåverkan från antagna utsläpp av växthusgaser, luftföroreningar samt från markanvändning uttryckt som strålningsdrivning (W/m^2) år 2100. Antropogena och naturliga förändringar i atmosfären, marken, haven och biosfären kan påverka jordens energibalans och är därmed processer som driver klimatförändringar. Att uppskatta strålningsdrivning är då ett sätt att kvantifiera förändringen i energibalansen eller, med andra ord, hur mycket av solens energi som stannar kvar på jorden.

RCP-scenarierna är grundade på befintlig vetenskaplig litteratur inom området och ska ses som en representation av den aktuella forskningen om klimatförändringar som utgår från olika klimatmodeller och antaganden (Vuuren m. fl. 2011). Utifrån litteraturen presenterades fyra representativa utsläppsscenarioer där RCP2.6 har den lägsta strålningsdrivningen år 2100 på 2.6 W/m^2 , vilket beskrivs av en kulmination av globala utsläpp omkring år 2020, medan RCP8.5 har den högsta strålningsdrivningen år 2100 (8.5 W/m^2) och fortsatt ökning därefter. Däremellan finns ytterligare två klimatscenarioer RCP4.5 och RCP6.0. En grafisk illustration över strålningsdrivnings-scenarierna visas i figur 2.2 och en sammanfattning över de fyra RCP-scenariernas innebörd visas i tabell 2.2. Vuuren m. fl. (2011) poängterar att det finns stora begränsningar i vår förståelse för framtida utsläppshalter, klimatpolitik och klimatmodeller vilket medför att inget av scenarierna ska ses som mer troligt än de andra utan osäkerheterna hanteras genom att använda fler scenarioer. Sannolikheter ska därför inte tilldelas scenarierna eftersom det då kan ge intryck av att man är mer säker på sin sak än man faktiskt är. Scenarierna ska inte heller tolkas som framtidsprognoser eller gränser för framtida klimatutveckling.

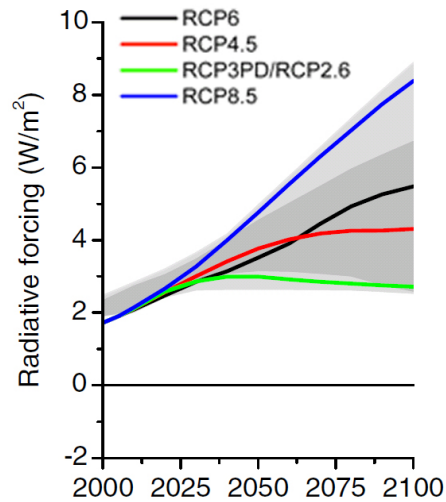
2.3.1 Klimatmodeller

För att kunna dra några slutsatser kring framtida klimatförändringar från de uppsatta strålnings-scenarierna kan så kallade globala eller regionala klimatmodeller nyttjas. Både de regionala och de globala modellerna bygger på att det studerade området delas in i ett rutnät där var ruta tillskrivs värden för exempelvis temperatur och fuktighet som antas gälla i hela rutan. Skillnaden dem emellan är att rutorna i detta rutnät är mindre för de regionala modellerna än i de globala, runt 10–50 km respektive 200 km (Olsson och Josefson 2015).

De rådande regionala modellerna ger således konstanta värden i områden av storleks-

Tabell 2.2: Kortfattad beskrivning av de fyra globala strålningsdrivningsscenariernas innebörd från Persson, Strandberg och Berg (2015, s.14-15)

| RCP2.6 | RCP4.5 |
|---|---|
| CO ₂ -utsläppen kulminerar runt år 2020 | CO ₂ -utsläppen ökar fram till 2040 |
| <ul style="list-style-type: none"> • Än mer kraftfull klimatpolitik. • Låg energiintensitet. • Minskad användning av olja. • Jordens befolkning ökar till 9 miljarder. • Ingen väsentlig förändring i arealen betesmark. • Ökning av arealen jordbruksmark på grund av bioenergiproduktion. • Utsläppen av metan minskar med 40% • Koldioxidutsläppen ligger kvar på dagens nivå fram till 2020 och kulminerar därefter. Utsläppen är negativa år 2100. • Koldioxidhalten i atmosfären kulminerar omkring år 2050, följt av en måttlig minskning till drygt 400 ppm år 2100. | <ul style="list-style-type: none"> • Kraftfull klimatpolitik. • Lägre energiintensitet. • Omfattande skogsplanteringsprogram. • Lägre arealbehov för jordbruksproduktion, bland annat till följd av större skördar och förändrade konsumtionsmönster. • Befolkningsmängd: något under 9 miljarder. • Utsläppen av koldioxid ökar något och kulminerar omkring 2040. |
| RCP6.0 | RCP8.5 |
| CO ₂ -utsläppen ökar fram till 2060 | fortsatt höga utsläpp av CO ₂ |
| <ul style="list-style-type: none"> • Stort beroende av fossila bränslen • Lägre energiintensitet än i RCP 8,5 • Arealen åkermark ökar, men betesmarkerna minskar • Befolkningen ökar till 10 miljarder • Stabiliserade utsläpp av metan • Utsläppen av koldioxid kulminerar 2060 på en nivå som är 75 % högre än idag och minskar sedan till en nivå 25 % över dagens. | <ul style="list-style-type: none"> • Koldioxidutsläppen är tre gånger dagens år 2100. • Metanutsläppen ökar kraftigt. • Jordens befolkning ökar till 12 miljarder vilket leder till ökade anspråk på betes- och odlingsmark för jordbruksproduktion. • Teknikutvecklingen mot ökad energieffektivitet fortsätter, men långsamt. • Stort beroende av fossila bränslen • Hög energiintensitet. • Ingen tillkommande klimatpolitik. |



Figur 2.2: Uppskattad strålningsdrivning fram till år 2100 för de olika RCP-scenarierna. Illustration från Vuuren m. fl. (2011).

ordningen 100–2500 km² vilket är för grovt för att på ett representativt vis beskriva de mekanismer som ligger bakom lokala intensiva skyfall. Följaktligen bör uppskattningar av extrem korttidsnederbörd som bygger på dessa modeller betraktas som mycket ungefärliga. Forskare runt om i världen har därför på senare år inlett arbetet med att förbättra upplösningen hos de regionala modellerna till ett avstånd på runt 2–4 km. Dessa modeller antas kunna, och har i vissa tester visats, ge mer representativa simuleringar av nederbördsmängder (Olsson och Josefson 2015).

2.4 Begreppet robusthet

Robusthet är ett begrepp som används i många olika sammanhang och har därför inte en entydig definition. Enligt Nationalencyklopedin (2017) betyder ordet robust *kraftig och tålig*. Vidare definierar Oxford dictionaries (2017) ett robust system eller organisation som *able to withstand or overcome adverse conditions*. Begreppet används alltså för att beskriva någons eller någots förmåga att motstå påfrestningar och störningar. När hänsyn till kunskapsosäkerhet anses viktigt, används begreppet *robusthet mot osäkerhet* för att visa att ett system är robust och kan fungera under den osäkerhet som finns. Det handlar då om hur osäkerhet hanteras i beslutsfattande kring systemet.

I sammanhanget systemdesign för vattenresurshantering definierar Matalas och Fiering (1977, s.106) robusthet som *“the insensitivity of system design to errors, random or otherwise, in the estimates of those parameters affecting design choice”*. De inkluderar således en okänslighet mot kunskapsosäkerhet. Robusthet mot osäkerhet kan

ses som ett tillägg till annan form av robusthet. Robust beslutsfattande används ofta i sammanhang där det finns djup osäkerhet (Lempert, Popper och Bankes 2002).

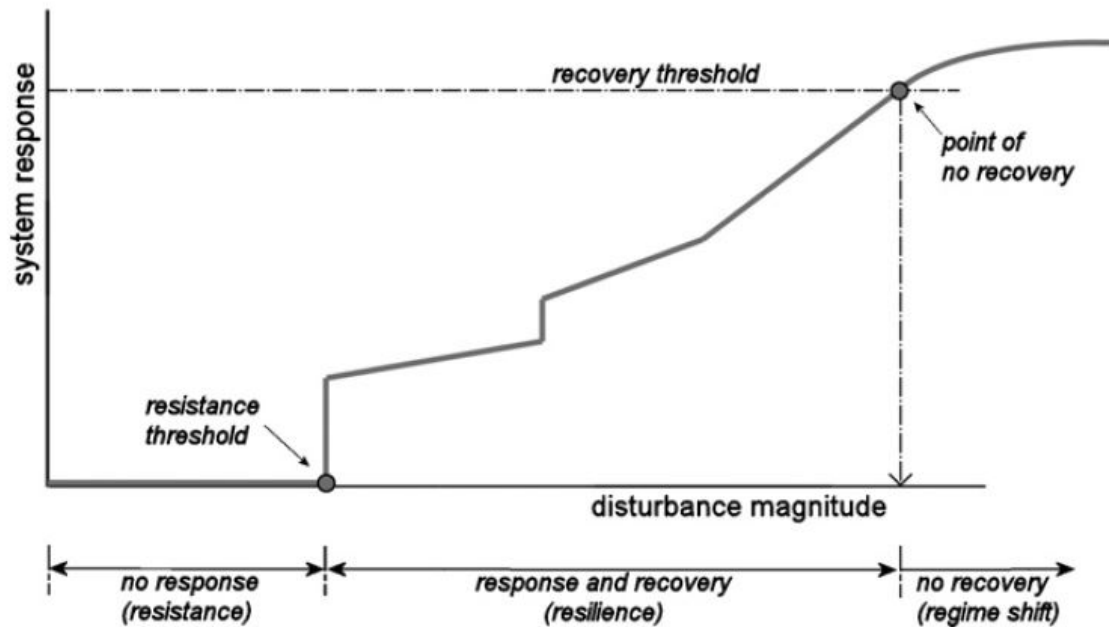
I avsnitt 2.3 beskrivs vikten av att inte blanda in sannolikhet när man arbetar med klimatscenarier eftersom de alla är troliga versioner av framtiden. I sammanhanget utgör bedömningens tillförlitlighet därför inte ett bra prestationsmått varför begreppet robusthet blir ett användbart alternativt mått. En robust strategi, design eller plan presterar väl i flera olika framtida tillstånd, jämfört med en tillförlitlig där sannolikheten är hög för att den presterar bra för en *bästa gissning* av hur framtiden ser ut. Även om en åtgärd kan vara både tillförlitlig och robust har fokus i detta examensarbete legat på robusthet då sannolikheter ej varit kända. Målet för en robust strategi är att den ska prestera bra oavsett vilken av de olika framtiderna som inträffar. Robusthet kan då ses som ett prestationsmått på okänslighet mot framtida tillstånd (Maier m. fl. 2016; Star m. fl. 2016).

Mens m. fl. (2011) skiljer på robusta system, som ursprungligen kommer från ingenjörsoch biologivetenskaper, och robust beslutsfattande, som härstammar från ekonomi och beslutsteori. Robusthet i ett system hänvisar till systemets förmåga att bibehålla önskvärd funktion när det utsätts för störningar. Enligt Mens m. fl. besitter det robusta systemet två viktiga egenskaper som tillsammans bestämmer dess robusthet. Den första av de två är systemets motståndskraft, det vill säga den magnitud av påfrestningar som systemet kan hantera utan att behöva agera och förändras. Den andra är dess resiliens, det vill säga den mängd påfrestningar som systemet, genom att reagera och återhämta sig, kan hantera innan systemet når *the point of no recovery*, figur 2.3.

Robust beslutsfattande används för att fatta beslut under kunskapsosäkerhet. Vidare diskuterar Mens m. fl. (2011) att robust beslutsfattande ofta fokuserar på en längre tidsperiod in i framtiden samt att flera osäkerhetsparametrar så som klimatförändringar och ekonomisk utveckling kan inkluderas. Användningen av robust beslutsfattande har ökat vid beslut om miljöfrågor och naturtillgångar eftersom osäkerheterna rörande klimatförändringar och samhällsförändringar är stora vilket poängteras av Giuliani och Castelletti (2016). De visar att valet av beslutsregel kan påverka slutresultatet, alltså vilket beslutsalternativ som väljs. De föreslår att hantera val av beslutsregel som en möjlig källa till osäkerhet samt tydligt inkludera vald definition av robusthet. Detta är orsaken till att vi i detta arbete undersöker hur känslig beslutsanalysen är mot val av beslutsregel.

2.5 Beslutsanalys

Beslutsanalys är ett verktyg som skapats för att utgöra ett stöd i och stärka den mänskliga beslutsprocessen. Det finns många olika typer och former av beslutsanaly-



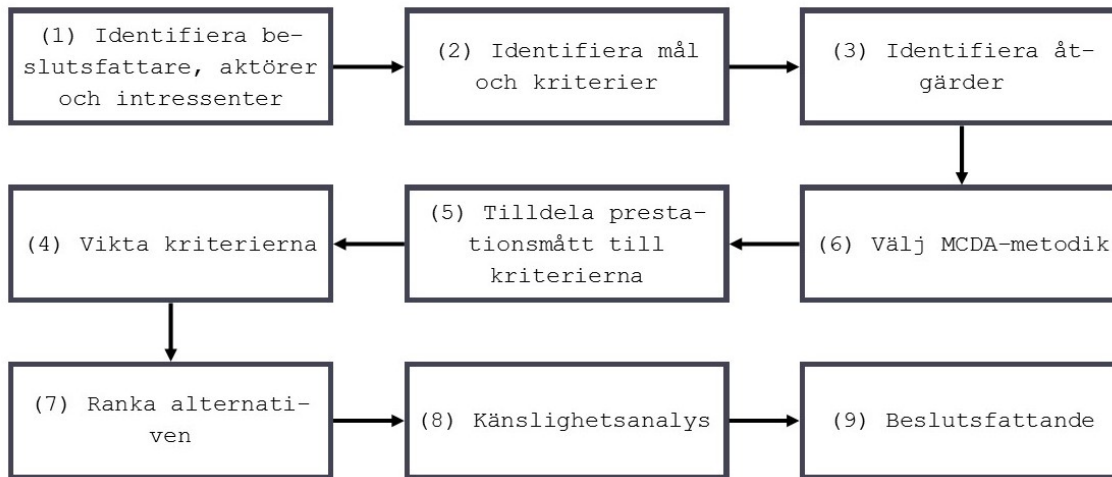
Figur 2.3: Grafisk beskrivning av egenskaperna hos ett robust system som presenteras av Mens m. fl. (2011). I bilden motsvarar *resistance* systemets motståndskraft och *resilience* systemets resiliens.

ser och ett vanligt exempel är kostnads-nyttoanalyser. Beslutsmetoderna har alla sina för- och nackdelar och beslutssituationen som studeras påverkar dels vilken metod som bör användas samt hur den valda metoden används (Hyde 2006).

2.5.1 Multikriterieanalys

Ett exempel på beslutsanalys är multikriterieanalysen. Hyde (2006) definierar, i sin avhandling på ämnet, MKA som en beslutsanalys där ett begränsat antal alternativ kan beskrivas och jämföras med hjälp av ett givet antal kriterier. Beslutsalternativens nyttomått tas fram genom att vikta samman åtgärdernas prestationsmått under de olika kriterierna. Ranking av alternativen görs genom att jämföra nyttomåtten under olika beslutsregler.

En stor fördel med metodiken är att det inte krävs att kriterierna går att översätta i monetära termer och att en blandning av kvalitativ och kvantitativ information kan användas. Vidare kan metoden ta hänsyn till och väga alternativ utifrån motsägelsefulla målsättningar vilket innebär att flera aktörers intressen kan vägas in (Hyde 2006).



Figur 2.4: Illustration över de övergripande stegen i MKA-processen. Översatt från *Uncertainty Analysis Methods for Multi-Criteria Decision Analysis* av Hyde (2006).

2.5.2 MKA-processen

I sin avhandling definierar Hyde (2006) vidare hur MKA-processen kan beskrivas genom nio olika steg: (1) identifiera beslutsfattare, aktörer och intressenter, (2) identifiera mål och kriterier, (3) identifiera alternativ, (4) välja MKA-metod, (5) tilldela prestationsmått till kriterierna, (6) vikta kriterierna, (7) ranka alternativen, (8) känslighetsanalys, och (9) beslutsfattande, se grafisk representation i figur 2.4.

(1) Identifiera beslutsfattare, aktörer och intressenter

En svår uppgift när det kommer till MKA är att bestämma vem som bestämmer. Den rådande trenden är dock att allmänheten bör få större möjlighet att delta i beslutet. Intressent är man när man på något vis berörs av plan- och beslutsprocessen som studeras (Hyde 2006).

(2) Identifiera mål och kriterier

Kriterierna utgör, eftersom de ligger till grund för jämförelsen av alternativen, grunden i MKA-modellen. De bör inte vara för många, vara enkla att förstå och mäta samt vara utförliga och kompletta. Eftersom kriterierna utgör en så central del i MKA-modellen bör de vidare vara starkt förankrade i projektets mål (Hyde 2006).

Enligt Gregory m. fl. (2012) är mål i beslutsfattande konkreta påståenden om de grundläggande intressen som kan påverkas av ett beslut - kort sagt, vad som är

viktigt för människor och vad vi värdesätter. Det är viktigt att tydligt definiera målen i beslutsfattande så att de inte är tvetydiga och kan tolkas olika. Målen ska vara användbara för beslutet i fråga och hjälpa beslutsfattarna att fokusera på vad som har betydelse för utfallet av beslutet. En bra uppsättning mål bör därför besitta fem egenskaper:

1. *Fullständig* – Uppsättningen mål ska täcka in alla väsentliga värden
2. *Koncis* – Ingen onödig information eller tvetydighet
3. *Känslig mot alternativ* – Målen ska påverkas av beslutsalternativen
4. *Förståelig* – Målen ska vara lätta att förstå för alla och koppla direkt till vad som är viktigt för beslutet
5. *Fristående* – Vart och ett av målen ska påverka beslutsalternativen oberoende av de andra målen

När man tar fram mål är det initialt inte av någon större vikt huruvida målen är mätbara eller ej. Det viktiga i denna fas är i stället att säkerställa att man täcker in de värden man vill ta hänsyn till, oberoende av hur svåra de är att mäta.

Gregory m. fl. (2012) delar upp sin metod för uppbyggnad av mål i fem steg där vi valt att slå samman två punkter som båda innefattar att sortera mål till ett steg. Målbildningen har därför delats in i fyra steg: **steg 1**: brainstorming, **steg 2**: sortera målen, **steg 3**: skapa målhierarki, och **steg 4**: pröva målen.

Steg 1: Brainstorming

Brainstorming bör initieras med frågor som *vad försöker vi uppnå?* och *vilka intressen försöker vi ta itu med?* (Gregory m. fl. 2012). Vidare har Litchfield (2008) sammanfattat en stor del litteratur på området brainstorming och presenterar fyra riktlinjer att förhålla sig till i brainstormingprocessen:

1. Generera en stor kvantitet
2. Undvik negativ kritik
3. Kombinera och förbättra tidigare idéer
4. Uppmuntra fri association

Det kan också vara användbart att utgå ifrån kategorier för att organisera brainstormingen (Gregory m. fl. 2012). Kategorierna bör då väljas så att de täcker in alla viktiga aspekter som beslutet rör.

Steg 2: Sortera målen

Gregory m. fl. (2012) skiljer mellan, vad vi valt att översätta som, operationella (*targets*) och övergripande (*objectives*) mål. Övergripande mål beskriver det vi vill uppnå på ett grövre plan medan operationella mål är kvantifierade, mätbara, prestationsbaserade och kan syfta till att uppfylla flera övergripande mål. Ett konkret exempel på denna skillnad som presenteras i boken är hur det operationella målet *att skapa 1000 arbetstillfällen* kan uppfylla det övergripande målet *att öka sysselsättningen*. Vid detta framtagande av mål som grund i beslutsfattande är det de övergripande målen man vill identifiera. Vidare delas de övergripande målen in i fyra olika kategorier: (1) fundamentala mål, (2) strategiska mål, (3) metodmål och (4) beslutsprocessmål.

De fundamentala målen beskriver de väsentliga värden man vill ta hänsyn till i beslutsprocessen. Metodmålen handlar om sätt att uppnå de fundamentala målen. Strategiska mål kan vara organisatoriska mål som inte är direkt kopplade till beslutet. Beslutsprocessmål är mål man vill uppnå i själva beslutsprocessen och inte direkt kopplat till beslutsalternativen. De mål som ska tas vidare i målbildningsmetodik och i förlängningen kriteriebildningen är de fundamentala målen.

Steg 3: Skapa målhierarki

När de fundamentala målen har identifierats utifrån brainstorming och strukturering kan det vara bra att förtydliga vad som menas med målen genom att definiera delmål. Detta är endast aktuellt om målen känns vaga. Detta förtydligande brukar resultera i en målhierarki, som är en viktig utgångspunkt för den fortsatta beslutsprocessen. Målhierarkin kan skapas genom att besvara frågorna:

- Vad menas med det här?
- Kan vi identifiera undergrupper för det här?

Fler mål kan mycket väl dyka upp senare under beslutsprocessen, och de bör välkomnas (Gregory m. fl. 2012).

Steg 4: Pröva målen

När de fundamentala målen och målhierarkin identifierats är det lämpligt att testa målen mot beslutsalternativ. Detta kan göras på en mycket övergripande nivå för att få en känsla för om målen är relevanta för beslutet. Ett tillvägagångssätt kan vara att ställa upp en tabell med målen och ett antal potentiella beslutsalternativ. Målen ska då testas mot de fem egenskaper som listas tidigare i detta avsnitt.

(3) Identifiera alternativ

Att identifiera alternativen som ska studeras genom MKA är ett viktigt steg eftersom de alternativ som uteblir inte kan väljas i slutändan. Därmed bör de valda alternati-

ven väljas med omsorg, vara olikartade samt representera alla intressenter så att det bästa alternativet faktiskt innefattas av analysen. Några metoder för att identifiera alternativ som Hyde (2006) lyfter är strukturerad brainstorming, gruppdiskussion och strategitabeller.

(4) Välj MKA-metod

Det finns många olika MKA-metoder som skiljer sig i metodik, vilken information som behövs, känslighetsnivå och matematisk karaktär. Det finns dock inget generellt accepterat tillvägagångssätt för att välja vilken MKA-metod som passar bäst för en given beslutssituation, utan den metod som väljs brukar grundas i vilken information som finns tillgänglig samt om man har vana eller erfarenhet av en specifik metod. Hyde (2006) beskriver vidare i sin avhandling att det varken går att hävda att det finns någon given MKA-metod som är överlägsen de övriga eller som kan anses ge en fullständig bild av sanningen. Vidare råder det delade meningar kring huruvida val av MKA-metod i sig kan generera olika resultat. Det ena ledet menar att valet av metod inte spelar så stor roll och på det hela taget genererar liknande resultat och det andra att val av metod är av stor vikt för slutresultatet.

(5) Tildela prestationsmått till kriterierna

Varje alternativ måste tilldelas ett värde som beskriver dess prestation i relation till varje kriterium. Det finns tre sätt att beskriva prestation: (1) kvalitativt (ordnings-tal), (2) intervall och (3) ratioskala. Det kan vara användbart att ta in expertkunskap i bedömningen men den bör inte ersätta pålitliga kvantitativa data. Det är också viktigt att inkludera vilka osäkerheter som finns i uppskattningarna (Hyde 2006).

(6) Vikta kriterierna

För att spegla vilka kriterier som anses mer betydelsefulla än andra kan viktningar, vilka beskriver den inbördes relevansen av kriterierna, tilldelas. Det finns flera olika metoder för att tilldela vikter till kriterierna, till exempel statistiska metoder, direkt bedömning av beslutsfattare och rankingmetoder (Hyde 2006).

(7) Ranka alternativen

MKA-metoden resulterar i en ranking av alternativen från bäst till sämst. Det bästa alternativet är den lösning som genererar en genomgående önskvärd uppfyllnad av alla kriterier. Beroende på MKA-metod genomförs ranking på olika sätt (Hyde 2006).

(8) Känslighetsanalys

Eftersom beslutsprocessen kan kantas av osäkerhet i både numeriska värden och kvalitativa uppskattningar bör en känslighetsanalys genomföras för att undersöka förhållanden mellan förändringar i värden och resulterande output från modellen. En känslighetsanalys görs vanligen genom att studera förändringar i varje enskild parameter och jämföra med förändringar i output. Hyde (2006) poängterar också vikten av att studera påverkan av viktningmetod, val av MKA-metod och prestationsmått.

(9) Beslutsfattande

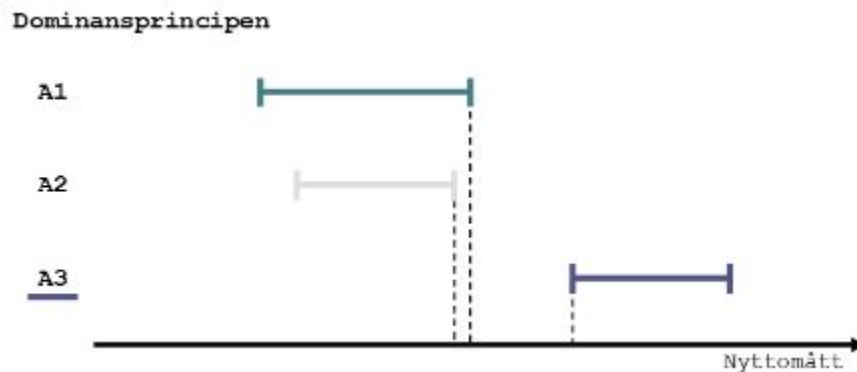
I slutändan är MKA-metoden endast ett sätt att knyta ihop flera olika intressen i ett beslut och på ett systematiskt sätt belysa många olika vinklar av en situation. Det krävs dock konsensus bland beslutsfattare och intressenter för att faktiskt ta ett beslut. MKA-metoden ska således ses som ett beslutsunderlag och inte ett beslutsfattande (Hyde 2006).

2.6 Regler för beslutsfattande under osäkerhet

I detta examensarbete ligger fokus på att utveckla och testa en metodik för att ta fram beslutsunderlag och inte fatta det slutgiltiga beslutet. Viktigt att poängtera är därför att resultatet alltså inte är ett beslut utan ett beslutsunderlag.

För att ta fram ett lämpligt beslutsunderlag är valet av beslutsregler som ligger till grund för rankingen av beslutsalternativ viktigt (Giuliani och Castelletti 2016). Giuliani och Castelletti belyser att valet av beslutsregel kan påverka slutresultatet och att det därför är av stor vikt att beslutsregel väljs så att beslutsfattarens preferenser återspeglas. Flera olika beslutsregler har, för att väga in osäkerheter från val av beslutsregel, därför använts.

Inom beslutsteori särskiljer man på beslut under osäkerhet och beslut under risk. Beslut under osäkerhet gäller då beslutsfattaren (1) vet vilka alternativ som finns att välja på och vilka utfall de kan ge, men (2) kan inte tilldela några sannolikheter för utfallen (Peterson 2009). För att hantera beslut under osäkerhet finns det beslutsregler som man kan använda sig av. Nedan presenteras de beslutsregler som har använts för att välja den bästa åtgärden utifrån dess nyttomått.



Figur 2.5: Figuren beskriver grafiskt hur dominansprincipen fungerar. I exemplet domineras alternativ ett och två av alternativ tre. Alternativ tre ska därför väljas.

2.6.1 Dominansprincipen

Dominansprincipen beskriver inom beslutsteori att man aldrig bör välja ett alternativ som domineras av ett annat. Ett exempel på hur dominansprincipen kan appliceras är om en beslutsfattare är säker på att ett alternativ alltid är minst lika bra som det andra under alla tänkbara tillstånd. Då anses detta alternativ vara det bättre av de två, figur 2.5. Det finns två nivåer av dominansprincipen, svag och stark dominans (Peterson 2009). Svag dominans definieras som att alternativ a_i dominerar alternativ a_j om dess värdefunktion $v(a_i, s)$ är minst lika stor som densamma för a_j i alla tillstånd s , ekvation 2.1. Stark dominans definieras på samma sätt men där krävs även att värdefunktionen $v(a_i, s_m)$ är strikt större än densamma för a_j i minst ett tillstånd s_n , ekvation 2.2.

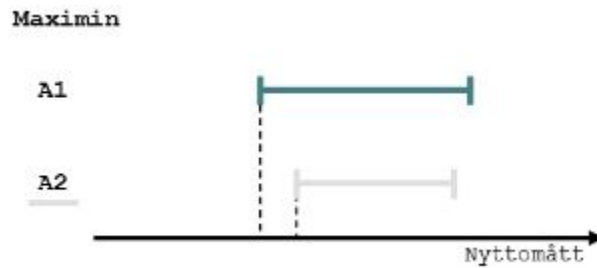
$$\text{Svag dominans: } a_i \succeq a_j \text{ om, och bara, om } v(a_i, s) \geq v(a_j, s) \text{ för alla tillstånd } s \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned} \text{Stark dominans: } a_i \succ a_j \text{ om, och bara om, } v(a_i, s) \geq v(a_j, s) \text{ för alla tillstånd } s_m \\ \text{och det finns något tillstånd } s_n \text{ så } v(a_i, s_n) > v(a_j, s_n) \end{aligned} \quad (2.2)$$

Denna princip kan främst användas för att välja bort alternativ, det vill säga om alternativ 1 är bättre än alternativ 2 i alla möjliga tillstånd ska alternativ 2 aldrig väljas. Om alternativ 1 däremot är bättre i vissa tillstånd, men inte i alla, kan man genom dominansprincipen inte säga vilket alternativ som ska väljas (Peterson 2009). För att göra detta kan andra beslutsregler tillämpas, vilka presenteras nedan.

2.6.2 Maximin-regeln

Maximin-regeln innebär att man plockar ut det sämsta utfallet för varje alternativ och väljer det alternativ med bäst sämsta utfall, figur 2.6. Detta innebär en försiktig inställning till osäkerhet eftersom man väljer att minimera konsekvenserna vid värsta tänkbara utfall (Peterson 2009).



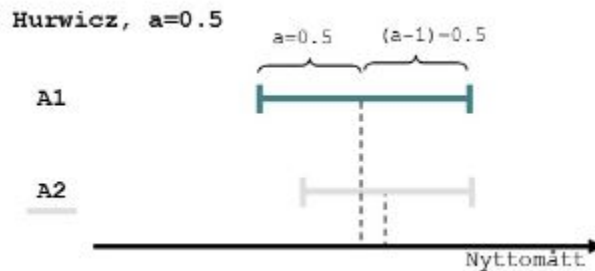
Figur 2.6: Figuren beskriver grafiskt hur beslut tas med hjälp av maximin-regeln där alternativens undre gräns jämförs och det alternativ med störst minsta värde väljs. I bilden väljs alltså alternativ två över alternativ ett.

2.6.3 Maximax-regeln

Maximax-regeln kan ses som det omvända maximin-regeln. Det bästa utfallet för varje alternativ plockas ut och det alternativ med bäst bästa utfall väljs, figur 2.7. Denna metod är optimistisk mot osäkerheter och fokuserar endast på den potentiella vinsten vid bästa möjliga utfall (Peterson 2009).



Figur 2.7: Grafisk beskrivning av hur beslut tas utefter maximax-regeln. Vid jämförelse utefter maximax-regeln jämförs de övre intervallgränserna och alternativet med högst värde väljs, i exemplet alternativ ett.



Figur 2.8: Grafisk beskrivning av hur beslut kan tas utefter Hurwicz regel. En motsvarande punkt jämförs på respektive intervall, här för $\alpha = 0.5$, och det alternativ vars punkt utgör det största prestationsmättet väljs, här alternativ två.

2.6.4 Hurwicz regel

Maximin-regeln kan anses som mycket konservativ eftersom det bara tar hänsyn till värsta möjliga utfall. Likaså kan maximax-regeln tyckas vara för optimistisk då den inte alls fäster vikt vid negativa utfall (Luce och Raifa 1988).

