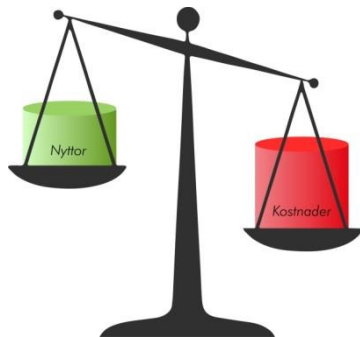

RAPPORT

GÖTEBORGS STAD

Granskning av genomförd kostnads-nyttoanalys av översvänningsåtgärder i Göteborgs Stads Hydromodell samt förslag till värderingsmetodik

UPPDRAGSNUMMER 1340074000



2016-05-27

SWECO ENVIRONMENT AB
GÖTEBORG

Sammanfattning

Som ett led i arbetet med klimatanpassning har Göteborgs Stad utarbetat en s.k. hydromodell för Göteborgsområdet, där framtida vattennivåer, till följd av stigande havsnivåer, ökande nederbörd och ökande flöden i vattendrag simuleras. I hydro-modellen finns en generell metodik i GIS-miljö för att genomföra samhällsekonomisk kostnads-nyttoanalys (KNA) av möjliga åtgärder för klimatanpassning. Kostnads-nyttoanalyser utgör ett direkt stöd för beslut rörande dels val av skyddsåtgärd, dels för att illustrera de samhällsekonomiska konsekvenserna i samband med höga flöden och/eller kraftig nederbörd. Kostnads-nyttoanalyser utgör också ett viktigt underlag för att belysa de samhällsekonomiska effekterna av översvämningar och översvämningsskydd i enlighet med Förordningen om översvämningssrisker (SFS 2009:956), vilket utgår från EUs översvämningssdirektiv, samt Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskaps (MSB) föreskrift om riskhanteringsplaner (MSBFS 2013:1).

Syfte med den föreliggande rapporten är att genomföra en oberoende granskning av den framtagna modellen för kostnads-nyttoanalys samt att utarbeta ett underlag för hur metodiken kan anpassas och utformas för att kunna tillämpas fortlöpande som ett beslutsstöd i stadens arbete med klimatanpassning.

Metodiken för hydromodellens KNA består av två huvudsakliga delar:

1. Databas och verktyg för utsökning av skadeobjekt och enhetspriser (kostnader) för identifierade objekt. Processen görs i en FME (Feature Manipulation Engine) applikation.
2. Ett kalkylverktyg för beräkning av samhällsekonomisk lönsamhet av översvämningsskydd. Verktöget är utvecklat i Excel.

Inledningsvis ges en överblick över kostnads-nyttoanalys som metod och stegvis genomförande enligt "god sed" samt hur ett sådant genomförande skulle kunna ske vid tillämpning på översvämningssåtgärder. Därefter beskrivs hydromodellens metod för kostnads-nyttoanalys och den tillämpning som hittills gjorts för att utvärdera den samhällsekonomiska lönsamheten av möjliga framtida storskaliga åtgärder för att skydda centrala Göteborg mot framtida stigande havsnivåer:

1. Yttre barriärer vid Göta älvs mynning och förgrening vid Kungälv
2. Älvskydd i form av en vallkonstruktion längs älvstränderna i stadens centrala delar, med slussportar vid tillrinnande vattendrag

Som ett underlag för olika åtgärdslösningar i mera lokal skala för att hantera dels översvämningar till följd av ökade flöden i vattendrag och stigande havsnivåer, dels översvämningar till följd av kraftig nederbörd/skyfall presenteras en sammanställning av hållbara/gröna dagvattenlösningar. Många åtgärder i planområdesskala kommer att vara i form av dagvattenlösningar och det finns ett behov av att i större omfattning utvärdera den typen av åtgärder i planprocessen.

Utvärderingen av hydromodellens KNA visar att den framtagna metodiken utgör en god grund för att fortlöpande kunna genomföra samhällsekonomiska bedömningar av översvämningsåtgärder i olika skalor, även planskala. Det krävs dock flera kompletteringar och modifieringar för att möjliggöra sådana tillämpningar. Följande huvudsakliga modifieringar och kompletteringar rekommenderas:

- Integrera FME-applikationen tydligare med kalkylmodellen för mera automatiserad kostnads-nyttoanalys.
- Möjliggör analys av flera åtgärdsalternativ i samma kalkylark.
- Förbättra den grafiska presentationen i kalkylmodellen.
- Möjliggör att enkelt välja tidshorisont och diskonteringsränta.
- Upprätta ett formulär i kalkylmodellen med relevanta poster för åtgärds kostnader.
- Möjliggör en global osäkerhetsanalys. Detta kräver att osäkerhetsfördelningar för enhetspriser beräknas (metodik finns) samt att åtgärds kostnader ansätts som intervall istället för punktskattningar.
- Ta hänsyn till att förväntad framtida höjning av vattennivå inte kommer att ske linjärt från nu och in i framtiden.
- Behåll kostnads-nyttoanalysen begränsad till effekter som värderas i termer av undvikande av skador.
- Komplettera den ekonomiska analysen med en analys av sociala och miljömässiga effekter av studerade alternativ för översvämningsskydd.
- Bedömning och sammanvägning av studerade åtgärders effekter görs med gängse principer för multi-kriterieanalys (MKA).
- Kalkylarket utvecklas för att inkludera poängsättning av sociala och miljömässiga effekter samt MKA av identifierade alternativ för översvämningsskydd.

Genom att utföra dessa modifieringar och kompletteringar kan ett kraftfullt verktyg för jämförelse av olika alternativ för översvämningsskydd erhållas. Verktöget kan göras användarvänligt och tillämpas på såväl övergripande som lokal planeringsskala och ge vägledning kring vad som är de långsiktigt mest hållbara åtgärderna. En viktig användning av ett sådant verktyg är också att identifiera på vilket/vilka sätt studerade alternativ skulle kunna utformas för att göras mera hållbara.

Innehållsförteckning

1	Inledning	6
1.1	Bakgrund	6
1.2	Syfte	6
1.3	Genomförande	6
2	Vad är kostnads-nyttoanalys?	9
2.1	Kostnader, nyttor och lönsamhet	9
2.2	Matematisk beskrivning av KNA	10
2.3	Kostnader och nyttor av översvämningsåtgärder	12
2.3.1	Nyttor	12
2.3.2	Kostnader	15
2.4	Diskontering och tidshorisont	15
3	Genomförande av kostnads-nyttoanalys av översvämningsåtgärder	17
3.1	Exempel på kostnads-nyttoanalyser	17
3.2	Stegvis genomförande	18
4	Hydromodellens metod för KNA	22
4.1	Åtgärdsalternativ	22
4.2	Översikt över beräkningar och presentation av resultat	23
5	Utvärdering av hydromodellens metod för KNA	28
6	Förslag till modifierad modell för KNA	32
6.1	KNA-modellens olika delar	32
6.1.1	Övergripande struktur	32
6.1.2	Överföring av data från FME till kalkylmodell	33
6.1.3	Analys av flera åtgärdsalternativ	33
6.1.4	Uppskattning av riskkostnad (förväntad skadekostnad)	33
6.1.5	Dimensionering och uppskattning av åtgärdskostnad	34
6.1.6	Uppskattning av riskreduktion samt övriga nyttor	34
6.1.7	Beräkning av nettonuvärde	34
6.1.8	Osäkerhetsanalys	34
6.1.9	Fördelningsanalys och rangordning	38
6.2	Användning i olika skalor och för olika tillämpningar	38
7	Hållbara lösningar för åtgärder mot översvämnings	42
7.1	Hållbar dagvattenhantering	42
7.2	Exempel på hållbara åtgärdslösningar	44
7.2.1	Dränerande beläggningar	44

7.2.2	Tak	45
7.2.3	Ytlig avledning	46
7.2.4	Öppna dagvattenlösningar för rening och fördröjning av dagvatten	47
7.2.5	Dagvattenlösningar under mark	52
7.3	Effekter i samhället	54
8	Förslag till ramverk för hållbarhetsbedömning av översvänningsåtgärder	57
9	Referenser	62

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Som ett led i arbetet med klimatanpassning har Göteborgs Stad utarbetat en s.k. hydromodell för Göteborgsområdet, där framtida vattennivåer, till följd av stigande havsnivåer, ökande nederbörd och ökande flöden i vattendrag simuleras. Modellen utgör en viktig grund för att kunna analysera och utvärdera lämpliga strategier och åtgärder för att anpassa staden till det klimatförhållanden som kan antas råda på kort och lång sikt.

Möjliga åtgärder för att uppnå ett gott skydd mot översvämningar är exempelvis olika typer av öppningsbara barriärer och vallkonstruktioner för att skydda mot höjda havsnivåer eller höjda nivåer i vattendrag. Anpassning av gatumark, grönytor mm för att förbättra förmågan till att leda undan vatten vid kraftiga regn är andra exempel på möjliga åtgärder i arbetet med klimatanpassning.

Som en del av arbetet med hydromodellen har Ramböll också utvecklat en generell metodik i GIS-miljö för att utifrån hydromodellen kunna genomföra samhällsekonomisk kostnads-nyttoanalys av möjliga åtgärder (Ramböll, 2014). Exempel på användning av metoden för analys av storskaliga åtgärder mot stigande havsnivå har också presenterats på en övergripande nivå.

Kostnads-nytto-analyser utgör ett direkt stöd för beslut rörande dels val av skyddsåtgärd, dels för att illustrera de samhällsekonomiska konsekvenserna i samband med höga flöden och/eller kraftig nederbörd. Kostnads-nyttoanalyser utgör också ett viktigt underlag för att belysa de samhällsekonomiska effekterna av översvämningar och översvämningsskydd i enlighet med Förordningen om översvämningssrisker (SFS 2009:956), vilket utgår från EUs översvämningsdirektiv, samt Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskaps (MSB) föreskrift om riskhanteringsplaner (MSBFS 2013:1).

1.2 Syfte

Arbetets syfte är att genomföra en oberoende granskning av den framtagna modellen för kostnads-nyttoanalys samt att utarbeta ett underlag för hur metodiken kan anpassas och utformas för att kunna tillämpas fortlöpande som ett beslutsstöd i stadens arbete med klimatanpassning.

1.3 Genomförande

Uppdraget har delats in i två huvudsakliga delar, vilka genomförts enligt följande:

1. Granskning av den föreslagna metodiken för kostnads-nyttoanalys med avseende på:
 - a. Beräkning av samhällsekonomisk risk, dvs. sammanvägning av återkomsttider för översvämningar och dess ekonomiska konsekvenser

- b. Underlag för värdering av skadekostnader, dvs. vilket underlag som rekommenderas användas och hur tillgängligt underlaget är
 - c. Underlag för värdering av externaliteter, exempelvis effekter på människors hälsa och effekter på samt tillgång till ekosystemtjänster
 - d. Underlag för värdering av kostnader för utförande och underhåll av åtgärder
 - e. Val av tidshorisont
 - f. Val av diskonteringsränta
 - g. Hantering av osäkerheter
 - h. Fördelningsanalys, dvs. hur metodiken tar hänsyn till hur kostnader och nyttor fördelas mellan olika intressenter i samhället
 - i. Utvärdering av lämplig skala (detaljeringsnivå) för en samhällsekonomisk analys med hänsyn till hydromodellens egenskaper och tillgång på underlagsinformation för värderingar.
2. Rekommendationer och förslag till anpassning av metodik för att kunna genomföra samhällsekonomiska analyser av klimatanpassning fortlöpande och i plan-områdesskala:
 - a. Genomgång av befintligt GIS-verktyg som utvecklats av Ramböll. Genomgång av GIS-verktyget görs i samverkan mellan Sweco och Göteborgs Stad.
 - b. Analys av vilka modifieringar som bör göras av befintligt verktyg för att möjliggöra samhällsekonomiska analyser av åtgärder för klimatanpassning. Analysen ska kunna göras utifrån ett godtyckligt valt översvämningsscenario, dvs. med avseende på såväl stigande nivåer som kraftiga regn.
 - c. Utvärdering av hur metodiken på ett lämpligt sätt kan användas som underlag i planområdesskala. Det utvärderas härvid om en förenklad metodik baserad på multi-kriterieanalys (MKA) kan vara lämpligt och i så fall i vilka situationer.
 - d. Jämförelse av s.k. hållbara dagvattenlösningar med traditionella lösningar. Hållbara dagvattenlösningar är av särskilt intresse för Göteborgs Stad. Som en del av underlaget för att kunna tillämpa den utvecklade metodiken på planområdesskala (moment 2c) behövs därför en ökad kunskap om vilka effekter i samhället hållbara lösningar kan ge upphov till jämfört med traditionella lösningar. Studien har baserats på befintlig litteratur.

Arbetet har utförts av Sweco Environment AB i Göteborg. Dick Karlsson vid Kretslopp och vatten, Göteborgs Stad, har varit beställare. Från Stadsbyggnadskontoret i Göteborgs Stad har också Niklas Blomquist och Ulf Moback medverkat med värdefulla råd och synpunkter. Lars Grahn vid Sweco Environment AB i Göteborg har granskat rapporten.

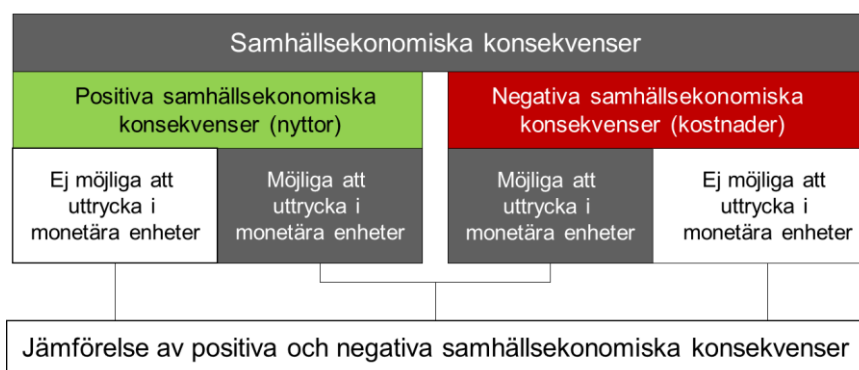
2 Vad är kostnads-nyttoanalys?

Kostnads-nyttoanalys (KNA) är en analys som innefattas i det bredare begreppet konsekvensanalys (jfr Naturvårdsverket 2003). Liksom konsekvensanalyser är kostnads-nyttoanalyser ett stöd för beslutsfattande. KNA bygger på en identifiering av de positiva och negativa konsekvenserna av ett projekt i samhället och syftar till att jämföra dessa konsekvenser med varandra för att se om de positiva konsekvenserna är större än de negativa eller tvärtom. Analysen görs genom att de positiva effekterna (marginalnyttan) och de negativa effekterna (marginalkostnaderna) värderas relativt ett referensalternativ. I en KNA uttrycks de olika konsekvenserna i monetära enheter i så stor utsträckning som möjligt. Kostnads-nyttoanalys som metod beskrivs i en mängd olika textböcker, vägledningar, vetenskapliga rapporter, artiklar och utredningar. Ett ofta refererat standardverk är Boardman m fl (2011). Nedan beskrivs kortfattat några nyckelbegrepp i KNA.

2.1 Kostnader, nyttor och lönsamhet

Det ligger i samhällets intresse att utforma effektiva strategier och åtgärder för att förhindra och mildra konsekvenserna av översvämningar. Resurserna är dock begränsade och prioriteringar av åtgärder måste därför göras. Ett viktigt underlag för prioritering är samhällsekonomiska bedömningar av potentiella åtgärder. Syftet är då att undersöka om en viss insats är samhällsekonomiskt lönsam och helst även analysera vilka insatser som är mer lönsamma än andra. Som verktyg för samhällsekonomisk konsekvensanalys används vanligen kostnads-nyttoanalys.

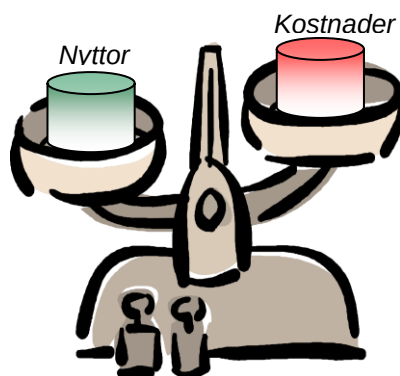
Med samhällsekonomiska termer menas närmare bestämt handlingsalternativens konsekvenser för individers och företags välbefinnande (ibland även benämnt "välfärd"). Ökningar av välbefinnandet till följd av handlingsalternativet kallas för alternativets *nyttor* och minskningar av välbefinnandet till följd av handlingsalternativet kallas för alternativets *kostnader*, jfr Figur 2-1.



Figur 2-1. Samhällsekonomiska konsekvenser.

En samhällsekonomisk konsekvensanalys ska undersöka kostnaderna och nyttorna för de individer och företag som bedöms beröras av ett projekt. Det kriterium som vanligen används i en kostnads-nyttoanalys för vad som är bra eller dåligt att göra är *samhällsekonomisk lönsamhet*.

Samhällsekonomisk lönsamhet kännetecknas av att summan av samtliga nyttor för alla berörda individer och företag överstiger summan av samtliga kostnader för alla individer och företag. Med andra ord ska vågskålen med de totala nyttorna väga tyngre än vågskålen med de totala kostnaderna, se Figur 2-2.



Figur 2-2. Avvägning mellan kostnader och nyttor.

Om utfallet för alternativet är positivt är det samhällsekonomiskt lönsamt, och ju högre positivt värde, desto bättre är alternativet. Alternativen utvärderas i förhållande till ett nollalternativ, som vanligen definieras som att inte vidta någon åtgärd och de konsekvenser som detta leder till.

En kostnads-nyttoanalys är en speciell typ av analys som måste kompletteras med andra slags analyser för att beslutsunderlaget ska bli heltäckande. Viktigt är att göra en analys av *fördelningseffekter*, vilken visar hur nyttor och kostnader fördelar sig på olika grupper/branscher/sektorer i samhället. Andra typer av analyser kan också vara nödvändiga, eftersom det endast är i undantagsfall som det går att uttrycka alla identifierade nyttor och kostnader i monetära enheter. Om kriteriet för samhällsekonomisk lönsamhet är uppfyllt eller inte kan ofta endast delvis utvärderas genom en jämförelse av monetära mått. I jämförelsen måste även de samhällsekonomiska konsekvenser som inte har mätts i monetära termer vägas in, se Figur 2-1.

2.2 Matematisk beskrivning av KNA

Matematiskt kan en kostnads-nyttoanalys uttryckas som en *målfunktion* som mäter skillnaden mellan nyttor och kostnader. För ett visst åtgärdsalternativ i kan målfunktionen formuleras som:

$$NPV_i = \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+r)^t} (B_{it}) - \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+r)^t} (C_{it}) \quad (\text{ekvation 1})$$

där:

NPV_i = nettonuvärdet, vilket utgör nuvärdet av nettonyttan (dvs. nyttor minus kostnader) av att genomföra åtgärdsalternativet i

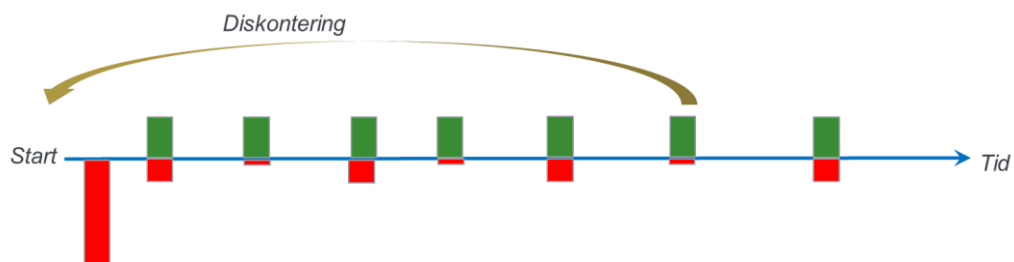
B_i = nyttor (benefits) av att genomföra åtgärdsalternativet i

C_i = kostnader (costs) för att genomföra åtgärdsalternativet i

r = diskonteringsränta

T = tidshorisont angivet i antal år t

Som framgår av ekvation 1 beräknas ett nuvärde för alla kostnader respektive nyttor under den aktuella tidshorisonten. Detta sker genom en omräkning med hjälp av en räntesats och görs för att ta hänsyn till att nyttor och kostnader inträffar vid skilda tidpunkter och därför inte kan jämföras direkt med varandra, se Figur 2-3. Valet av räntesats för diskontering beskrivs närmare i avsnitt 2.4.



Figur 2-3 Principen för beräkning av nuvärden genom diskontering. Gröna staplar = nyttor; Röda staplar = kostnader.

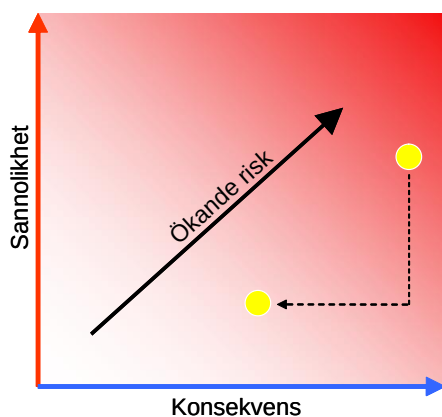
Om värdet på målfunktionen, dvs. nettonuvärdet, är positivt är alternativet samhällsekonomiskt lönsamt, och ju högre positivt värde desto mera lönsamt är alternativet. Alternativen utvärderas i förhållande till ett referensalternativ. Detta referensalternativ definieras ofta som att inte vidta någon åtgärd alls och de konsekvenser som detta leder till. Rent principiellt finns dock inga hinder att använda andra definitioner på referensalternativet.

2.3 Kostnader och nyttor av översvämningsåtgärder

2.3.1 Nyttor

Översvämningar inträffar oregelbundet och det går inte att med säkerhet förutsäga om, och i så fall när, en översvämning med viss omfattning ska inträffa. Det är därför lämpligt att istället försöka bedöma *riskerna* för skador till följd av översvämning. En riskuppskattning innebär i detta sammanhang en *sammanvägning* av sannolikheten för översvämning och dess negativa konsekvenser. Eftersom avsikten är att uttrycka risken i monetära termer måste skadorna värderas ekonomiskt och det går då att tala om en *riskkostnad*. Riskkostnaden kan också benämnas *den förväntade konsekvenskostnaden*. Sammanvägningen av sannolikhet för översvämning och konsekvenskostnad beskrivs principiellt i Figur 2-4.

Risken beror av sannolikheten för att händelsen, d.v.s. översvämningen, skall inträffa och dess negativa ekonomiska konsekvenser. Riskerna kan minskas genom *förebyggande åtgärder*, som syftar till att förhindra att händelsen uppstår, eller genom *skadebegränsande åtgärder*, som syftar till att mildra konsekvenserna av händelsen.



Figur 2-4 Principen för sammanvägning av sannolikhet och konsekvens. Risken kan minskas genom förebyggande åtgärder (minskande sannolikhet) och/eller skadebegränsande åtgärder (minskande konsekvenser).

Syftet med att genomföra förebyggande och/eller skadebegränsande åtgärder är att minska, eller helst eliminera, riskerna för att negativa konsekvenser ska uppstå. Det ekonomiska värdet av de minskade riskerna som åstadkommes till följd av en åtgärd betraktas som åtgärdens *nyttor*.

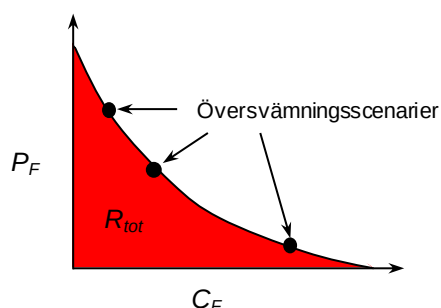
Hur stora skadekostnaderna, och därmed den ekonomiska risken, blir beror på översvämningarnas utbredning. Olika utbredningar uppstår med olika sannolikhet. För att kunna beräkna en *total riskkostnad* måste därför en summering göras över alla översvämningsscenarier som är möjliga.

Den totala ekonomiska risken beräknas som:

$$R_{tot} = E[C_F] = \int_0^1 C_F(P_F) dP_F \quad (\text{ekvation 2})$$

där P_F är sannolikheten (1/återkomsttid) för översvämning (F) och C_F är skadekostnaderna till följd av översvämning (kr). Risken är således väntevärdet för skadekostnaden, $E[C_F]$.