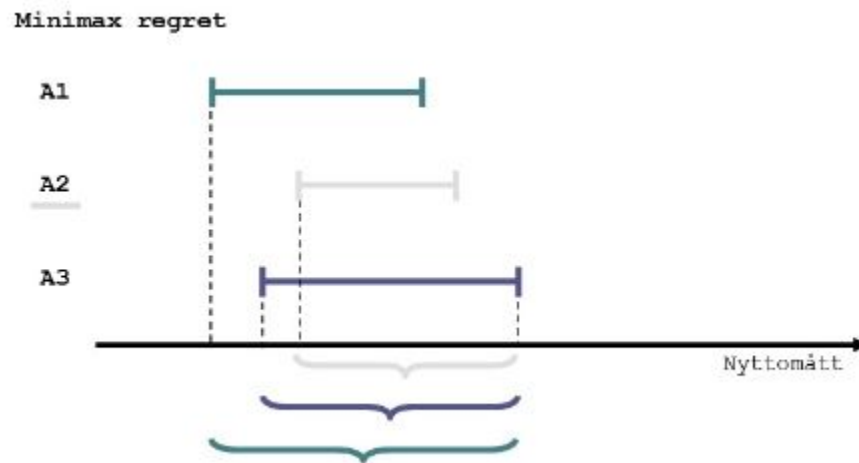
Genom att använda Hurwicz regel finns det möjlighet att väga in både det bästa och det sämsta utfallet för varje alternativ. Detta görs genom att välja ett värde α mellan 0 och 1 som beskriver hur optimistisk beslutsfattaren är. Sedan beräknas ett α -index som beskriver den viktade nyttan för ett alternativ, ekvation 2.3. För α -värden nära 1 är beslutsfattaren mer pessimistisk (konservativ) d.v.s. utfallet för $\alpha = 1$ är detsamma som maximin-kriteriet och för $\alpha = 0$ är utfallet detsamma som maximax-kriteriet (Luce och Raifa 1988).

$$\alpha\text{-index} = \alpha \cdot m_i + (1 - \alpha) \cdot M_i \text{ för } \alpha \in [0, 1] \quad (2.3)$$

där m_i är det sämsta utfallet och M_i är det bästa utfallet d.v.s. den lägre respektive övre gränsen i intervallet. Det alternativ med högst α -index är då enligt Hurwicz kriterium det alternativ som bör föredras. För att ge samma vikt till det bästa och sämsta utfallet sätts $\alpha = 0.5$.

2.6.5 Minimax regret-regeln

Denna beslutsregel fokuserar på förlorade möjligheter, det vill säga hur mycket man kan gå miste om i olika utfall genom att inte ha valt det bästa alternativet (alternativförlust). Det alternativ med minst alternativförlust väljs eftersom man då har minst att ångra vid ett negativt utfall, figur 2.9. Även detta kriterium ses som en pessimistisk beslutsregel (Peterson 2009). Vid beslut enligt Minimax regret-kriteriet



Figur 2.9: Grafisk beskrivning av beslutsfattande under minimax regret-regeln. Vid regeln jämförs avstånden från det bästa möjliga utfallet för alla alternativ med respektive alternativs sämsta värde. Avstånden utgör alternativens största möjliga förlust. Det alternativ som har det kortaste avståndet väljs, här alternativ två.

tas först en alternativförlust fram. Värdet på alternativförlusten fås genom ekvation 2.4:

$$R = MAX - U \quad (2.4)$$

där R är alternativförlust (regret), MAX är det bästa utfallet för varje utfallsscenario och U är utfallet själv. Därefter väljs det alternativ vars största förlust är så liten som möjligt.

2.7 Förtätning

Förtätning är en form av urbanisering där städer byggs ut utan att ta ny mark i anspråk och kan utföras på många olika sätt, från påbyggnad och ombyggnation till byggnation av exempelvis centrala parkeringsplatser och ödetomter (Haaland och Bosch 2015). Som nämns i avsnitt 1.1 finns det i Skåne ett rådande samarbete mellan regionen och de skånska kommunerna för att främja hållbar fysisk planering. I det skånska bördiga jordbrukslandskapet har man inom ramen för detta samarbete kommit fram till att förtätning av regionens utvecklingsmotorer, utvecklingsdrivande orter med goda kollektivtrafikförhållanden och strategiska lägen, är ett steg i denna riktning. Förtätning kommer därför med stor sannolikhet ligga i de skånska kommunernas framtid (WSP 2013).

Fördelar som ofta lyfts fram när man pratar om förtätning är att tätare städer kan

bidra till ett minskat bilberoende, minskad energianvändning och mindre behov av exploatering av ny mark (Newman 2006; Skovbro 2002). Dessutom är de positiva effekter på biodiversitet och bevarande av naturområden som förtätning bidrar med ett starkt argument (Skovbro 2002; Elgåker och Kaaman 2015). Vidare lyfter WSP (2013), som ställt samman en skrift om förtätning i Skåne på uppdrag av regionen, att tätare städer kan vara mer samhällsekonomiskt lönsamma, utnyttjar befintliga investeringar mer effektivt och skapar bättre förutsättningar för fungerande kollektivtrafik.

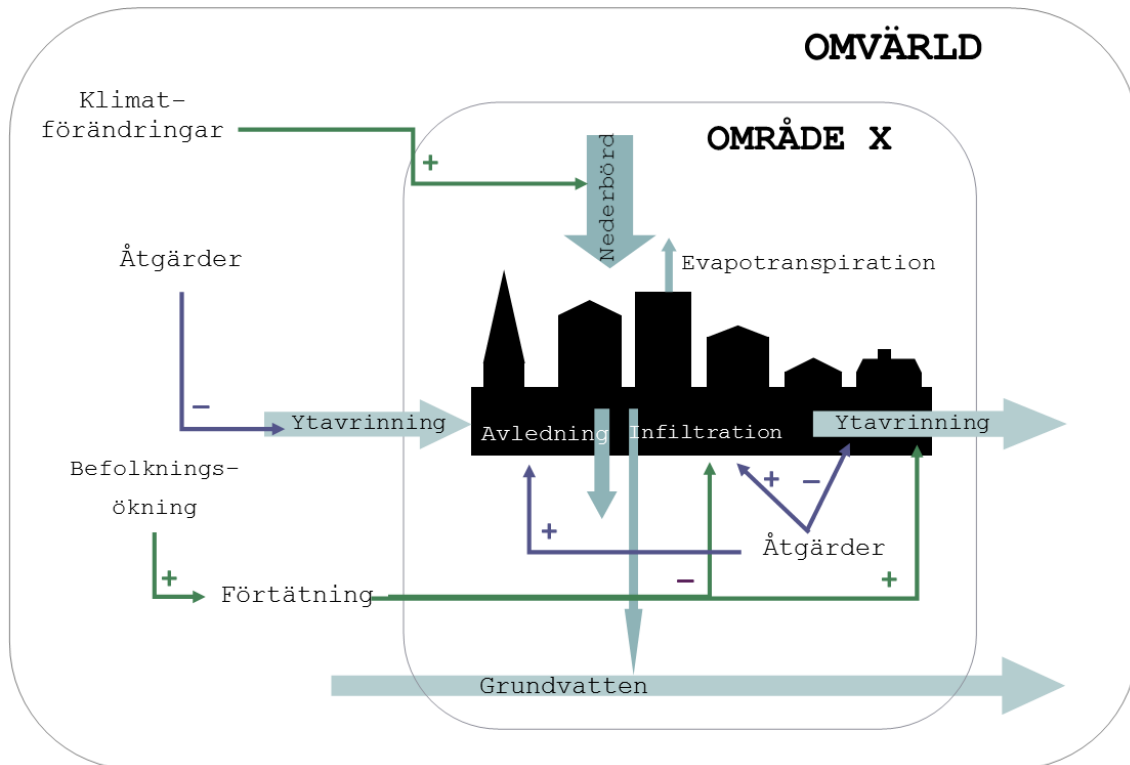
Trenden mot förtätning har dock även några baksidor. Exempelvis kan den möjliga förlusten av urbana grönområden till förmån för ogenomsläppliga ytor i kombination med höga och tätt placerade byggnader leda till att den uppvisade marktemperaturen i tätare urbana områden blir högre än i motsvarande miljöer utanför staden. Detta fenomen kallas *urban heat islands* (UHI). UHI har visat sig generera problem som större mängder troposfäriskt ozon och hälsoproblem (Chun och Guldmann 2014).

Tätare städer påverkar också tillgången av ekosystemtjänster. Exempelvis innebär tätare städer fler människor på en mindre yta som alla ska dela på befintliga ekosystemvaror från jordbruksproduktion. Lika så har man sett att förtätning i än större utsträckning än urban expansion bidrar till en minskning i ekosystemtjänsten översvämningsreduktion (Eigenbrod m. fl. 2016).

2.8 Pluviala översvämningar

Översvämningar inträffar när vatten ansamlas på markytan, typiskt vid lågpunkter, som ett resultat av att dagvattensystemets kapacitet överskrids. Skada till följd av översvämningarna sker när ansamlingen uppstår på en plats där det finns något av värde som dessutom är sårbart för vattenmassorna (MSB 2013).

Urbanhydrologin beskriver den gren av vattnets kretslopp som sker i stadsmiljö. Vid urbanisering syns en märkbar påverkan på den naturliga vattenbalansen som råder i icke-exploaterade områden (Svenskt Vatten 2011), en effekt som ytterligare förstärks av en ökad förtätning (Eigenbrod m. fl. 2016). Till följd av ökad andel hårdgjorda ytor uppvisar den urbana vattenbalansen, figur 2.10, en ökning i både intensitet och volym i systemets ytavrinning, minskad infiltration samt sänkta grundvattennivåer. Detta innebär i sin tur att maximala flöden i urbana miljöer uppkommer vid korta och intensiva skyfall. Det är alltså dessa regn som är de mest kritiska ur ett urbant perspektiv (Svenskt Vatten 2011; MSB 2013).



Figur 2.10: Illustration över den urbana vattenbalansen samt hur denna påverkas av ökad förtätning (grönt), klimatförändringar (grönt) och åtgärder för reduktion av översvämningsrisk (lila).

2.8.1 Förändrad riskbild

De dagvattensystem som finns i tätorter är tänkta att hantera den ytavrinning som uppstår vid regn i den urbana vattenbalansen. De är vanligtvis dimensionerade för ett 10-årsregn vilket innebär att vid ett kraftigare skyfall än så fylls avloppssystemen upp och uppdamning som orsakar översvämningar kan inträffa (MSB 2013).

I framtiden kan en varmare atmosfär med större kapacitet att hålla vattenånga ge förutsättningar för intensivare skyfall. Skyfallen är mycket lokala och karakteriseras därför av att vara svårprognostiserade (Olsson och Josefson 2015). Utöver detta ger en förändring mot tätare städer där fler människor, samhällsviktiga funktioner och andra värden koncentreras på samma yta i kombination med intensivare skyfall att de negativa konsekvenserna ökar (SMHI 2014; Eigenbrod m. fl. 2016). Kombinationen av förtätningens effekter, ökad sårbarhet och intensivare skyfall grundar alltså för en ökad risk för pluviala översvämningar i framtiden. Med liten möjlighet till att ställa prognoser över var och när skyfallen kommer inträffa måste beredskapen byggas in i de urbana systemen genom urban översvänningsriskhantering.

2.9 Översvänningskartering

Översvänningsberäkningar presenteras ofta i form av så kallade översvänningskarteringar. Översvänningskarteringen beskriver de områden som är mest sannolika att översvämmas vid ett skyfall. Karteringar har många användningsområden. Exempelvis kan de användas som underlag vid fysisk planering, räddningstjänsternas insatsplanering, vid framtagande av kostnads-nyttoanalyser och som underlag i kommunens risk- och sårbarhetsanalyser (Markus Petzén 2014; MSB 2013).

2.9.1 Avrinningsmodellering

Avrinningsmodeller utgör ofta indata till hydrodynamiska modeller, såsom många av översvänningsmodellerna som diskuteras senare i detta avsnitt. Modellerna använder en mängd hydrologiska indata för att beskriva det studerade området (Hénonin m. fl. 2013). Tre sådana viktiga hydrologiska parametrar som kommer diskuteras i denna rapport är klimatfaktor, typregn och permeabilitet.

Klimatfaktorer för nederbörd

Den mest representativa metoden för att inkludera effekten av de studerade klimatscenerierna på framtida nederbördsmängder är att skala ned globala klimatmo-

deller till regional nivå och simulera skyfallen. För att få goda prognoser krävs dock, som presenterats i avsnitt 2.3.1, en hög upplösning och avancerade modeller vilket i sin tur ställer krav på stora datorresurser och tid. Därför används ibland framtagna klimatfaktorer som multipliceras med dimensionerade intensiteter från studieområdets existerande intensitets-varaktighetskurvor för att ta fram framtida dimensionerade intensiteter. På så sätt tas hänsyn till förväntade klimatförändringar utan att mer avancerade klimatmodeller behöver köras vid varje beräkning (Olsson och Josefson 2015).

För att bedöma översvämningsrisker i tätorter är det framförallt extrem nederbörd under kort tid, mindre än ett dygn, som är av intresse. Eklund m. fl. (2015) har tagit fram förändring i extrem korttidsnederbörd med återkomsttid 10 år för klimatscenerierna RCP4.5 och RCP8.5, tabell 2.3. Förändringen är beräknad mot en referensperiod mellan 1961–1990 som är baserad på historisk nederbördsstatistik.

SMHI har inte tagit fram regionala klimatfaktorer för 100-års nederbörd men konstaterar att osäkerheterna ökar mycket vid extrapolering till 100-års regn samt att de generella resultaten vid extrapolering visar att ökningen är marginellt större men i övrigt likvärdig den för 10-års återkomsttid (Olsson och Josefson 2015). Sammanfattningsvis rekommenderar Svenskt Vatten (2016) att en klimatfaktor på minst 1.2 ska användas för regn med en varaktighet mellan 1 timme och 1 dygn. Det poängteras även att klimatscenerier hela tiden uppdateras och de rekommenderade klimatfaktorerna ändras därefter, och att den bästa möjliga bedömningen vid dimensioneringstillfället ska användas.

Tabell 2.3: Procentuell ökning av korttidsnederbörd med 10 års återkomsttid från 1961-1990 till de båda perioderna 2021-2050 och 2069-2098. Beräkningen är gjord för regn med olika varaktighet och för scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Tabellen visar ett medelvärde för hela landet och för samtliga scenarier (Eklund m. fl. 2015).

| | 2021-2050 | | 2069-2098 | |
|-------------|-----------|--------|-----------|--------|
| Varaktighet | RCP4.5 | RCP8.5 | RCP4.5 | RCP8.5 |
| 20 min | 19 | 23 | 30 | 51 |
| 1 timme | 14 | 16 | 20 | 34 |
| 3 timmar | 13 | 13 | 17 | 29 |
| 12 timmar | 12 | 14 | 18 | 29 |

Typregn

Ett typregn är ett fiktivt skyfall som ställs upp för att möjliggöra vissa beräkningar. Typregnet är vanligtvis kopplat till platsspecifika intensitets-varaktighets-kurvor och

antas därför ha samma återkomsttid som dessa. En av typregnets fördelar är att det inte krävs uppmätta regnserier och att det finns god tillgänglighet av intensitetsvaraktighetskurvor för många platser i Sverige (Svenskt Vatten 2011).

CDS-regn står för *Chicago Design Storm* och är en variant av typregn. Vid framtagande av CDS-regn ansätts ett intensitetsmaximum, exempelvis genom att anta att det uppkommer mitt i skyfallet. Regnet fördelas då symmetriskt runt detta maximum. Vid användande av ett CDS-regn är det endast nödvändigt att göra en avrinningsberäkning per återkomsttid eftersom ett regn täcker in alla varaktigheter vilket är en fördel (Svenskt Vatten 2011).

Permeabilitet

Permeabiliteten är ett värde som beskriver en jordarts vattengenomtränglighet och används bland annat vid bedömning av effekten av infiltration. Eftersom permeabiliteten främst påverkas av porstorlek och total porvolym har finkorniga jordarter, så som lera med en permeabilitet mindre än 10^{-9} , generellt betydligt lägre permeabilitet än mer grovkorniga motsvarigheter, såsom sand med en permeabilitet mellan 10^{-6} och 10^{-2} (Larsson 2008).

2.9.2 Olika typer av översvänningsmodeller

MSB (2013) beskriver i sin rapport *Pluviala översvämningar – Konsekvenser vid skyfall över tätorter. En kunskapsöversikt* fyra olika typer av modellering och kartering av pluviala översvämningar: analys av lågpunkter, markavrinningsmodell (2D), kombinerad dagvattenmodell och modell för nätverk av flödesvägar (1D-1D), och kombinerad dagvattenmodell och markavrinningsmodell (1D-2D).

I valet av översvänningsmodell är det främst två aspekter som är viktiga att definiera. Den första av dessa är att identifiera vilken information som finns att tillgå. Finns det exempelvis en befintlig avloppsnätverksmodell och tillgång till hydrauliska parametrar kan en 1D-2D vara lämplig medan det, om ingen information finns att tillgå om avloppsnätets dimensionering, kan vara lämpligare att använda en 2D-modell med ett schablonavdrag för ledningsnätet. Den andra aspekten att ta hänsyn till vid val av modell är vilket system som studeras samt vad analysen ska ligga till grund för (Hénonin m. fl. 2013). Studeras exempelvis ett område och ett skyfall där ledningsnätets inverkan kan anses marginellt, till exempel ett mycket intensivt skyfall med kort varaktighet, kan en 2D-modell ge en lika bra representation av vattendjup och flöden i området som en 2D-1D-modell. På samma sätt kan det vara lämpligt att använda sig av en lågpunktskartering för att få en snabb överblick över ett större område inför vidare bedömning av vilka områden som bör prioriteras för djupare analyser. Nedan

följer en kort genomgång av de olika metoderna och en sammanfattning av dess för- och nackdelar återfinns i tabell 2.4.

Lågpunktsanalys

Vid en analys av lågpunkter används GIS och en terrängmodell för att ta fram var i det studerade området det finns lågpunkter som eventuellt kan komma att översvämmas. Utifrån dessa lågpunkter kan vidare maximala volymer och djup beräknas. Lågpunktsanalys är en i sammanhanget relativt simpel modell vilket kan vara en fördel om syftet är att snabbt överblicka var i ett område det kan tänkas ske översvämningar. Analysen tar dock inte hänsyn till vilka regnmängder som krävs för att djupen ska uppstå och ofta antas alla ytor impermeabla vilket gör den mindre passande som underlag vid beslut som kräver mer detaljerad bakgrundsinformation (MSB 2013).

Markavrinningsmodell

I den andra av de fyra modellerna, 2D-modellen, inkorporerar man, utöver lågpunkter, data om var hårdgjorda ytor finns och hydrauliska beräkningar av markavrinningen görs för faktiska regnhändelser. Liksom för lågpunktskarteringen går 2D-modellen relativt snabbt att ställa upp och ger en god överblick över ett stort område. Beräkningarna kan dock ta desto längre tid för denna modell. Utöver detta kan endast schablonmässig hänsyn tas till eventuella ledningsnät varför modellen lämpar sig bäst när sådana inte finns, kapaciteten inte är känd eller då ledningsnätens utflöde utgör en marginellt liten del av de totala vattenmassorna (Hénonin m. fl. 2013).

Kombinerad dagvattenmodell och modell för nätverk av flödesvägar

1D-1D-modellen tar till skillnad från 2D-modellen hänsyn till ledningsnätverken. Detta görs genom att kombinera en modell för flödesvägar och knyta samman ledningsmodellen med flödesvägarna vid dagvattenbrunnar. Nackdelen med denna modell är att den är mycket data- och tidskrävande och resultaten kräver vidare bearbetning för att nå fram till översvämningsskarteringen (Hénonin m. fl. 2013).

Kombinerad dagvattenmodell och markavrinningsmodell

I den sista av de fyra modellerna, 1D-2D-modellen, beskrivs ledningsnäten av en 1D-modell likt den som beskrivs i föregående avsnitt men i denna modell kopplas den istället till en markavrinningsmodell, 2D-modellen. Detta innebär att man, om data

för detta finns tillgänglig, får en god representation av avloppssystemen och samtidigt kan modellera översvämningens spridning i hela stadsrummet och inte bara längs med utsatta flödesvägar. Med en 1D-2D-modell är det därmed möjligt att beräkna vattennivåer och flödesvägar i hela studieområdet (Hénonin m. fl. 2013).

Trots nackdelar så som stora krav på mycket indata med god upplösning och relativt tidskrävande uppbyggnad och analyser börjar modelltypen bli allt vanligare vid studier av pluviala översvämningar. Bland annat finns modelltypen tillgänglig i DHI:s program MIKE FLOOD (Hénonin m. fl. 2013).

Tabell 2.4: Sammanfattning av de olika översvämningsmodellernas för- och nackdelar.

| | |
|---|---|
| <p>Lågpunktskartering</p> <ul style="list-style-type: none"> + Enkel och kan snabbt ge en överblick över större geografisk ytor. – Tar inte hänsyn till systemets hydrodynamik. – Ger ingen information om vilka regnmängder som krävs för att en översvämning ska inträffa. | <p>2D-modell</p> <ul style="list-style-type: none"> + Är relativt enkelt och snabbt att ställa upp modellen. + Får snabbt en god överblick över ett stor område. + Är en bra representation av förhållandet mellan inflödet från uppströms områden och lågpunktsvolymen. – Modellen kan ta relativt lång tid att köra. – Kan endast schablonmässigt ta hänsyn till ledningsnät. |
| <p>1D-1D-modell</p> <ul style="list-style-type: none"> + Tar hänsyn till flödesvägar och ledningsnätverk. – Är tidskrävande att ställa upp och köra modellen. – Krävs mycket indata. – Krävs vidare bearbetning av resultaten i GIS för att ta fram översvämningsskarteringen. – Ej representativ i annat än längs vägar/flödesvägar. | <p>1D-2D-modell</p> <ul style="list-style-type: none"> + Tar hänsyn till avloppsnätverk. + Tar god hänsyn till flöden i hela stadsrummet. – Mycket beroende av indata med god upplösning. – Tar lång tid att köra. |

Del II

Beslutsanalys

3 | Översikt över beslutsanalys

I detta kapitel ges en överblick över den framtagna beslutsanalysmetoden och dess olika delar. För att skapa en god överblick presenteras även en grafisk sammanställning av den samma.

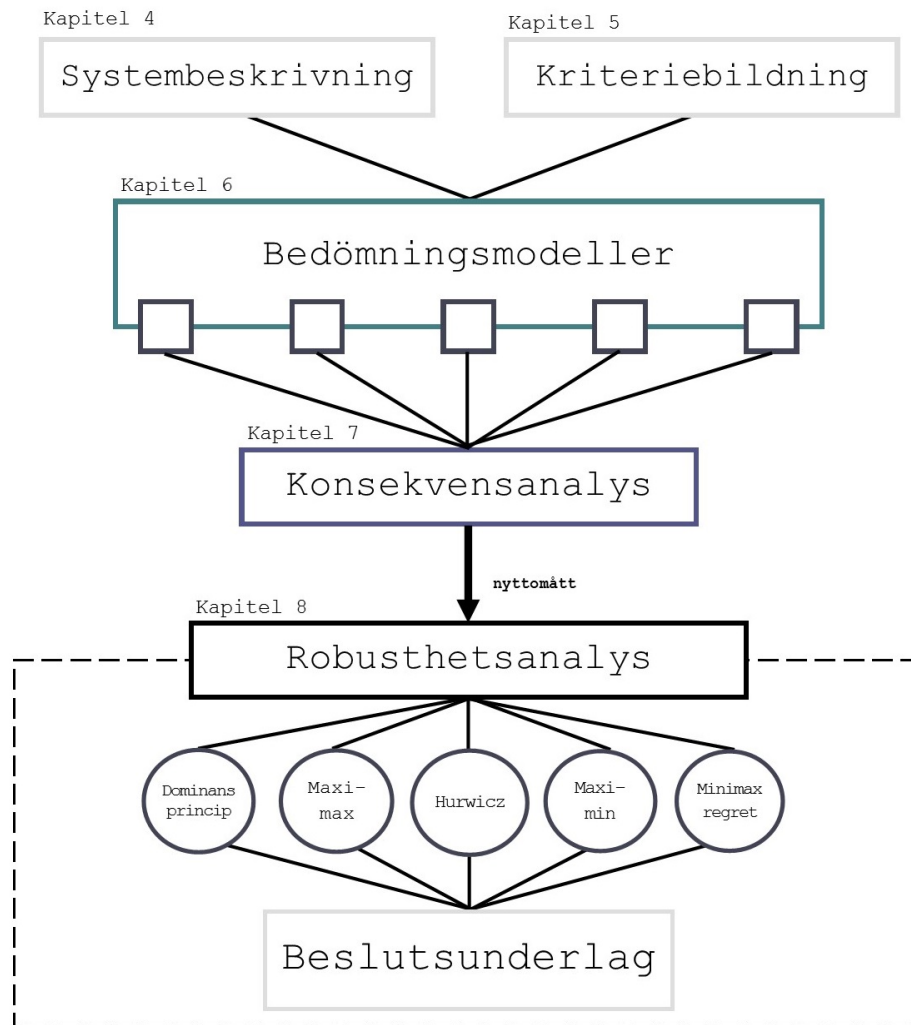
3.1 Design science-perspektivet

I rapportens teoridel, avsnitt 2.1, beskrivs grunderna för *design science research* (DSR) där sju riktlinjer för bedrivande av DSR lyftes fram. I sammanhanget utgör beslutsanalysmetoden den artefakt som riktlinje 1 kräver och det problemområde som riktlinje 2 syftar till är översvämningshantering i fysisk planering. Fallstudien och känslighetsanalysen är del av den utvärdering av analysen som kopplar till riktlinje 3. Riktlinje 4 uppfylls genom att denna typ av beslutsanalys inte används i dagsläget för val av översvämningsåtgärder och riktlinje 5 genom att beslutsanalysen är sammanhängande, väldefinierad och konsekvent. Riktlinje 6 handlar om att hitta en fungerande lösning för problemet i fråga utan att nödvändigtvis identifiera alla möjliga lösningar. Slutligen presenteras beslutsanalysen i den mån det är möjligt med hjälp av grafiska verktyg för att underlätta kommunikationen med användare men en vidareutveckling med exempelvis ett webbverktyg är önskvärt.

3.2 Sammanfattning av beslutsanalysen

Det framtagna tillvägagångssättet för robust analys består av fem delar: (i) systembeskrivning, (ii) kriteriebildning, (iii) bedömningsmodeller, (iv) konsekvensanalys och (v) robusthetsanalys. Hur de olika delarna hör ihop med varandra och vilka kapitel de tillhör visas i den konceptuella skissen i figur 3.1. Figuren beskriver arbetsgången uppifrån och ner där steg 1 är *systembeskrivning* och *kriteriebildning*. Systembeskrivningen innefattar scenariokonstruktion för både förtätnings- och klimatscenarier samt

framtagande och beskrivning av de åtgärdsalternativ som ska studeras. I kriteriebildningen läggs grunden för MKA-analysen. Kriterierna tas fram utifrån de mål som beslutsfattandet ska uppfylla. Målen tas fram utifrån en brainstorming för att sedan kategoriseras och testas. Nästa steg i beslutsanalysen är *bedömningsmodellerna* som innefattar metoder för framtagande av ingångsdata för att beskriva åtgärdernas prestationsmått i förhållande till de olika kriterierna. Ingångsdatan beskrivs genom kvalitativa modeller, kvantitativa uppskattningar och en 2D-markavrinningsmodell. I nästa steg, *konsekvensanalys*, genomförs TOPSIS för att ta fram åtgärdsalternativens sammanvägda nyttomått. Resultat från TOPSIS analyseras sedan i en *robusthetsanalys* där vi undersöker betydelsen av sex olika beslutsregler på rangordningen av åtgärderna.



Figur 3.1: Konceptuell grafisk sammanfattning av beslutsanalysen och dess olika delar.

4 | Systembeskrivning

I detta kapitel presenteras studieområdet samt de förtättnings- och klimatscenarier som har satts upp för att testa åtgärdernas känslighet i förhållande till klimatförändringar och förtätning. De översvämningsåtgärder som testas för det studerade området introduceras också översiktligt.

4.1 Studieområdet

Det studerade området är lokaliserat i västra Lund mellan Norra ringen och Bryggaregatan, figur 4.1. Väster om området ligger främst handel i form av Nova Lundområdet, i norr och söder i huvudsak bostadsområden och i öster stadskärnan. I dagsläget är området framförallt ett industriområde men Lunds kommun planerar ett stadsomvandlingsprojekt där området ska förtätas och bli ett blandstadsområde. Visionen är att området ska koppla samman centrala Lund och västra Lund ¹.

4.2 Robusthet och osäkerhet i systemmodellerna

I teorikapitlet, avsnitt 2.4, beskrivs begreppet robusthet. I kontexten av detta examensarbete gjordes utifrån denna bakgrund tolkningen att begreppet handlar om att hantera osäkerheter som grundar sig i att vi inte kan förutspå framtiden med avseende på klimatförändringar och socioekonomisk utveckling, en osäkerhet som faller inom begreppet djup osäkerhet. Vi använder alltså begreppet robusthet som ett mått på hur väl en översvämningsåtgärd förväntas prestera under flera olika framtida tillstånd. Det mest robusta beslutsalternativet blir då det alternativt som presterar bäst under störst andel troliga framtider och beslutsregler.

Ett problem som vidare bör bemötas är att det finns stora osäkerheter i uppskatt-

¹Carolina Lundberg, Lunds kommun, personlig kontakt, den 27 januari, 2017.



Figur 4.1: Inzoomad, (a), respektive övergripande, (b), karta där studieområdet markerats.

ningarna av indata. I avsnitt 2.2.2 lyfts hur stor försiktighet vid att tilldela sådan data sannolikhetsfördelningar bör viktas och att ett bättre alternativ är att arbeta med intervall. Därför har osäkra inparametrar i modellen i största möjliga mån beskrivits med hjälp av intervall.

4.3 Scenariokonstruktion

Då vi rör oss i ett område med djup osäkerhet beskrivs i avsnitt 2.2.2 hur flera olika framtida utfall kan nyttjas för att undersöka ett besluts robusthet. Ett användbart sätt att beskriva dessa osäkerheter är genom scenarier. Speciellt lämpligt är det att använda scenarier då inget eller mycket lite kan sägas om de olika utfallens sannolikheter.

Scenariokonstruktionens användbarhet i analysen styrks vidare av att ett mycket vanligt sätt att hantera de inneboende osäkerheterna som präglar klimatprognoser är att använda scenarier. Genom scenariokonstruktion kan man sätta samman ett begränsat antal möjliga framtida verkligheter som tillsammans beskriver nyckelosäkerheter och därmed skapa underlag för planer och policyer (Maier m. fl. 2016; Star m. fl. 2016).

Vid uppställning av scenarier för analys är det viktigt att först identifiera de nyckelmekanismer som anses utgöra den viktigaste framtida påverkan på systemet. I den studerade översvämningskontexten är det förtätning och klimatförändringar som utgör dessa nyckelmekanismer. Därför bör scenarierna innefatta olika utfall som beskriver möjlig variation i framtida förtätning och klimatförändringar.

4.3.1 Förtätningsscenarier

För att skapa förtätningsscenarier för området utgick vi från ett exploateringsstal vilket är ett mått på bebyggelsetäthet. Exploateringsstalet brukar förkortas e och beräknas som summan av alla våningsplans area delat på den totala markarean, ekvation 4.1. Exploateringsstalet kan användas för att säkerställa en viss andel bebyggd yta men säger ingenting om områdets utformning (Malmö Stadsbyggnadskontor 2010). En traditionell kvartersstad har ett ungefärligt e -tal mellan 1.0 - 2.0 (Olsbo 2008).

$$e = \frac{\text{våningsplan} \times \text{byggnadsarea}}{\text{total markarea}} \quad (4.1)$$

Vi har antagit att man vill ha samma bebyggelsetäthet (e -tal) i alla förtätningsscenarier och användes ett e -tal på 1.3 för att sedan variera andel grönyta och bebyggd yta i området. Alla scenarier ska alltså kunna inhysa samma antal boende i och med att antalet våningar på byggnaderna varieras, detta resulterade i tre förtätningsscenarier vilka presenteras i box 4.3.1

BOX 4.3.1: FÖRTÄTNINGSSCENARIER

De tre förtätningsscenarier som har tagits fram är (1) Aktuell förtätning – markanvändningen är densamma som i dagsläget, det vill säga bostäder byggs endast där det redan finns hårdgjorda ytor idag, (2) Grå förtätning – utbredning av bostadsbyggnader gör anspråk på de grönområden som finns i området idag och (3) Grön förtätning – förtätning sker framförallt på höjden och fler grönytor implementeras i området. I tabell 4.1 ses en sammanfattning av scenarierna, dess markanvändning och det genomsnittliga antalet våningar som vart scenario kräver för att uppnå ett exploateringsstal på 1.3.