Det är praktiskt omöjligt att utföra modellberäkningar och kartläggning av skadeobjekt för ett stort antal översvämningstillfällen eftersom varje beräkning av ett översvämningstillfälles utbredning kräver omfattande hydrologiskt modelleringsarbete. Detta innebär därmed att funktionen för R_{tot} måste approximeras utifrån ett mindre antal översvämningsscenarier, se Figur 2-5.



Figur 2-5 Principiell beskrivning av den totala risken, vilket svarar mot den totala ytan i grafen.

Exempel på förebyggande åtgärder är förbättrad reglering av vattendrag så att dess kapacitet att klara ökade flöden utan skadlig höjning av vattennivåer till följd av stora nederbördsmängder ökar. Exempel på skadebegränsande åtgärder är vallar för att skydda byggnader och infrastruktur i samband med förhöjda nivåer i vattendrag.

Om en konsekvens inträffar med en viss sannolikhet finns två huvudansatser att ekonomiskt värdera den resulterande riskförändringen: riskvärdering *ex post* eller riskvärdering *ex ante*.

En riskvärdering *ex post* utgår från en deterministisk värdering av konsekvensen, dvs. konsekvensen värderas som om den faktiskt har inträffat. Värderingen görs sedan probabilistisk genom en multiplikation med sannolikheten för att konsekvensen inträffar. Ett vanligt exempel på värdering *ex post* av översvämningssrisker är att basera konsekvensvärderingen på uppgifter om faktiska skadekostnader som uppstått tidigare i form av ersättning som betalats av försäkringsbolag.

Riskvärdering *ex post* används ofta, men en viktig svaghet med denna är att den inte tar hänsyn till vilka ekonomiska avvägningar med avseende på risk som individer väljer att

göra eller är beredda att göra. Den gängse utgångspunkten i ekonomisk teori är individualistisk, vilket innebär att en ekonomisk värdering bör ta hänsyn till att villigheten till avvägningar med avseende på risk kan variera mellan olika individer. Variationen kan bero dels på vilken typ av risk det är fråga om, dels på individernas preferenser med avseende på risk. Vid riskvärdering *ex ante* går det till skillnad från vid riskvärdering *ex post* att ta sådan hänsyn.

Värdering *ex ante* utgår från de val individer gör med avseende på risken för en viss konsekvens innan de vet om denna konsekvens faktiskt uppstår eller inte. Detta innebär att man vanligen försöker undersöka individers maximala betalningsvilja för att undvika konsekvenser som inträffar med en viss sannolikhet innan de vet om dessa verkligen kommer att inträffa eller inte, dvs. deras s.k. optionspris. Det framhålls ofta att riskvärdering *ex ante* är mer tillfredsställande eftersom hänsyn då tas till individers preferenser med avseende på olika typer av risksituationer.

Ekonomisk riskvärdering *ex ante* går alltså ut på att ta reda på vilka avvägningar som människor gör, eller säger sig vara beredda att göra, med avseende på risk. Det kan handla om avvägningar gällande själva konsekvensen av en händelse som inträffar med en viss sannolikhet, eller själva sannolikheten, eller en kombination av dessa. Så länge avvägningar görs är också en ekonomisk värdering möjlig. Vidare är det riskförändringar från en viss nivå till en annan nivå som värderas. Vid en värdering måste också beaktas det faktum att när individer gör ekonomiska avvägningar med avseende på risk är det långtifrån säkert att deras riskbedömning (den "subjektiva" risken) stämmer överens med den vetenskapligt konstaterade risken (den "objektiva" risken).

För att göra en riskvärdering *ex ante* krävs vanligen att betalningsviljan (alternativt viljan att acceptera kompensation) för att undvika en viss risksituation undersöks med hjälp av en områdesspecifik värderingsstudie. Sådana undersökningar kan exempelvis utföras som enkätstudier eller genom direkta intervjuer. Man kan också undersöka förändringar på mark- och fastighetspriser eftersom dessa kan antas avspegla och inkludera människors preferenser att undvika risksituationer.

Även om det finns goda skäl att använda sig av riskvärdering *ex ante* kan det ändå ibland vara motiverat att göra riskvärderingar *ex post*. Brist på data kan vara en anledning. Vidare kan det vara metodologiskt besvärligt att få kunskap om optionspriset. Vid en riskvärdering *ex post* är det då en fördel att kunna säga om denna riskvärdering utgör en underskattning eller en överskattning av optionspriset, men tyvärr finns ingen allmän regel som kan ge en upplysning om detta.

Förutom minskade risker kan klimatanpassning medföra andra nyttor, exempelvis möjlighet att nyttja mark som inte annars kunnat användas. Det kan också vara att kunna uppföra nya anläggningar, byggnader och andra objekt till en lägre kostnad än vad som varit fallet om varje enskilt objekt behövt klimatanpassas.

2.3.2 Kostnader

Kostnaderna för en specifik åtgärd omfattar alla kostnader som kan förknippas med åtgärden. Åtgärdskostnaderna kan delas in i följande huvudtyper:

- Investeringskostnader för åtgärdens utförande
- Driftskostnader
- Underhållskostnader
- Kostnader för återinvestering, för att ersätta delar av eller hela anläggningen efter en viss livslängd
- Övriga kostnader inklusive externa effekter, exempelvis olycksrisker förknippade med åtgärden, kostnader för restriktioner i markanvändning till följd av åtgärden och miljökostnader, exempelvis kostnader för emissioner.

I åtgärdsanalysen identifieras samtliga kostnader som kan uppstå under den valda tidshorisonten. Dessutom analyseras *när* de olika kostnaderna kan uppstå.

Driftskostnader uppstår årligen genom driften av den aktuella åtgärden.

2.4 Diskontering och tidshorisont

Diskontering är ett begrepp som används vid alla samhällsekonomiska beräkningar. Det innebär en omräkning med hjälp av en räntesats för att ta hänsyn till att nyttor och kostnader inträffar vid skilda tidpunkter och därför inte kan jämföras direkt med varandra. En diskonteringsränta används för att räkna om alla nyttor och kostnader i kostnadsnyttanalysen till ett nuvärde.

Diskontering är en omdebatterad metod, eftersom kostnaderna med åtgärder som syftar till att åstadkomma exempelvis en klimatanpassning ofta inträffar före nyttorna som åtgärderna leder till. I en nuvärdesberäkning tenderar detta att leda till att nyttorna väger lättare än kostnaderna. Allmänt gäller att ju högre diskonteringsränta och ju längre fram i tiden en konsekvens inträffar desto lägre blir dess nuvärde. Om diskonteringsräntan däremot är noll värderas framtida kostnader och nyttor lika högt som dagens kostnader och nyttor.

Diskontering i samhällsekonomiska kalkyler av klimatåtgärder diskuteras ingående av exempelvis Söderqvist (2006). Där beskrivs hur det kan vara rimligt att använda räntesatser nära marknadsräntan för kortare tidsperioder, medan det kan vara försvarbart att använda lägre räntesatser för längre tidsperioder som berör flera generationer.

För samhällsekonomiska kalkyler inom transportområdet rekommenderar exempelvis Trafikverket (2015) en räntesats på 3,5 %. Denna räntesats baseras på studier av marknadsräntor.

För samhällsekonomiska kalkyler av åtgärder som berör flera generationer av människor argumenteras ofta att räntesatsen istället bör sättas utifrån en etisk utgångspunkt för att inte diskriminera framtida generationer i förhållande till dagens generation och utifrån

prognoser om den framtida ekonomiska utvecklingen. Detta förhållningssätt tenderar att leda till lägre diskonteringsräntor. Ett exempel på detta är rekommendationerna i den s.k. Stern-rapporten (Stern 2006), som utvärderar samhällsekonomiska effekter av klimatförändringar. Stern-rapporten har fått ett mycket stort genomslag i klimatdebatten och föreslår en diskonteringsränta på 1,4 % för samhällsekonomiska kalkyler rörande klimateffekter och åtgärder mot klimatförändringar.

Valet av diskonteringsränta kan påtagligt påverka utfallet i en kostnads-nyttoanalys, såväl vad gäller nettonuvärdets absoluta storlek, men i vissa fall också rangordningen av alternativ. Vilken räntesats som väljs grundas i vilken grundläggande syn som beslutsfattandet utgår ifrån. Vid genomförandet av en kostnads-nyttoanalys kan det vara svårt att avgöra vilken räntesats som är lämplig. I sådana fall är det lämpligt att genomföra kostnads-nyttoanalysen med olika diskonteringsräntor och undersöka hur slutresultatet varierar med valet av räntesats.

Tidshorisonten är också av stor betydelse bl.a. eftersom en längre tidshorisont innebär att åtgärden skyddar mot skadekostnader under en längre tid. Sweco har i flera utredningar valt att använda tidshorisonten 100 år alternativt perioden från innevarande år till år 2100. Detta med hänsyn till tillgänglig information och tillförlitlighet i det statistiska underlaget och modellberäkningar för översvämningarnas återkomsttider. I analyserna antas vanligen att förhållanden rörande bebyggelse, markanvändning, samhällsfunktioner, mm är konstant under den valda tidshorisonten.

Det kan även med avseende på tidshorisont vara intressant att undersöka hur olika val påverkar slutresultatet. Vid en lägre diskonteringsränta kan tidshorisontens längd ha stor inverkan på analysens utfall.

3 Genomförande av kostnads-nyttoanalys av översvämningsåtgärder

3.1 Exempel på kostnads-nyttoanalyser

Samhällsekonomiska analyser av översvämningsåtgärder har genomförts i ett antal studier i Sverige, se exempelvis Sweco Environment AB (2011, 2014, 2015) och Ramböll (2014). Flera större EU-projekt har genomförts under senare år med koppling mot klimatanpassning och översvämningsåtgärder. Kostnads-nyttoanalyser (Cost-Benefit Analysis, CBA) av översvämningsåtgärder beskrivs i flera av dessa projekt, exempelvis:

- FloodSite, med 37 deltagande partners från 13 länder, <http://www.hrwallingford.com/projects/floodsite-integrated-flood-risk-analysis-and-management>. (se exempelvis Messer m fl, 2007; Olfert, 2008)
- Flood-CBA, med 6 deltagande partners från 6 länder, <http://www.floodcba.eu/main/> (se exempelvis Flood-CBA, 2014)
- SAWA (Strategic Alliance for integrated Water management Actions), med 22 deltagande partners från 5 länder, <http://www.sawa-project.eu/> (se exempelvis Sweco Environment AB, 2011)
- FLOWS, 4 deltagande partners från 4 länder, <http://archive.northsearegion.eu/iiib/projectpresentation/details/&tid=58&theme=2> (se exempelvis Sweco Viak, 2006)
- CRUE-ERANET, med 16 deltagande partners från 12 länder, <http://www.crue-eranet.net/> (se CRUE-ERANET, 2008).

Dessutom finns många exempel på tillämpning av kostnads-nyttoanalyser av översvämningsåtgärder i flera länder, se exempelvis:

- Storbritannien (UK Environment Agency, 2005; Pearce & Smale, 2005)
- Tyskland (Environmental Protection Agency, se <http://www.umweltbundesamt.de/en/topics/climate-energy/climate-change-adaptation/adaptation-tools/project-catalog/costs-benefits-of-climate-change-adaptation>)
- Nederländerna (Zevenbergen m fl, 2007; Kind, 2012)
- USA (NRC, 2000)

3.2 Stegvis genomförande

Nedan beskrivs kortfattat vilka grundläggande steg som bör ingå i en kostnads-nyttoanalys av översvämningsåtgärder. Beskrivningen utgör en grund för utvärderingen i Kapitel 4 av den modell för kostnads-nyttoanalys som utvecklats av Ramböll och tillämpats för Göteborgs Stad (Ramböll, 2014).

Grundläggande principer för kostnads-nyttoanalyser har beskrivits av exempelvis Söderqvist (2006), Boardman m fl (2011), Söderqvist m fl (2014) och Trafikverket (2015). Genomförandet av en kostnads-nyttoanalys kan se mycket olika ut, men följer ofta en stegvis procedur. Nedan beskrivs ett stegvis genomförande av en kostnads-nyttoanalys av översvämningsåtgärder, se Figur 3-1. Proceduren utgår från god praxis för genomförande av kostnads-nyttoanalys, som den beskrivs av Söderqvist m fl (2014), men är anpassad för specifik tillämpning på översvämningsåtgärder.



Figur 3-1 Huvudsakliga steg i genomförande av kostnads-nyttoanalys (KNA) av översvämningsåtgärder.

De olika stegen bör omfatta följande:

1. **Formulering av problem och syfte.** Beskrivning av bakgrund till projektet, problemställningen och syftet med de åtgärder som ska utvärderas med KNA. Här förklaras det större sammanhanget för projektet och vilket/vilka problem som projektet är tänkt att bidra till att lösa.
2. **Val av referensalternativ.** En kostnads-nyttoanalys genomförs alltid genom att kostnader och nyttor värderas relativt ett referensalternativ. Detta alternativ representerar vanligen en situation där inga översvämningssåtgärder vidtas (0-alternativ), men det kan också representera en situation där exempelvis redan beslutade åtgärder genomförs, såsom reglering av ett vattendrag eller höjning av marknivån inom ett område. Referensalternativet beskrivs och motiveras tydligt.
3. **Definition av projektet i tid och rum.** Projektets rumsliga avgränsning, dvs. vilket område som studeras, och dess tidshorisont beskrivs och motiveras tydligt.
4. **Val av diskonteringsränta.** Kostnads- och nyttoposterna beräknas för den valda tidshorisonten och diskonteras till nuvärdet. Den räntesats som väljs motiveras tydligt utifrån det synsätt som gäller för den ekonomiska analysen, se exempelvis Söderqvist (2006), Stern (2006) och Trafikverket (2015). Om ingen entydlig räntesats kan identifieras, bör analysen genomföras med flera olika räntesatser för att undersöka hur valet av räntesats påverkar slutresultatet.
5. **Beräkning av riskkostnad för referensalternativ.** Utifrån översvämningars återkomsttider och ekonomiska konsekvenser i form av exempelvis skador på byggnader, installationer, verksamheter, mm kan en samhällsekonomisk riskkostnad (dvs. förväntad konsekvenskostnad) beräknas för referensalternativet. Riskkostnaden beräknas för hela den aktuella tidshorisonten och diskonteras till ett nuvärde. Underlag för beräkningen av riskkostnad utgörs av information om återkomsttiden (dvs. sannolikheten) för olika översvämningshändelser för det område som studeras (vattennivåer och utbredning, vilka ingår i den utvecklade hydromodellen för Göteborgs Stad) samt information om samhällsekonomisk värdering av översvämningarnas konsekvenser. Konsekvensvärderingen görs enklast *ex post* och utgår från befintlig skadekostnadsdata från försäkringsstatistik, befintliga schablonvärden för ekonomisk värdering av olyckor, miljöeffekter, trafikförseningar, etc, som Trafikverket tagit fram inom Arbetsgruppen för samhällsekonomiska kalkyl- och analysmetoder inom transportområdet (ASEK) (Trafikverket, 2015), samt platsspecifika uppskattningar av negativa effekter till följd av översvämningar. I hydromodellen för Göteborgs Stad finns schablonvärden (enhetskostnader) för olika skadetyper.
6. **Dimensionering av åtgärdsalternativ.** De åtgärdsalternativ som ska ingå i analysen beskrivs tydligt och dimensioneras. Det måste vara möjligt att kunna uppskatta åtgärdernas effekter i termer av reduktion av översvämningars utbredning och påverkan på olika skadeobjekt (exempelvis byggnader, installationer, verksamheter, mm). För att uppskatta nyttorna behöver vanligen

hydrologisk och/eller hydraulisk modellering av åtgärdernas effekter genomföras. Det ska också vara möjligt att uppskatta åtgärdernas utförande, drift- och underhållskostnader.

7. **Beräkning av nyttor.** Nyttouppskattningen i kostnads-nyttoanalyser av översvämningsåtgärder baseras vanligen på värdering *ex post* av (undvikande av) skadekostnader utifrån försäkringsdata och annat befintligt underlag, se exempelvis Ramböll (2014) och Sweco Environment AB (2011, 2014, 2105). Nyttovärdering *ex ante* baserad på individers preferenser för att undvika översvämningsåtgärder och deras effekter är betydligt mera resurskrävande används mera sällan, men kan ge en mera fullständig värdering. För varje åtgärdsalternativ beräknas nyttorna i form av den reduktion i riskkostnad som uppstår om alternativet genomförs *istället för* referensalternativet. Eventuellt kan ytterligare nyttor i form av externa effekter uppstå till följd av genomförandet av alternativet, exempelvis att markområden kan få en annan användning och tillgänglighet till följd av åtgärderna eller att människors hälsa förbättras. Dessa effekter bör, så långt möjligt, inkluderas i nyttovärderingen. Om nyttorna inte kan kvantifieras inom projektets ramar, bör de hanteras kvalitativt. Kvantifierade nyttor för utformningsalternativen beräknas för hela den valda tidshorisonten och diskonteras till ett nuvärde.
8. **Beräkning av åtgärds-kostnader.** Såväl anläggnings- som drift- och underhållskostnader inkluderas i uppskattningen av den totala kostnaden för respektive alternativ. Eventuellt kan ytterligare kostnader uppstå till följd av genomförandet av ett alternativ, exempelvis att restriktioner i markanvändning uppstår till följd av åtgärderna. Dessa effekter bör, om möjligt, inkluderas i kostnadsvärderingen. Kostnaderna för utformningsalternativen beräknas för hela den valda tidshorisonten och diskonteras till ett nuvärde.
9. **Beräkning av nettonuvärde.** Ett nettonuvärde beräknas för varje utförandealternativ som summan av alla nyttor minus summan av alla kostnader.
10. **Rangordning av alternativ.** Utifrån beräkningen av nettonuvärden kan alternativen rangordnas, där det alternativ som erhållit det högsta nettonuvärdet är det samhällsekonomiskt mest försvarbara.
11. **Fördelningsanalys.** Det är viktigt att åtminstone översiktligt undersöka hur kostnader och nyttor fördelas på olika aktörer. Om exempelvis utformningen av anläggningen leder till betydande nyttor för fastighetsägare eller verksamheter i omgivningen kan det vara rimligt att dessa är med och bekostar anläggningen.
12. **Känslighetsanalys.** Olika faktorer i kostnads-nyttoanalysen kommer att vara förknippade med osäkerheter. Det är därför viktigt att någon form av känslighetsanalys utförs. Denna kan utgöras av en s.k. lokal analys, där en ingångsparameter i taget varieras och där effekten på resultatet – såväl nettonuvärden som alternativens rangordning – undersöks. En mera avancerad känslighetsanalys (global) är att representera ingångsdatas osäkerheter med hjälp

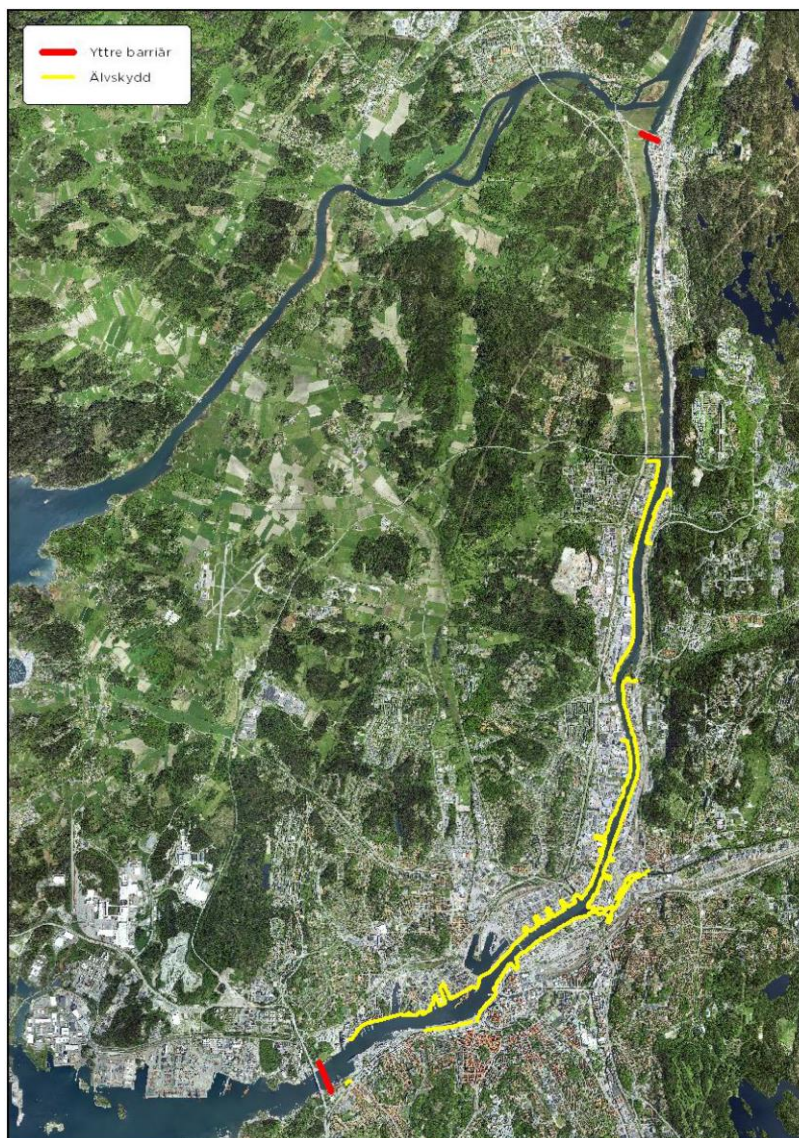
av sannolikhetsintervall och sedan utföra statistisk simulering (Monte Carlo) för att undersöka varje ingångsparameters bidrag till nettonuvärdets totala osäkerhet. Osäkerhetsanalysen ger information om vilka faktorer som i första hand bör studeras närmare för att åstadkomma resultat med högre tillförlitlighet.

13. **Slutsatser och prioritering.** Sammanfattning av resultaten och bedömning av om de kostnader och nyttor som inte har kunnat monetariserats påverkar slutsatserna. Det är viktigt att poster som inte kunnat monetariserats inte glöms bort utan bedöms kvalitativt. Slutligen görs en sammantagen bedömning av åtgärdernas samhällsekonomiska lönsamhet och prioritering av studerade åtgärdsalternativ.

4 Hydromodellens metod för KNA

4.1 Åtgärdsalternativ

Ramböll har tillämpat hydromodellens metod för KNA på två storskaliga åtgärdsalternativ som syftar till att skydda centrala Göteborg från framtida översvämningar till följd av stigande havsnivåer, *Yttre barriär* och *Älvskydd*, se Figur 4-1.



Figur 4-1 Lägesbeskrivning av de två åtgärdsalternativ som utvärderats med kostnads-nyttoanalys (Ramböll, 2014).

De två åtgärdsalternativen beskrivs av Ramböll (2014) enligt följande:

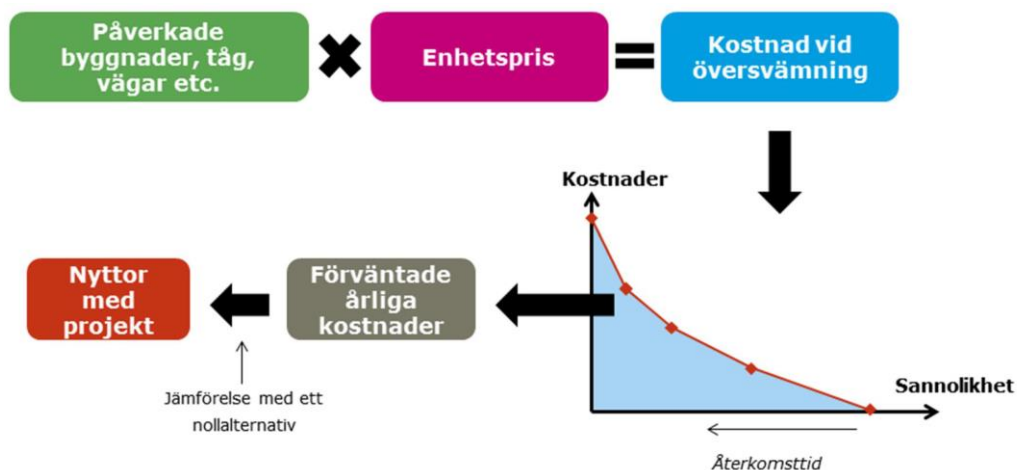
- **Älvskydd.** Skyddsvallar och portar anläggs längs Göta Älv för att skydda centrala Göteborg mot översvämning. Skyddsvallarna ska förhindra att de lågt liggande områdena längs Göta Älv blir översvämmade vid högvatten i älven. Portarna anläggs i utloppen för Vallgraven, Norra Hamnkanalen, Gullbergsån, Kvillebäcken (Frihamnen) och Sannegårdshamnen.
- **Yttre barriär.** Två barriärer anläggs för att hindra högvattnet i Kattegatt att översvämma centrala Göteborg. Den ena barriären anläggs i höjd med Jordfallsbron söder om Kungälv och den andra vid Älvsborgsbron. Detta åtgärdsförslag är tidigare omnämnt som storbarriär.