Tabell 4.1: Översikt över de tre förtätningsscenarierna och dess egenskaper givet ett exploateringsstal på 1.3.

| Scenario | Beskrivning | Bebyggd yta (%) | Grönyta (%) | Övrig mark (%) | Antal våningar (medeltal) |
|--------------------------|--|-----------------|-------------|----------------|---------------------------|
| FS1 - Grå förtätning | <i>Förtätning på bredden</i> | 60 | 10 | 30 | 2.2 |
| FS2 - Aktuell förtätning | <i>Förtätning efter aktuell markanvändning</i> | 40 | 30 | 30 | 3.3 |
| FS3 -Grön förtätning | <i>Förtätning på höjden</i> | 20 | 50 | 30 | 6.5 |

4.3.2 Klimatscenarier

I SMHI:s rapport *Vägledning för användande av klimatscenarier* beskrivs hur de globala RCP-scenarierna har skalats ner till regional nivå för Sverige (Persson, Strandberg och Berg 2015). SMHI har tagit fram tre nya klimatscenarier för Sverige, RCP2.6, RCP4.5 och RCP8.5, som bygger på de globala strålningsdrivningsscenarierna med samma namn, se tabell 2.2, samt nio olika klimatmodeller. Nedskalningen har alltså gjorts med en uppsättning av flera klimatmodeller för varje strålningsdrivningsscenario, för att fånga in osäkerheter i modellerna. För klimatanpassning på lokal nivå med ett långt tidsperspektiv, till exempel 50 eller 100 år, rekommenderar Persson, Strandberg och Berg (2015) SMHI's nedskalade klimatscenarier på länsnivå.

I detta arbete hade det därför varit önskvärt att i översvämningssmodelleringen använda SMHI:s klimatscenarier RCP4.5 och RCP8.5 för extrem nederbörd med 1 timmes varaktighet i Skåne län. Dessa data finns beskrivna som en procentuell ökning av korttidsnederbörd för perioden 2069–2098 jämfört med perioden 1961–1990 som har satts till referensperiod (Ohlsson m. fl. 2015).

De klimatscenarier som har använts i detta arbete presenteras i box 4.3.2.

BOX 4.3.2: KLIMATSCENARIER

Eftersom genomförandet av en översvämningskartering med tvådimensionell hydraulisk beräkning faller utanför ramarna för detta examensarbete har vi inte haft möjlighet att modellera med SMHI:s klimatscenarier RCP4.5 och RCP8.5.

Tabell 4.2: Skyfallsscenarioerna som används för att beskriva nederbörd i modellen.

| Skyfallsscenario | Återkomsttid | Klimatfaktor | Varaktighet |
|------------------|--------------|--------------|-------------|
| KS1 - Måttlig | 50 år | 1.3 | 6 h |
| KS2 - Kraftig | 100 år | 1.3 | 6 h |

Istället har två skyfallsscenarioer, tabell 4.2, som baserats på översvämningskarteringar gjorda på beställning av Lunds kommun och VA SYD, som sköter det övergripande översvämningsarbetet på uppdrag av kommunen^a, utnyttjats. Karteringen är genomförd med hjälp av programvaran MIKE från DHI där man simulerat två skyfall, CDF-regn med en återkomsttid på 50 respektive 100 år, med en klimatfaktor på 1.3 och en varaktighet på 6 timmar. Modellen för det studerade området utgörs av en tvådimensionell markavrinningsmodell kopplad till en endimensionell avloppsnätverksmodell^b.

^aCarolina Lundberg, Lunds kommun, personlig kommunikation, 27 januari, 2017.

^bKristina Hall, VA SYD, projektledare för översvämningskarteringen, personlig kommunikation, 9 februari, 2017.

4.4 Åtgärder

Arbetet begränsas till fördröjningsåtgärder som ökar avlednings- och infiltrationskapacitet i det studerade området eller områden uppströms och därigenom minskar ytavrinningen till och från det studerade området, se figur 2.10 i avsnitt 2.8.

Tre utvalda fördröjningsåtgärder för översvämningsreduktion studeras i detta examensarbete: (1) intensiva gröna tak på 50 procent av taken i området, (2) öppna fördröjningsmagasin i 30 procent av befintlig parkmark, och (3) regnbäddar på 15 m² var femtionde meter längs med större vägar med alléer.



(a) Extensivt grönt tak

(b) Semi-intensivt grönt tak

Figur 4.2: Exempel på extensivt grönt tak (a) och semi-intensivt grönt tak (b) i Malmö. Foto: Jonatan Malmberg (Klimatanpassningsportalen 2015)

4.4.1 Gröna tak

Gröna tak kan fördröja mindre regn så att ytavrinningen minskas genom att vegetationen tar upp, magasineras och avdunstar nederbörden (Lindfors, Bodin-Sköld och Larm 2014). Gröna tak kommer i olika utformningar och brukar generellt delas upp i extensiva och intensiva gröna tak, figur 4.2. Extensiva gröna tak är en enklare modell som vanligen innefattar en växtbädd på 30-150 mm med till exempel mossor, sedumväxter och torrängsväxter. Intensiva gröna tak kan hantera en större mängd vatten och är vanligen 300–1000 mm djupa. Växttyper för intensiva gröna tak kan variera från gräsmattor till buskage och mindre träd. Intensiva gröna tak kräver mer underhåll och skötsel än extensiva gröna tak, och kan jämföras med en vanlig trädgård som behöver beskäras, bevattnas och gödas (Scandinavian Green Roof Institute 2017).

4.4.2 Öppna fördröjningsmagasin

Ett öppet fördröjningsmagasin är en nedsänkt yta som i normala fall är torr men kan tillåtas svämmas över vid höga flöden av dagvatten, figur 4.3. Ytorna kan vara gräsbeklädda eller hårdgjorda (Uppsala Vatten 2014). Flödet nedströms magasinet regleras antingen genom ett bottenutlopp som kan strypas eller genom infiltration i mark och under tiden avrinning sker bildas en tillfällig vattenspegel i nedsänkningen. En viss reningseffekt på vattnet kan också uppnås (Lindfors, Bodin-Sköld och Larm 2014).



Figur 4.3: Exempel på park som kan översvämmas och fungera som fördröjningsmagasin. Foto: Ramböll (2015)

4.4.3 Regnbäddar

En regnbädd består av en växtbädd med en form av biofilter som kan fördröja, behandla och infiltrera dagvatten (Fridell och Jergmo 2015), figur 4.4. Regnbäddar lämpar sig bra för hantering av dagvatten från små områden eller i tätorter. De kan också anpassas för att passa in i stadsbilden och skapa fler gröna ytor (Haeggbloom och Hallerth 2016). Det finns några olika typer av regnbädd som framförallt skiljer sig i dess utformning av avvattningsystem. Generellt består en regnbädd av ett inlopp, en fördröjningszon, erosionsskydd, växtjord, bräddavlopp samt någon typ av avvattningsystem. Regnbäddar kan vara både upphöjda, där dagvatten till exempel leds till bädden via stuprör, eller nedsänkta på exempelvis gator där dagvattnet kan ledas genom hål i kantstenar (Fridell och Jergmo 2015).

Utöver att bidra till översvämningsreduktion tillför regnbäddarna främst rening av dagvatten. I olika studier har växtbäddar till exempel uppvisat upptag av tungmetaller som är så höga som 50 – 80 procent av den totala mängden. Mellan de positiva yttringarna rening och fördröjning av dagvattenflöden uppstår dock en konflikt som kräver avvägningar. För att uppnå bästa möjliga reningseffekt bör filtermaterialet utgöras av finkorniga jordarter som håller kvar vattnet så länge som möjligt medan det motsatta gäller vid översvämningsreduktion. Till detta kommer också ytterligare en faktor i att den jordart som används också måste vara kompatibel med de växter som ska planeras i bädden och som ofta varken kan leva i allt för fin-, risk för syrebrist, eller grovkorninga, för lite växttillgängligt vatten, jordarter (Fridell och Jergmo 2015).



Figur 4.4: Regnbädd i gatumiljö i Tyresö. Foto: Dagvattengruppen Sweco, Agata Bancha, från (Fridell och Jergmo 2015)

5 | Kriteriebildning

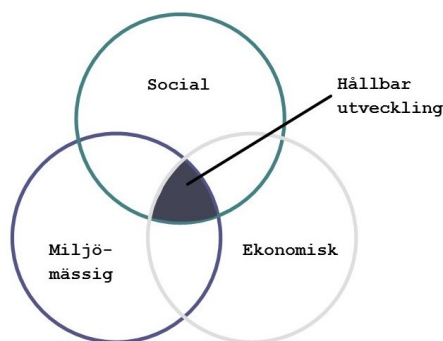
I detta kapitel beskrivs den metodik som använts för att med hjälp av bland annat strukturerad brainstorming bilda mål ur vilka kriterier för den resterande analysen kondenserats.

I avsnitt 2.5.2 beskrivs hur kriterierna bör grundas i projektets, här översvämningshantering i den fysiska planeringen, målsättningar (Hyde 2006). Därför utgör målbildning en stor del i framtagandet av kriterier. Målbildningen görs genom de fyra steg som också beskrivs i detalj i avsnitt 2.5.2: (1) brainstorming, (2) sortera målen, (3) skapa målhierarki, och (4) pröva målen.

5.1 Brainstorming

I avsnitt 2.5.2 beskrivs hur brainstormingen kan organiseras genom att utgå från kategorier. De system som studeras är kommunal planering av översvämningsåtgärder. I kontexten är syftet att uppnå robusta beslut som tar hänsyn till en osäker framtid, förtätningsintresset, ekonomiska intressen och befolkningens intressen samtidigt som det grundar för en hållbar utveckling.

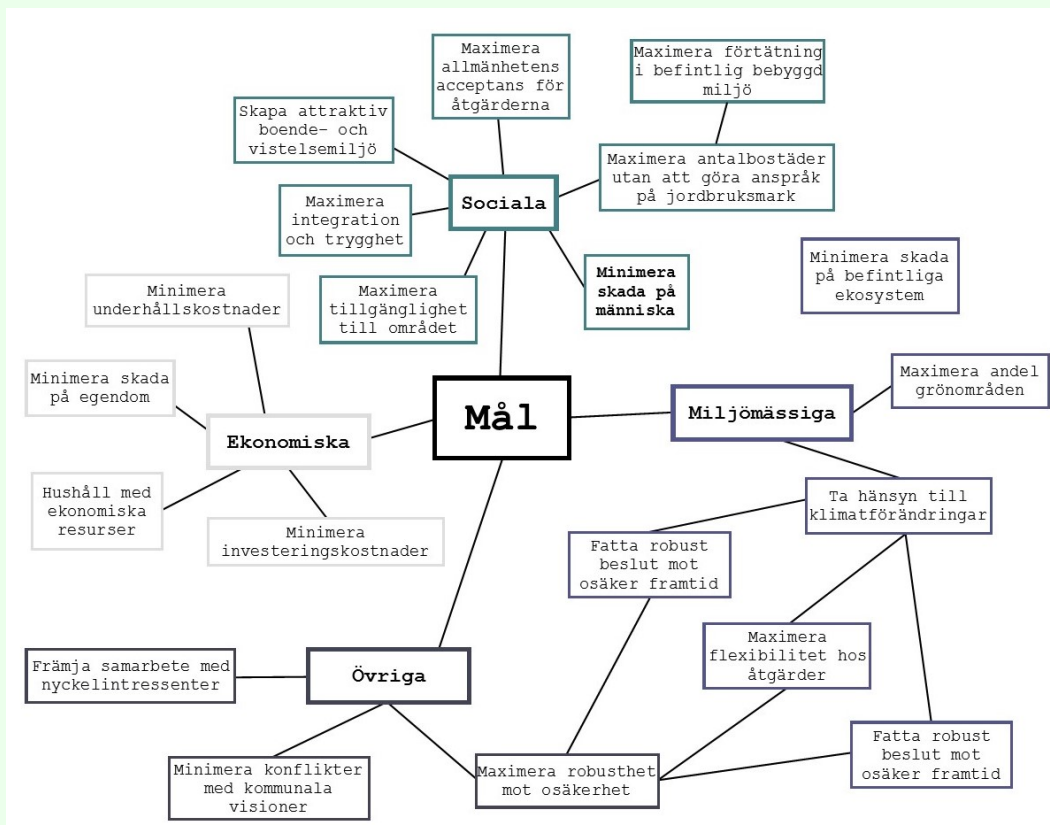
Traditionellt sett anses hållbar utveckling uppstå i överlappet mellan den ekonomiska, sociala och miljömässiga dimensionen (Hasan och Lee 2015), se figur 5.1. Därför användes en mindmap med utgångspunkt i dessa tre dimensioner som ett verktyg i brainstormingprocessen. För att inte hämma kreativiteten inkluderades även en kategori för övriga värden. Exempel på hur denna mindmap kan se ut går att se i box 5.1.



Figur 5.1: Illustration över de tre dimensionerna av hållbar utveckling som utgjort en utgångspunkt i brainstormingprocessen vars resultat beskrivs i figur 5.2.

BOX 5.1.1: BRAINSTORMING

Nedan, figur 5.2, syns resultatet av brainstormingprocessen. Huvudutgångspunkten var i hållbar utveckling samtidigt som vi försökte balansera de två intressen som utgör fokus i detta arbete, förtätnings- och översvämningsreduktionsintresset. Vi ansåg att det utöver dessa tre aspekter ligger i kommunens direkta intresse att invånarna i kommunen är nöjda och mår bra varför visst fokus i brainstormingen legat även på denna aspekt.



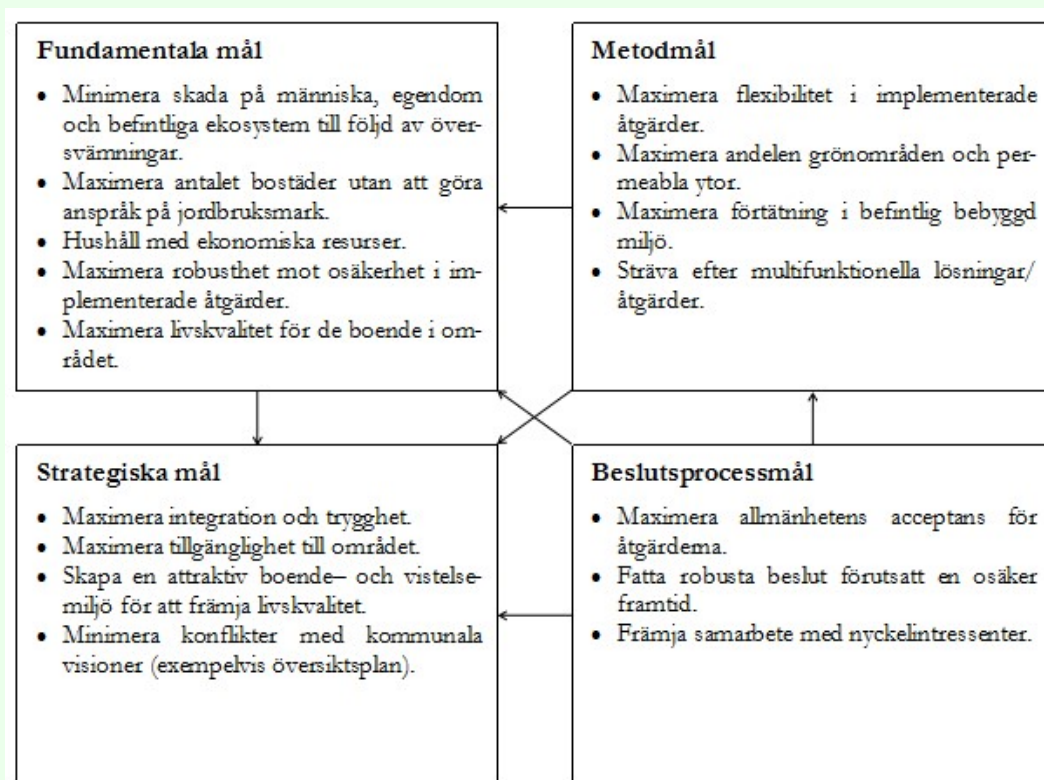
Figur 5.2: Illustration över resultatet från brainstorming-sessionen där de tre dimensionerna av hållbar utveckling nyttjats som utgångspunkt för att ta fram mål för översvämningsarbetet.

5.1.1 Separera olika typer av mål

Det blir tydligt i figur 5.2 att andelen mål snabbt blir många till antalet. Nästa steg innebär därför en sortering av målen i kategorierna *fundamentala mål*, *strategiska mål*, *metodmål* och *beslutsprocessmål*. Ett exempel över hur de olika kategorierna av mål hänger ihop och hur målen i box 5.1.1 kan fördelas över dessa illustreras i figur 5.3.

Box 5.1.2

Nedan presenteras ett kontextuellt relevant exempel över den uppdelning av mål som beskrivs i avsnitt 2.5.2 baserat på resultaten från brainstormingen i box 5.1.1.



Figur 5.3: Målen som brainstormats fram i figur 5.2 sorterade utefter kategorierna fundamentala mål, metodmål, strategiska mål och beslutsprocessmål. De mål som vidare kommer studeras är de fundamentala målen.

5.1.2 Skapa målhierarki

När de fundamentala målen sorterats ut bör man fundera över dess tydlighet och, i den mån det är relevant, förtydliga dem med hjälp av delmål. Det fundamentala målet *maximera livskvalitet för de boende i området* ansågs tillräckligt tydligt för att inte vidare förtydligas och utgör därför mål ett. Nästa mål, *maximera robusthet mot osäkerhet i implementerade åtgärder*, kopplades i detta skede till åtgärdernas flexibilitet och ett undermål togs därför fram och innefattade att *maximera andelen flexibla åtgärder*. Målet att *hushålla med ekonomiska resurser* ansågs svårkvantifierat och delmålen att *minimera underhållskostnader för åtgärder* och *minimera investeringskostnader för åtgärder* togs fram. Även förtätningmålsättningen, *maximera antalet bostäder utan att göra anspråk på jordbruksmark*, och skademålsättningen, *minimera skada på människa, egendom och befintliga ekosystem till följd av översvämningar*, förtydligades och konkretiserades genom delmålen *maximera möjligheten till förtätning genom att minimera åtgärdernas ytanspråk* respektive *minimera överskottsvolymer av dagvatten*. En sammanställning av målhierarkin återfinns i box 5.1.3.

BOX 5.1.3: MÅLHIERARKI

Nedan följer den framtagna målhierarkin för översvämningssammanhanget.

1. Maximera livskvalitet för de boende i området.
2. Maximera robusthet mot osäkerhet i implementerade åtgärder.
 - 2.1. Maximera andelen flexibla åtgärder.
3. Hushåll med ekonomiska resurser.
 - 3.1. Minimera underhållskostnader för åtgärder.
 - 3.2. Minimera investeringskostnader för åtgärder.
4. Maximera antalet bostäder utan att göra anspråk på jordbruksmark.
 - 4.1. Maximera möjligheten till förtätning genom att minimera åtgärders ytanspråk.
5. Minimera skada på människa, egendom och befintliga ekosystem till följd av översvämningar.
 - 5.1. Minimera överskottsvolymer av dagvatten.

5.1.3 Pröva målen

Det sista steget innefattade att pröva målen mot de fem egenskaper som beskrivs i avsnitt 2.5.2:

1. Fullständig – Täcks alla väsentliga värden in?
2. Koncis – Finns det några tvetydigheter?
3. Känslig mot alternativ – Påverkar alternativen målen olika?
4. Förståelig – Är målen lätta att förstå?
5. Fristående – Påverkar målen alternativen oberoende av varandra?

Eftersom målen täcker in alla intressen som identifierats i brainstormingprocessen anses de uppfylla kravet på *fullständighet*. Vidare är målen endast fem till antalet och även om två av dem kräver en kvalitativ bedömning så anses utvecklandet av en strukturerad metod för denna bedömning räcka för att målen ska anses tillräckligt *koncisa* och *förståeliga*. Egenskap tre och fem testades vidare med hjälp av en tabell där olika åtgärders effekt på målen grovt studeras, box 5.1.3.

BOX 5.1.4: KÄNSLIGHET OCH FRISTÅENDE

Nedan presenteras vidare ett exempel på hur ett test av målen *känslighet mot alternativ* och *fristående* kan se ut genom att uppskatta konsekvenserna av olika representativa alternativ på måluppfyllnaden. Eftersom effekt på måluppfyllnaden av de studerade alternativen syns samt ter sig relativt slumpartat ansågs målen, utifrån detta exempel, uppfylla kraven om känslighet och fristående.

Tabell 5.1: Resultat när målen testas genom att jämföra hur olika åtgärder påverkar dem. Tecknet + innebär en positiv påverkan, det vill säga en att åtgärden bidrar till att maximera prestationsmättet, och – innebär det motsatta.

| | Livskvalitet | Flexibilitet | Kostnad | Ytanspråk | Skada |
|--------------------------------|--------------|--------------|---------|-----------|-------|
| Torrdamm | +++ | + | - | --- | ++ |
| Svackdike | + | + | - | - | + |
| Damm | ++ | 0 | - | -- | ++ |
| Subvention permeabla uppfarter | + | 0 | -- | 0 | + |
| Utbyggnad avlopp | 0 | --- | --- | 0 | ++ |

Mot bakgrund av ovanstående ansågs målen utgöra en god bas för analys och kriteriebildning vilket beskrivs i följande avsnitt.

5.2 Från mål till kriterium

Med bakgrund av målbildningen antas följande kriterier som åtgärden ska utvärderas utefter i MKA-analysen:

1. Livskvalitet – Livskvaliteten för de boende i området ska vara så hög som möjligt.
2. Flexibilitet – Åtgärdens flexibilitet ska vara så hög som möjligt.
3. Kostnad – Kostnad för investering och underhåll av åtgärden ska vara så låg som möjligt.
4. Ytanspråk – Åtgärden ska ta minsta möjliga yta, som hade kunnat användas för förtätning, i anspråk.
5. Överskottsvolym – Vid ett kraftigt skyfall ska den ej hanterade volymen vatten vara så liten som möjligt.

För att jämföra åtgärdsalternativen beräknas ett prestationsmått för varje åtgärd mot varje kriterium.

6 | Bedömningsmodeller

Detta kapitel beskriver de modeller och metoder som används för att beskriva åtgärdernas prestationsmått för varje kriterium i multikriterieanalysen. Kapitlet innefattar beräkning av alternativens livskvalitets- och flexibilitetsmått, kostnad, ytanspråk och överskottsvolym.

De tillvägagångssätt som används för att ta fram prestationsmåten är kvalitativa modeller, kvantitativa uppskattningar samt en 2D-översvämningsmodell. Kvalitativa modeller har tagits fram för att värdera åtgärdernas prestationsmått för kriterierna *livskvalitet* och *flexibilitet* eftersom dessa är svåra att kvantifiera. För kriterierna *kostnad* och *ytanspråk* har kvantitativa uppskattningar gjorts utifrån befintlig information. Slutligen, för att beräkna överskottsvolymer för de olika scenarierna och åtgärdsalternativen används två översvämningskarteringar som sammanställts med en 1D-2D-översvämningsmodell som är gjord med programvaran MIKE.

6.1 Livskvalitets- och flexibilitetsmått

Kriterium ett och två i avsnitt 5.2 är svårare att kvantifiera än de övriga tre. För att mäta uppfyllnaden av dessa har därför ett mer kvalitativt tillvägagångssätt ansetts lämpligt. För att beskriva de två parametrarna togs ett antal beskrivande subindikatorer fram som lade grunden för betygssättningen av åtgärderna med avseende på flexibilitet och livskvalitet.

6.1.1 Betygsfördelning

Maxbetyget för respektive mått sattes till 1 och systemet för poängfördelning gick ut på att helt enkelt fördela dessa lika mellan dess inbördes indikatorer, med undantag för rekreativindikatorn i livskvalitetsmättet där poängen fördelades på två underindikatorer. För att underlätta poängfördelningsprocessen illustreras den i ett grafiskt verktyg för de respektive parametrarna i figur 6.1 och 6.2. Vidare presenteras

exempel på resultaten från denna process för fallstudiens studerade åtgärder i box 6.1.1 och 6.1.2.

6.1.2 Livskvalitetsmått

Vid framtagande av indikatorer för att bedöma en förändring i livskvalitet utnyttjas resultaten ur betänkandet av *Utredningen om mått på livskvalitet* där tio livskvalitetskomponenter tas fram: (1) hälsa, (2) kunskap och färdigheter, (3) sysselsättning, (4) ekonomiska resurser, (5) politiska resurser och medborgerliga rättigheter, (6) sociala relationer, (7) säkerhet till liv och egendom, (8) bostad, (9) tidsutrymme, och (10) livsmiljö (SOU 2015:56).

Utav dessa komponenter valdes *livsmiljö* ut som den komponent som ansågs kunna påverkas av den fysiska planeringen generellt och översvämningsreducerande åtgärder i synnerhet.

I betänkandet lyfts vidare två stycken indikatorer fram som bör övervägas inom komponenten livsmiljö: (a) upplevt buller, och (b) miljöproblem i bostadsområdet. Inom begreppet livsmiljö diskuteras även tillgång till promenadstråk, cykelbanor och grönområden som viktiga faktorer (SOU 2015:56).

Vidare studerades rapporter av C/O City (2014) och Lindhjem och Sørheim (2012) för att urskilja vilka typer av ekosystemtjänster som kan tänkas öka till följd av införandet av åtgärderna och som ansågs ha en inverkan på människors livskvalitet. Detta gav att de två indikatorerna som föreslås i betänkandet stärktes då de finns representerade även i dessa rapporter och indikatorerna *rekreationsmöjligheter*, som också i viss mån diskuterats i betänkandet, *tillgänglighet*, *sociala interaktioner*, *naturpedagogik* och *klimatanpassning* lades till.

Utifrån denna bakgrund har två strategier och sju indikatorer kopplade till dessa utarbetats för användning i modellen vilka beskrivs nedan, tabell 6.1 och 6.2.

Kulturella strategier

I de kulturella strategierna inkluderas de indikatorer som bidrar till människors psykiska hälsa och välbefinnande.

Tabell 6.1: I tabellen beskrivs de subindikatorer för livskvalitetsmättet, *rekreationsmöjligheter*, *tillgänglighet*, *sociala interaktioner* samt *naturpedagogik*, som tillhör de kulturella strategierna.

| | |
|---------------------------|--|
| Rekreativ- möjligheter | Bidrar åtgärden till ökad möjlighet för motion, rekreation och vistelse i grönområden? |
|---------------------------|--|

| | |
|-----------------------|--|
| Tillgänglighet | Kan rekreationsmöjligheten nyttjas av allmänheten? |
| Sociala interaktioner | Genererar åtgärden mötesplatser och ökad möjlighet för interaktion mellan människor? |
| Naturpedagogik | Bidrar åtgärden till lärande om naturen och dess funktion? |

Reglerande strategier

De reglerande strategierna är de som direkt påverkar processer som kan generera fysisk och psykisk ohälsa bland människor.

Tabell 6.2: I tabellen beskrivs de subindikatorer, *bullerreduktion*, *rening av luft* samt *klimatanpassning*, som tillhör de icke-strukturella strategierna.

| | |
|------------------|---|
| Bullerreduktion | Bidrar åtgärden till en dämpning av ljudnivån? |
| Rening av luft | Bidrar åtgärden till en bättre luftkvalitet genom t.ex. absorption och infiltration av föroreningar? |
| Klimatanpassning | Bidrar åtgärden till minskning av övriga konsekvenser av klimatförändringar, till exempel värmeböljor, vindar, luftfuktighet? |

Box 6.1.1: LIVSKVALITETSMÅTT

Öppna fördröjningsmagasin och regnbäddar är åtgärder som ökar *rekreationsvärdet* i staden samt är *tillgängliga* för allmänheten. Åtgärderna skapar också möjligheter för *naturpedagogik*. Gröna tak däremot ansågs vara för otillgängliga för att ges poäng för rekreation eller naturpedagogik. Vad gäller indikatorn *sociala interaktioner* var det bara fördröjningsmagasinet som utformas i grönområden som ansågs kunna bidra och därmed fick poäng. Ingen av åtgärderna ansågs vidare bidra till *bullerreduktion*. Däremot ansågs alla tre åtgärderna i viss mån bidra till *renare luft* och tilldelades därför poäng för denna indikator.

Till slut ansågs främst åtgärderna fördröjningsmagasin och gröna tak bidra till *klimatanpassning*, då främst vid värmeböljor.

Nedan, tabell 6.3, sammanställs åtgärdernas prestationsmått för kriteriet livskvalitet utefter metodiken i figur 6.1.

Tabell 6.3: Resultat från bedömning av de studerade åtgärdernas värden på subindikatorerna och livskvalitetsmått.

| Strategi | Indikator | Gröna tak | Öppet fördröjningsmagasin | Regnbädd |
|-----------------------|-----------|-----------|---------------------------|----------|
| Kulturella strategier | I_1 | 0 | 1/12 | 1/12 |
| | I_2 | 0 | 1/12 | 1/12 |
| | I_3 | 0 | 1/6 | 0 |
| | I_4 | 0 | 1/6 | 1/6 |
| Reglerande strategier | I_5 | 0 | 0 | 0 |
| | I_6 | 1/6 | 1/6 | 1/6 |
| | I_7 | 1/6 | 1/6 | 0 |
| | Σ | 1/3 | 5/6 | 1/2 |

6.1.3 Flexibilitetsmåttet

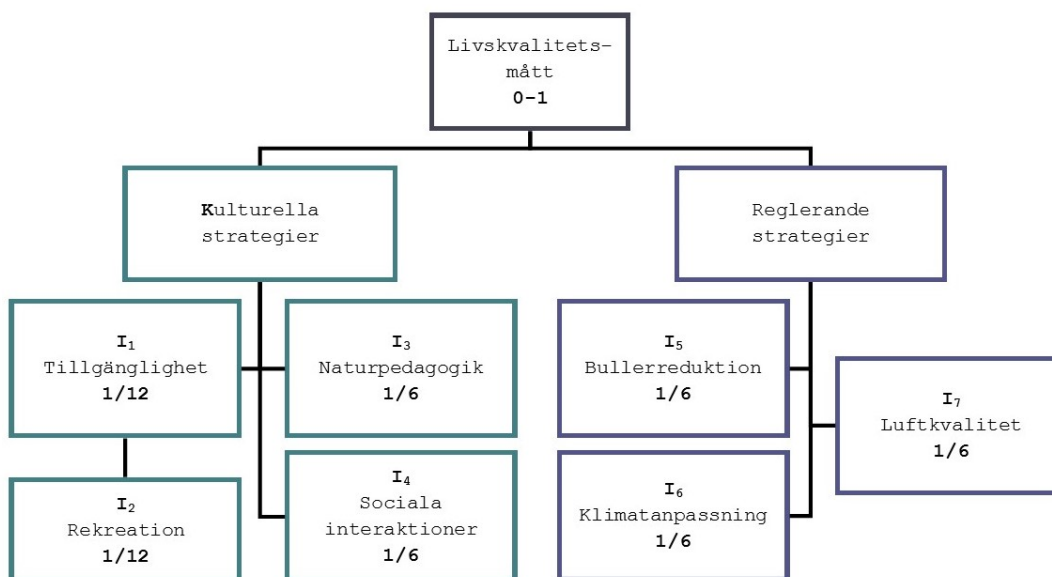
Stora osäkerheter tillkommer i arbetet med beslutsfattande i frågor som rör klimatanpassning av exempelvis infrastruktur, såsom åtgärder för översvänningsriskreduktion. Hallegatte (2009) menar att det, mot bakgrund av detta, krävs ett skifte mot robusta strategier som bygger på större flexibilitet. Han föreslår vidare bland annat fem olika strategier som kan appliceras för mer flexibla åtgärder. Dessa strategier har fått ligga till grund för de indikatorer som tagits fram för att skapa ett robusthetsmått. En distinktion har vidare gjorts där de olika indikatorerna delats in i strukturella respektive icke-strukturella strategier, se tabell 6.4 och 6.5.

Strukturella strategier

Till de strukturella strategierna hör de subindikatorer som kan kopplas till tekniska och fysiska lösningar. Till denna grupp hör de tre subindikatorerna *stabilitet*, *reversibilitet* och *säkerhetsmarginaler* som beskrivs nedan, tabell 6.4.

Tabell 6.4: I tabellen beskrivs de subindikatorer, *stabilitet*, *flexibilitet* och *säkerhetsmarginaler*, som tillhör de strukturella strategierna. Indikatorerna baseras på strategier som presenterats av Hallegatte (2009).

Stabilitet Indikatorn stabilitet bygger på den strategi som Hallegatte (2009) kallar *no regret* strategier. Den innebär att en åtgärd bör värderas högre om den genererar nytta trots uteblivna klimatförändringar. Till denna kategori hör exempelvis åtgärder som kan generera mervärde i form av minskad dricksvattenåtgång genom att regnvatten samlas upp och utnyttjas för bevattning.