4.2 Översikt över beräkningar och presentation av resultat

Den av Ramböll framtagna metodiken för KNA består av två huvudsakliga delar:

3. Databas och verktyg för utsökning av skadeobjekt och enhetspriser (kostnader) för identifierade objekt. Processen görs i en FME (Feature Manipulation Engine) applikation.
4. Ett kalkylverktyg för beräkning av samhällsekonomisk lönsamhet av översvämningsskydd. Verktyget är utvecklat i Excel. Ett separat Excelark måste upprättas för varje åtgärdsalternativ och åtgärdena måste därför jämföras och utvärderas utanför beräkningsverktyget.

Nyttor till följd av åtgärder beräknas som minskad förväntad skadekostnad (se ekvation 2 ovan). Nyttoberäkningen beskrivs principiellt i Figur 4-2.



Figur 4-2 Principiell beskrivning av hur nyttor beräknas för ett åtgärdsalternativ (Ramböll, 2014)

Nyttoberäkningen görs utifrån enhetspriser för olika kategorier av skadeobjekt. Enhetspriserna baseras främst på försäkringsdata, men också på andra uppgifter, exempelvis från Trafikverket, se Tabell 4-1.

Tabell 4-1 Enhetspriser i hydromodellens KNA.

Kategori	Enhet	Kostnad (per enhet)	Källa
Skador på flerbostadshus och inventarier	Översvämmade byggnader	190 000 kr	IF, Göta Lejon, Forsikring & Pension
Skador på industribyggnader och inventarier	Översvämmade byggnader	180 000 kr	IF, Göta Lejon, Forsikring & Pension
Skador på offentliga byggnader och inventarier	Översvämmade byggnader	180 000 kr	IF, Göta Lejon, Forsikring & Pension
Skador på handel/kontorsbyggnader och inventarier	Översvämmade byggnader	180 000 kr	IF, Göta Lejon, Forsikring & Pension
Skador på småhus och inventarier	Översvämmade byggnader	47 000 kr	IF, Göta Lejon, Forsikring & Pension
Skador på uthus och inventarier	Översvämmade byggnader	20 000 kr	IF, Göta Lejon, Forsikring & Pension
Produktionsförlust (industribyggnader)	Översvämmade byggnader	15 000 kr	Statistiska Centralbyrån, Sverige
Kostnad på grund av strömbavbrott	Översvämmade transformator	380 000 kr	Ramböll
Skador på lokalväg	Kvadratmeter översvämmad lokal väg	110 kr	Trafikverket
Skador på huvudled	Kvadratmeter översvämmad huvudled	130 kr	Trafikverket
Skador på motorväg	Kvadratmeter översvämmad motor	150 kr	Trafikverket
Skador på spårväg/järnväg	Längdmeter översvämmad spår/järnväg	3 000 kr	Västkustbanan vid Falkenberg, Banverket, Vägverket
Kostnad för extra restid, persontåg	Tågtimmar	42 660 kr	Trafikverket, Transportministeriet
Kostnad för extra restid, spårvagn	Spårvagnstimmar	18 000 kr	Trafikverket, Transportministeriet
Kostnad för extra restid, godståg	Tågtimmar	11 250 kr	Trafikverket, Transportministeriet
Kostnad för extra restid, bilar	ÅDT per väg	24 kr	[CBAöversvämningGbg]

Enhetspriser finns inlagda i såväl FME som i kalkylverktyget. Nyttorna beräknas till nuvärden genom diskontering. Tidshorisonten har satts till åren 2014-2100. Diskonteringsräntan har satts till 1,4 % i enlighet med Stern (2006).

Kostnaderna för åtgärder beräknas utanför kalkylverktyget och förs in under kategorierna:

- Konstruktionskostnad
- Drift- och underhållskostnad

De olika kostnadstyperna fördelas tidsmässigt i modellen med hänsyn till när under den valda tidshorisonten åtgärderna anläggs. Kostnaderna diskonteras till nuvärdet över den valda tidshorisonten.

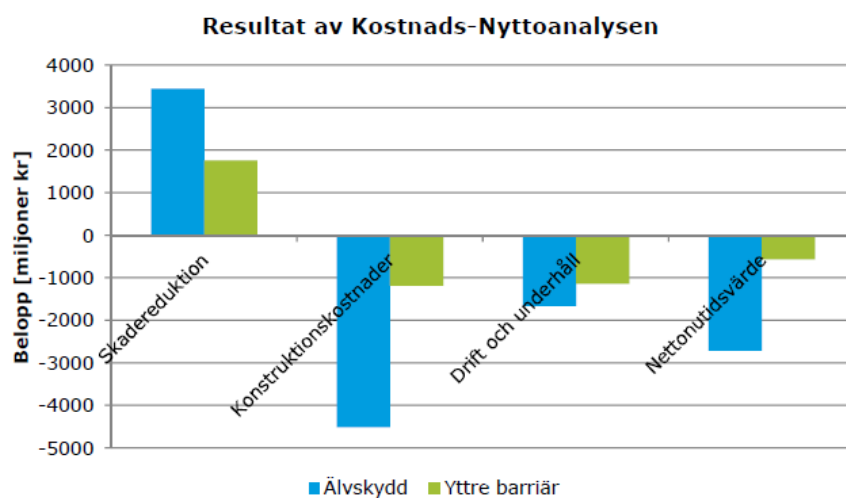
Ett nettonuvärde för det studerade åtgärdsalternativet beräknas genom att summera alla nyttor minus alla kostnader under den studerade tidshorisonten (se ekvation 1 ovan). Resultaten redovisas grafiskt, se exempel i Figur 4-3.



Figur 4-3 Redovisning av resultat från hydromodellens kostnads-nyttanalys (kalkylark i Excel). Resultatet som visas är för Yttre barriär (Ramböll, 2014). "Scrap value" är anläggningens bedömda restvärde vid tidshorisontens slut.

Ett separat kalkylark upprättas för varje åtgärdsalternativ. Detta innebär att åtgärdsalternativ inte kan jämföras grafiskt i kalkylmodellen utan måste göras separat. I sin rapport redovisar Ramböll (2014) jämförande grafer, se Figur 4-4. Resultaten presenteras också överskådligt i tabellform, se Tabell 4-2.

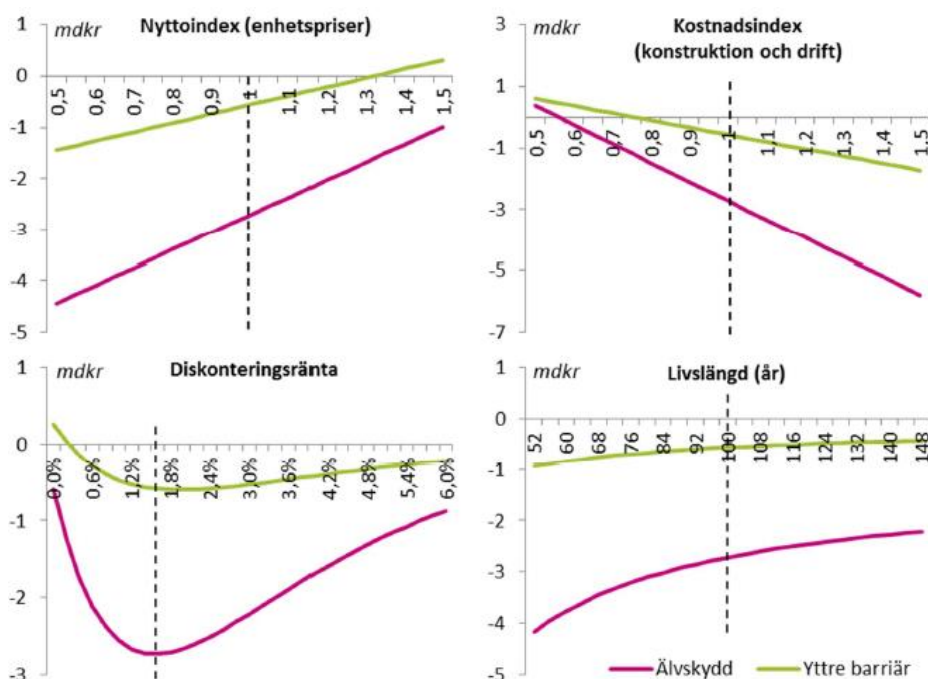
I den framtagna kalkylmodellen är det möjligt att utföra en s.k. lokal känslighetsanalys där en ingångsvariabel i taget varieras och där variationens effekt på slutresultatet registreras. Resultatet presenteras grafiskt, se Figur 4-5.



Figur 4-4 Redovisning av kostnads-nyttoanalysens resultat för åtgärdsalternativen Älvskydd och Yttre barriär (Ramböll, 2014)

Tabell 4-2 Redovisning av kostnads-nyttoanalysens resultat för åtgärdsalternativen Älvskydd och Yttre barriär (Ramböll, 2014)

	Älvskydd [miljoner kr]	Yttre barriär [miljoner kr]
Skadereduktion	3 452	1 755
- Skador på byggnader och inventarier	1 424	763
- Skador på vägar, spår- och järnvägar	623	406
- Förlorad produktion för industrier	88	38
- Kostnad för strömavbrott	135	74
- Ökad restid för bilar, spårvagnar och tåg	1 182	473
Konstruktionskostnader	-4 507	-1 183
- Totala konstruktionskostnaden	-6 338	-1 664
- Restvärde	1 831	481
Drift- och underhållskostnader	-1 661	-1 139
Netto nutidsvärde	-2 717	-567
Internränta	-0,15%	0,23%
Netto Nutidsvärdes Kvot, NNK	0,56	0,76



Figur 4-5 Resultatet av känslighetsanalysen som nettonuvärde (miljarder kr). Streckad linje indikerar de antaganden som använts vid beräkningen av nettonuvärdet. Variablerna (enhetspriser, konstruktionskostnader, diskonteringsränta och livslängd) varieras var för sig medan de andra parametrarna hålls konstant. Resultatet presenteras som ändring i nettonuvärdet.

I hydromodellens KNA utförs ingen fördelningsanalys. En rekommendation till prioritering av åtgärd görs baserat på beräkningen av nettonuvärden. Ett resonemang förs också kring hur nettonuvärden och rangordning av alternativ kan påverkas med hänsyn till ekonomiska effekter som inte kunnat kvantifieras och den känslighetsanalys som genomförts.

Slutsatsen i kostnads-nyttoanalysen av åtgärdsalternativen Yttre barriär och Älvskydd är att den yttre barriären är att föredra. Detta är i enlighet med utredningen av Sweco Environment AB (2014). De två utredningarna är emellertid baserade på olika modelleringsunderlag och uppgifter om åtgärdernas funktion och uppvisar därför stora skillnader i beräkningarna av nettonuvärdenas absolutbelopp.

5 Utvärdering av hydromodellens metod för KNA

Utifrån den i Kapitel 3.2 beskrivna stegvisa proceduren har hydromodellens metod för kostnads-nyttoanalys av översvämningsåtgärder (Ramböll, 2014) utvärderats. Utvärderingen har gjorts utifrån den tillämpning av modellen på två åtgärdsalternativ som redovisas av Ramböll (2014).

I de fall det bedöms att den föreslagna KNA-metoden helt eller delvis inte genomför stegen, ges förslag till förbättringar av modellen. Utvärderingen är begränsad till genomförandet av själva kostnads-nyttoanalysen och Rambölls modell har inte utvärderats med avseende på hydrologiska beräkningar eller hantering av GIS-information.

1. Formulering av problem och syfte

Bedömning: Bakgrunden till projektet, problemställning och syftet med kostnads-nyttoanalysen beskrivs mycket kortfattat. Det saknas dock en övergripande beskrivning av varför samhällsekonomiska utvärderingar är värdefulla och hur de bör användas. Det saknas också motivering av varför just dessa åtgärdsalternativ studerats.

Förslag till förbättring: Förklara tydligare det större sammanhanget för projektet, varför samhällsekonomiska är viktiga och motivera de åtgärdsalternativ som studerats.

2. Val av referensalternativ

Bedömning: Ramböll använder 0-alternativet som referensalternativ. Det framgår tydligt vad som är referensalternativ.

3. Definition av projektet i tid och rum

Bedömning: Ramböll har tydligt beskrivit vilka områden analysen omfattar. Tidshorisonten anges fram till år 2100 utan motivering.

Förslag till förbättring: Motivera valet av tidshorisont.

4. Val av diskonteringsränta

Bedömning: Räntesatsen 1,4 %, i enlighet med Stern-rapportens (Stern, 2006) rekommendationer har valts. Man motiverar valet med att låga räntesatser används för långa tidshorisonter i bl. a Storbritannien.

Förslag till förbättring: Valet av diskonteringsränta motiveras tydligare med hänvisning till att låga diskonteringsräntor kan vara försvarbara för att motverka orättvisa mellan generationer. Valet av diskonteringsräntor är ofta omdiskuterat och kan påtagligt påverka kostnads-nyttoanalysens resultat.

5. Beräkning av riskkostnad

Bedömning: Kartläggning av skadeobjekt för olika vattennivåer med olika återkomsttid (översvämningsscenarier) görs med applikationen FME (Feature

Manipulation Engine). Antalet skadeobjekt av olika kategorier (småhus, flerfamiljshus, vägar, etc) kopplas till enhetskostnader för dessa kategorier, varvid en samhällsekonomisk riskkostnad (förväntad skadekostnad) beräknas. Enhetskostnader för skador baseras i huvudsak på försäkringsstatistik från Folksam. Det framgår inte hur självrisk hanterats vid framtagande av enhetskostnader. Detta kan innebära stor påverkan på enhetskostnaden. Hänsyn tas i modellen till förändrad återkomsttid (sannolikhet) över tid. Beräkningen av samhällsekonomisk risk är väl genomförd, men inte tydligt beskriven i detalj.

Förslag till förbättring: Beräkningen av samhällsekonomisk risk bör beskrivas mera utförligt. Om inte kostnader för självrisk tagits med i beräkningarna av enhetskostnader behöver dessa inkluderas. Utifrån känd kunskap från bl a SMHI ökar inte havsnivåerna linjärt mellan 2014 och 2100 utan enligt en mera exponentiell funktion, vilket behöver tas hänsyn till i kalkylmodellen.

6. Dimensionering av åtgärdsalternativ

Bedömning: Åtgärdsalternativen har beskrivits tydligt. Dimensioneringen är dock mycket översiktlig i de exempel (Yttre barriär och Älvskydd med vallar) som studerats med modellen. Användaren kan inte inkludera flera olika åtgärdsalternativ i samma beräkningsmodell. I den nuvarande hydromodellen skapas ett specifikt kalkylark (Excel) för varje åtgärdsalternativ och kalkylarken innehåller ingen specificering av dimensioneringsparametrar eller kostnadsposter. Dimensionering och kostnadsberäkning måste därför göras utanför den framtagna Excel-modellen.

Förslag till förbättring: För att verktyget ska bli praktiskt användbart behöver flera åtgärdsalternativ kunna inkluderas i samma modell (kalkylark) och relevanta poster inkluderas. Om inte olika kostnadsposter finns med kan ingen känslighetsanalys med avseende på dessa poster genomföras i kostnads-nyttoanalysen, se nedan.

7. Beräkning av nyttor

Bedömning: Nyttoberäkningen i form minskad samhällsekonomisk risk genomförs på ett relevant sätt och det beskrivs hur beräkningarna går till. Nyttor som inte kvantifierats och inkluderats i beräkningarna beskrivs översiktligt. Det är mycket bra att det beskrivs att externa effekter och andra nyttor som inte kunnat kvantifieras kan ha en stor inverkan på vilket åtgärdsalternativ som väljs. Inget resonemang finns dock kring hur betydande de ej kvantifierade nyttorna skulle kunna vara.

Förslag till förbättring: Tydligare beskrivning av olika typer av icke kvantifierade externa effekter och andra nyttor. Modellen kan utvecklas för beräkning av hur stora nyttor som inte kvantifierats skulle behöva vara för att uppnå positivt NPV eller ändrad rangordning.

8. Beräkning av kostnader

Bedömning: Kostnader för utförande och drift- och underhåll är mycket översiktligt uppskattade genom extrapolation av uppgifter från tidigare utredningar. Det finns ingen möjlighet att genomföra en kostnadsberäkning i beräkningsarket för kostnads-nyttoanalysen, utan måste utföras separat. Kostnader som inte kunnat värderas monetärt redovisas inte. Ett kort resonemang förs om eventuella möjliga störningar på trafiken under åtgärders utförande.

Förslag till förbättring: Komplettering av modellen med uppställning av kostnadsposter för utförande och drift- och underhåll av åtgärder. Tydligare beskrivning av olika typer av icke kvantifierade externa effekter och andra kostnader, exempelvis under åtgärdernas utförande. Modellen kan utvecklas för beräkning av hur stora kostnader som inte kvantifierats skulle behöva vara för att uppnå negativt NPV eller ändrad rangordning. Hänsyn bör kunna tas till åtgärders tillförlitlighet, dvs. sannolikheten att de inte fungerar när de behöver fungera.

9. Beräkning av nettonuvärde

Bedömning: Beräkningen av nettonuvärde (NPV) är korrekt genomförd.

10. Rangordning av alternativ

Bedömning: Rangordningen är utförd efter beräkning av NPV. Det är bra att rekommendationen inte enbart fokuserar på (positiv) samhällsekonomisk lönsamhet i absoluta tal, utan ger skillnaderna i NPV stor vikt i prioriteringen. Resonemang om effekter som inte kunnat kvantifieras saknas nästan helt.

Förslag till förbättring: Vid rangordningen bör en diskussion föras kring hur effekter som inte kunnat kvantifieras skulle kunna påverka åtgärdsalternativens rangordning.

11. Fördelningsanalys

Bedömning: Ingen fördelningsanalys har genomförts.

Förslag till förbättring: En översiktlig analys görs hur kostnader och nyttor är fördelade på olika aktörer.

12. Osäkerhets- och känslighetsanalys

Bedömning: Modellen inkluderar en s.k. lokal känslighetsanalys där påverkan på slutresultatet (NPV) från variation av en ingångsparameter i taget studeras. I modellen görs en sådan känslighetsanalys för fyra ingångsparamaterar:

- Enhetspriser för skadeobjekt
- Konstruktions- samt drift- och underhållskostnader
- Diskonteringsränta
- Åtgärdsförslagens livslängd

Inget resonemang förs kring icke-kvantifierade effekters betydelse. Ingen tydlig vägledning ges kring vilka poster som skulle behöva undersökas mera för att ge en tillförlitligare KNA.

Förslag till förbättring: Modellen anpassas så att en s.k. global osäkerhets- och känslighetsanalys möjliggörs. Då kan all ingångsdata, exempelvis enhetspriser för skadekostnader, åtgärds kostnader, mm anges som intervall istället för punktvärden. Dessutom kan alla ingångsvariablers bidrag till resultatens osäkerhet analyseras och redovisas. Därmed möjliggörs också att användaren kan se kostnads-nyttoanalysens totala osäkerhet som en funktion av alla ingångsvariablers osäkerhet. Användaren kan identifiera vilka ingångsdata som bidrar med störst osäkerhet och som därmed är viktigast att samla in mera information om ifall resultaten bedöms som alltför osäkra.

13. Slutsatser och prioritering.

Bedömning hydromodellen: Resonemang förs kring olika för- och nackdelar med de studerade åtgärdsalternativen och vad som skulle kunna göras för att förbättra åtgärdernas effekt (särskilt Yttre barriär). Effekter som inte kunnat monetariserats kommenteras kortfattat.

Förslag till förbättring: En utförligare och tydligare motiverad sammantagen bedömning av åtgärdernas samhällsekonomiska lönsamhet och prioritering mellan åtgärderna bör vara resultatet av en kostnads-nyttoanalys.

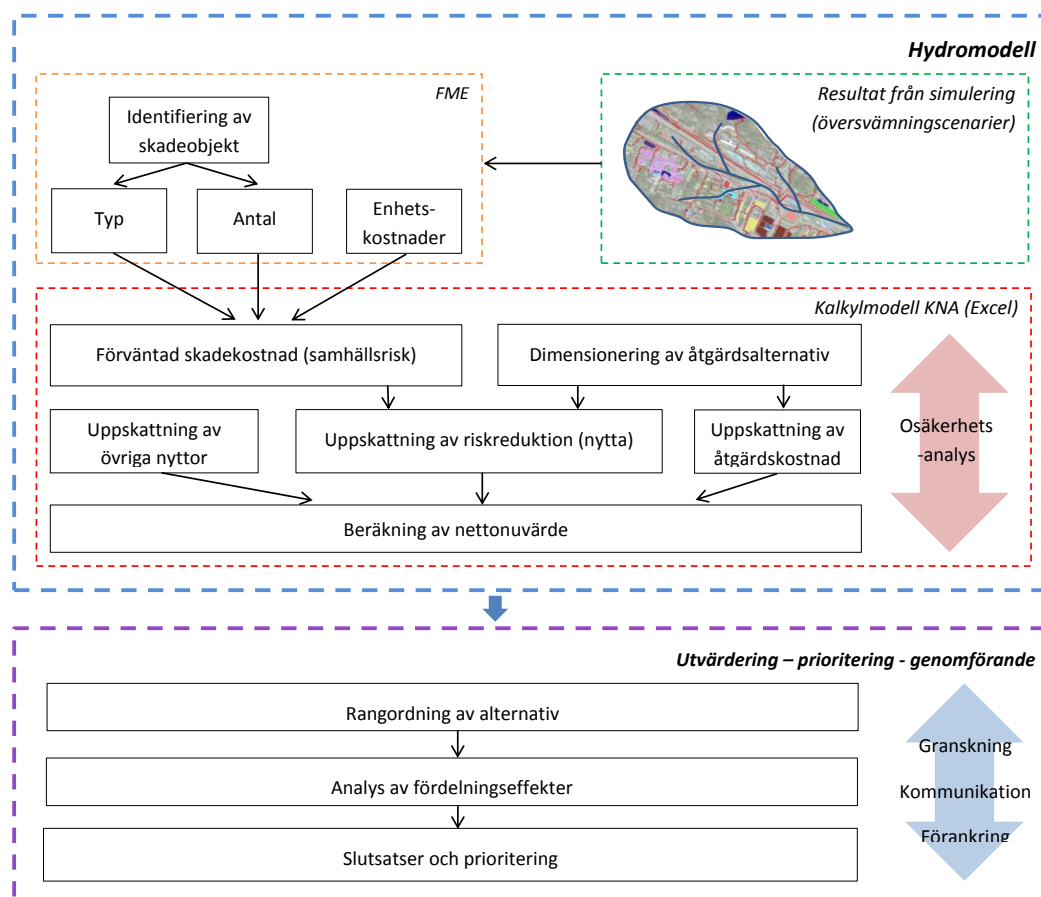
6 Förslag till modifierad modell för KNA

6.1 KNA-modellens olika delar

Utifrån utvärderingen av hydromodellens metod för KNA och de förslag till förbättring som beskrivits vid utvärderingen, presenteras här ett förslag till modifiering av modellen för KNA. Dessa modifieringar bedöms vara nödvändiga för att KNA-modellen ska kunna tillämpas praktiskt i stadens fortlöpande arbete för att värdera ekonomiska effekter av översvämningsåtgärder, på såväl lokal skala (som ett stöd i planarbetet) som på en mera övergripande nivå (storskaligt skydd för Göteborg).

6.1.1 Övergripande struktur

I Figur 6-1 beskrivs ett förslag på struktur för kostnad-nyttoanalys inom ramen för Göteborg Stads hydromodell och i enlighet med den stegvisa procedur som bör gälla för genomförande av kostnads-nyttoanalyser, se Kapitel 3 och 5.