Figur 6.1: Bilden beskriver ett grafiskt verktyg för att ta fram det livskvalitetsmätt som inkluderats i beslutsanalysen. Måttet kan maximalt uppnå värde ett (1) och som minst noll (0) fördelat över två strategier som i sin tur fördelats upp i varierande antal indikatorer (I_1 , I_2 , I_3 , I_4 , I_5 , I_6 och I_7) vilka beskriver strategierna något mer i detalj. Om åtgärden anses uppfylla egenskapen i en indikatorbox adderas siffran i boxen till dess totala livskvalitetsmätt.

Reversibilitet Den andra strategin som presenteras av Hallegatte (2009) kallas *reversible strategies* och bygger på att minimera kostnaden för att ha fel i sina antaganden om framtida klimatförändringar. Beslut som är enkla och billiga att anpassa i den händelse av att man haft fel bör därför premieras.

Säkerhetsmarginaler Enligt Hallegatte (2009) är implementering av billiga säkerhetsmarginaler speciellt viktigt om åtgärder inte uppfyller de två föregående indikatorerna. Därför är det meriterande om kostnaden att introducera säkerhetsmarginaler i designfasen är liten i förhållande till totalkostnaden.

Icke-strukturella strategier

De icke-strukturella strategierna täcker, till skillnad från de strukturella, det som inte direkt härrör till den fysiska utformningen av åtgärderna. Under de icke-strukturella strategierna sorteras *bindningstid*, samt *synergieffekter och konflikter* vilka beskrivs i tabell 6.5.

Tabell 6.5: I tabellen beskrivs de subindikatorer, *bindningstid*, samt *synergieffekter och konflikter*, som tillhör de icke-strukturella strategierna. Indikatorerna baseras på strategierna som presenterats av Hallegatte (2009).

Bindningstid Enligt Hallegatte (2009) minskar osäkerheterna kring det framtida klimatet med tiden. Ett beslut som inte låser beslutsfattaren för en längre tidsperiod är därför ett beslut som undviker att viktig information som väntar runt hörnet inte tas i beaktande. En åtgärd som minskar bindningstiden innebär därför att ett bättre och mer informerat beslut kan tas inom en närmare framtid. Därför bör åtgärder som förkortar denna bindningstid lyftas. Ett exempel på en sådan åtgärd är att planera grödor med en kortare livscykel.

Synergieffekter
och konflikter

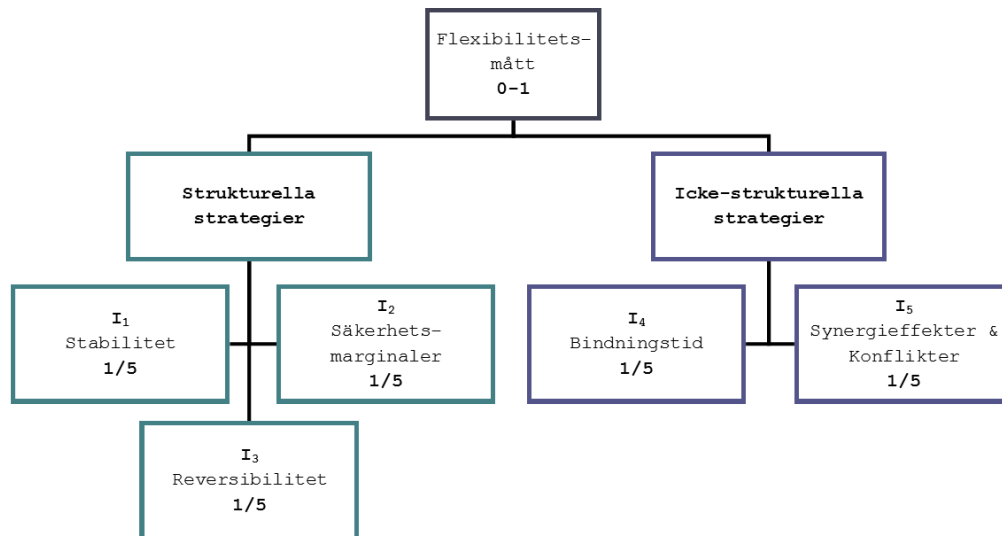
Bakgrunden till denna indikator är att olika strategier och åtgärder generellt har olika sidoeffekter. Hallegatte (2009) menar att det därför är av största vikt att ta dessa effekter i beaktande när man väljer mellan olika alternativ. En åtgärd kan exempelvis leda till tillbakagång av olika ekosystemtjänster som ett resultat av att förändringar görs i det naturliga landskapet, något som bör tas hänsyn till.

BOX 6.1.2: FLEXIBILITETSMÅTT

Alla tre åtgärder ansågs ha en viss inneboende *stabilitet* då nytta i form av översvämningsreduktion sker till någon grad, även om de inte tar hand om hela överskottsvolymen, oavsett scenario. Likaså skapar alla åtgärder *synergieffekter* genom att också bidra i någon mån till vattenrening, biodiversitet och estetiska värden. Eftersom alla åtgärderna i olika mån kräver konstruktion i form av bortforsling av jord, anläggning av avledningssystem med mera ansågs vidare ingen åtgärd till fullo uppfylla kraven för indikatorn *reversibilitet*. Inte heller *bindningstiden* påverkas för någon av de tre åtgärderna. Eftersom gröna tak och regnbäddar har en relativt hög kvadratmeterkostnad och är mer begränsade till ytan av antingen vägnät eller takstorlek så ansågs de inte ha billiga *säkerhetsmarginaler*. De öppna fördröjningsmagasinen däremot är inte lika begränsade, har en billigare kvadratmeterkostnad och det ansågs därför att billiga säkerhetsmarginaler går att inkorporera. Poängen summerades mot bakgrund av detta och presenteras i tabell 6.6.

Tabell 6.6: Resultat från bedömning av de studerade åtgärdernas värden på subindikatorerna och flexibilitetsmått.

| Strategi | Indikator | Gröna tak | Öppet fördröjningsmagasin | Regnbädd |
|------------------------------|-----------|-----------|---------------------------|----------|
| Strukturella strategier | I_1 | 1/5 | 1/5 | 1/5 |
| | I_2 | 0 | 1/5 | 0 |
| | I_3 | 0 | 0 | 0 |
| Icke-strukturella strategier | I_4 | 0 | 0 | 0 |
| | I_5 | 1/5 | 1/5 | 1/5 |
| | Σ | 0.4 | 0.6 | 0.4 |



Figur 6.2: Bilden beskriver ett grafiskt verktyg för att ta fram det flexibilitetsmått som inkluderats i beslutsanalysen. Måttet kan maximalt uppnå värde ett (1) och som minst noll (0) fördelat över två strategier och fem subindikatorer (I_1 , I_2 , I_3 , I_4 och I_5) som beskriver strategierna något mer i detalj. Om åtgärden anses uppfylla egenskapen i en indikatorbox adderas siffran i boxen till dess totala flexibilitetsmått.

6.2 Kostnader

Att uppskatta generella kostnader för implementering av dagvattenhantering är svårt då de varierar mycket beroende på den enskilda platsens förutsättningar. Kostnaderna blir lägre om åtgärderna implementeras i samband med nyexploatering eftersom man kan undvika konflikter med befintliga ledningar samt att hantering av schaktmassor ofta kan ske inom området vilket leder till mindre transportkostnader (Ekologgruppen 2016). Inom ramen för detta examensarbete har kostnader för projektering och utredning exkluderats. De kostnader som inkluderas är investeringskostnader (initiala kostnader) samt drifts- och underhållskostnader som sker löpande under åtgärdens livstid. Ingen diskontering beaktas i beräkningarna.

Eftersom ytanspråk redan utgör ett kriterium beräknas inte den totala kostnaden för en åtgärd utan enheten som används är kronor per kvadratmeter.

Kostnaden för en åtgärd beräknas som

$$K_T = K_I + K_U \cdot t \quad (6.1)$$

där K_T är den totala kostnaden, K_I och K_U är investerings- respektive underhållskostnad och t är åtgärdens livslängd.

BOX 6.2.1: KOSTNADER

Karras och Read (2016) har i sitt examensarbete sammanställt uppskattningar på investerings- och underhållskostnader för olika dagvattenhanteringslösningar. Kostnader för de åtgärdsalternativ som valts att studera i detta arbete presenteras i tabell 6.7.

Tabell 6.7: Investerings- och underhållskostnader (kr/m²) för de valda åtgärdsförslagen, från Karras och Read (2016).

| Åtgärd | Investeringskostnad (kr/m ²) | Underhållskostnad (kr/m ² ·år) |
|---------------------------|---|--|
| Intensiva gröna tak | [500, 1000] | [50, 100] |
| Öppet fördröjningsmagasin | [200, 2100] | 20 |
| Regnbädd | [1400, 8500] | [15, 35] |

Vidare sattes en gemensam livslängd för åtgärderna till 50 år. Beräkningar med hjälp av ekvation 6.1 och dess resultaten som sedan använts i de vidare beräkningarna återfinns i tabell 6.8.

Tabell 6.8: Investerings- och underhållskostnader (kr/m²) för de valda åtgärdsförslagen med en livslängd på 50 år. Beräkningarna är gjorda med data från tabell 6.7 och ekvation 6.1.

| Åtgärd | Kostnad vid livslängd på 50 år (kr/m ²) |
|---------------------------|--|
| Intensiva gröna tak | [3000, 6000] |
| Öppet fördröjningsmagasin | [1200, 3100] |
| Regnbädd | [2150, 10 250] |

6.3 Ytanspråk

Kriteriet ytanspråk syftar att spegla den potentiella förlust i markanvändning som kan uppstå vid implementering av en åtgärd. Begreppet ytanspråk definieras här som den yta som åtgärden tar upp, som hade kunnat användas för att förtäta området.

BOX 6.3.1: YTANSPRÅK

Vid bedömning av ytanspråket för åtgärderna *regnbäddar* och *öppet fördröjningsmagasin* tilldelades värden som motsvarade åtgärdernas faktiska yta. Dessa värden beräknades genom areaberäkning med hjälp av värdena i tabellerna 6.14 och 6.13. För de *gröna taken* däremot, som är en åtgärd som snarare står i synergi än konflikt med förtättningsplanerna, tilldelades ett ytanspråk på noll. En sammanställning av resultaten presenteras i tabell 6.9.

Tabell 6.9: Ytanspråksbedömning för de valda åtgärdsförslagen under de olika förtätningsscenarierna i det studerade området uttryckt i kvadratmeter.

| Åtgärd | Grå förtätning | Aktuell förtätning | Grön förtätning |
|---------------------------|----------------|--------------------|-----------------|
| Intensiva gröna tak | 0 | 0 | 0 |
| Öppet fördröjningsmagasin | 16 200 | 48 600 | 81 000 |
| Regnbädd | 600 | 600 | 600 |

6.4 Beräkning av överskottsvolymer

Vattenbalansen beskriver vattnets kretslopp, som skapas av kontinuerlig transport och utbyte av vatten mellan atmosfär, hav, grundvatten, organismer och vattenmassor på land. I staden kommer vatten in i form av nederbörd och uppströmsflöden. Vattnet transporteras sedan bort från systemet genom processerna infiltration, evapotranspiration, utflöde genom grundvattnet samt ytavrinning. Dessutom leds vatten bort genom avlopps- och dagvattenledningar (Bhaskar, Hogan och Archfield 2016).

Khazaei och Hosseini (2015) beskriver en generell vattenbalans genom följande ekvation:

$$\text{Rate of change in storage} = \text{Inflow rate} - \text{Outflow rate} \quad (6.2)$$

I detta fall är vi mer intresserade av det totala maximala överskottet som uppstår. Överskottsvolymer, ΔS , ansågs med bakgrund i ekvation 6.2 kunna beskrivas genom:

$$\Delta S = \text{Tillförd volym} - \text{Bortförd volym} \quad (6.3)$$

I ekvation 6.3 utgörs den tillförda volymen för det studerade området i huvudsak av skyfall samt inflöden från uppströms belägna områden och den bortförda av utflöde till nedströmsområden, infiltration och evapotranspiration.

BOX 6.4.1: ÖVERSKOTTSVOLYM FRÅN ÖVERSVÄMNINGSKARTERINGARNA

Den mest exakta och föredragna beräkningsmetoden för att ta fram denna mängd överskottsvatten i området under de olika scenarierna är att genomföra en översvämningskartering för vardera scenario respektive åtgärd. På detta vis kan även den spatiala komponenten av åtgärderna tas i beaktande. Då detta inte varit möjligt har en alternativ metod använts som utnyttjar de befintliga karteringarna för att beräkna överskottsvolymer genom att bygga de skyfallscenarierna som beskrivs i box 4.3.2 under avsnitt 4.3.2. Överskottsvolymer beräknades genom att analysera dessa karteringar i ArcMap, för detaljerad metodik se bilaga A.2, vilket gav en grundöverskottsvolym på 14 500 m³ för det måttliga skyfallsscenariot och 24 700 m³ för det kraftiga. Förändring i infiltration från ändringar i andelen grönområden till följd av förtätningsscenarierna togs sedan i beaktande, se beräkningar under avsnitt 6.4.1.

6.4.1 Inverkan från förtätningsscenarierna

Förändringen i överskottsvolymen till följd av de olika förtätningsscenarierna antogs uppstå främst till följd av en förändring i andelen grönområden i områden. Detta är inte en speciellt detaljerad representation av verkligheten men utan att kunna köra översvämningsmodellen för scenarierna och åtgärderna kopplat till den fysiska miljön är en bättre uppskattning svår att göra.

Påverkan från förtätningen i form av förändring i infiltrationsvolymen, ΔV_I , till följd av förändringen av andelen grönområden beräknades genom:

$$\Delta V_I = k \cdot (P_G - P_{BG}) \cdot A_T \cdot T \quad (6.4)$$

där k är permeabiliteten i m s^{-1} , P_G är andelen grönområden i scenariot, P_{BG} är andelen befintliga grönområden, A_T är totalarean i m^2 , och T är varaktigheten av det simulerade skyfallet i sekunder.

Box 6.4.2: INFILTRATIONSVOLYMFÖRÄNDRING

För att ta fram värden för permeabiliteten krävs kunskap om vilken den dominerande jordarten i området är. I det studerade området uppskattades denna till lerig morän eller moränlera enligt Sveriges Geologiska Undersöknings kartvisare över jordarter i Sverige (SGU 2017). Enligt Larsson (2008) innebär detta att permeabiliteten ligger mellan 10^{-11} och 10^{-8} m/s vilket är relativt låga värden jämfört med andra jordarter. Utöver detta ansattes andel grönområden i beräkningarna utefter de scenarier som tagits fram i box 4.3.2 under avsnitt 4.3.2 och den befintliga andelen grönområden och områdets totala area uppskattades med hjälp av kartmaterial. Varaktigheten sattes till sex timmar då detta var den varaktighet som använts i översvämningsmodellen ^a.

Tabell 6.10: Tabellen beskriver de data som använts vid beräkning av den förändring som förtätningsscenarierna anses ha på överskottsvolymen till följd av en förändring i infiltration i grönområden. Permeabiliteten är framtagen av Larsson (2008) och gäller för lerig morän eller moränlera som anses vara den dominerande jordarten i Lunds kommun (SGU 2017).

| | k | P_G | P_{BG} | A_T | T |
|--------------------|-----------------------|-------|----------|---------|--------|
| Grå förtätning | $[10^{-11}, 10^{-8}]$ | 0.1 | 0.23 | 540 000 | 21 600 |
| Aktuell förtätning | $[10^{-11}, 10^{-8}]$ | 0.3 | 0.23 | 540 000 | 21 600 |
| Grön förtätning | $[10^{-11}, 10^{-8}]$ | 0.5 | 0.23 | 540 000 | 21 600 |

Beräkningar gjordes vidare med data i tabell 6.10 och ekvation 6.4. Resultaten presenteras i tabell 6.11.

Tabell 6.11: Den förändringen i infiltrationsvolym, ΔV , under de olika förtätningsscenarierna beräknade med hjälp av data i tabell 6.10 och ekvation 6.4. Positiva värden indikerar att den totala översvämningensvolymen ökar under scenariot och negativa att den totala volymen minskar.

| Grå förtätning | Aktuell förtätning | Grön förtätning |
|----------------|--------------------|-----------------|
| [0.015, 15] | [-8.2, -0.0082] | [-32, -0.032] |

^aKristina Hall, VA SYD, projektledare för översvämningsskarteringen, personlig kommunikation, 9 februari, 2017

6.4.2 Översvämningssåtgärdernas inverkan

Den andra faktorn som påverkar den totala mängden överskottsvolym i området är de planerade åtgärderna. Kapaciteten för dessa att hålla vatten behöver alltså beräknas. Nedan, i avsnitt 6.4.2 till 6.4.2, beskrivs den metodik som nyttjats för dessa beräkningar.

Gröna tak (A1)

Vid intensiva skyfall med relativt kort varaktighet antas gröna tak endast omhänderta den volym vatten som de kan hålla, det vill säga det sker ingen upptagning av växter (Scandinavian Green Roof Institute 2017). Den minskning i överskottsvolym som sker till följd av införandet av gröna tak, ΔV_{A1} , beräknades därför genom:

$$\Delta V_{A1} = A_T \cdot P_B \cdot P_{GT} \cdot E_G \quad (6.5)$$

där A_T är områdets totala area i m^2 , P_B är andelen av området som utgörs av byggnader, E_G är effekten av de gröna taken uttryckta i m^3/m^2 och P_{GT} är andelen av alla tak som utnyttjas för gröna tak.

BOX 6.4.3: GRÖNA TAK

För åtgärden gröna tak ansattes en genomförandegrad på 50 procent av taken i området. Detta för att större andel kan vara svårt att implementera med många privata fastighetsägare samt då alla tak inte är lämpliga att göra om till gröna tak. Ekvation 6.5 och värden i tabell 6.12 användes för att beräkna förändringen i översvämningensvolym under de olika förtätningsscenarierna till följd av införandet av gröna tak. Resultatet presenteras längst till höger i tabell

6.12.

Tabell 6.12: Data som använts vid och resultat från beräkningar av omhändertagen volym för åtgärden gröna tak.

| | A_T (m ²) | P_B (-) | P_{GT} (-) | E_G (m ³ /m ²) | ΔV_{A1} (m ³) |
|--------------------|----------------------------|--------------|-----------------|--|--------------------------------------|
| Grå förtätning | 540 000 | 0.6 | 0.5 | [0.11, 0.175] | [17 820, 28 350] |
| Aktuell förtätning | 540 000 | 0.4 | 0.5 | [0.11, 0.175] | [11 880, 18 900] |
| Grön förtätning | 540 000 | 0.2 | 0.5 | [0.11, 0.175] | [5940, 9450] |

Öppet fördröjningsmagasin (A2)

Eftersom jordarten i området har dålig infiltrationsförmåga och skyfallen som studeras är relativt kortvariga antas de öppna fördröjningsmagasinens dominerande funktion vara förmågan att samla upp vatten. Infiltrationskapaciteten i egenskap av grönområde har också redan tagits i beaktande vid tidigare beräkningar. Detta innebär att den volymförändring som sker till följd av införandet av åtgärden står i direkt proportion till dess konstruerade volym. Därför beräknas förändringen i volym, ΔV_{A2} , genom:

$$\Delta V_{A2} = P_G \cdot A_T \cdot P_{NG} \cdot d \quad (6.6)$$

där P_G är andelen grönområden, A_T är områdets totala area i m², P_{NG} är andelen nedsänkta grönområden, och d är det genomsnittliga djupet för de nedsänkta grönområdena i m.

BOX 6.4.4: ÖPPNA FÖRDRÖJNINGSMAGASIN

För de öppna fördröjningsmagasinen antogs att 30% av alla grönområden ska sänkas ner för att kunna fungera som översvämningssytor. Nedan presenteras data för ingångsparametrar samt resultatet från beräkningar med ekvation 6.6.

Tabell 6.13: Data som använts vid och resultat från beräkningar av omhändertagandevolymen för åtgärden öppna fördröjningsmagasin.

| | P_G | A_T | P_{NG} | d | ΔV_{A2} |
|--------------------|-------|-------------------|----------|------------|-------------------|
| | (-) | (m ²) | (-) | (m) | (m ³) |
| Grå förtätning | 0.1 | 540 000 | 0.3 | [0.2, 0.5] | [3240, 8100] |
| Aktuell förtätning | 0.3 | 540 000 | 0.3 | [0.2, 0.5] | [9720, 24 300] |
| Grön förtätning | 0.5 | 540 000 | 0.3 | [0.2, 0.5] | [16 200, 40 500] |

Regnbäddar (A3)

Då infiltrationsförmågan i marken i det studerade området är relativt dåligt har inte volymförändring till följd av eventuell infiltration inkluderats i beräkningarna. Förändringen i översvämningsvolym till följd av regnbäddar, ΔV_{A3} , beräknas därför genom:

$$\Delta V_{A3} = A_{RB} \cdot n_{RB} \cdot E_{RB} \quad (6.7)$$

där A_{RB} är genomsnittlig area för en regnbädd, n_{RB} är antalet regnbäddar och E_{RB} är effekten av en regnbädd uttryckt i m^3/m^2 .

BOX 6.4.5: REGNBÄDDAR

Regnbäddars utformning är mycket kontextbundet och det är därför svårt att ta fram ett standardförfarande för dess utformning. I det studerade området har det ansetts rimligt att regnbäddarna placeras längs med vägar. En genomsnittlig area för en regnbädd sattes därför till 15 m² och på en vägsträcka på 2000 m sattes en regnbädd var 50:e m vilket resulterade i 40 regnbäddar i området. Effekten per kvadratmeter regnbädd antas vara [0.40, 0.48] m³ utifrån ett av Haegblom och Hallerth (2016) beräknat värde på 0.44 m³/m². Resultaten från beräkningar genom ekvation 6.7 samt ingående värden presenteras i tabell 6.14.

Tabell 6.14: Ingångsvärden och resultat från beräkningar av omhändertagen volym för regnbäddarna.

| | A_{RB} (m ²) | n_{RB} (st) | E_{NG} (-) | ΔV_{A3} (m ³ /m ²) |
|--------------------|-------------------------------|------------------|-----------------|--|
| Grå förtätning | 15 | 40 | [0.40, 0.48] | [240, 288] |
| Aktuell förtätning | 15 | 40 | [0.40, 0.48] | [240, 288] |
| Grön förtätning | 15 | 40 | [0.40, 0.48] | [240, 288] |

6.4.3 Slutgiltiga överskottsvolymer

De slutgiltiga överskottsvolymintervallerna för respektive scenario och åtgärd beräknades till slut genom ekvation 6.8 och 6.9:

$$\Delta S_{min} = V_S - V_{A,min} + V_{I,max} \quad (6.8)$$

$$\Delta S_{max} = V_S - V_{A,max} + V_{I,max} \quad (6.9)$$

där ΔS_{min} och ΔS_{max} är den undre respektive övre intervallgränsen för överskottsvolymer, V_S är grundöverskottsvolymer för respektive scenario, $V_{A,min}$ och $V_{A,max}$ är den undre respektive övre gränsen för intervallet som beskriver omhändertagandevolymer för respektive åtgärd och $V_{I,min}$ och $V_{I,max}$ är övre respektive undre gränsen för infiltrationsförändringen i respektive förtätningsscenario. Alla parametrar har enheten m³ och resultat från beräkningarna återfinns i tabell A.1 i bilagorna.

7 | Konsekvensanalys

I kapitlet beskrivs den metod, TOPSIS med intervalldata, där åtgärdernas prestationsmått med avseende på kriterierna vägts samman till ett nyttomått. Prestationsmått är de värden som tagits fram i kapitel 7.

Konsekvensanalysen är den del av metodiken där åtgärdernas nyttomått tas fram under olika scenarier genom att vikta samman prestationsmått för kriterierna med varandra. Prestationsmått tas fram med hjälp av bedömningsmodellerna, se kapitel 6. Kriterierna, som tas fram med mycket varierande metoder och information, är svåra att omvandla i monetära termer varför MKA valdes för att jämföra prestationsmått utan att behöva hitta metoder för en sådan omvandling.

7.1 TOPSIS

I detta examensarbete har vi valt att använda oss av TOPSIS-metoden för att vikta ihop prestationsmått för de olika beslutskriterierna. TOPSIS är en förkortning av *Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution*. Metodiken är en MKA-metod som kan användas för att skatta ett mått på nytta för att kunna ranka olika alternativ. I metoden premieras, som det fullständiga namnet antyder, de alternativ som ligger längst ifrån den idealiska negativa utgången och närmast den idealiska positiva utgången. Den idealiska positiva lösningen är den situation när alla kriterier antar sina lägsta eller högsta värden beroende på om kriteriet är ett kostnads- eller ett nyttokriterium. Motsatsen gäller för den idealiska negativa lösningen. Att ett kriterium är ett nyttokriterium innebär att ett högre värde på kriteriet ger en mer positiv utgång. Det omvända gäller för ett kostnadskriterium (Jahanshahloo, Lotfi och Davoodi 2008).

Till grund för valet av TOPSIS-metoden låg två huvudanledningarna. För det första anses metoden vara av potentiellt stor användbarhet i vattenhantering (Hyde 2006, p. 24) samt har visat sig vara vanlig inom översvämningshantering. För det andra har en stor del av våra indata tagits fram i form av intervall med bakgrund i avsnitt

2.2.2 och denna metod gav möjligheten att arbeta med intervall som indata.

7.1.1 TOPSIS med intervalldata

Om inget annat tydligt sägs så bygger följande avsnitt på den variant av TOPSIS-metoden som anpassats av Jahanshahloo, Lotfi och Davoodi (2008) för beräkning med intervalldata.

I detta examensarbete har TOPSIS med intervall som ingångsvärden använts. Beräkningar har gjorts i R (R Core Team 2016). Metoden bygger på två matriser, de nedre (X_{ij}^L) och övre gränserna (X_{ij}^U) på intervallen, vilka beskrivs i var sin beslutsmatrix. En beslutsmatrix finns beskriven i tabell 7.1.

Tabell 7.1: Tabellen beskriver utformningen av de beslutsmatriser som beskriver de undre, $x_{i,j}^L$, respektive övre, $x_{i,j}^U$, intervallgränserna för de olika alternativen.

| | Kriterium 1 | Kriterium 2 | Kriterium 3 | Kriterium 4 | Kriterium 5 |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Alternativ 1 | x_{11} | x_{12} | x_{13} | x_{14} | x_{15} |
| Alternativ 2 | x_{21} | x_{22} | x_{23} | x_{24} | x_{25} |
| Alternativ 3 | x_{31} | x_{32} | x_{33} | x_{34} | x_{35} |

Då överskottsvolymkriteriet i vissa fall fick negativa värden behövdes en metod för att hantera detta vilket beskrivs i box 7.1.1.

BOX 7.1.1: NEGATIVA VÄRDEN

I det studerade fallet ger vissa beslutsalternativ negativa värden för överskottsvolymen, det vill säga de tar hand om mer vatten än vad som behövs. Det är önskvärt att väga in detta men beräkningarna hanterar inte negativa värden. Därför lades en konstant i form av absolutbeloppet av det lägsta volymvärdet till alla överskottsvolymer. Detta innebar att lägsta möjliga värde är noll.

Steg 1 – Ta fram normaliserade beslutsmatriser

De normaliserade intervallen $[n_{ij}^L, n_{ij}^U]$ beräknas med ekvation 7.1 för de undre gränserna i intervallen samt ekvation 7.2 för de övre intervallgränserna.

$$n_{ij}^L = \frac{x_{ij}^L}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [(x_{ij}^L)^2 + (x_{ij}^U)^2]}} \quad (7.1)$$

$$n_{ij}^U = \frac{x_{ij}^U}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [(x_{ij}^L)^2 + (x_{ij}^U)^2]}} \quad (7.2)$$

Steg 2 – Ta fram viktade och normaliserade beslutsmatriser

Om kriterierna har olika stor betydelse kan vikter läggas till för att kompensera för detta. Det görs med en viktningvektor, ekvation 7.3, som multipliceras med vart och ett av de normaliserade värdena.

$$w = [w_1, w_2, \dots, w_n] \text{ där } \sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (7.3)$$

Den viktade normaliserade beslutsmatrisen består då av $v_{ij}^L = w_i n_{ij}^L$ och $v_{ij}^U = w_i n_{ij}^U$ för $i = 1, \dots, m$ och $j = 1, \dots, n$

BOX 7.1.2: VIKTNING

Eftersom ingen värdering av de olika kriterierna genomförts som ett led i detta examensarbete har ingen viktning skett i det beräknade exemplet och alla kriterier jämförs därför likvärdigt, $w = [1/5, 1/5, 1/5, 1/5, 1/5]$.

Steg 3 – Ta fram den idealiska positiva respektive negativa utgången

För att ta fram den övre gränsen för det idealiska positiva utfallet betraktas för kostnadskriterierna värdena i den undre normaliserade beslutsmatrisen och dessa värden minimeras. För nyttokriterierna betraktas i stället värdena från den övre normaliserade beslutsmatrisen som maximeras. Detta beskrivs i ekvation 7.4 och box 7.1.3.

$$A_k^{+U} = \{(v_1^{+U}, v_2^{+U}, \dots, v_n^{+U})\} = \{(\max v_{ij}^U | i \in N), (\min v_{ij}^L | i \in K)\} \quad (7.4)$$

BOX 7.1.3: DET ÖVRE IDEALISKA POSITIVA UTFALLET FÖR KRITERIUM 1 VID VAL AV ALTERNATIV 1

För alternativ 1 och kriterium 1, som här antas vara ett kostnadskriterium och därför ger bäst utfall om det minimeras, gäller alltså att för att ta fram A_1^{+U} att värdena för kriteriet i tabell 7.2 betraktas och minimeras.

Tabell 7.2: Beslutsmatrisen som innehåller den undre intervallgränsen för respektive kriterium och alternativ. Från denna matris plockas värden för jämförelse och framtagande av A_1^{+U} för kostnadskriterierna.

| | Kriterium 1 | Kriterium 2 | Kriterium 3 | Kriterium 4 | Kriterium 5 |
|---------------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Alternativ 1 | | | | | |
| Alternativ 2 | | | | | |
| Alternativ 3 | | | | | |

Tabell 7.3: Beslutsmatrisen som innehåller den övre intervallgränsen för respektive kriterium och alternativ. Från denna matris plockas värden för jämförelse och framtagande av A_1^{+U} för nyttokriterierna.

| | Kriterium 1 | Kriterium 2 | Kriterium 3 | Kriterium 4 | Kriterium 5 |
|---------------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Alternativ 1 | | | | | |
| Alternativ 2 | | | | | |
| Alternativ 3 | | | | | |

För att ta fram den undre gränsen för det idealiska positiva utfallet betraktas för kostnadskriterierna värdet för det studerade alternativet i den undre normaliserade beslutsmatrisen vilket jämförs med värdena för resterande alternativ som istället tas från den övre normaliserade beslutsmatrisen. Det minsta värdet bland dessa utgör den undre gränsen. Det motsatta görs för nyttokriterier. Detta beskrivs i ekvation 7.5 och box 7.1.4.

$$A_k^{+L} = \{(v_1^{+L}, v_2^{+L}, \dots, v_n^{+L})\} = \{(\max_{j \neq k} \{v_{ij}^U, v_{ik}^L\} | i \in N), (\min_{j \neq k} \{v_{ij}^L, v_{ik}^U\} | i \in K)\} \tag{7.5}$$

**Box 7.1.4: DET UNDER IDEALISKA POSITIVA UTFALLET
FÖR KRITERIUM 1 VID VAL AV ALTERNATIV 1**

För alternativ 1 och kriterium 1, som här antas vara ett kostnadskriterium, gäller alltså att för att ta fram A_1^{+L} betraktas värdena för det studerade alternativet (alternativ 1) i tabell 7.4 och värden för övriga alternativ i tabell 7.5. A_1^{+L} ges vidare av det lägsta av dessa värden.