Figur 6-1 Struktur för kostnads-nyttoanalys inom ramen för Göteborg Stads hydromodell.

För att modellen ska kunna fungera praktiskt och fortlöpande i stadens arbete med kostnads-nyttoanalyser, i olika typer av områden och i olika skalor, behöver den framtagna modellen kompletteras avseende kalkylverktyget samt utvärderingen av kostnads-nyttoanalysens resultat.

Nedanstående huvudsakliga kompletteringar av kalkylverktyget föreslås. Kompletteringarna följer den struktur till KNA som föreslås i Figur 6-1.

6.1.2 Överföring av data från FME till kalkylmodell

Med FME kan antalet skadeobjekt i olika kategorier kartläggas för olika återkomsttider för stigande nivåer i hav och vattendrag samt för skyfall. I FME applikationen finns också enhetspriser för identifierade skadeobjekt. Hur importen av dessa data från FME till kalkylmodellen görs beskrivs inte i detalj i Ramböll (2014). För att KNA-beräkningarna ska kunna göras på ett effektivt sätt behöver överföringen av data från FME till kalkylarket automatiseras så långt som möjligt. Detta betyder att utdata från FME behöver anpassas till det format och den struktur som bäst passar för beräkningarna i kalkylarket. Målsättningen bör alltså vara att importen av data från FME till kalkylarket ska kunna göras helt utan bearbetning. Därmed kan också beräkningarna av riskkostnad ske direkt efter att data överförts till kalkylmodellen.

6.1.3 Analys av flera åtgärdsalternativ

Flera åtgärdsalternativ (3-5) behöver kunna inkluderas i samma modell (kalkylark). För närvarande måste ett kalkylark upprättas för varje åtgärdsalternativ, vilket försvårar såväl redovisning som utvärdering och tolkning av resultat. Det begränsar också möjligheterna att enkelt se hur modifieringar av analysen, exempelvis val av tidshorisont, räntesats mm påverkar alternativens rangordning.

6.1.4 Uppskattning av riskkostnad (förväntad skadekostnad)

Den framtagna modellen baseras på en linjär interpolation av kostnadsdata mellan start- och slutåret. Utifrån känd kunskap från bl a SMHI ökar inte havsnivåerna linjärt mellan 2014 och 2100 utan enligt en mera exponentiell funktion, vilket behöver tas hänsyn till i kalkylmodellen.

En översyn bör göras avseende olika typer av skadeobjekt/typer och enhetspriser. Exempel på skadekostnader som inte finns med i modellen men som kan vara betydande och för vilka det finns uppgifter tillgängliga är:

- Skador på fordon (kr/fordon)
- Nöd pumpning (kr/händelse)
- Avloppsvatten i källare (kr/källare)

Dessutom bör de enhetspriser som används för stillestånd kunna diversifieras för att gälla olika kategorier av transporter.

6.1.5 Dimensionering och uppskattning av åtgärds kostnad

Kostnadsberäkning måste göras utanför det framtagna kalkylarket. Det vore fördelaktigt om en mera detaljerad uppställning av kostnadsposter kunde inkluderas i kalkylmodellen. Om inte olika kostnadsposter finns med kan ingen känslighetsanalys med avseende på dessa poster genomföras i kostnads-nyttoanalysen, se nedan.

Åtminstone följande kostnadsposter bör ingå:

- Materialkostnader
- Anläggningskostnader
- Drift- och underhållskostnader
- Kostnader för återinvestering
- Kostnader för tillträde till mark

Vid beräkningen av kostnader bör också hänsyn tas till den förväntade tillförlitligheten i åtgärderna. Om en åtgärd inte fungerar som avsett kan skyddsverkan helt utebli. Exempelvis finns uppenbara risker att tillfälliga skydd inte hinner sättas ut eller inte fungerar som avsett. Vad gäller permanenta skydd bör hänsyn tas till att rörliga delar, pumpar, etc åldras och löper risk att ha nedsatt eller ingen funktion när de ska fungera.

6.1.6 Uppskattning av riskreduktion samt övriga nyttor

Beräkningen av nyttor (riskreduktion) bör kompletteras med möjlighet att ange poster för ytterligare nyttor. Exempelvis kan en åtgärd medföra att områden kan detaljplanläggas för bebyggelse, vilket innebär att översvämningsskyddet i sig är en förutsättning för denna nya markanvändning. Då bör också markvärdesförändringen ingå i kalkylen. Om detta inte görs i modellen bör denna typ av effekter hanteras på något annat sätt, utanför kalkylmodellen, se Kapitel 8 nedan.

6.1.7 Beräkning av nettonuvärde

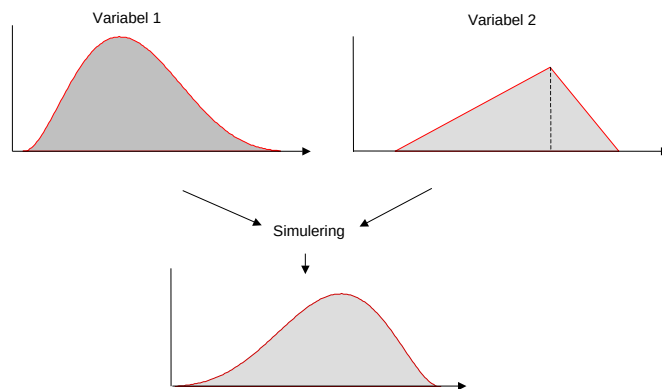
Beräkningen av nettonuvärde genomförs på samma vis som i den framtagna kalkylmodellen. Dock behöver analysens tidshorisont kunna väljas i modellen. Idag anpassas inte beräkningarna till ett val av tidshorisont utan uppställningen för beräkningar måste göras om ifall en annan än den förvalda tidshorisonten väljs (år 2014-2100).

6.1.8 Osäkerhetsanalys

Kostnads-nyttoanalysen är förknippad med osäkerheter. Såväl skattningarna av nyttorna som kostnaderna måste göras utan fullständig kunskap om de verkliga utfallen. I Rambölls modell görs en s.k. lokal osäkerhetsanalys, se Kapitel 4. Det rekommenderas emellertid att modellen modifieras för att möjliggöra en s.k. global osäkerhetsanalys.

Vid en global osäkerhetsanalys representeras osäkerheterna för varje variabel (kostnads- eller nyttopost) i beräkningen med hjälp av statistiska fördelningar. Genom statistisk

simulering (Monte Carlo) kan en osäkerhetsfördelning också för den sökta storheten, exempelvis nettonuvärdet (NPV), skattas (se principiell beskrivning i Figur 6-2).



Figur 6-2. Principiell beskrivning av statistisk simulering.

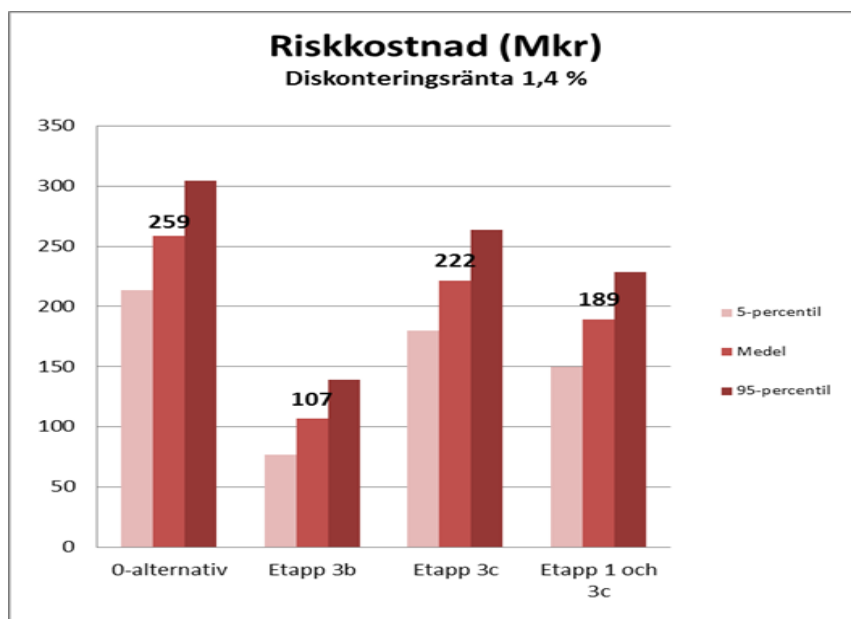
Statistisk simulering kan utföras i Excel genom olika tillägg (s.k add-inns) till programmet. Det finns flera kostnadsfria add-inns för Monte Carlo-simulering i Excel och det finns också kommersiella varianter, exempelvis Crystal Ball[®] eller @Risk. Fördelen med de kommersiella produkterna är att de ger större möjligheter till mera avancerade utvärderingar av resultaten och för redovisning av resultaten i grafisk form.

Den här typen av osäkerhetsanalys innebär att osäkerheterna i enhetspriser, liksom i uppskattningarna av åtgärdskostnader behöver kvantifieras. För försäkringsdata och andra skadekostnadsdata beskriver Sweco Environment AB (2014) hur osäkerheter i förväntad kostnad (enhetspris) kan beräknas utifrån tillgängligt dataunderlag.

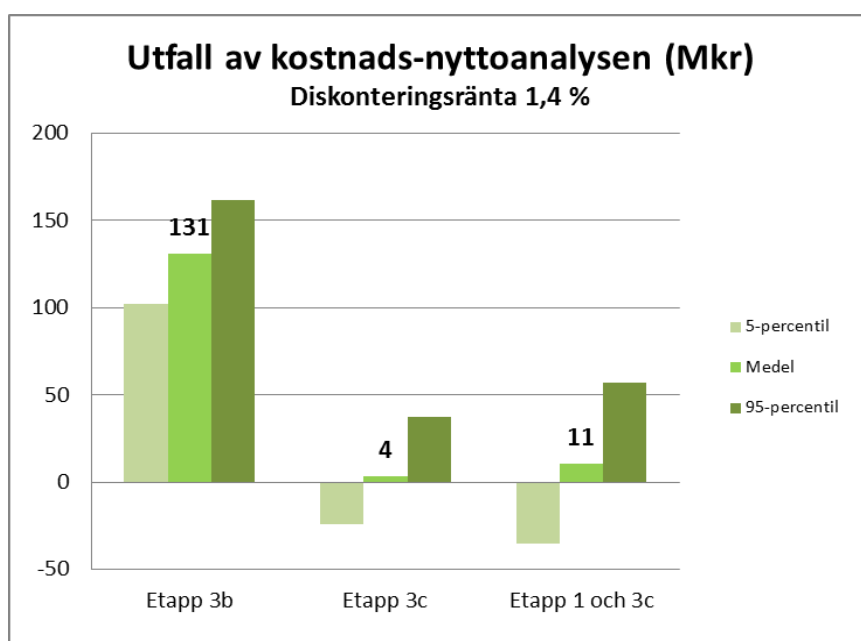
Ur fördelningen för slutresultatet, exempelvis riskkostnad eller nettonuvärdet, kan bl.a. väntevärdet¹ (representerat av fördelningens medelvärde), det mest troliga värdet, medianvärdet (50-percentilen), det lägsta rimliga värdet (exempelvis 5-percentilen) och det högsta rimliga värdet (exempelvis 95-percentilen) utläsas. Intervallet mellan två percentiler kallas prediktionsintervall, exempelvis det 90-procentiga prediktionsintervallet mellan 5- och 95-percentilen.

Ett exempel på redovisning av osäkerheter i kostnads-nyttoanalyser ges i Figur 6-3 och Figur 6-4.

¹ Kostnads-nyttoanalys är en form av "expected utility analysis" där väntevärden, vilka kan representeras av statistiska beräkningars medelvärden av möjliga utfallsrum, normalt används.