Tabell 7.4: Beslutsmatrisen som innehåller den undre intervallgränsen för respektive kriterium och alternativ. Från denna matris plockas värdet för det studerade alternativet för jämförelse och framtagande av A_1^{+L} för kostnadskriterierna. För nyttokriterierna plockas i stället värdena för övriga alternativ.

| | Kriterium 1 | Kriterium 2 | Kriterium 3 | Kriterium 4 | Kriterium 5 |
|---------------------|------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Alternativ 1 | | | | | |
| Alternativ 2 | | | | | |
| Alternativ 3 | | | | | |

Tabell 7.5: Beslutsmatrisen som innehåller den övre intervallgränsen för respektive kriterium och alternativ. Från denna matris plockas värdet för det studerade alternativet för jämförelse och framtagande av A_1^{+L} för nyttokriterierna. För kostnadskriterierna plockas i stället värdena för övriga alternativ.

| | Kriterium 1 | Kriterium 2 | Kriterium 3 | Kriterium 4 | Kriterium 5 |
|---------------------|------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Alternativ 1 | | | | | |
| Alternativ 2 | | | | | |
| Alternativ 3 | | | | | |

För att vidare ta fram den övre gränsen för det idealiska negativa utfallet beaktas i stället det sämsta utfallet för det studerade alternativet med de bästa utfallen för övriga alternativ. Detta innebär att värdena som jämförs för ett kostnadskriterium är värdet från den övre beslutsmatrisen för det studerade alternativet och värdena från den undre beslutsmatrisen för övriga alternativt. Från dessa värden väljs sedan det största värdet som utgör A_k^{-U} . Det omvända gäller vidare för nyttokriterierna. Detta beskrivs matematiskt i ekvation 7.6 konceptuellt i box 7.1.5.

$$A_k^{-U} = \{(v_1^{-U}, v_2^{-U}, \dots, v_n^{-U})\} = \{(\min_{j \neq k} \{v_{ij}^L, v_{ik}^U\} | i \in N), (\max_{j \neq k} \{v_{ij}^U, v_{ik}^L\} | i \in K)\} \quad (7.6)$$

BOX 7.1.5: DET ÖVRE IDEALISKA NEGATIVA UTFALLET

För alternativ 1 och kriterium 1, som här antas vara ett kostnadskriterium, gäller alltså att för att ta fram A_1^{-U} betraktas värdena för det studerade alternativet (alternativ 1) i tabell 7.7 och värden för övriga alternativ i tabell 7.6. Det största värdet utgör A_k^{-U} .

Tabell 7.6: Beslutsmatrisen som innehåller den undre intervallgränsen för respektive kriterium och alternativ. Från denna matris plockas värdet för det studerade alternativet för jämförelse och framtagande av A_1^{-U} för nyttokriterierna. För kostnadskriterierna plockas istället värdena för övriga alternativ.

| | Kriterium 1 | Kriterium 2 | Kriterium 3 | Kriterium 4 | Kriterium 5 |
|---------------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Alternativ 1 | | | | | |
| Alternativ 2 | | | | | |
| Alternativ 3 | | | | | |

Tabell 7.7: Beslutsmatrisen som innehåller den övre intervallgränsen för respektive kriterium och alternativ. Från denna matris plockas värdet för det studerade alternativet för jämförelse och framtagande av A_1^{-U} för kostnadskriterierna. För nyttokriterierna plockas istället värdena för övriga alternativ.

| | Kriterium 1 | Kriterium 2 | Kriterium 3 | Kriterium 4 | Kriterium 5 |
|---------------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Alternativ 1 | | | | | |
| Alternativ 2 | | | | | |
| Alternativ 3 | | | | | |

För att ta fram den undre gränsen för det idealiska negativa utfallet betraktas för kostnadskriterierna värdena i den undre normaliserade beslutsmatrisen och dessa värden maximeras. För nyttokriterierna betraktas istället värdena från den övre normaliserade beslutsmatrisen som minimeras. Detta beskrivs i ekvation 7.7 och i box 7.1.6.

$$A_k^{-L} = \{(v_1^{-L}, v_2^{-L}, \dots, v_n^{-L})\} = \{(\min v_{ij}^L | i \in N), (\max v_{ij}^U | i \in K)\} \quad (7.7)$$

BOX 7.1.6: DET UNDRE IDEALISKA NEGATIVA UTFALLET FÖR KRITERIUM 1 VID VAL AV ALTERNATIV 1

För alternativ 1 och kriterium 1, som här antas vara ett kostnadskriterium och därför ger sämst utfall om det maximeras, gäller alltså att för att ta fram A_1^{-L} betraktas värdena för kriteriet i tabell 7.9 vilka maximeras.

Tabell 7.8: Beslutsmatrisen som innehåller den undre intervallgränsen för respektive kriterium och alternativ. Från denna matris plockas värden för jämförelse och framtagande av A_1^{-L} för nyttokriterierna.

| | Kriterium 1 | Kriterium 2 | Kriterium 3 | Kriterium 4 | Kriterium 5 |
|---------------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Alternativ 1 | | | | | |
| Alternativ 2 | | | | | |
| Alternativ 3 | | | | | |

Tabell 7.9: Beslutsmatrisen som innehåller den övre intervallgränsen för respektive kriterium och alternativ. Från denna matris plockas värden för jämförelse och framtagande av A_1^{-L} för kostnadskriterierna.

| | Kriterium 1 | Kriterium 2 | Kriterium 3 | Kriterium 4 | Kriterium 5 |
|---------------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Alternativ 1 | | | | | |
| Alternativ 2 | | | | | |
| Alternativ 3 | | | | | |

Steg 4 – Beräkna avståndet till den idealiska negativa respektive positiva utgången

För att beräkna avståndet mellan de idealiska värdena och värdena för varje alternativ används ekvationer 7.8 - 7.11. d_k beskriver intervallgränsen för avståndet för varje alternativ k . Notationen + står för positivt ideal, - står för negativt ideal och U samt L står för övre (upper) respektive lägre (lower) intervallgräns. A står för de

idealiska värdena framtagna i föregående avsnitt 7.1.1 och v_{ik} är de normaliserade (och viktade) värdena för varje kriterium i och alternativ k .

$$d_k^{+U} = \left[\sum_{i \in K} (A_{ik}^{+U} - v_{ik}^U)^2 + \sum_{i \in N} (A_{ik}^{+U} - v_{ik}^L)^2 \right]^{1/2} \quad (7.8)$$

$$d_k^{+L} = \left[\sum_{i \in K} (A_{ik}^{+L} - v_{ik}^L)^2 + \sum_{i \in N} (A_{ik}^{+L} - v_{ik}^U)^2 \right]^{1/2} \quad (7.9)$$

$$d_k^{-U} = \left[\sum_{i \in K} (A_{ik}^{-L} - v_{ik}^L)^2 + \sum_{i \in N} (A_{ik}^{-L} - v_{ik}^U)^2 \right]^{1/2} \quad (7.10)$$

$$d_k^{-L} = \left[\sum_{i \in K} (A_{ik}^{-U} - v_{ik}^U)^2 + \sum_{i \in N} (A_{ik}^{-U} - v_{ik}^L)^2 \right]^{1/2} \quad (7.11)$$

Steg 5 – Ta fram intervall för alternativens TOPSIS-poäng

Det näst sista steget vid TOPSIS-analys med intervall är att ta fram åtgärdernas TOPSIS-poäng, här refererat till som dess nyttomått. Eftersom indata utgörs av intervall kommer även nyttomåtten att beskrivas med hjälp av ett intervall vilket beräknas genom följande samband, ekvation 7.12.

$$\frac{d_k^{-L}}{d_k^{-U} + d_k^{+U}} \leq R_k \leq \frac{d_k^{-U}}{d_k^{-L} + d_k^{+L}} \quad (7.12)$$

Steg 6 – Ranka alternativen

Som beskrivs i början av detta avsnitt rankas alternativen slutligen utefter dess avstånd till det idealiska positiva och negativa utfallet. Det bästa alternativet är det som har det kortaste avståndet till det positiva idealiska utfallet samt det längsta avståndet till det negativa idealiska utfallet.

BOX 7.1.7: RANKA ALTERNATIVEN

I detta examensarbete valde vi, för att få en så robust ranking som möjligt, att utnyttja fem olika beslutsregler för att ranka alternativen utefter dess sammanvägda nyttomått från TOPSIS. De kriterier som nyttjades var dominansprincipen, maximin-kriteriet, maximax-kriteriet, Hurwicz kriterium och minimax regret-kriteriet vilka beskrivs mer ingående i nästa kapitel.

8 | Robusthetsanalys

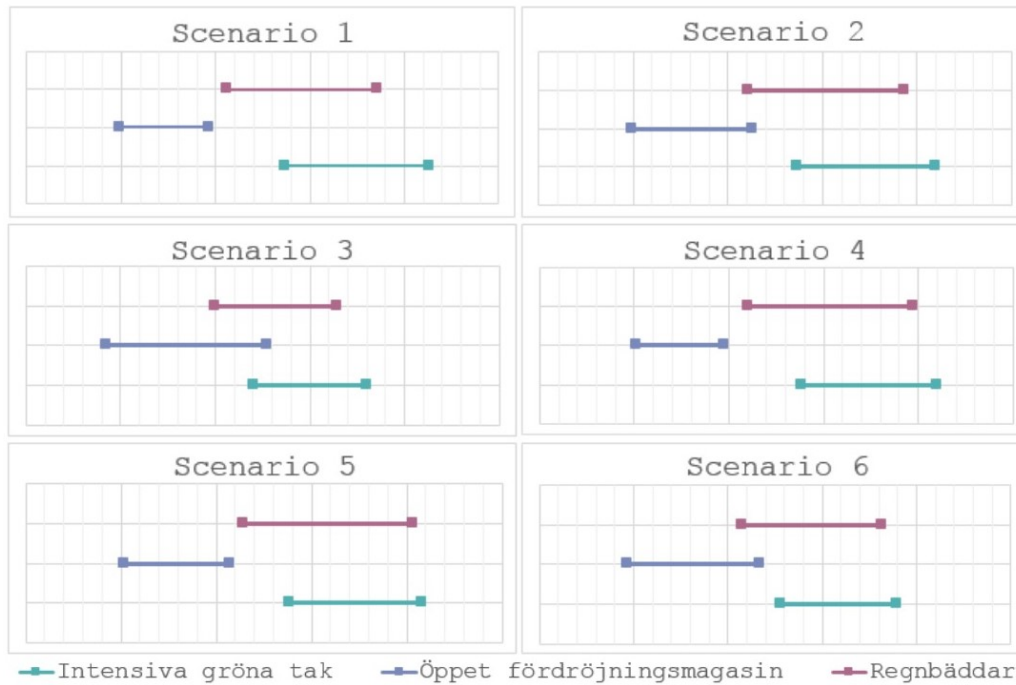
I kapitlet jämförs de tre studerade åtgärderna med avseende på dess nyttomått under de olika scenarierna. Sex beslutsregler applicerades för att bedöma åtgärdernas robusthet. Resultaten från beslutsanalysen för studieområdet presenteras.

För att fånga in flera olika inställningar till osäkerhet undersöktes nyttomåtten under maximin-regeln, maximax-regeln, Hurwicz regel, minimax regret regeln och dominansprincipen. För Hurwicz regel betraktades både $\alpha = 0.25$ och $\alpha = 0.5$, det vill säga totalt sex olika beslutsregler studerades.

Vid valet av vilka beslutsregler som skulle användas fokuserade vi på att försöka täcka in både en pessimistisk och en optimistisk inställning till osäkerhet för att kunna säkerställa robustheten hos en åtgärd. Både maxmin-regeln och minimax regret anses vara pessimistiskt inställda till osäkerhet då de premierar ett bra sämsta utfall. Maximax och Hurwicz för $\alpha = 0.25$ anses vara optimistiska då de fokuserar mer på det bästa utfallet. Ett mellanläge fås med Hurwicz för $\alpha = 0.5$ som väger in lika mycket av det bästa och sämsta utfallet.

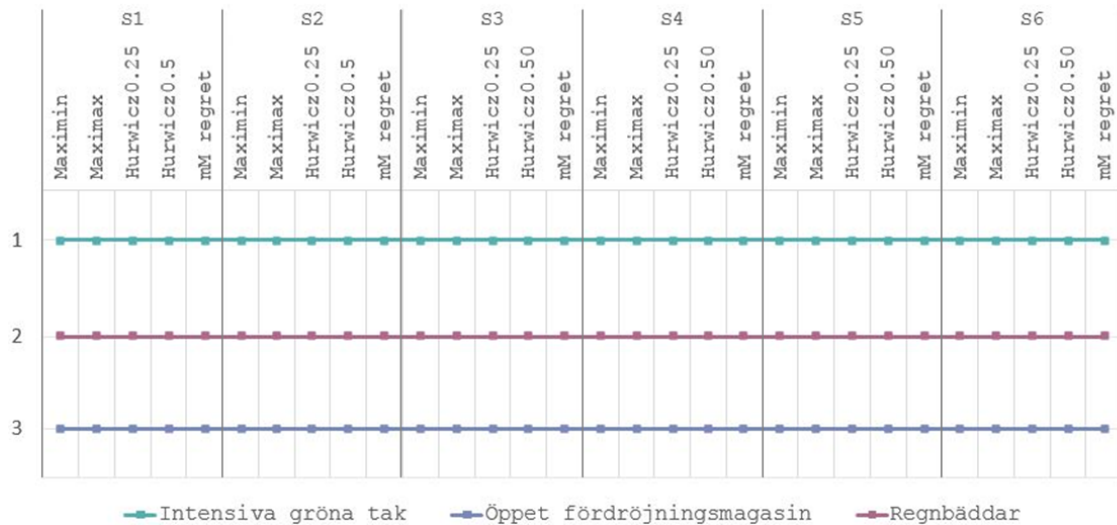
För att få en tydlig överblick ritades nyttomåtten ut för respektive åtgärd och scenario, figur 8.1. Då syns tydligt om något enskilt alternativ domineras av de övriga. I det likformiga fallet som studeras för studieområdet syns att alternativet *öppet fördröjningsmagasin* domineras av de övriga två i tre av de sex scenarierna, scenario 1, 4 och 5. Eftersom alternativet inte domineras under övriga scenarier, scenario 2, 3 och 6, kan det dock inte exkluderas enligt dominansprincipen varför de resterande fem resterande beslutsreglerna användes.

Det slutliga resultatet vid likformig viktning visas i figur 8.2. Beräkningarna för åtgärderna i studieområdet i västra Lund under de olika scenarierna och de sex beslutsreglerna gav ett mycket entydigt resultat: gröna tak fick rankingplats 1, regnbäddar plats 2 och fördröjningsmagasinen plats 3. Detta innebär att när kriterierna ges lika stor vikt är intensiva gröna tak robust bättre för studieområdet än de övriga två åtgärderna.



Figur 8.1: Resultat av dominantstest för fallstudien vid likformig viktning. En åtgärd domineras av en annan om dess högra ände inte överlappar en annan åtgärds intervall.

Ranking vid likformig viktning



Figur 8.2: Ranking av åtgärdsalternativen i de 6 scenarierna utifrån fem beslutsregler där rank 1 är bäst och rank 3 är sämst. Alla kriterier har getts samma vikt.

Del III

Analys

9 | Analys

I detta kapitel gjordes en analys kring resultaten presenterade i föregående kapitel. En viktningsanalys och en målsökningsanalys gjordes för att studera påverkan från viktningen.

9.1 Viktningsanalys

I detta examensarbete har inte någon ansats gjorts för att genom viktning ta hänsyn till beslutsfattarnas preferenser och värderingar. Eftersom detta är en central del i MKA så har en analys över hur resultatet påverkas av olika viktningar genomförts. I denna analys har vi utgått från fem olika typer av beslutsfattare och satt viktningen utefter detta. De beslutsfattartyper vi utgått från är (1) *den humanitära*, (2) *den osäkra*, (3) *den sparsamma*, (4) *bostadsbyggaren* och (5) *den riskaverta*.

Tabell 9.1: Viktningar för de olika beslutsfattartyperna beskriva i avsnitt 9.1 för varje kriterium i MKA-analysen.

| Beslutsfattare | C1 Livskvalitet | C2 Flexibilitet | C3 Kostnad | C4 Ytanspråk | C5 Överskottsvolym |
|-----------------|--------------------|--------------------|---------------|-----------------|-----------------------|
| Den humanitära | 0.4 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| Den osäkra | 0.15 | 0.4 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| Den sparsamma | 0.15 | 0.15 | 0.4 | 0.15 | 0.15 |
| Bostadsbyggaren | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.4 | 0.15 |
| Den riskaverta | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.4 |

För *den humanitära* beslutsfattaren är det människors livskvalitet som prioriteras. *Den osäkra* beslutsfattaren vill undvika framtida överraskningar som gör att åtgärderna blir överflödiga eller otillräckliga. *Den sparsamma* beslutsfattaren lägger stor vikt vid att kostnaden blir så låg som möjligt. *Bostadsbyggaren* vill kunna bygga så

mycket bostäder som möjligt och prioriterar därmed att åtgärdernas ytanspråk är så litet som möjligt. *Den riskaverta* beslutsfattaren är konservativt lagd och det är åtgärdernas förmåga att hantera översvämningsvolym som väger tyngst då hen vill minimera riskerna så mycket som möjligt. För varje beslutsfattartyp ändras viktningen på ett kriterium medan de andra kriterierna ges lika mycket vikt, detta för att kunna analysera hur mycket viktningen av ett kriterium påverkar slutresultaten. De olika beslutsfattarna och vilken vikt de ger kriterierna är sammanfattat i tabell 9.1.

Box 9.1.1: DOMINANSTEST

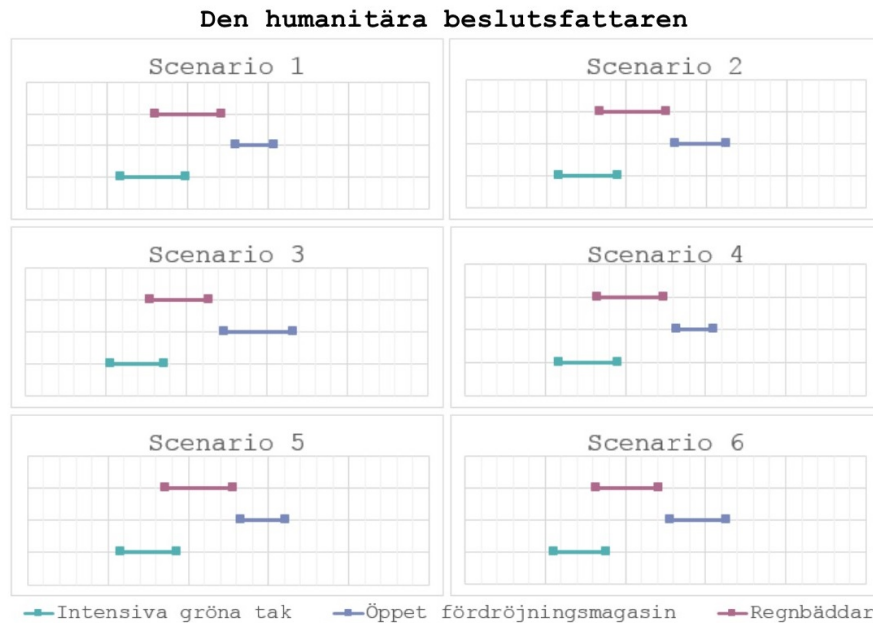
För *den humanitära* viktningen visar dominanstestet att åtgärden öppna fördröjningsmagasin dominerar de andra två alternativen i alla scenarier. Vid *bostadsbyggarens* preferens domineras i stället öppna fördröjningsmagasin av de andra två alternativen i alla scenarier. Dessa resultat är inte särskilt oväntade eftersom de öppna fördröjningsmagasinen till stor del bidrar till livskvalitet i form av rekreationsmöjligheter, mötesplatser och naturpedagogik vilket den humanitära beslutsfattaren premierar. På samma sätt premierar *bostadsbyggaren* att åtgärden tar en liten yta i anspråk vilket inte öppna fördröjningsmagasin gör. För övriga beslutsfattartyper kunde ingen åtgärd väljas eller uteslutas utifrån dominansprincipen då ingen åtgärd entydigt dominerade eller dominerades av en annan.

9.1.1 Resultat från viktninganalysen

Resultatet från viktninganalysen visas i figurer 9.1-9.5 där ranking av åtgärdsalternativen vid de olika viktningarna presenteras för samtliga scenarier och beslutsregler.

Dominansprincipen gav för *den humanitäras* viktningpreferens att alternativet öppna fördröjningsmagasin alltid bör väljas utifrån denna viktning. I samtliga utfall är rankingen: 1. öppna fördröjningsmagasin, 2. regnbäddar och 3. gröna tak. Som diskuteras i box 9.1 värderar *den humanitära* egenskaper som rekreationsmöjlighet, social interaktion och klimatanpassning vilka de öppna fördröjningsmagasinen besitter i större utsträckning än de andra alternativen.

Eftersom ingen åtgärd dominerade eller dominerades av någon annan vid beaktande av den osäkra beslutsfattarens preferenser genomfördes en analys baserat på alla fem beslutsregler. Figur 9.2 visar rankingen för *den osäkras* viktning. Resultatet var att gröna tak är det bästa alternativet. De övriga beslutsreglerna resulterade i att gröna tak är det bästa alternativet i alla scenarier. I scenario S3 var rankingen känslig mot val av beslutsregel. I scenariot rankades öppna fördröjningsmagasin över regnbäddar för tre av de mer optimistiska beslutsreglerna, Hurwicz 0.5 och 0.25



Figur 9.1: Dominanstest för *den humanitära* beslutsfattarens preferens (viktning 0.4 för kriteriet *livskvalitet*) vid samtliga scenarier. Öppna fördröjningsmagasin dominerar de andra två i samtliga scenarier.

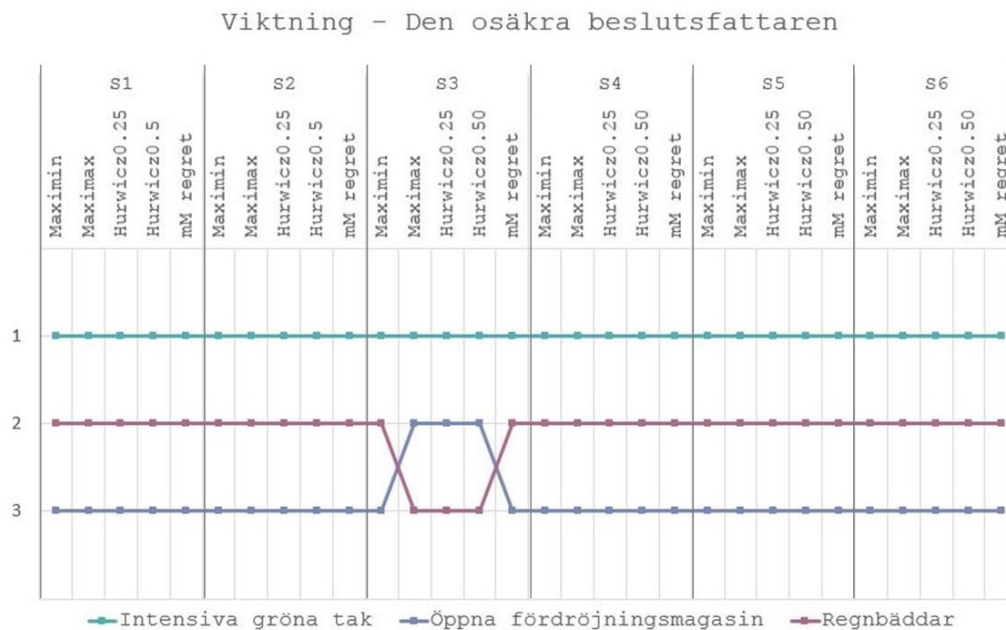
samt maximax-regeln. *Den osäkra* premierar flexibla åtgärder vilket inte återspeglas tydligt i detta resultat eftersom det i ingångsdata är det öppna fördröjningsmagasin som har högst flexibilitetsmått. En möjlig förklaring till detta kan vara att skillnaden mellan åtgärdernas flexibilitetsmått inte är tillräckligt stor för att ge utslag.

Rankingen för *den sparsamma*s preferens visas i figur 9.3. Ingen av åtgärderna dominerar eller domineras av någon annan. För de optimistiska beslutsreglerna rankas gröna tak på plats 1 i alla scenarier medan öppna fördröjningsmagasin rankas 1 i alla scenarier för de mer pessimistiska beslutsreglerna. Regnbäddar rankas antingen på plats 2 eller 3 i alla scenarier. Resultaten speglar att intervallet för ingångsdata för regnbäddar är det största och har den överlägset högsta övre intervallgränsen. Eftersom ingångsvärdena för kriteriet kostnad anges i enheten kronor per kvadratmeter speglas inte scenariernas påverkan på kostnaden för gröna tak och öppna fördröjningsmagasin vilket diskuteras vidare i kapitel 10.

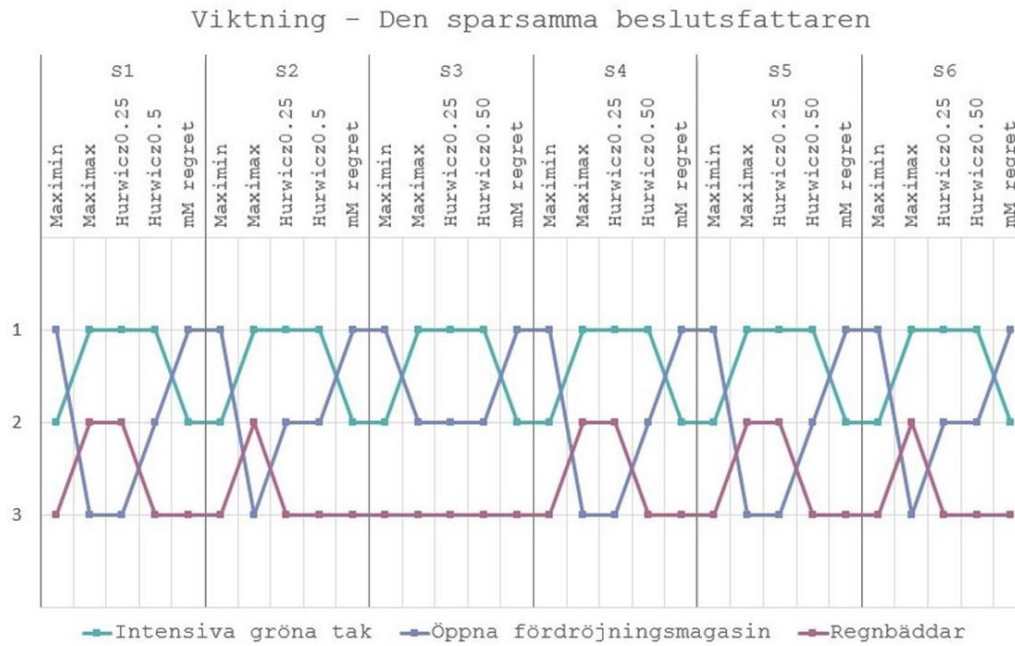
Resultat från *bostadsbyggarens* viktning visas i figur 9.4. Dominansprincipen gav att alternativet öppna fördröjningsmagasin domineras av de andra två alternativen i samtliga utfall vilket diskuteras i box 9.1. Gröna tak rankades 1 i de flesta fall men i några utfall rankades regnbäddar på första plats. Då *bostadsbyggaren* premierar att åtgärdernas ytanspråk är litet, stämmer resultaten väl överens med detta eftersom gröna tak inte tar någon förtätningsyta i anspråk och regnbäddar relativt liten yta i jämförelse med öppna fördröjningsmagasin.

I figur 9.5 visas rankingen för *den riskavertas* viktning vilken premierar liten överskottsvolym. I de flesta fall hamnar gröna tak på ranking 1 men för de optimistiska beslutsreglerna i scenario S3 och S6 rankas öppna fördröjningsmagasin 1. Eftersom scenario S3 och S6 motsvarar grön förtätning verkar resultatet rimligt då öppna fördröjningsmagasin i dessa scenarier kan omhänderta en större volym än i de andra scenarierna samtidigt som volymen gröna tak kan hantera är mindre än i de andra scenarierna.

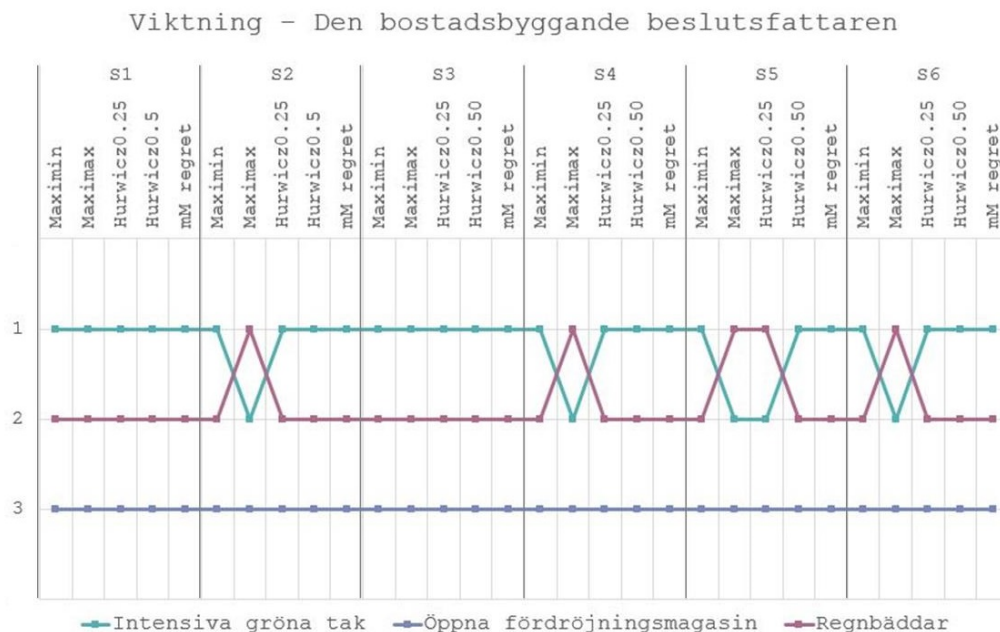
Viktninganalysen visar att resultaten är känsliga för viktning och att vikterna bör väljas med omsorg. Analysen visar även att modellen fungerar som tänkt eftersom en större vikt på ett visst kriterium ska ge utslag i resultatet och premiera den åtgärd som bäst lämpar sig vid en specifik preferens.



Figur 9.2: Ranking av åtgärdsalternativen vid *den osäkras* preferens (viktning 0.4 för kriteriet *flexibilitet*) vid samtliga scenarier och beslutsregler.

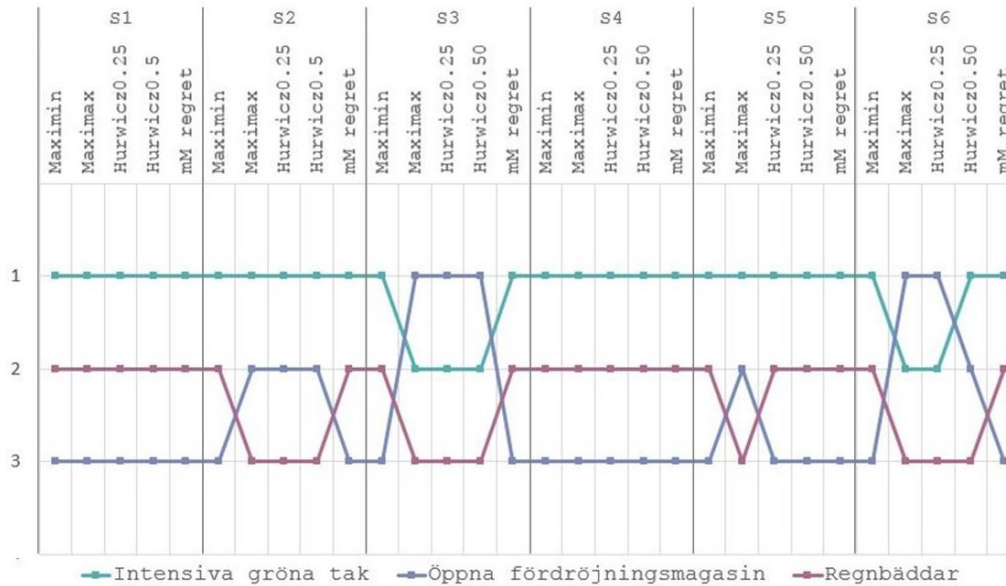


Figur 9.3: Ranking av åtgärdsalternativen vid *den sparsamma*s preferens (viktning 0.4 för kriteriet *kostnad*) vid samtliga scenarier och beslutsregler.



Figur 9.4: Ranking av åtgärdsalternativen vid *bostadsbyggarens* preferens (viktning 0.4 för kriteriet *ytanspråk*) vid samtliga scenarier och beslutsregler.

Viktning - Den riskaverta beslutsfattaren



Figur 9.5: Ranking av åtgärdsalternativen vid *den riskavertas* preferens (viktning 0.4 för kriteriet *överskottsvolym*) vid samtliga scenarier och beslutsregler.

9.1.2 Målsökning för viktning

Utöver att testa den viktningfördelning som beskrivs i föregående avsnitt genomfördes också en målsökningsanalys för att undersöka vid vilken viktningfördelning som rankingresultatet slår om. Resultatet slår om när en annan åtgärd än gröna tak utgör minst 50 procent, det vill säga 15 stycken, av de högst rankade alternativen under de olika scenarierna och beslutsreglerna. Endast ett kriterium i taget ökades i vikt. Övriga kriterier gavs likformig viktning. Resultatet från denna analys presenteras i tabell 9.2 och en översikt över hur resultatet ser ut med olika viktning syns i figur 9.6.

Vid målsökningsanalysen syns hur en förändrad viktning för kriterierna kan generera en annan utgång än i det likformiga fallet. Kriterierna har valts eftersom de alla uppfattas som tämligen viktiga ur den kommunala beslutsfattarens synvinkel. Resultatet från målsökningsanalysen visar att det för *den humanitära* beslutsfattaren krävs en relativt liten ökning av viktningen för att rankingen ska slå om. För *den osäkra*, *den sparsamma* och *den riskaverta* krävs en mycket högre ökning av viktningen innan utfallet förändras. För *bostadsbyggaren* slår rankingen om enbart vid en sänkning av viktningen.

I figur 9.6 visas en sammanställning av antal gånger alternativen uppnår högsta ranking vid olika viktningar för alla scenarier och beslutsregler, totalt 30 gånger.

I figuren syns hur gröna tak står sig relativt väl mot övriga alternativ trots större förändringar i viktning för ytanspråk, överskottsvolym och i viss mån även flexibilitet.

Gällande kriteriet *ytanspråk* är detta föga förvånande då åtgärden har övervägande bäst värde för kriteriet. Det är främst vid en nedprioritering av kriteriet som öppna fördröjningsmagasin blir överlägset vilket förmodligen speglar det faktum att det i vissa scenarier uppvisar större omhändertagande volymer, är billigare och uppvisar större flexibilitet.

För kriteriet *överskottsvolym* uppvisar gröna tak en generellt hög nivå av omhändertagande av överskottsvatten jämfört med övriga åtgärder samtidigt som den ligger högt i övriga kriterier. Därför är det först när kriteriet överskottsvolym prioriteras väldigt högt som öppna fördröjningsmagasin, som i flera scenarier kan ta hand om större volymer, överstiger gröna tak i antal utfall med högst ranking.

Den förändring som uppvisas i kriteriet *flexibilitet* kan i huvudsak förklaras av att åtgärden gröna tak har en generellt bättre uppfyllnad av kriterierna än öppna fördröjningsmagasin men när det kommer till flexibiliteten så ligger magasinen högre. Regnbäddar ligger på samma nivå som gröna tak men ligger sämre till i övriga kriterier. Viktningen som krävs för att resultatet ska slå om blir därför ett uttryck för hur mycket viktning som krävs för att den relativt lilla skillnaden i flexibilitet ska ge utslag på resultatet.

En förändring i viktning till förmån för de två övriga kriterierna *kostnad* och *livskvalitet* uppvisar lite större benägenhet till variation i resultaten. För livskvalitet gäller att åtgärden öppna dagvattenmagasin uppvisar ett relativt betydande högre värde för kriteriet än de övriga två och att regnbäddar har ett något högre än gröna tak. För övriga kriterier ligger gröna tak och regnbäddar närmare varandra och konkurrerar ut öppna dagvattenmagasin vid en likformig viktning. När livskvalitetskriteriet ges allt större vikt slår därför regnbäddar först ut de gröna taken eftersom det är det enda kriteriet för vilket regnbäddar är bättre. När så vikten av kriteriet vidare ökar slår det över igen men denna gång till öppna dagvattenmagasin till följd av att denna åtgärd är de övriga överlägsen med avseende på livskvalitet. Detta anses vara en rimlig representation av verkligheten eftersom öppna dagvattenmagasin generellt möjliggör bland annat rekreation.

För kostnadskriteriet är det relativt svårt att dra några tydliga slutsatser utifrån viktninganalysen då variationen är väldigt stor. Förklaringar till denna variation kan ligga i dels att skillnaden i kostnad är relativt liten samt att intervallen generellt är väldigt breda med stora överlapp, dels då kostnaden inte påverkas direkt av de olika scenarierna. De övriga kriterierna får därför, på grund av att få slutsatser kan dras utifrån skillnaden i kostnaden, stor inverkan trots att viktningen för kostnaden ökas.



Figur 9.6: Antal gånger, av de totalt 30 möjliga, som alternativen uppnår högsta ranking under olika viktningsscenarier. Värdena på y-axeln utgör viktningen för det studerade kriteriet. Övriga kriterier tilldelas lika vikt med de poäng som blir över.

Tabell 9.2: Viktningar för de olika beslutsfattartyperna när resultatet slår om och minst 50 procent av de högst rankade alternativen utgörs av ett annat alternativ än gröna tak som avgjort presterat bäst i det likformiga exemplet där viktningen beskrevs av $w = [0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2]$.

| Beslutsfattare/ Åtgärd | C1 Livskvalitet | C2 Flexibilitet | C3 Kostnad | C4 Ytanspråk | C5 Överskottsvolym |
|---------------------------|--------------------|--------------------|---------------|-----------------|-----------------------|
| Den humanitära | | | | | |
| <i>Regnbäddar</i> | 0.285 | 0.17875 | 0.17875 | 0.17875 | 0.17875 |
| <i>Dagvattenmagasin</i> | 0.325 | 0.16875 | 0.16875 | 0.16875 | 0.16875 |
| Den osäkra | | | | | |
| <i>Dagvattenmagasin</i> | 0.13775 | 0.449 | 0.13775 | 0.13775 | 0.13775 |
| Den sparsamma | | | | | |
| <i>Regnbäddar</i> | 0.225 | 0.225 | 0.1 | 0.225 | 0.225 |
| <i>Dagvattenmagasin</i> | 0.12735 | 0.12735 | 0.4906 | 0.12735 | 0.12735 |
| Bostadsbyggaren | | | | | |
| <i>Dagvattenmagasin</i> | 0.2145 | 0.2145 | 0.2145 | 0.142 | 0.2145 |
| Den riskaverta | | | | | |
| <i>Regnbäddar</i> | 0.075 | 0.075 | 0.075 | 0.075 | 0.7 |

Del IV

Diskussion och slutsatser

10 | Slutsatser och utvärdering

I kapitlet diskuteras och utvärderas beslutsanalysen och de metoder som används inom ramen för denna på en mer detaljerad nivå. Anmärkningar mot kriterierna bemöts och analysstegens lämplighet och utvecklingspotential diskuteras.

Det finns en konflikt mellan översvämningsrisk och ökat intresse för förtätning av våra städer. Ett förändrat globalt klimat kan leda till fler kraftiga skyfall samtidigt som förtätning kan generera mer hårdgjorda ytor och fler som kan drabbas av översvämning i ett område. Klimatförändringar bidrar dessutom till stora osäkerheter då det är svårt att göra prognoser med hög träffsäkerhet. Det är därför relevant att vid fysisk planering beakta egenskaper som flexibilitet, robusthet och anpassningsbarhet hos översvämningsåtgärder.

I den framtagna beslutsanalysen har en grund lagts för hur ett sådant beslutsunderlag kan se ut. De generella slutsatser som kan dras från arbetet är:

- Robust beslutsfattande är önskvärt när det finns osäkerhet om vilka konsekvenser åtgärdsalternativ leder till.
- Multikriterianalys används för att formulera komplexa beslutsproblem där konsekvenser bedöms med avseende på flera kriterier identifierade av beslutsfattare, experter och avnämare.
- För att beskriva källor till osäkerhet som är särskilt djupa (d.v.s. ger upphov till omfattande osäkerhet) kan man använda intervall istället för sannolikhetsfördelningar.
- Det finns flera alternativa regler för att fatta beslut i närvaro av osäkerhet som kvantifieras med intervall.
- Robust beslutsfattande kan vara känslig mot val av beslutsregel och hur olika beslutskriterier värderas.

Beslutsanalysen tillämpades på en fallstudie i västra Lund. Där såg vi att:

- Den framtagna beslutsanalysen utgör en lämplig grund för en mer avancerad bedömning av översvänningsåtgärder i urban fysisk planering.
- Av de tre undersökta åtgärderna var gröna tak oftast bäst.
- Vilken vikt som läggs på olika beslutskriterier spelade en större roll för slutresultatet jämfört med betydelsen av vilken av de sex beslutsreglerna som tillämpades.

Nedan följer en utvärdering av beslutsanalysens utformning samt vidareutvecklingspotential av densamma.

10.1 Kriteriernas lämplighet

I examensarbetet har kriterierna definierats på vad vi upplevt vara bästa möjliga vis utifrån de data som varit tillgänglig. Kriterierna och deras indata kan däremot med stor sannolikhet förbättras varför en diskussion kring dess lämplighet och utvecklingsmöjligheter förs nedan.

10.1.1 Livskvalitet

Eftersom det ligger i kommunens ständiga intresse att värna om både den psykiska och fysiska hälsan hos sina invånare anser vi att ett kriterium som täcker in effekterna av åtgärder på *livskvalitet* är mycket lämpligt. Kriteriet kan dock med stor sannolikhet förbättras genom att inkludera fler dimensioner av livskvalitet och genom exempelvis samråd med beslutsfattare och representanter från allmänheten.

Ett exempel på när måttet inte tar hänsyn till det fullständiga antalet dimensioner är då grönområden införs eller reduceras till förmån för förtätning och översvänningsåtgärder. Wolch, Byrne och Newell (2014) beskriver att tillgång till grönområden kan reducera uppkomsten av fetma bland de boende och kan öka bostadspriserna i dess närområde. Tillgång till grönområden för rekreation och motion kan alltså, utöver att bidra med skydd för översvämningar och *urbana värmeöar* (UHI) som beskrivs i teoriavsnittet, bidra till att öka den fysiska hälsan och ge ökat välstånd hos de boende. Två aspekter som kan anses öka invånarnas livskvalitet.

Wolch, Byrne och Newell (2014) tar också upp att utformning av parkområden uppvisar stor heterogenitet vilket innebär att även om en park är estetiskt tilltalande så krävs också god utformning för att övriga positiva egenskaper ska uppstå. En park som är dåligt utformad eller placerad kan enligt författarna till och med skapa negativa hälsoeffekter. Ett exempel på en sådan situation är om parken ligger i nära

anslutning till kraftigt trafikerade vägar där luftkvaliteten är dålig. Det krävs alltså mer detaljerad information om grönområdet än dess blotta existens för att bedöma dess olika inverkan på de boendes livskvalitet. Utöver diskussionen kring rena hälsoeffekter av att ha tillgång till grönområden så lyfter Wolch, Byrne och Newell (2014) också fram att det i USA råder ojämställdhet när det kommer till tillgång till grönområden. Författarna visar på att låginkomstområden generellt i mindre utsträckning har tillgång till grönområden i sitt närområde. Även om författarna också pekar på svårigheterna i att göra rättvisande analyser över tillgång till grönområden så belyser dessa fynd vikten av att behandla fördelningseffekter i den fysiska planeringen. Samhällsinvesteringar bör varken gynna eller missgynna vissa grupper av människor mer eller mindre.

Livskvalitetsmättet tar i viss mån hänsyn till att åtgärder inte per automatik genererar en mängd positiva effekter då det inte bara tar hänsyn till uppkomst av rekreationsmöjligheter utan också tillgänglighet, naturpedagogik och möjlighet till sociala interaktioner. Faktorer som hade kunnat läggas till utifrån ovan förda diskussion är dock motionsmöjligheter och fördelningseffekter.

10.1.2 Flexibilitet

Kriteriet flexibilitet valdes för att spegla hur åtgärderna står sig mot den inneboende osäkerhet om framtiden som klimatförändringar bidrar till. Det finns inga garantier för att en åtgärd som är bra idag är lika bra imorgon. De indikatorer som valdes för att beskriva flexibilitetsmättet anses täcka in många av de aspekter som lyfts fram av Hallegatte (2009) för infrastrukturplanering med hänsyn till klimatosäkerhet. En djupare studie över fler faktorer och aspekter kopplade till flexibla strategier med avseende på specifikt översvämningshantering hade dock med fördel kunnat genomföras för att ytterligare utveckla kriteriet.

Indikatorerna ger vidare endast positiva utslag på flexibilitetsmättet och därmed fångas inte eventuella i sammanhanget negativa aspekter av åtgärderna in. Speciellt för indikatorn *synergieffekter och konflikter* kan detta ge ett missvisande utfall då konflikter (negativa sidoeffekter) endast resulterar i att inga poäng ges till indikatorn istället för att poäng dras ifrån det totala flexibilitetsmättet. En åtgärd med många negativa sidoeffekter får alltså samma poäng som en åtgärd som varken genererar synergier eller konflikter.

10.1.3 Kostnad

Det ligger i det kommunala beslutsfattandets natur att ta hänsyn till den ekonomiska dimensionen av översvämningshantering eftersom skattebetalarnas pengar måste

fördelas över en mängd olika samhällsintressen. Därför tycker vi att det är oundvikligt att inkludera ett kriterium som beaktar kostnad för åtgärderna. I detta arbete har vi valt att endast inkludera kostnad för investering och underhåll av åtgärderna. I praktiken tillkommer dock oftast projekterings- och utredningskostnader vilka har ansetts vara svåra att uppskatta och därför uteslutits. Det går dock att argumentera för att dessa kostnader borde hamna på ungefär samma nivå oavsett val av åtgärd.

Vid beräkning av underhållskostnader har en livslängd satts till 50 år vilket i sammanhanget är ett väldigt godtyckligt antagande då ingen djupare analys på livslängd för översvämningsåtgärder gjorts. För en mer detaljerad uppskattning av underhållskostnad kan denna aspekt utvecklas. Vidare har ingen diskontering gjorts eller annan hänsyn tagits till framtida förändringar i underhållskostnader.

För att undvika samvariation mellan kostnadskriteriet och ytanspråkskriteriet sattes enheten för kostnad till kronor per kvadratmeter i stället för den totala kostnaden för åtgärden baserat på dess storlek. Detta kan ses som en stor förenkling av de verkliga kostnaderna för att implementera åtgärderna eftersom de varierar mycket i storlek. Samvariation mellan kriterierna diskuteras mer i avsnitt 10.3

10.1.4 Ytanspråk

Kommunernas vision om förtätning har i vårt arbete setts som en av de starkast bidragande drivkrafterna för ökad översvämningsrisk, tillsammans med klimatförändringar. Kriteriet ytanspråk har en stark och tydlig koppling till förtättningsintresset då förtätning delvis kräver att det finns oanvänd markyta i den urbana miljön. Kriteriet speglar dock inte målet *maximera antalet bostäder utan att göra anspråk på jordbruksmark* (se box 5.1.2) fullt ut eftersom det i analysen inte kan säkerställas att den oanvända markytan används till just bostäder. För att kunna inkludera detta i beslutsanalysen krävs detaljerad information om framtida planer för befolkningstäthet och markanvändning.

I beslutsanalysen har åtgärdernas ytanspråk antagits vara densamma som dess dimensionerade yta, förutom för gröna tak vars ytanspråk inte ansågs stå i konflikt med förtättningsintresset. Det kan dock diskuteras huruvida en vidare utveckling av kriteriet behövs där åtgärderna utvärderas noggrannare utefter om dess yta hade kunnat användas för förtätning istället. Exempelvis kan man argumentera för att regnbäddars ytanspråk inte står i konflikt med förtätning i lika stor utsträckning som öppna fördröjningsmagasin om de placeras på gator eller andra allmänna ytor som det finns behov av oavsett förtättningsplaner. En potentiell lösning för åtgärda detta hade kunnat vara att göra en typ av fördelning av åtgärdens yta där en viss andel av den faktiska ytan tilldelas kriteriet utefter hur stor konflikten med förtätning är.

En annan svårighet med ytanspråkskriteriet ligger i vem som äger marken där åtgärden planeras. Om marken tillhör en privat fastighetsägare kan det vara svårt att implementera en åtgärd på den marken utan att ta till hjälpmedel som subventioner eller liknande. Denna aspekt faller utanför beslutsanalysen men skulle kunna vara en avgörande faktor för det faktiska beslutsfattandet.

10.1.5 Överskottsvolym

Kriteriet överskottsvolym utgör i viss mån en proxyindikator för skada till följd av översvämning. Det bakomliggande antagandet är att överskottsvolym har potential att åsamka skada på värden i området. Att beskriva skada genom överskottsvolymer kan dock vara missvisande eftersom måttet inte till fullo inkorporerar sårbarheten hos eller den exakta exponeringen av det man vill skydda. En möjlig utveckling av modellen hade därför varit att beskriva skada på något annat lämpligare och mer fullständigt vis.

MSB (2013) delar upp översvämningsskador i olika skadetyper där man skiljer på direkta och indirekta, samt tangibla och intangibla skador. Direkta skador är i sammanhanget de skador som enkelt härrörs till översvämningen, så som materiella vattenskador, medan indirekta är de som uppstår till följd av händelseförlopp som initieras på grund av översvämningen. Exempel på indirekta skador är produktionsbortfall till följd av att ett företags lokaler översvämmats och därmed inte kan nyttjas till att bedriva verksamhet. Tangibla skador är i sammanhanget de skador som kan beskrivas i monetära termer, så som skada på fysiska tillgångar eller produktionsbortfall, medan intangibla skador är svåra att mäta i pengar, såsom skador på människors liv och hälsa.

Pluviala översvämningar, som generellt karaktäriseras av relativt små djup, tenderar att uppvisa relativt små direkta tangibla skador. I kontrast till detta utgör intangibla skador, så som trafikstörningar, en större påverkan (Veldhuis 2011). Veldhuis undersöker skillnaden i utfall vid användande av dels ett monetärt mått och dels måttet *antal drabbade*. Författaren undersökte både tangibla och intangibla skador och studien visade att vilken typ av skada som studerats gav mycket stort skillnad i utslag mellan de två måtten. I studien var antal drabbade betydligt fler vid intangibla i förhållande till tangibla skador vid pluviala översvämningar.

Utifrån föregående stycke blir det tydligt att val av mått på skada i en situation där vi har både tangibla och intangibla skador gör mycket stor skillnad. Det kan därför vara relevant att utveckla ett mått på skada som kan inkorporera både monetär skada och alternativa mått. Utöver detta anser vi att även sårbarhet och exponering bör inkluderas.

10.2 Detaljeringsgrad kontra användbarhet

Ovan förda diskussion genererar vidare frågor kring hur stora krav på detaljerad information om åtgärder och system beslutsanalysen kan ha utan att bli för komplicerad och därmed utdömas som oanvändbar. För att se och ta hänsyn till alla de nämnda effekterna krävs större detaljriktighet i beskrivningen av åtgärdernas utformning, något som kan anses motarbeta syftet med analysens försök att vara övergripande.

Beslutsanalysens och dess underliggande bedömningsmodellens detaljeringsgrad måste därför vägas mot dess användbarhet. Jämförelsevis kan man diskutera de olika översvämningsmodeller som diskuterats i rapportens teoriavsnitt. Om ledningsnät inte ger något nämnvärt utslag i resultatet kanske en 2D-modell bör väljas över en 1D-2D-modell till förmån för en simplare modell. Lika så gäller i beslutsanalysen. Finns det enkla modeller som i sammanhanget ger tillräckligt goda ingångsdata till beslutsanalysen kanske dessa bör användas till förmån för en förenklad analys även om resultaten inte på papperet uppvisar samma detaljriktighet. Därför bör framtida studier inkludera en analys över vilken detaljeringsgrad som krävs för beslutsfattande i frågan och hur mycket av designfasen som rimligtvis bör föregå beslutsanalysen. En sådan utveckling innebär också vidare bemötande av riktlinje 7 för DSR där vikt läggs vid användarvänlighet och kommunikation.

10.3 Samvariation mellan kriterierna

Utöver att analysera kriteriernas lämplighet är det viktigt att kartlägga eventuella beroenden och samvariation dem emellan. Nedan följer därför en diskussion kring några sådana beröringspunkter för de nyttjade kriterierna och dess subindikatorer.

10.3.1 Överskottsvolym och ytanspråk

Då vi studerar de fem kriterierna som tagits fram och utgjort basen i den framtagna modellen är det framförallt de två kriterierna *överskottsvolym* och *ytanspråk* där ett visst överlapp är tydligt. Båda kriterierna beror i stor utsträckning på åtgärdernas yta, med undantag av gröna tak vars ytanspråk ansatts till noll som ett resultat av att det inte står i konflikt med förtätningens intresset. Även om kriterier i så stor mån som möjligt ska vara fristående så finns det i just detta fall en poäng i överlappet eftersom det beskriver den huvudsakliga konflikten, hur intressena reduktion av överskottsvolym och förtätning på grund av begränsade ytor står i kontrast till varandra. Beroendet dem emellan bör dock diskuteras med en framtida beslutsfattare för att säkerställa att det inte går emot de rådande intressena och värderingarna.

Överskottsvolym, ytanspråk och kostnad

Om man kommer fram till att beroendet som beskrivs i föregående avsnitt är olämpligt måste något annat sätt att inkorporera intressena översvämningsreduktion och ytanspråk tas fram. Ett sådant exempel, som också berör den möjliga problematiken i att kostnadskriteriet inte tar hänsyn till totalkostnader utan kostnader per kvadratmeter, är att istället för att använda *kostnad per kvadratmeter*, *ytanspråk* och *översvämningsvolym* använda kriterierna *totalkostnad*, *effekt per kvadratmeter* för översvämningsåtgärderna och *skada*.

Konflikten mellan förtätning och översvämningsreduktion berörs i exemplet dels i effekten (hög effekt innebär yteffektivitet) och i totalkostnaden (större åtgärd generellt dyrare) utan att de två kriterierna bör uppvisa något problematiskt beroende. Utöver detta kan skadekriteriet som diskuteras i avsnitt 10.1.5 inkorporeras och tydligare kopplas till problematiken som översvämningsåtgärderna ger upphov till och inte översvämningsåtgärderna i sig. Genom att på detta sätt ta hänsyn till exponering och sårbarhet kan också mer effektiva investeringar göras.

10.3.2 Livskvalitets- och flexibilitetsmått

Indikatorerna *stabilitet* och *synergieffekter och konflikter* från flexibilitetskriteriet följer i viss mån livskvalitetsmåtten. Många av de effekter som skapar mervärden i form av ökad livskvalitet, så som utökade rekreativmöjligheter vid införande av torrdammar eller andra gröna ytor i den urbana miljön, kommer ofta också bidra till viss nytta även vid uteblivna klimatförändringar i form av en möjlig synergieffekt i form av en ökning i biodiversitet och rening av luft.

De två kriterierna livskvalitet och flexibilitet kan därför i vissa fall uppvisa viss samvarians. Bland annat syns i bilaga A.1 hur de två kriterierna minskar och ökar samtidigt. Eftersom antalet åtgärder är relativt begränsat kan denna samvarians i detta fall vara slumpmässig alternativt bero på att åtgärderna är relativt lika varandra. Huruvida detta förhållande utgör ett problem i modellen eller beskriver en önskvärd uppvärdering av multifunktionella åtgärder är en diskussion som bör föras med en beslutsfattare i framtida utveckling av modellen.

10.4 Hydraulisk modell

För att ta fram översvämningsvolymerna har flera anpassningar fått göras. Eftersom vi inte haft möjlighet att själva modellera framtida skyfall under de olika RCP-scenarierna för vart förtätningsscenario och de planerade åtgärderna finns brister

i förtätningens effekter på överskottsvolymer. Likaså har inte åtgärdernas spatiala effekt bidragit till resultaten. En möjlig förbättring av analysen är alltså att beräkna överskottsvolymer genom situationsspecifika översvänningsberäkningar med hjälp av en 1D-2D-modell, exempelvis med hjälp av programvaran MIKE.

10.5 Metod för val av åtgärder

En central del i en MKA är att på ett strukturerat sätt ta fram de alternativ som ska jämföras i analysen. För att beslutsanalysen ska vara komplett bör därför en metod för att välja vilka åtgärder som ska studeras inkorporeras i beslutsanalysen, något som inte gjorts i detta fall. Beslutsanalysen i detta arbete ger inte något mått på hur väl en åtgärd presterar i sig själv utan endast hur väl den presterar i förhållande till de andra beslutsalternativen. Det är därför extra viktigt att beslutsalternativen väljs på bästa möjliga sätt. Herman m. fl. (2015) rekommenderar till exempel att en kombination av expertis från beslutsfattare och sakkunniga och optimeringsberäkningar genomförs för att hitta beslutsalternativ.

I detta arbete har vi endast tittat på varje åtgärd för sig vilket inte fångar in hur åtgärderna skulle kunna samverka. Det skulle därför vara lämpligt att dessutom studera kombinationer av åtgärder eller åtgärds paket eftersom detta bättre speglar hur man arbetar med översvänningshantering i praktiken. Det är något som borde vara möjligt utan några större anpassningar av analysmetoden.

10.6 Involvering av beslutsfattare

Detta examensarbete har i första hand fokuserat på framtagande av en metodik för att ranka olika översvänningsalternativ utefter kriterier där olika typer av värden ska vägas in trots att de inte med mer traditionella metoder är direkt jämförbara. Därför har en MKA-metod utnyttjats. I en sådan bör beslutsfattare och andra intressenter inkluderas. För att avgränsa arbetet något har dock denna bit till stor utsträckning exkluderats i examensarbetet. En vidareutveckling hade därför varit att genomföra en grundlig kartläggning av beslutsfattare och intressenter för att inkorporera deras arbetssätt och värderingar i analysen, exempelvis genom att använda delfimetoden, eller en liknande metod, för att ta fram viktningsparametrar för de olika kriterierna eller för att förbättra exempelvis måttet på livskvalitet.

Att ytterligare involvera beslutsfattare och intressenter hade vidare bidragit till större uppfyllande av riktlinje 6 för DSR då kommunikation med de samma bidrar till att på ett tillfredsställande sätt kartlägga de befintliga medel, regler och önskade mål som finns i problemsituationen. Vidare kan en sådan kartläggning och invol-

verande av intressenter skapa större förståelse för hur artefakten ska utformas för att uppfylla riktlinje 7 för DSR som berör kommunikation och användarvänlighet. Även riktlinje 2 för DSR om problemrelevans stärks genom att i större detalj utreda problemformuleringen och täcka in fler dimensioner av problematiken.

En ansats till att studera hur olika beslutsfattares värderingar, uttryckt i viktningar, hade kunnat ge utslag i resultatet har gjorts i avsnitt 9.1.

10.7 Val av MKA-metod

Det finns en stark tvetydighet kring huruvida val av metod för att skapa ett sammanvägt nyttomått, MKA-metoden i konsekvensanalysen (kapitel 7), kan påverka det slutgiltiga resultatet eller ej (Hyde 2006). Därför hade vi önskat att det fanns möjlighet att vidareutveckla metoden genom att inte bara titta på en rad olika metoder för beslut under osäkerhet, beslutsreglerna, utan även inkorporera fler MKA-metoder. På så sätt hade även robusthet mot osäkerheter från en sådan effekt kunnat vägas in och relevanta anpassningar av beslutsanalysen göras. Detta hade också bidragit genom att utöka relevansen hos beslutsanalysmetoden i enlighet med DSR genom att utöka avgränsningarna och testa metodens nytta, kvalitet och effektivitet under större osäkerheter.

10.8 Val av beslutsregler

Hur känslig en analys är mot val av beslutsregler varierar från fall till fall. I detta fallet var resultatet inte särskilt känsligt mot val av beslutsregler. Det beror på att alternativen oftast hade samma relativa ordning på deras högre respektive lägre värde i intervallen.

Som diskuteras i kapitel 8 har beslutsreglerna valts för att spegla olika attityder hos beslutsfattare, från pessimistisk till optimistisk. Därmed anses robusthetsanalysen vara relativt väl fördelad över olika inställningar till osäkerhet. Det bör dock nämnas att det finns flera andra typer av beslutsregler som hade kunnat användas och ingen djupare analys över vilka som skulle kunna vara lämpligast i det studerade fallet har gjorts.

11 | Diskussion

I kapitlet förs en avslutande diskussion kring examensarbetets måluppfyllnad och vidare forskning. En sammanfattande diskussion om definition och bemötande av begreppen osäkerhet och robusthet förs och lärdomar från studieområdet dras. Vidare lyfts att behov av kunskapsutveckling finns gällande kartläggning av och metoder för inkluderande av beslutsfattare och intressenter, hur de spatiala effekterna kan tas med i beräkningarna, konflikten mellan detaljeringsgrad och användbarhet, och hur skada lämpligen definieras i översvämningshanteringsarbetet.

11.1 Måluppfyllnad

Vi upplever att vi gör en god ansats till att beskriva ett tillvägagångssätt för att genomföra en beslutsanalys där hänsyn tas till de huvudsakliga intressena i den studerade situationen. Nedan följer en diskussion kring de målsättningar som sattes upp i avsnitt 1.2 och huruvida de uppnåtts.

1. Kartlägga vilken typ av osäkerheter som präglar översvämningshanteringsystemet och ta fram lämpliga tillvägagångssätt för att hantera dessa.

I en urban översvämningshanteringsplanering kommer tidsaspekten med stor sannolikhet resultera i stora osäkerheter kring framtida miljömässiga och socioekonomiska möjliga tillstånd. Detta ställer stora krav på hur man hanterar osäkerhet, speciellt i den fysiska planeringen där tidsperspektivet ofta spänner över ett århundrade eller mer och därmed ger att beslut inom området är mer sårbara för exempelvis klimatförändringar. I sammanhanget är det mycket svårt att kvantifiera osäkerheten hos parametrar och det råder också ofta tvetydighet kring vilka modeller som bäst beskriver ett studerat system, det vill säga djup osäkerhet råder.

Att applicera begreppet djup osäkerhet innebär att man accepterar att mycket lite går att säga om en bästa gissning kring framtida utfall varför flera troliga framti-

der i form av scenarier blir lämpligt att använda i planeringen. Eftersom relativt stor kunskapsosäkerhet råder kring parametervärden långt fram i tiden kommer det också vara svårt att tilldela dem tillfredsställande sannolikhetsfördelningar. Här kan intervall utgöra ett rimligt alternativ. Genom att tilldela ett intervall kan i viss mån osäkerhet både kring fördelningen och parametervärdet täckas in.

När osäkerheten i och vidden hos de troliga framtida utfallen är mycket stor blir flexibilitet och anpassning också en viktig aspekt. Hallegatte (2009) menar exempelvis att även om klimatprognoser kan förväntas bli bättre och eventuellt mer tillförlitliga i framtiden så behöver detta inte betyda att utfallsvidden blir smalare eller osäkerheterna kan exkluderas. Därför bör också dagens och framtida beslutsfattare kontinuerligt anpassa sina beslut och planer allt eftersom ny information uppkommer.

Utifrån ovan uppräknade stycken blir det tydligt hur allt större ansvar läggs på beslutsfattarna att ta robusta beslut samt vara flexibla och anpassningsbara, vilket kanske är lättare sagt än gjort. Som ett stöd i detta arbete anser vi därför att det är viktigt att skapa användbara stöd för beslutsfattarna när beslutsunderlag ska tas fram. Vid framtagande av sådana beslutsunderlag bör fler intressen vägas in och hänsyn tas inte bara till de faktorer som kan monetäriseras. En ansats till detta har gjorts i detta examensarbete och vår förhoppning är att området ska kunna fortsätta att utvecklas i framtiden.

2. Genomföra en litteraturstudie som syftar till att klargöra begreppet robust beslutsfattande samt ta fram en definition av begreppet robust som lämpar sig i sammanhanget.

När man arbetar med djup osäkerhet i komplexa system så utgör tillförlitlighet inte längre ett bra mått på ett beslutsalternativs prestation. I dessa sammanhang är ett lämpligare alternativ att jämföra alternativens robusthet. Robusthet är ett brett begrepp som kan användas olika beroende på situation och sammanhang. Inom begreppet ryms både robusta system och robust beslutsfattande. Robusta system beskriver i sammanhanget systemets förmåga att motstå och anpassa sig till störningar medan robust beslutsfattande är metodiker (exempelvis regler) som används för att fatta långsiktiga robusta beslut under kunskapsosäkerhet. Eftersom det visat sig att resultatet kan variera beroende på vilken beslutsregel som väljs bör valet av beslutsregel beaktas som en möjlig källa till osäkerhet. I detta arbete har robusthet definierats som ett mått på en översvämningsåtgärds förmåga att prestera bäst under flest framtida utfall och beslutsregler.

Vi anser att den uppsatta definitionen uppfyller syftet väl, givet att en åtgärd ska väljas. I det uppsatta fallet, under den studerade definitionen, utses det mest robusta beslutsalternativet utefter dess avstånd till den *bästa* lösningen. Tillvägagångssättet innebär dock att ingen hänsyn tas till en situation där alla beslutsalternativ utgör

dåliga alternativ då det bättre alternativet kanske är att inte välja någon av åtgärderna. I en sådan situation innebär definitionen att man ställs inför dilemmat om man verkligen bör välja det bästa av en mängd dåliga alternativ. Ett alternativt tillvägagångssätt som därför är värt att ta i beaktande, och som lyfts fram av Herman m. fl. (2015), är inkluderandet av en kravgräns kopplat till intressenter och beslutsfattares preferenser, uttryckta i kriterier, vilka beslutsalternativen måste uppfylla. Ett beslutsalternativs robusthet beskrivs då som den andel av de troliga utfallen för vilka alternativet uppfyller kriterierna. Tillvägagångssättet ställer dock vidare krav på involverande av intressenter och beslutsfattare vilket har exkluderats i detta arbete.

3. Ta fram en modell som bedömer effekten av olika översvämningsåtgärder med avseende på kriterier som kan utgöra underlag i en beslutsanalys. Kriterierna bör återspegla ett brett spektrum av samhällsintressen som är relevanta att ta hänsyn till i den fysiska planeringen.

Arbetet resulterade i en beslutsanalys där beslutsalternativen jämförs med hjälp av TOPSIS. Eftersom beslutsanalysen bygger på en multikriterieanalys har flera värden och intressen kunnat inkorporeras och därmed har ett tillfredsställande helhetsperspektiv uppnåtts. Mot bakgrund av vad som förts fram i kapitel 10 finns det dock utvecklingspotential i val av kriterier samt i hur de modeller som beskriver kriteriernas prestationsmått utformas.

4. Ta fram ett tillvägagångssätt för att med hjälp av olika beslutsregler bedöma hur robusta olika åtgärder är mot osäkerhet från klimatförändringar och framtida förtätning.

För att möjliggöra prövning av beslutsalternativens robusthet med avseende på möjliga framtida utfall applicerades sex olika beslutsregler på åtgärdernas sammanvägda nyttomått. Som diskuteras i avsnitt 10.8 fångar beslutsreglerna in en spridning av både pessimistisk och optimistisk inställning till osäkerhet.

Det kan dock diskuteras huruvida optimistiska beslutsregler bör användas vid beslut om riskreducerande åtgärder så som översvämningsåtgärder. Eftersom det övergripande syftet med att införa en sådan åtgärd är att minska exponering för och/eller sårbarhet mot översvämningsrisker kan det argumenteras för att de mer konservativa beslutsreglerna ska användas för att säkerställa att de negativa konsekvenserna vid kraftiga skyfall minskar.

5. Tillämpa den resulterande beslutsanalysen på ett verkligt område och undersöka betydelsen av beslutsregler och viktningar av beslutskriterier.

Vid applicering av beslutsanalysen på studieområdet i västra Lund visades att gröna tak var det bästa alternativet för den likformiga viktningen. Med tanke på att gröna tak så som de definierats i studien har relativt hög vattenhanteringskapacitet i flera scenarier, inget ytanspråk samt uppvisar viss flexibilitet och positiv inverkan på livskvalitet så verkar modellen fungera väl. Däremot uppstår frågan om gröna tak verkligen är det bästa alternativet för dagvattenhantering i området vilket våra resultat inte kan ge svar på eftersom våra antaganden om åtgärdernas egenskaper och utformning är alltför godtyckliga. Vidare visade viktninganalysen att viktningen spelar stor roll för slutresultatet så vid användning av beslutsanalysen i en verklig planeringsprocess måste en analys av lämpliga viktningar göras.

Sammanfattningsvis verkar beslutsanalysen spegla de aspekter som vi förväntat oss och fungera som metod för att inkludera ett flertal olika intressen men för att kunna fungera som beslutsunderlag behövs mer detaljerad information om åtgärderna och dess tänkta utformning samt beslutsfattarnas preferenser.

11.2 Vidare forskning

Utifrån diskussionen i kapitel 10 har en rad områden identifierats där vidare forskning kan bedrivas:

- En kartläggning över hur beslutsfattare, intressenter och allmänhet kan och bör involveras i beslutsanalysens olika delar. Några sådana relevanta delar kan vara vid framtagande av kriterier, mål och viktning, former för beslutsfattandet eller för att ta fram en acceptabel gräns som alla beslutsalternativ måste uppfylla.
- Hur den spatiala effekten av översvämningsåtgärder eller åtgärdspaket kan mätas med hjälp av exempelvis programvara som GIS eller MIKE. Hur stor blir exempelvis skillnaden i förhållande till andra enklare modeller?
- Förhållandet mellan detaljeringsgrad och användarvänlighet är vidare en punkt som bör studeras djupare. Det är lätt att anta att resultatet med större detaljrikedom och mer avancerade modeller bör vara bättre. Därför kan det vara viktigt att tydligt kartlägga behovet i den del av planeringsarbetet som beslutsanalysen är tänkt att användas så att inte onödigt avancerade modeller används där de inte tillför något till resultatet.
- Den riktlinje för DSR som uppfylls i minst grad är riktlinje 7 som ställer krav på användarvänlighet och kommunikation. Denna rapport är den enda kom-

munikation kring beslutsanalysmetoden (artefakten) som faller inom ramen för examensarbetet. Detta innebär att användarvänligheten i dagsläget inte är tillfredsställande. Att bedriva vidare studier och utveckla ett digitalt verktyg hade ökat förståelsen och användarvänligheten hos beslutsanalysmetoden.

- Till sist bör djupare analyser göras över hur man bör definiera skada i analyser av översvämningar. Hur kan man till exempel inkorporera både tangibla och intangibla skador? Kan man utnyttja MKA för att ta fram mått på skada som sedan används i en större MKA? Är det möjligt att ta fram regler för i vilka situationer och vid vilka syften som olika definitioner är lämpliga.

11.3 Avslutande kommentarer

Examensarbetet huvudsakliga förtjänst är den artefakt, som utgörs av den studerade beslutsanalysmetodiken, och de slutsatser som utarbetandet av artefakten möjliggjort. Beslutsanalysen har stor utvecklingspotential, framförallt gällande identifiering av åtgärder och viktningar. Det finns även en konflikt i beslutsanalysens detaljeringsgrad kontra dess användbarhet. Vi tror dock att en multikriterieanalys är ett bra verktyg för att inkorporera många intressen i den kommunala översvämningshandlingen. Genom kännedom kring vilket underlag som behövs i analysen kan också kommunen och regionens aktiviteter, så som översvämningmodellering, samordnas så att så bra information som möjligt finns tillgänglig. Därmed kan beslutsanalysen möjliggöra att de mest robusta översvämningåtgärderna väljs i större utsträckning.

Litteratur

- Aken, J. E. van (2005). Management Research as a Design Science: Articulating the Research Products of Mode 2 Knowledge Production in Management. *British Journal of Management*, 16, s. 19–36.
- Andersson, T., Åhnberg, M., Sellers, I., Hellsten, J., Sörvik, V. och Utzon-Frank, T. (2013). *Strategier för det flerkärniga Skåne*. Malmö: Region Skåne, Avdelningen för samhällsplanering.
- Apostolakis, G. (1990). The Concept of Probability in Safety Assessments of Technological Systems. *Science*, 250, s. 1359–1364.
- Bhaskar, A. S., Hogan, D. M. och Archfield, S. A. (2016). Urban baseflow with low impact development. *Hydrological Processes*, 30, s. 3156–3171.
- Broitman, D. och Koomen, E. (2015). Residential desity change: Densification av urban expansion. *Computers, Environment and Urban Systems*, 54, s. 32–46.
- Chun, B. och Guldmann, J.-M. (2014). Spatial statistical analysis and simulation of the urban heat island in high-density central cities. *Landscape and Urban Planning*, 125, s. 76–88.
- C/O City (2014). *Urbana ekosystemtjänster: Låt naturen göra jobbet*. Stockholm: Maria Block och Varis Bokalders.
- Cox, L. J. (2012). Confronting deep uncertainties in risk analysis. *Risk Analysis*, 32, s. 1607–1629.
- Eigenbrod, F., Bell, V., Davies, H. N., Heinemeyer, A., Armsworth, P. R. och Gaston, K. J. (2016). The impact of projected increase in urbanization on ecosystem services. *Proceeding of The Royal Society B*, 278 (1722), s. 3201–3208.
- Eklund, A., Mårtensson, J. A., Bergström, S., Björck, E., Dahné, J., Lindström, L., Nordborg, D., Olsson, J., Simonsson, L. och Sjökvist, E. (2015). *Sveriges framtida klimat*. SMHI Klimatologi Nr 14. SMHI.

- Ekologgruppen (2016). *Fördröjning av dagvatten inom befintlig bebyggelse i östra Lund*. Landskrona.
- Elgåker, H. och Kaaman, J. (2015). *Markhushållning i planeringen - Jordbruksmarken i Skåne*. 2015:27. Länsstyrelsen Skåne.
- Ferson, S. och Siegrist, J. (2012). Verified Computation with Probabilities. I: Dienstfrey, A. och Boisvert, R. (Utg.), *Uncertainty Quantification in Scientific Computing*. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol. 377. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Fridell, K. och Jergmo, F. (2015). *Regnbäddar - Biofilter för behandling av dagvatten*. URL: http://www.movium.slu.se/system/files/news/11238/files/movium_fakta_2-2015_rangbaddarslutlig.pdf (hämtad 2017-02-13).
- Giuliani, M. och Castelletti, A. (2016). Is robustness really robust? How different definitions of robustness impact decision-making under climate change. *Climate Change*, 135, s. 409–424.
- Gregory, R., Failing, L., Harstone, M., Long, G., McDaniels, T. och Ohlson, D. (2012). *Structured decision making: a practical guide to environmental management choices*. Chichester, UK: Wiley-Blackwell.
- Haaland, C. och Bosch, C. K. van den (2015). Challenges and strategies for urban green-space planning in cities undergoing densification: A review. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14, s. 760–771.
- Haegglom, J. och Hallerth, J. (2016). *Kompakta öppna dagvattenlösningar i urban miljö. Skyfallshantering i området Husensjö i Helsingborgs stad*. Examensarbete. Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik, Institutionen för kemiteknik, Lunds Universitet.
- Hall, M., Lund, E. och Rummukainen, M., utg. (2015). *Klimatsäkrat Skåne*. CEC Rapport Nr 02. Centrum för miljö- och klimatforskning, Lunds universitet. ISBN: 978-91-981577-4-1.
- Hallegatte, S. (2009). Strategies to adapt to an uncertain climate change. *Global Environmental Change*, 19 (2), s. 240–247.
- Hassan, A. M. och Lee, H. (2015). The paradox of the sustainable city: definitions and example. *Environment, Development and Sustainability*, 17 (6), s. 1267–1285.
- Hénonin, J., Russo, B., Mark, O. och Gourbesville, P. (2013). Urban flood real-time forecasting and modelling: A state-of-the-art review. *Journal of Hydroinformatics*, 15 (3), s. 717–736.
- Herman, J. D., Reed, P. M., Zeff, H. B. och Characklis, G. W. (2015). How Should Robustness Be Defined for Water Systems Planning under Change? *Journal of*

- Water Resources Planning and Management*, 141 (10). DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000509.
- Hevner, A., March, S., Park, J. och Ram, S. (2004). Design science in information systems research. *MIS Quarterly*, 28 (1), s. 75–105.
- Hyde, K. M. (2006). *Uncertainty Analysis Methods for Multi-Criteria Decision Analysis*. Doctoral Thesis. Adelaide: School of Civil och Environmental Engineering, The University of Adelaide.
- IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Utg. av Stocker, T., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. och Midgley, P. Cambridge, United Kingdom och New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Jahanshahloo, G., Lotfi, F. H. och Davoodi, A. (2008). Extension of TOPSIS for decision-making problems with interval data: Interval efficiency. *Mathematical and Computer Modelling*, 49, s. 1137–1142.
- Karras, M. och Read, K. E. (2016). *Kostnads-nyttanalytisk analys av införandet av hållbar dagvattenhantering som riskreducerande åtgärd mot översvämning - med fokus på monetär värdering av ekosystemtjänster*. Examensarbete Rapport 5028. Lund: Riskhantering och samhällssäkerhet, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet.
- Khazaei, B. och Hosseini, S. M. (2015). Improving the performance of water balance equation using fuzzy logic approach. *Journal of Hydrology*, 524, s. 538–548.
- Klimatanpassningsportalen (2015). *Gröna tak, fördjupning*. Klimatanpassningsportalen. URL: <http://www.klimatanpassning.se/atgarda/2.3113/grona-tak-fordjupning-1.87577> (hämtad 2017-02-13).
- Larsson, R. (2008). *Jords egenskaper*. Linköping: Statens geotekniska institut.
- Lempert, R., Popper, S. och Bankes, S. (2002). Confronting surprise. *Social Science Computer Review*, 20 (4), s. 420–440.
- Lindfors, T., Bodin-Sköld, H. och Larm, T. (2014). *Grågröna systemlösningar för hållbara städer - Integrering av dagvattenlösningar för urbana miljöer*.
- Lindhjem, H. och Sørheim, M. D. (2012). *Urbane økosystemtjenester i Norge: Status, utvikling, verdi og kunnskapshull*.
- Litchfield, R. C. (2008). Brainstorming Reconsidered: A Goal-Based View. *Academy of Management Review*, 33 (3), s. 649–668.

- Luce och Raifa (1988). *Individual decision making under uncertainty*. Utg. av Gärdenfors, P. och Sahlin, N.-E. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lunds Kommun (2016). *Utbyggnads- & boendestrategi 2025. Hur Lund ska växa. Hur mark ska hanteras. Hur vi tillgodoser bostäder till alla*.
- Maier, H., Guillaume, J., Delden, H. van, Riddell, G., Haasnoot, M. och Kwakkel, J. (2016). An uncertain future, deep uncertainty, scenarios, robustness and adaptation: How do they fit together? *Environmental Modelling & Software*, 81, s. 154–164.
- Malmö Stadsbyggnadskontor (2010). *Så förtätar vi Malmö - Dialog-pm 2010:2*. Malmö.
- MalmöLund (2014). *Strukturbild MalmöLund*. Malmö stad och Lunds kommun.
- Markus Petzén, O. N. och (2014). *Vägledning för översvämningskartering av vattendrag. Fakta, inspirerande exempel och tips för en bra beställning*. MSB631. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB).
- Matalas, N. C. och Fiering, M. B. (1977). *Water-resource systems planning*. Washington, DC: The National Academies Press, s. 99–110.
- Mens, M. J., Klijn, F., Bruijn, K. M. de och Beek, E. van (2011). The meaning of system robustness for flood risk management. *Environmental Science and Policy*, 14, s. 1121–1131.
- Metzger, M., Rounsevell, M., Acosta-Michlik, L., c, R. L. och Schröter, D. (2006). The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 114, s. 69–85.
- MSB (2013). *Pluviala översvämnningar – Konsekvenser vid skyfall över tätorter. En kunskapsöversikt*. MSB567-13. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB).
- Nationalencyklopedin (2017). *robust*. URL: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/enkel/robust> (hämtad 2017-07-02).
- Newman, P. (2006). The environmental impact of cities. *Environment & Urbanization*, 18 (2), s. 275–295. DOI: 10.1177/0956247806069599.
- Ohlsson, A., Asp, M., Berggreen-Clausen, S., Berglöv, G., Björck, E., Johnell, A., Mårtensson, J. A., Nylén, L., Persson, H. och Sjökvist, E. (2015). *Framtidsklimat i Skånes län - enligt RCP-scenarier*. SMHI Klimatologi Nr 29. Norrköping, Sverige: SMHI.
- Olsbo, M.-B. (2008). *Stadsbyggnadskvaliteter Göteborg: om stadens utformning*. Göteborg.

- Olsson, J. och Josefson, W., utg. (2015). *Skyfallsuppdraget: ett regeringsuppdrag till SMHI*. SMHI Klimatologi Nr 37. Norrköping, Sverige: SMHI.
- Oxford dictionaries (2017). *robust*. URL: <https://en.oxforddictionaries.com/definition/robust> (hämtad 2017-07-02).
- Persson, G., Nylén, L., Berggreen-Clausen, S., Berg, P., Rayner, D. och Sjökvist, E. (2015). *Från utsläppsscenarioer till lokal nederbörd och översvämningsrisker*. Klimatologi Nr 38. Norrköping, Sverige: SMHI.
- Persson, G., Strandberg, G. och Berg, P. (2015). *Vägledning för användande av klimatscenarioer*. SMHI Klimatologi Nr 11. Norrköping, Sverige: SMHI.
- Peterson, M. (2009). *Decisions under ignorance*. Cambridge: Cambridge University Press, s. 40–63.
- R Core Team (2016). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>.
- Ramböll (2015). *Åsa centrum, dagvattenutredning, Kungsbacka kommun*. Göteborg. URL: <https://www.kungsbacka.se/PageFiles/2268/Dagvattenutredning%20%C3%85sa%20C.pdf> (hämtad 2017-02-17).
- Sahlin, U. (2016). Small data and conflicting information. I: Walls, L., Revie, M. och Bedford, T. (Utg.), *Risk, Reliability and Safety: Innovating Theory and Practice*. London: Taylor & Francis Group, s. 299–305. ISBN: 978-1-138-02997-2.
- Scandinavian Green Roof Institute (2017). *Om gröna tak*. URL: <http://greenroof.se/om-grona-tak/> (hämtad 2017-02-13).
- SGU (2017). *SGUs kartvisare*. Sverige Geologiska Undersökning (SGU). URL: <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-jordarter-25-100.html> (hämtad 2017-02-08).
- Skovbro, A. (2002). *Urban densification - a sustainable urban policy?*
- SMHI (2014). *Risker, konsekvenser och sårbarhet för samhället av förändrat klimat - en kunskapsöversikt*. SMHI Klimatologi Nr 10. Norrköping, Sverige: SMHI.
- SOU 2015:56 (2016). *Får vi det bättre?: Om mått på livskvalitet*. Stockholm: Fritzes offentliga publikationer. URL: <http://www.regeringen.se/contentassets/dbb4c911287747b3943b4f61cf2b344f/far-vi-det-battre-om-matt-pa-livskvalitet-.pdf> (hämtad 2016-12-15).
- Star, J., Rowland, E. L., Black, M. E., Enquist, C. A., Garfin, G., Hoffman, C. H., Hartmann, H., Jacobs, K. L., Moss, R. H. och Waple, A. M. (2016). Support-

- ting adaptation decisions through scenario planning: Enabling the effective use of multiple methods. *Climate Risk Management*, 13, s. 88–94.
- Svenskt Vatten (2011). *Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem*. Publikation P104. Stockholm.
- Svenskt Vatten (2016). *Avledning av dag-, drän- och spillvatten*. Publikation P110. Stockholm.
- Uppsala Vatten (2014). *Dagvattenhantering - en exempelsamling*. Uppsala.
- Walker, W., Harremoes, P., Rotmans, J., Der Sluijs, J. van, Asset, M. van, Janssen, P. och Krauss, M. K. von (2003). Defining Uncertainty: A Conceptual Basis for Uncertainty Management in Model-Based Decision Support. *Integrated Assessment*, 4 (1), s. 5–17.
- Veldhuis, J. ten (2011). How the choice of flood damage metrics influence urban flood assessment. *Journal of Flood Risk Management*, 4, s. 281–287.
- Wickham, H. (2016). *readxl: Read Excel Files*. R package version 0.1.1. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=readxl>.
- Wolch, J. R., Byrne, J. och Newell, J. P. (2014). Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities just green enough'. *Landscape and Urban Planning*, 125, s. 234–244.
- WSP (2013). *Tätare Skåne*. Malmö: Region Skåne, Avdelningen för samhällsplanering.
- Vuuren, D. van, Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S. och Rose, S. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109.1/2, s. 5–31. ISSN: 01650009.

Bilagor

A | Bilagor

A.1 Script

Stora delar av beräkningarna i detta examensarbete är gjorda med hjälp av programmet R (R Core Team 2016) för att enklare kunna göra iterativa beräkningar. Den kod som används i dessa beräkningar presenteras för större transparens i detta avsnitt.

A.1.1 Main-fil

I detta avsnitt presenteras main-filen där övriga script nyttjas för att ta fram listor och matriser där ranking för de olika alternativen under olika scenarier och beslutsregler presenteras.

```
1 # Namn: main
2 # Senast ändrad: 2017-02-07
3
4 # Ladda alla function-skript -----
5 source("minimaxregret.R")
6 source("read_excel_allsheets.R")
7 source("int_topsis.R")
8 source("maximax.R")
9 source("maximin.R")
10 source("hurwicz.R")
11
12 # Ladda in exceldata och definiera övriga vektorer -----
13 L.list <- read_excel_allsheets("S.min.xls")
14 U.list <- read_excel_allsheets("S.max.xls")
15
16 # Livskval/Flex/Kostnad/Yta/Överskott
```

```

17 W <- c(0.15,0.40,0.15,0.15,0.15) #rep(0.2,5)
18 MM <- c("max", "max", "min", "min", "min")
19
20 # Ta hänsyn till negativa värden -----
21 # Funkar bara i detta specifika fall för volymen
22 minVal <- 0
23 for(i in 1:length(L.list)){
24   if(minVal > min(L.list[[i]][,5])){
25     minVal <-min(L.list[[i]][,5])
26   }
27   if(minVal > min(U.list[[i]][,5])){
28     minVal <- min(U.list[[i]][,5])
29   }
30 }
31
32 for(i in 1:length(L.list)){
33   for(j in 1:nrow(L.list[[i]])){
34     L.list[[i]][j,5] <- L.list[[i]][j,5] + abs(minVal)
35     U.list[[i]][j,5] <- U.list[[i]][j,5] + abs(minVal)
36   }
37 }
38
39 # Skapa lista med TOPSIS-värden -----
40 TOPSIS.list <- lapply(1:length(L.list),
41 function(x) int_topsis(L.list[[x]],U.list[[x]], W, MM))
42
43 transTOPSIS.list <- lapply(1:length(TOPSIS.list),
44 function(x) t(TOPSIS.list[[x]]))
45
46 # Skapar beslutskriterielistor -----
47 hurwicz0.5.list <- lapply(1:length(TOPSIS.list),
48 function(x) hurwicz(0.5, TOPSIS.list[[x]]))
49
50 hurwicz0.25.list <- lapply(1:length(TOPSIS.list),
51 function(x) hurwicz(0.25, TOPSIS.list[[x]]))
52
53 maximin.list <- lapply(1:length(TOPSIS.list),
54 function(x) maximin(TOPSIS.list[[x]]))
55
56 maximax.list <- lapply(1:length(TOPSIS.list),
57 function(x) maximax(TOPSIS.list[[x]]))
58

```

```
59 regret.list <- lapply(1:length(TOPSIS.list),
60 function(x) minimaxregret(TOPSIS.list[[x]]))
61
62 # Ta fram "vinnande" alternativ per beslutskriterie och scenario ---
63
64 ## Hurwicz 0.5 ###
65 hurwicz0.5.m <- matrix(c(rep(NA,18)), nrow=6, ncol=3)
66 colnames(hurwicz0.5.m) <- c("alternativ 1", "alternativ 2",
67 "alternativ 3")
68 rownames(hurwicz0.5.m) <- c("S1", "S2", "S3", "S4", "S5", "S6")
69
70 for(k in 1:length(regret.list)){
71   if(colnames(hurwicz0.5.list[[k]])[1] == "alternativ 1"){
72     hurwicz0.5.m[k,1] <- 1
73   }
74   if(colnames(hurwicz0.5.list[[k]])[1] == "alternativ 2"){
75     hurwicz0.5.m[k,2] <- 1
76   }
77   if(colnames(hurwicz0.5.list[[k]])[1] == "alternativ 3"){
78     hurwicz0.5.m[k,3] <- 1
79   }
80   if(colnames(hurwicz0.5.list[[k]])[2] == "alternativ 1"){
81     hurwicz0.5.m[k,1] <- 2
82   }
83   if(colnames(hurwicz0.5.list[[k]])[2] == "alternativ 2"){
84     hurwicz0.5.m[k,2] <- 2
85   }
86   if(colnames(hurwicz0.5.list[[k]])[2] == "alternativ 3"){
87     hurwicz0.5.m[k,3] <- 2
88   }
89   if(colnames(hurwicz0.5.list[[k]])[3] == "alternativ 1"){
90     hurwicz0.5.m[k,1] <- 3
91   }
92   if(colnames(hurwicz0.5.list[[k]])[3] == "alternativ 2"){
93     hurwicz0.5.m[k,2] <- 3
94   }
95   if(colnames(hurwicz0.5.list[[k]])[3] == "alternativ 3"){
96     hurwicz0.5.m[k,3] <- 3
97   }
98 }
99
100 ## Hurwicz 0.25 ##
```

```
101
102 hurwicz0.25.m <- matrix(c(rep(NA,18)), nrow=6, ncol=3)
103 colnames(hurwicz0.25.m) <- c("alternativ 1", "alternativ 2",
104 "alternativ 3")
105 rownames(hurwicz0.25.m) <- c("S1", "S2", "S3", "S4", "S5", "S6")
106
107 for(k in 1:length(regret.list)){
108   if(colnames(hurwicz0.25.list[[k]])[1] == "alternativ 1"){
109     hurwicz0.25.m[k,1] <- 1
110   }
111   if(colnames(hurwicz0.25.list[[k]])[1] == "alternativ 2"){
112     hurwicz0.25.m[k,2] <- 1
113   }
114   if(colnames(hurwicz0.25.list[[k]])[1] == "alternativ 3"){
115     hurwicz0.25.m[k,3] <- 1
116   }
117   if(colnames(hurwicz0.25.list[[k]])[2] == "alternativ 1"){
118     hurwicz0.25.m[k,1] <- 2
119   }
120   if(colnames(hurwicz0.25.list[[k]])[2] == "alternativ 2"){
121     hurwicz0.25.m[k,2] <- 2
122   }
123   if(colnames(hurwicz0.25.list[[k]])[2] == "alternativ 3"){
124     hurwicz0.25.m[k,3] <- 2
125   }
126   if(colnames(hurwicz0.25.list[[k]])[3] == "alternativ 1"){
127     hurwicz0.25.m[k,1] <- 3
128   }
129   if(colnames(hurwicz0.25.list[[k]])[3] == "alternativ 2"){
130     hurwicz0.25.m[k,2] <- 3
131   }
132   if(colnames(hurwicz0.25.list[[k]])[3] == "alternativ 3"){
133     hurwicz0.25.m[k,3] <- 3
134   }
135 }
136
137 ## maximin ##
138
139 maximin.m <- matrix(c(rep(NA,18)), nrow=6, ncol=3)
140 colnames(maximin.m) <- c("alternativ 1", "alternativ 2",
141 "alternativ 3")
142 rownames(maximin.m) <- c("S1", "S2", "S3", "S4", "S5", "S6")
```

```
143
144 for(k in 1:length(regret.list)){
145   if(colnames(maximin.list[[k]])[1] == "alternativ 1"){
146     maximin.m[k,1] <- 1
147   }
148   if(colnames(maximin.list[[k]])[1] == "alternativ 2"){
149     maximin.m[k,2] <- 1
150   }
151   if(colnames(maximin.list[[k]])[1] == "alternativ 3"){
152     maximin.m[k,3] <- 1
153   }
154   if(colnames(maximin.list[[k]])[2] == "alternativ 1"){
155     maximin.m[k,1] <- 2
156   }
157   if(colnames(maximin.list[[k]])[2] == "alternativ 2"){
158     maximin.m[k,2] <- 2
159   }
160   if(colnames(maximin.list[[k]])[2] == "alternativ 3"){
161     maximin.m[k,3] <- 2
162   }
163   if(colnames(maximin.list[[k]])[3] == "alternativ 1"){
164     maximin.m[k,1] <- 3
165   }
166   if(colnames(maximin.list[[k]])[3] == "alternativ 2"){
167     maximin.m[k,2] <- 3
168   }
169   if(colnames(maximin.list[[k]])[3] == "alternativ 3"){
170     maximin.m[k,3] <- 3
171   }
172 }
173
174 ## Maximax ##
175
176 maximax.m <- matrix(c(rep(NA,18)), nrow=6, ncol=3)
177 colnames(maximax.m) <- c("alternativ 1", "alternativ 2",
178 "alternativ 3")
179 rownames(maximax.m) <- c("S1", "S2", "S3", "S4", "S5", "S6")
180
181 for(k in 1:length(maximax.list)){
182   if(colnames(maximax.list[[k]])[1] == "alternativ 1"){
183     maximax.m[k,1] <- 1
184   }
```



```

185   if(colnames(maximax.list[[k]])[1] == "alternativ 2"){
186     maximax.m[k,2] <- 1
187   }
188   if(colnames(maximax.list[[k]])[1] == "alternativ 3"){
189     maximax.m[k,3] <- 1
190   }
191   if(colnames(maximax.list[[k]])[2] == "alternativ 1"){
192     maximax.m[k,1] <- 2
193   }
194   if(colnames(maximax.list[[k]])[2] == "alternativ 2"){
195     maximax.m[k,2] <- 2
196   }
197   if(colnames(maximax.list[[k]])[2] == "alternativ 3"){
198     maximax.m[k,3] <- 2
199   }
200   if(colnames(maximax.list[[k]])[3] == "alternativ 1"){
201     maximax.m[k,1] <- 3
202   }
203   if(colnames(maximax.list[[k]])[3] == "alternativ 2"){
204     maximax.m[k,2] <- 3
205   }
206   if(colnames(maximax.list[[k]])[3] == "alternativ 3"){
207     maximax.m[k,3] <- 3
208   }
209 }
210
211 ## No regret ##
212 regret.m <- matrix(c(rep(NA,18)), nrow=6, ncol=3)
213 colnames(regret.m) <- c("alternativ 1", "alternativ 2",
214 "alternativ 3")
215 rownames(regret.m) <- c("S1", "S2", "S3", "S4", "S5", "S6")
216
217 for(k in 1:length(regret.list)){
218   if(colnames(regret.list[[k]])[1] == "alternativ 1"){
219     regret.m[k,1] <- 1
220   }
221   if(colnames(regret.list[[k]])[1] == "alternativ 2"){
222     regret.m[k,2] <- 1
223   }
224   if(colnames(regret.list[[k]])[1] == "alternativ 3"){
225     regret.m[k,3] <- 1
226   }

```

```
227   if(colnames(regret.list[[k]])[2] == "alternativ 1"){
228     regret.m[k,1] <- 2
229   }
230   if(colnames(regret.list[[k]])[2] == "alternativ 2"){
231     regret.m[k,2] <- 2
232   }
233   if(colnames(regret.list[[k]])[2] == "alternativ 3"){
234     regret.m[k,3] <- 2
235   }
236   if(colnames(regret.list[[k]])[3] == "alternativ 1"){
237     regret.m[k,1] <- 3
238   }
239   if(colnames(regret.list[[k]])[3] == "alternativ 2"){
240     regret.m[k,2] <- 3
241   }
242   if(colnames(regret.list[[k]])[3] == "alternativ 3"){
243     regret.m[k,3] <- 3
244   }
245 }
246
247 # Skicka data till excel-fil -----
248
249 # write.table(<matrisnamn>, "clipboard", sep="\t")
250 # write.table(<matrisnamn>, "clipboard", sep="\t", row.names=FALSE,
251   col.names=FALSE)
252
253
254 resultat <- rbind(
255   maximin.m[1,],
256   maximax.m[1,],
257   hurwicz0.25.m[1,],
258   hurwicz0.5.m[1,],
259   regret.m[1,],
260   maximin.m[2,],
261   maximax.m[2,],
262   hurwicz0.25.m[2,],
263   hurwicz0.5.m[2,],
264   regret.m[2,],
265   maximin.m[3,],
266   maximax.m[3,],
267   hurwicz0.25.m[3,],
268   hurwicz0.5.m[3,],
```

```
269 regret.m[3,],
270 maximin.m[4,],
271 maximax.m[4,],
272 hurwicz0.25.m[4,],
273 hurwicz0.5.m[4,],
274 regret.m[4,],
275 maximin.m[5,],
276 maximax.m[5,],
277 hurwicz0.25.m[5,],
278 hurwicz0.5.m[5,],
279 regret.m[5,],
280 maximin.m[6,],
281 maximax.m[6,],
282 hurwicz0.25.m[6,],
283 hurwicz0.5.m[6,],
284 regret.m[6,]
285 )
286
287 names <- c(
288   "maximin",
289   "maximax",
290   "hurwicz0.25",
291   "hurwicz0.5",
292   "no regret",
293   "maximin",
294   "maximax",
295   "hurwicz0.25",
296   "hurwicz0.5",
297   "no regret",
298   "maximin",
299   "maximax",
300   "hurwicz0.25",
301   "hurwicz0.5",
302   "no regret",
303   "maximin",
304   "maximax",
305   "hurwicz0.25",
306   "hurwicz0.5",
307   "no regret",
308   "maximin",
309   "maximax",
310   "hurwicz0.25",
```

```

311 "hurwicz0.5",
312 "no regret",
313 "maximin",
314 "maximax",
315 "hurwicz0.25",
316 "hurwicz0.5",
317 "no regret"
318 )
319
320 rownames(resultat) <- names

```

A.1.2 TOPSIS med intervalldata

Funktionen kräver två matriser som beskriver alternativens undre och övre kriterieintervall, en viktningvektor och en vektor med min-/max-villkor. Metodiken är framtagen av Jahanshahloo, Lotfi och Davoodi (2008) för att ta fram TOPSIS-poäng för intervalldata.

Jahanshahloo, Lotfi och Davoodi rankar sina alternativ med hjälp av mittpunkt och halvbredd och framtagande av detta kan göras med kod på raderna 198-212. Dock har vi valt en annan metodik för ranking i detta examensarbete varför dessa rader är bortkommenterade i koden. Koden returnerar därför endast en matris med alternativen och dess lägre och övre TOPSIS-poäng gräns.

```

1 # Namn: int_topsis
2 # Senast Ändrad: 2017-02-07
3 # Kommentar: Testad.
4
5 # Förklaring: Funktion som returnerar matrisen Rk med "the TOPSIS
6 # score" med hjälp av intervalldata.
7 # Rk: Rader: Alternativ, Kolumner: lägre intervall, övre intervall
8
9 # Kräver en matris L med kriterernas lägre intervallgränser, en matris
10 # U för de övre, en vektor W med viktningar, och en vektor MM med
11 # max/min villkor.
12
13 int_topsis <- function (L, U, W, MM){
14
15 # Skapa nya matriser med värdena upphöjt till 2
16 L2 <- L
17 U2 <- U

```

```

18
19   for(i in 1:ncol(L)){
20     for(j in 1:nrow(L)){
21       L2[j,i] <- L[j,i]^2
22       U2[j,i] <- U[j,i]^2
23     }
24   }
25
26 # Skapa vektorer med de summerade kolumnvärdena i L2 och U2
27 critsum_L <- colSums(L2)
28 critsum_U <- colSums(U2)
29
30 # Skapa de normaliserade matriserna NL och NU.
31 NL <- L
32 NU <- U
33
34 # Normalisera
35
36   for(n in 1:ncol(L)){
37     for(m in 1:nrow(L)){
38       if(L[m,n] == U[m,n]){
39         NL[m,n] <- L[m,n]/sqrt(critsum_L[n])
40         NU[m,n] <- L[m,n]/sqrt(critsum_L[n])
41       } else{
42         NL[m,n] <- L[m,n]/sqrt(critsum_L[n]+critsum_U[n])
43         NU[m,n] <- U[m,n]/sqrt(critsum_L[n]+critsum_U[n])
44       }
45     }
46   }
47
48 # Multiplicera in vikter.
49 NL <- sweep(NL, MARGIN = 2 , W, '*')
50 NU <- sweep(NU, MARGIN = 2 , W, '*')
51
52 # Skapa matris med distances för de olika alternativen
53 # Kolumner: (d+u, d+l, d-u, d-l), rader: alternativ
54
55 l_row <- 4*nrow(NL)
56 distans <- matrix(c(rep(0,l_row)), nrow = nrow(NL), ncol = 4)
57
58 # Skapa temporär A-matris (med idealiska negativa och positiva
59 # utfall)

```

```

60 # Kolumner: (Kriterier), rader: (A+u; A+l, A-u, A-l)
61 l_col <- 4*ncol(NL)
62 A <- matrix(c(rep(0,l_col)), nrow = 4, ncol = ncol(NL))
63
64 for(x in 1:nrow(NL)){
65
66     for(s in 1:nrow(A)){
67         for(t in 1:ncol(A)){
68
69 # Tar fram A+u-värden och placerar på rad 1
70             if(s == 1){
71                 if(MM[t] == "min"){
72                     A[s,t] <- min(NL[,t])
73                 } else {
74                     A[s,t] <- max(NU[,t])
75                 }
76             }
77
78 # Tar fram A+l-värden och placerar på rad 2
79             if(s == 2){
80                 temp_2 <- c(rep(0,nrow(NL)))
81
82                 if(MM[t] == "min"){
83                     for(h in 1:nrow(NL)){
84                         if(h == x){
85                             temp_2[h] <- NU[h,t]
86                         }else{
87                             temp_2[h] <- NL[h,t]
88                         }
89                     }
90                     A[s,t] <- min(temp_2)
91                 }else{
92                     for(g in 1:nrow(NL)){
93                         if(g == x){
94                             temp_2[g] <- NL[g,t]
95                         }else{
96                             temp_2[g] <- NU[g,t]
97                         }
98                     }
99                     A[s,t] <- max(temp_2)
100                 }
101             }

```

```
102
103 # Tar fram A-u-värden och placerar på rad 3
104     if(s == 3){
105         temp_3 <- c(rep(0,nrow(NL)))
106
107         if(MM[t] == "min"){
108             for(a in 1:nrow(NL)){
109                 if(a == x){
110                     temp_3[a] <- NL[a,t]
111                 }else{
112                     temp_3[a] <- NU[a,t]
113                 }
114             }
115             A[s,t] <- max(temp_3)
116         }else{
117             for(b in 1:nrow(NL)){
118                 if(b == x){
119                     temp_3[b] <- NU[b,t]
120                 }else{
121                     temp_3[b] <- NL[b,t]
122                 }
123             }
124             A[s,t] <- min(temp_3)
125         }
126     }
127
128 # Tar fram A-l-värden och placerar på rad 4
129     if(s == 4){
130         if(MM[t] == "min"){
131             A[s,t] <- max(NU[,t])
132         } else {
133             A[s,t] <- min(NL[,t])
134         }
135     }
136 }
137
138
139 # Skapar matris med d-värden mha ekvationer 1 och 2 samt def.
140 # Rader: Alternativ, kolumner: (d+u, d+1, d-u, d-1)
141     for(y in 1:4){
142         for(z in 1:ncol(NL)){
143             if(y == 1){
```

```

144         if(MM[z] == "min"){
145             distans[x,y] <- distans[x,y] + (A[y,z] - NU[x,z])^2
146         }else{
147             distans[x,y] <- distans[x,y] + (A[y,z] - NL[x,z])^2
148         }
149     }
150     if(y == 2){
151         if(MM[z] == "min"){
152             distans[x,y] <- distans[x,y] + (A[y,z] - NL[x,z])^2
153         }else{
154             distans[x,y] <- distans[x,y] + (A[y,z] - NU[x,z])^2
155         }
156     }
157     if(y == 3){
158         if(MM[z] == "min"){
159             distans[x,y] <- distans[x,y] + (A[y,z] - NL[x,z])^2
160         }else{
161             distans[x,y] <- distans[x,y] + (A[y,z] - NU[x,z])^2
162         }
163     }
164     if(y == 4){
165         if(MM[z] == "min"){
166             distans[x,y] <- distans[x,y] + (A[y,z] - NU[x,z])^2
167         }else{
168             distans[x,y] <- distans[x,y] + (A[y,z] - NL[x,z])^2
169         }
170     }
171 }
172 }
173 }
174
175 # Ta fram slutgiltig TOPSIS distance-matris.
176 # Rader: Alternativ, Kolumner: (d+u, d+l, d-u, d-l)
177 distans <- sqrt(distans)
178
179 # Beräkna TOPSIS score (Rk) interval för åtgärderna - Presenteras i
180 # ix2 matris, där i är antalet åtgärder.
181
182 n_dist <- nrow(distans)*2
183 Rk <- matrix(c(rep(0,n_dist)), nrow = nrow(distans), ncol = 2)
184
185     for(c in 1:nrow(distans)){

```



```

186     for(d in 1:2){
187         if(d == 1){
188             Rk[c,d] <- distans[c,4]/(distans[c,3]+distans[c,1])
189         }else{
190             Rk[c,d] <- distans[c,3]/(distans[c,4]+distans[c,2])
191         }
192     }
193 }
194
195 colnames(Rk) <- c("Nedre grans", "Ovre grans")
196 rownames(Rk) <- rownames(Rk, do.NULL = FALSE, prefix =
197 "Alternativ ")
198
199 Rk
200
201 # Ta fram midpoint och halfwidth och addera till Rk-matrisen
202 # add <- matrix(data = NA, nrow = nrow(Rk), ncol = ncol(Rk))
203 #   for(p in 1:nrow(Rk)){
204 #       add[p,1] <- (1/2)*(Rk[p,1] + Rk[p,2])
205 #       add[p,2] <- (1/2)*(Rk[p,2] - Rk[p,1])
206 #   }
207
208 # Res <- cbind(Rk, add)
209
210 # Namnge rader och kolumner
211 # colnames(Res) <- c("Nedre grans", "Ovre grans", "Medelpunkt",
212 # "Halvbredd")
213 # rownames(Res) <- rownames(Res, do.NULL = FALSE, prefix =
214 # "Alternativ ")
215
216 # Returnes Res matrisen
217 #Res
218
219 }

```

A.1.3 Maximin-kriteriet

Funktionen tar en matris med de olika åtgärdernas TOPSIS-intervall (output från koden i avsnitt A.1.2) och returnerar en lista över åtgärderna sorterad från bäst till sämst där bäst är det alternativ med den högsta undre intervallgränsen.

```
1 # Namn: maximin
2 # Senast Ändrad: 2017-01-17
3
4 # Förklaring: Prioriterar Åtgärderna utefter maximin-kriteriet.
5 # Returnerar vektor med alternativen presenterade från bäst till
6 # sämst.
7
8
9 # Kräver en matris, P, med åtgärdernas alla performance-värden som
10 # kolonnvektorer.
11
12 maximin <- function(P){
13
14 # Skapar vektor, minval, som innehåller min-performace får
15 # alternativen
16 col <- nrow(P)
17 minval <- matrix(c(rep(NA,col)), nrow = 1, ncol = col)
18
19 for (i in 1:col){
20     minval[1,i] <- min(P[i,])
21 }
22
23 # Ger kolumnerna i min namn
24 colnames(minval) <- paste('alternativ', 1:col)
25
26 # Sortera alternativen utefter maximin-kriteriet och returnera
27 # alternativen från bäst till sämst.
28
29 minval <- t(apply(t(minval),2,sort))
30
31 # Vänder på matrisen så att alternativen presenteras från bäst
32 # till sämst.
33
34 resultat_maximin <-minval[,c(ncol(minval):1), drop = FALSE]
35 resultat_maximin
36 }
```

A.1.4 Maximax-kriteriet

Funktionen tar en matris med de olika åtgärdernas TOPSIS-intervall (output från koden i avsnitt A.1.2) och returnerar en lista över åtgärderna sorterad från bäst till sämst där bäst är det alternativ med den högsta övre intervallgränsen.

```

1 # Namn: maximax
2 # Senast Ändrad: 2017-01-17
3
4 # Förklaring: Prioriterar åtgärderna utefter maximax-kriteriet.
5 # Returnerar vektor med alternativen presenterade från bäst till
6 # sämst samt dess jämförda värden.
7
8 # Kräver en matris, P, med åtgärdernas alla performance-värden som
9 # kolonnvektorer.
10
11 maximax <- function(P){
12
13 # Skapar vektor, maxval, som innehåller max-performace för
14 # alternativen
15 col <- nrow(P)
16 maxval <- matrix(c(rep(NA,col)), nrow = 1, ncol = col)
17
18 for (i in 1:col){
19   maxval[1,i] <- max(P[i,])
20 }
21
22 # Ger kolumnerna i maxval namn
23 colnames(maxval) <- paste('alternativ', 1:col)
24
25 # Sorterar alternativen utefter maximax-kriteriet och returnera
26 # alternativen från sämst till bäst.
27
28 maxval <- t(apply(t(maxval),2,sort))
29
30 # Vänder på matrisen så att alternativen presenteras från bäst till
31 # sämst.
32
33 resultat_maximax <- maxval[,c(ncol(maxval):1), drop = FALSE]
34 resultat_maximax
35 }

```

A.1.5 Hurwicz-kriteriet

Funktionen tar en matris med de olika åtgärdernas TOPSIS-intervall (output från koden i avsnitt A.1.2) och returnerar en lista över åtgärderna sorterad från bäst till sämst där bäst är det alternativ som har det högsta a-värdet. Hur a-värdet beräknas går att finna i kapitel 8, avsnitt 2.6.4.

```

1  # Namn: hurwicz
2  # Senast Ändrad: 2017-02-07
3
4  # Förklaring: Prioriterar åtgärderna utefter Hurwicz kriterie.
5  # Kräver en matris P med åtgärdernas performace och ett a-index
6  # mellan 0 och 1. Returnerar vektor med alternativen presenterade
7  # från bäst till sämst samt dess a-index. (högt a-index = bra)
8
9  hurwicz <- function(a,P){
10
11  # Skapar en tom matris för a-index
12  col <- nrow(P)
13  a_index <- matrix(c(rep(NA,col)), nrow = 1, ncol = col)
14
15  # Beräknar a-index för respektive kolumn och tilldelar motsvarande
16  # plats i a_index-matrisen detta värde.
17
18  for(i in 1:col){
19  a_index[1,i] <- a*min(P[i,])+(1-a)*max(P[i,])
20  }
21
22  # Ger kolumnerna i a-index namn
23  colnames(a_index) <- paste('alternativ', 1:col)
24
25  # Sorterar a-index från lägsta till högsta.
26  a_index <- t(apply(t(a_index),2,sort))
27
28  # Vänder på matrisen så att alternativen presenteras från bäst till
29  # sämst.
30  # Högst a-index = bäst.
31
32  resultat_hurwicz <-a_index[,c(ncol(a_index):1), drop = FALSE]
33  resultat_hurwicz
34  }

```

A.1.6 Minimax regret-kriteriet

Funktionen tar en matris med de olika åtgärdernas TOPSIS-intervall (output från koden i avsnitt A.1.2) och tar fram avståndet mellan det bästa möjliga utfallet och alternativens sämsta utfall. Bäst är det alternativ med det kortaste avståndet. Alternativen och dessa avstånd returneras vidare i en matris från sorterat från bästa till sämsta alternativet.

```

1 # Namn: minimaxregret
2 # Senast Ändrad: 2017-01-31
3
4 # Förklaring: Prioriterar åtgärderna utefter minimax regret-
5 # kriteriet. Returnerar vektor med alternativen presenterade från
6 # bäst till sämst samt de jämförda värdena.
7
8 # Kräver en matris, P, med åtgärdernas alla performance-värden som
9 # kolonnvektorer.
10
11   minimaxregret <- function(P){
12     R <- nrow(P)
13
14     # Skapar vektor, maxscen, som innehåller max-performance under de
15     # olika scenarierna.
16     minVal <- c(rep(NA,R))
17
18     for (i in 1:R){
19       minVal[i] <- min(P[i,])
20     }
21
22     # Skapar regret-matris som beskriver skillnad mellan performace av
23     # ett alternativ och de olika scenariernas högsta performance.
24
25     maxregret <- matrix(c(rep(NA,R)), nrow = 1, ncol = R)
26     m <- max(P)
27
28     for (j in 1:R){
29       maxregret[1,j] <- m - minVal[j]
30     }
31
32     # Ger kolumnerna i maxval namn
33     colnames(maxregret) <- paste('alternativ', 1:R)
34

```

```

35 # Sorterar alternativen och presenterar dem från bästa (minst
36 # regret) till sämsta.
37
38     maxregret <- t(apply(t(maxregret),2,sort))
39     maxregret
40 }

```

A.1.7 Läs in Exceldataark för ark

Då data samlades i olika ark i två excelfiler, en för de undre intervallgränserna och en för de övre, behövdes ett script som kunde läsa in filerna i detta format. För detta användes R paketet `readxl` (Wickham 2016).

```

1 # Namn: read_excel_allsheets
2 # Senast Ändrad: 2017-02-07
3
4 # Kommentar: från http://stackoverflow.com/questions/12945687/read-all-worksheets-in-an-excel-workbook-into-an-r-list-with-data-frames
5
6
7
8 library(readxl)
9 read_excel_allsheets <- function(filename) {
10     sheets <- readxl::excel_sheets(filename)
11     x <- lapply(sheets, function(X) readxl::read_excel(filename,
12     sheet = X))
13     names(x) <- sheets
14     x
15 }

```

A.2 GIS - Volymberäkningar

Beräkning av de volymer som använts i modellen har gjorts med hjälp av data från översvämningskarteringar som gjorts på uppdrag av VA SYD och Lunds kommun och med hjälp av mjukvaran ArcMap 10.3.1. Översvämningskarteringen är gjord med 4x4m cellstorlek och en klimatfaktor på 1.3 för ett framtida 50 respektive 100-årsregn¹. Följande metodik användes:

¹Information från Carolina Lundberg vid möte på Lunds kommun fredag den 27 januari.

Steg 1: Rita ut områdena och avgränsa karteringen

Det första steget av beräkningarna gick ut på att med hjälp av verktyget *draw* rita ut studieområdet samt ett utökat område och sedan konvertera dessa till polygon-lager. Vidare utnyttjades så dessa polygoner för att skapa nya raster-lager som begränsar översvämningskarteringen till de två områdena. Till detta användes verktyget *clip* för raster och masken utgjordes av de skapade polygonerna.

Steg 2: Skapa volymraster

Vidare utnyttjades verktyget *raster calculator* för att skapa ett nytt raster som beskriver volymen för varje cell. Detta gjordes genom att med hjälp av verktyget multiplicera vart cellvärde i rastret för vattendjup med cellarean.

Steg 3: Beräkna den totala volymen

Det sista beräkningssteget var att med hjälp av verktyget *zonal statistics as table* beräkna den sammanlagda volymen för volym-rasterna genom att summera dess cellvärden. Resultatet från beräkningarna är en tabell med värde för den totala volymen.

A.3 Datasammanställning

I tabell A.1 visas en sammställning av all ingångsdata som använts vid test av beslutsanalysen på området i västra Lund. Värdena i de blå cellerna har vi tagit fram själva med hjälp av en kvalitativ modell. Värdena i de gröna cellerna är kvantitativa uppskattningar där kostnaderna har uppskattats med bakgrund i Karras och Read (2016) och ytanspråket har uppskattas med hjälp av de kartmaterial vi fått tillgång till från Lunds kommun. Överskottsvolymen, i de rosa cellerna, har uppskattas utifrån Lunds kommuns översvämningskartering (bilaga A.2).

Tabell A.1

| KS ₁ - 50-års regn | | | | | KS ₂ - 100-års regn | | | | | | |
|--------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₄ | C ₅ | | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₄ | C ₅ |
| FS ₁ - Grå förtätning | A ₁ | 2/6 | 2/5 | [3000, 6000] | 0 | A ₁ | 2/6 | 2/5 | [3000, 6000] | 0 | [-3664, 6881] |
| | A ₂ | 5/6 | 3/5 | [1200, 3100] | 16 200 | A ₂ | 5/6 | 3/5 | [1200, 3100] | 16 200 | [16586, 21461] |
| | A ₃ | 3/6 | 2/5 | [2150, 10 250] | 600 | A ₃ | 3/6 | 2/5 | [2150, 10 250] | 600 | [24398, 24461] |
| FS ₂ - Aktuell förtätning | | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₄ | | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₄ | C ₅ |
| | A ₁ | 2/6 | 2/5 | [3000, 6000] | 0 | A ₁ | 2/6 | 2/5 | [3000, 6000] | 0 | [5778, 12806] |
| | A ₂ | 5/6 | 3/5 | [1200, 3100] | 48 600 | A ₂ | 5/6 | 3/5 | [1200, 3100] | 48 600 | [378, 14966] |
| A ₃ | 3/6 | 2/5 | [2150, 10 250] | 600 | A ₃ | 3/6 | 2/5 | [2150, 10 250] | 600 | [24390, 24446] | |
| FS ₃ - Grön förtätning | | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₄ | | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₄ | C ₅ |
| | A ₁ | 2/6 | 2/5 | [3000, 6000] | 0 | A ₁ | 2/6 | 2/5 | [3000, 6000] | 0 | [15205, 18746] |
| | A ₂ | 5/6 | 3/5 | [1200, 3100] | 81 000 | A ₂ | 5/6 | 3/5 | [1200, 3100] | 81 000 | [-15845, 8486] |
| A ₃ | 3/6 | 2/5 | [2150, 10 250] | 600 | A ₃ | 3/6 | 2/5 | [2150, 10 250] | 600 | [24367, 24446] | |

Teckenförklaring:

| Kriterier | Alternativ | Scenariokoder |
|--------------------------------|--|--|
| C ₁ Livskvalitet | A ₁ Intensiva gröna tak | S ₁ KS ₁ + FS ₁ |
| C ₂ Flexibilitet | A ₂ Öppna fördröjningsmagasin | S ₂ KS ₁ + FS ₂ |
| C ₃ Kostnad | A ₃ Regnbäddar | S ₃ KS ₁ + FS ₃ |
| C ₄ Ytanspråk | | S ₄ KS ₂ + FS ₁ |
| C ₅ Överskottsvolym | | S ₅ KS ₂ + FS ₂ |
| | | S ₆ KS ₂ + FS ₃ |

Färgkod:

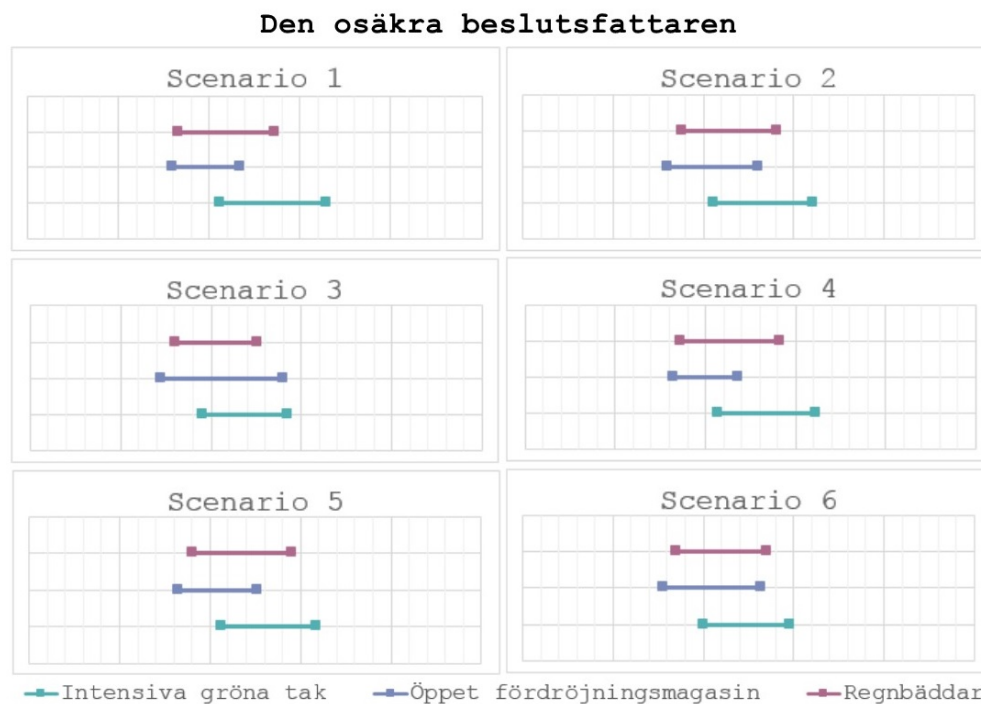
| |
|-----------------------------|
| Kvalitativ modell |
| Kvantitativa uppskattningar |
| Enkel avrinningsmodell |

A.4 Dominanstest

I denna bilaga presenteras dominanstesterna för den osäkre, sparsamme, bostadsbyggande och riskaverta beslutsfattaren. I fallet med den bostadsbyggande beslutsfattaren domineras åtgärden öppna dagvattenmagasin av de övriga två. Inga slutsatser går dock att dra utefter dominansprincipen vilken av de två övriga som är det mest robusta.

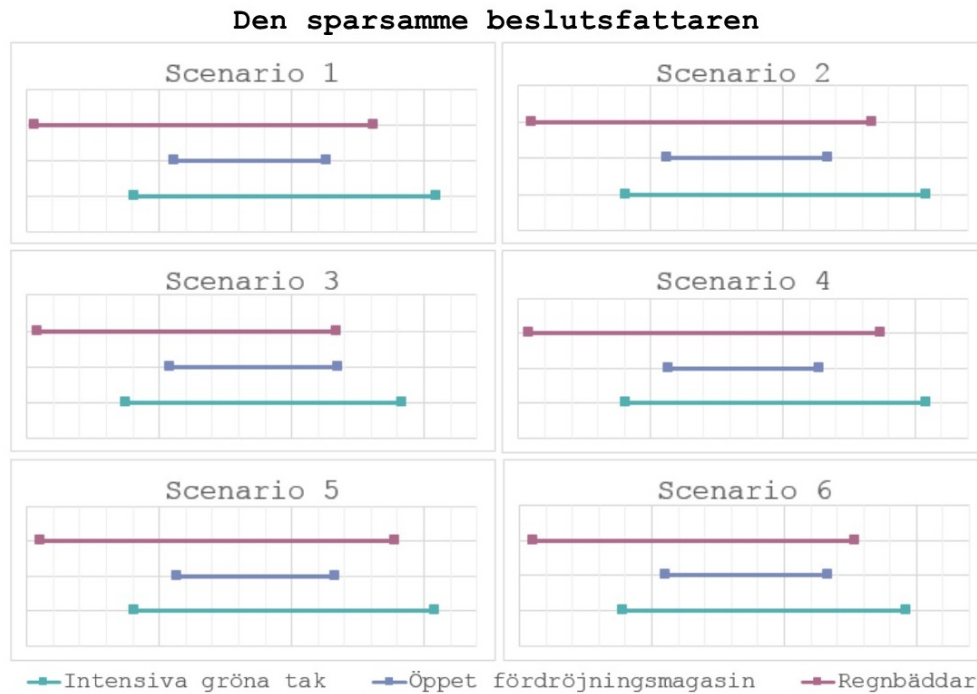
För övriga tre beslutsfattare kan varken en åtgärd anses dominera de övriga eller en åtgärd anses domineras av de övriga. Inga slutsatser kan alltså dras utefter dominansprincipen.

A.4.1 Den osäkre beslutsfattaren



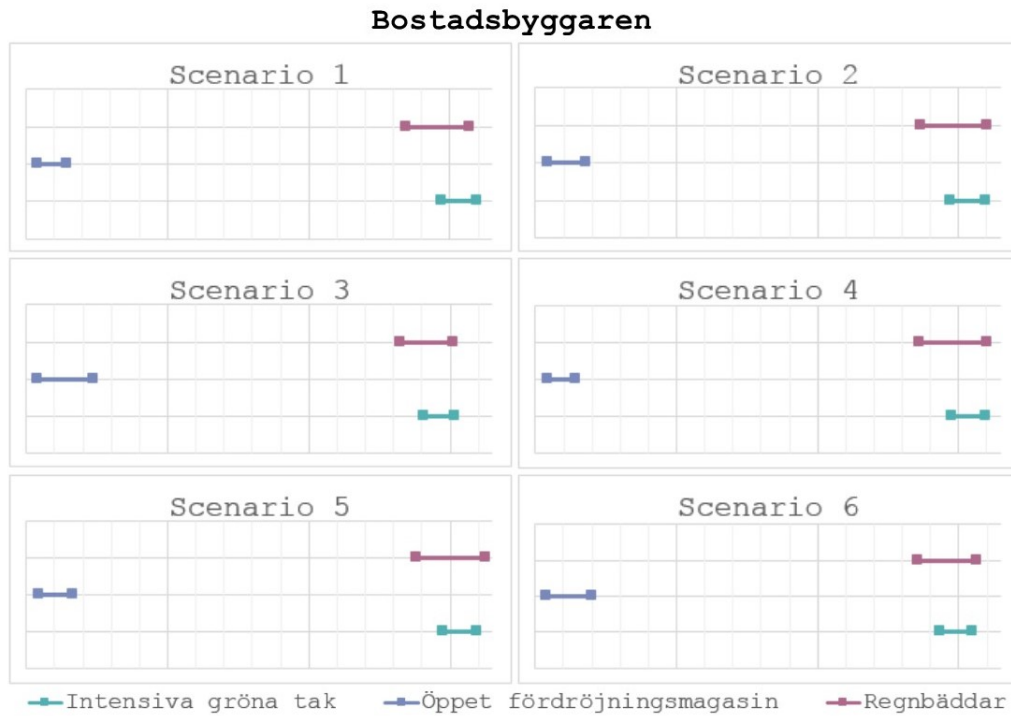
Figur A.1: Resultat av dominanstest för fallstudien vid den osäkre beslutsfattarens preferenser. Viktningen är då 0.4 till flexibilitet och övriga kriterier tilldelas en viktning på 0.15. En åtgärd domineras av en annan om dess högra ände inte överlappar en annan åtgärds intervall.

A.4.2 Den sparsamme beslutsfattaren



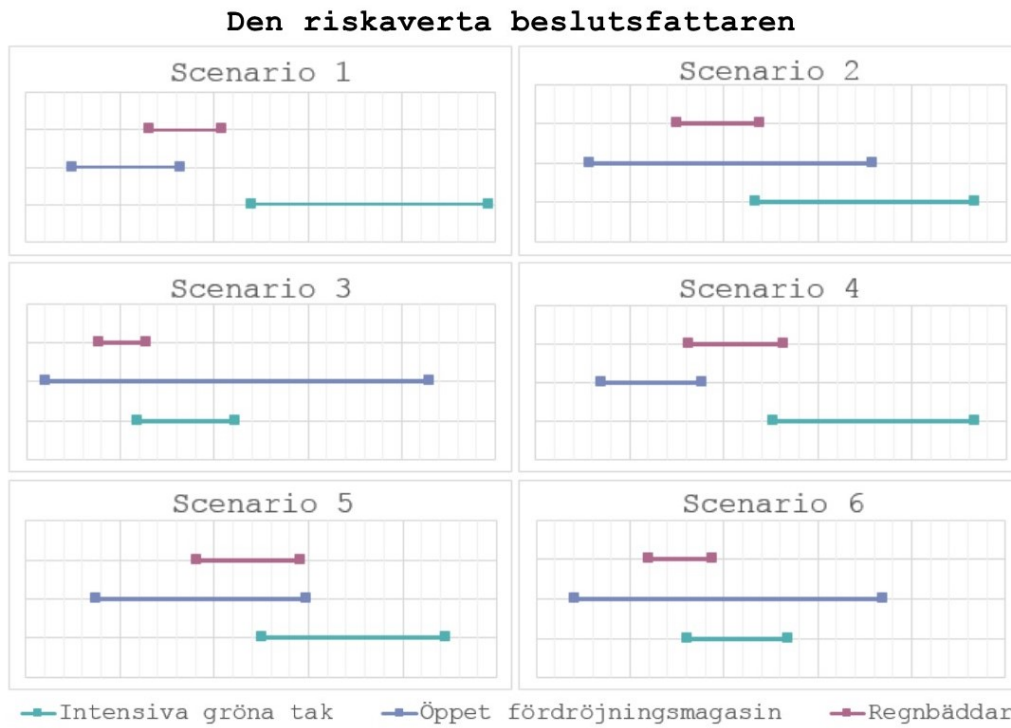
Figur A.2: Resultat av dominantstest för fallstudien vid den sparsamme beslutsfattarens preferenser. Viktningen är då 0.4 till kostnad och övriga kriterier tilldelas en viktning på 0.15. En åtgärd domineras av en annan om dess högra ände inte överlappar en annan åtgärds intervall.

A.4.3 Den bostadsbyggande beslutsfattaren



Figur A.3: Resultat av dominantstest för fallstudien vid den bostadsbyggande beslutsfattarens preferenser. Viktningen är då 0.4 till ytanspråk och övriga kriterier tilldelas en viktning på 0.15. En åtgärd domineras av en annan om dess högra ände inte överlappar en annan åtgärds intervall.

A.4.4 Den riskaverta beslutsfattaren



Figur A.4: Resultat av dominantstest för fallstudien vid den riskaverte beslutsfattarens preferenser. Viktningen är då 0.4 till överskottsvolym och övriga kriterier tilldelas en viktning på 0.15. En åtgärd domineras av en annan om dess högra ände inte överlappar en annan åtgärds intervall.