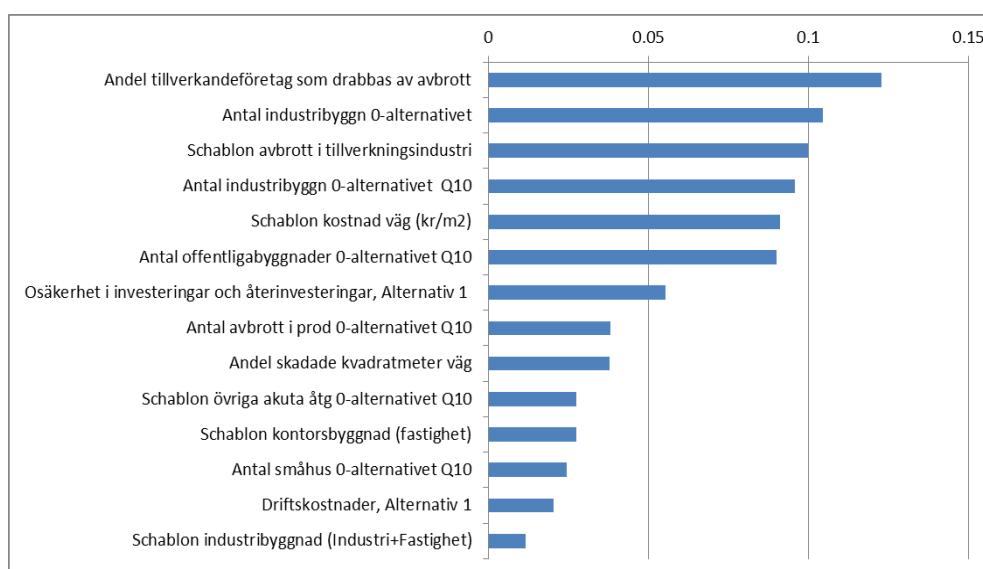


Figur 6-3 Exempel på osäkerheter i beräkning av riskkostnad. Det 90-procentiga prediktionsintervallet är intervallet mellan 5- och 95-percentilen.



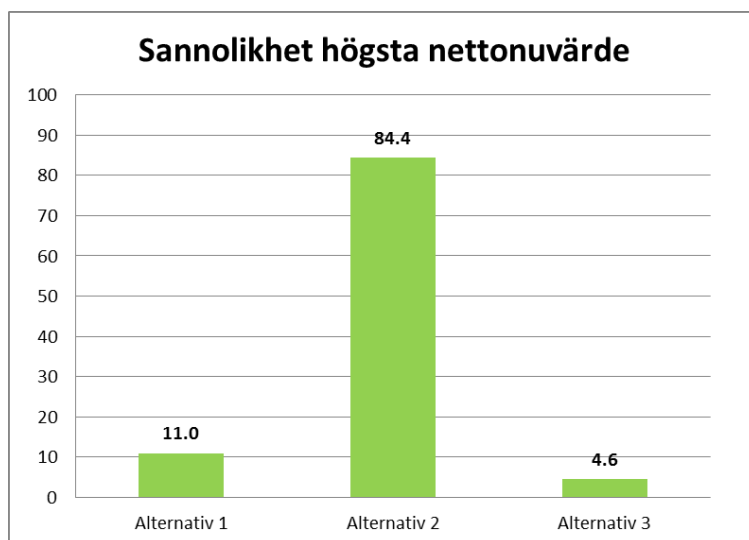
Figur 6-4 Exempel på osäkerheter i beräkning av nettonuvärde. Det 90-procentiga prediktionsintervallet är intervallet mellan 5- och 95-percentilen.

Utifrån simuleringarna kan de variabler som har störst betydelse för osäkerheten i beräkningarnas utfall identifieras. Detta ger mycket betydelsefull information om vilka variabler som bör vara mest angelägna att studera vidare i syfte att exempelvis få en säkrare kostnadsuppskattning av åtgärds kostnader eller en mera tillförlitlig beräkning av den samhällsekonomiska lönsamheten för de studerade alternativen. Ett exempel på en sådan känslighetsanalys ges i Figur 6-5.



Figur 6-5 Exempel på känslighetsanalys i beräkning av nettonuvärde av översvämningsåtgärd. I detta exempel är andelen tillverkande företag den post som bidrar med störst osäkerhet till beräkningen av nettonuvärdet (NPV).

Den globala osäkerhetsanalysen kan också ge stöd i rangordningen av alternativ. Ett sätt är att se hur sannolikt det är att respektive alternativ har det högsta nuvärdet, se exempel i Figur 6-6.



Figur 6-6 Exempel på beräkning av sannolikhet för högsta nettonuvärde hos olika åtgärdsalternativ. Diagrammet visar att Alternativ 2 uppvisar högst sannolikhet (84,4 %) att vara det mest lönsamma alternativet.

6.1.9 Fördelningsanalys och rangordning

Kalkylmodellen behöver modifieras för att underlätta analys av fördelningseffekter och rangordning av alternativ. Rangordningen görs enklare genom att flera modeller kan analyseras parallellt i samma kalkylmodell. Fördelningsanalysen underlättas lämpligen genom att typen av aktör (exempelvis Göteborgs Stad, staten, företag, kommunala bolag, enskild person, mm) anges i FME vid identifieringen av skadeobjekt inom ett specifikt studieområde. Möjligheterna att genomföra detta behöver undersökas närmare.

6.2 Användning i olika skalor och för olika tillämpningar

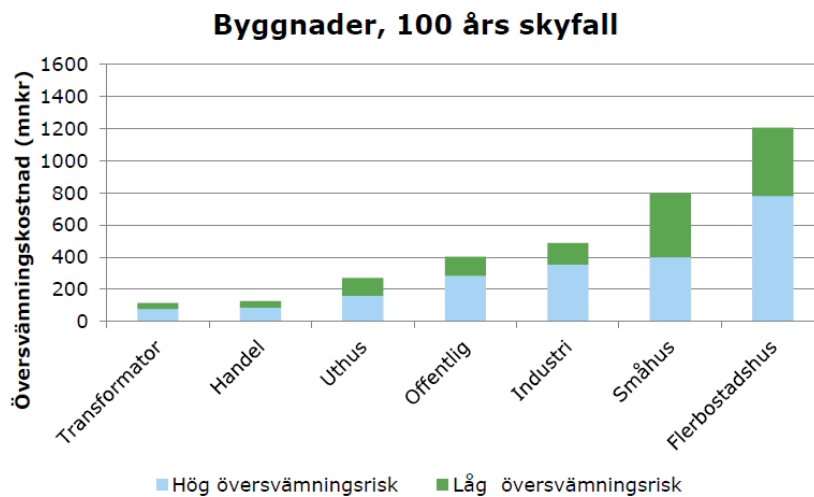
Kostnads-nyttoanalys med den framtagna modellen har tillämpats på en mycket övergripande skala för att studera effekter av storskaliga skydd mot höjda nivåer i havet (barriär vid älvmyrning och efter delning mellan Göta och Nordre älv samt skyddsvallar längs Göta älv). Det finns dock inga principiella hinder att tillämpa KNA-modellen i en mera lokal skala, exempelvis i samband med detaljplanearbete.

Modellen kan också tillämpas på skyfallshändelser. Ramböll (2015) har beskrivit hur riskkartläggning av skyfallshändelser kan göras med hydromodellen. Liksom för översvämningar till följd av nivåhöjningar i havet och vattendrag har en FME-applikation utvecklats för att ge motsvarande data (antal skadeobjekt och enhetspriser) för skyfallshändelser med olika återkomsttid. I ett kalkylark beräknas sedan total skadekostnad för olika typer av objekt och för olika återkomsttid. I Ramböll (2015) redovisas analyser av skyfall med 100- respektive 500 års återkomsttid. I exemplet har hela centrala Göteborgs avrinningsområde analyserats, se Figur 6-7.



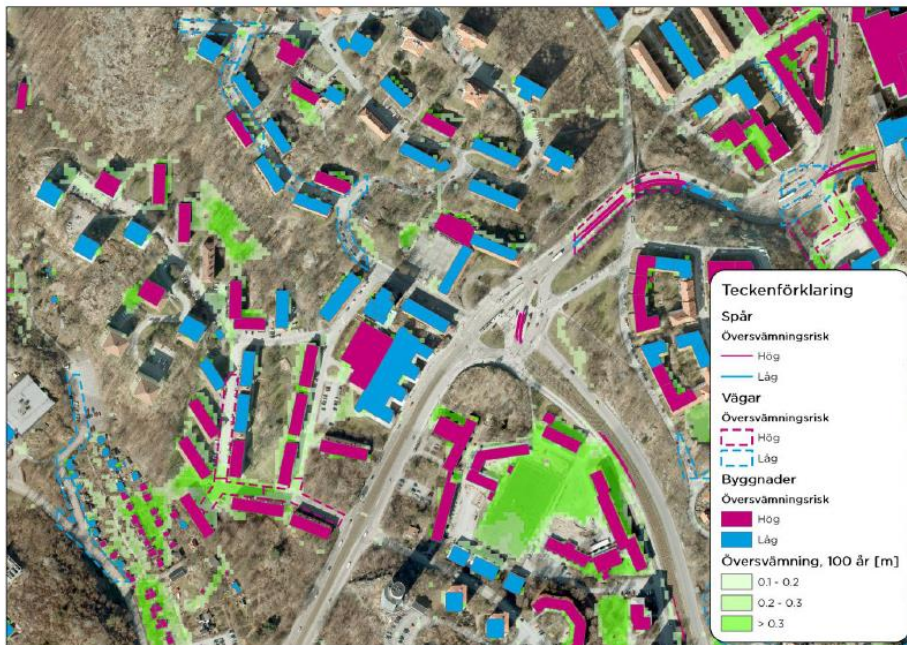
Figur 6-7 Avrinningsområde för utförd skyfallssimulering.

Någon kostnads-nyttoanalys av åtgärder mot skyfallsgenererade översvämningar har inte gjorts med hydromodellen men skadekostnader för olika typer av objekt och för olika återkomsttider redovisas, se exempel i Figur 6-8.



Figur 6-8 Exempel på redovisning av beräknade skadekostnader till följd av skyfall (Ramböll, 2015). Hög respektive låg översvämningsrisk beror på objektens position i förhållande till den vattenyta som modellerats för översvämningshändelsen.

Genom FME-applikationen produceras GIS-skikt där översvämningars utbredning, skadeobjekt och översvämningsrisk (hög, låg) kan redovisas, se Figur 6-9.



Figur 6-9 Exempel på riskkartläggning (Ramböll, 2015).

Som ovan nämnts finns inga principiella hinder att använda den framtagna modellen för kostnads-nyttoanalys på en mera lokal skala. Modellen värderar effekter på enskilda objekt och aggregerar dessa till en total riskkostnad. En minskad riskkostnad till följd av en åtgärd vägs mot kostnaden att utföra och underhålla denna åtgärd. Detta innebär i sak ingen skillnad mellan olika skalor. Bedömningen är därmed att modellen för KNA i princip kan användas på såväl övergripande som lokal (kvarters-) skala.

I en mera fullödig osäkerhetsanalys (se avsnitt 6.1.8 ovan) bör dock hänsyn tas till att osäkerheten i förväntad skadekostnad (riskkostnad) i områden med färre antal skadeobjekt blir mera osäker än i områden med ett större antal objekt, allt annat lika. Observera att detta inte gäller osäkerheten i absoluta termer (tal) men i termer av relationen mellan förväntat värde och skattningens typiska osäkerhet/fel. Skillnader i osäkerhet mellan olika skalor kan illustreras med hjälp av variationskoefficienten, dvs relationen mellan typiskt fel (standardavvikels) och förväntat värde (medelvärde). En sådan beräkning kan göras med den globala osäkerhetsanalysen (Monte Carlo) utifrån osäkerhetsberäkningar av enhetspriser (schablonskadekostnader), se Sweco Environment AB (2011, 2014, 2015).

Det är också troligt att metodiken för de hydrologiska/hydrauliska simuleringarna behöver modifieras för att vara tillämpliga på en mera lokal skala. Hydromodellen kan idag i detalj modellera översvämningarnas utbredning, se exempelvis Figur 6-9. Viktigt är dock att modellen också kan simulera effekterna av åtgärder med tillräcklig grad av tillförlitlighet.

För att kostnads-nyttoanalysen ska ge relevanta svar måste effekterna av åtgärder i form av minskade antal skadeobjekt kunna simuleras. Hur detta i detaljs bör gå till ligger utanför denna utredning, men följande bör noga beaktas. Modellen måste kunna simulera effekterna av en åtgärd inom hela det avrinningsområde där det aktuella åtgärdsområdet ligger. Om åtgärden syftar till att skydda ett litet delområde, exempelvis ett kvarter, och åtgärden innebär ett fast fysiskt skydd, exempelvis vall eller att marken i kvarteret höjs, blir effekten ofta väldigt lokal. Dock kan införande av exempelvis vallkonstruktioner medföra effekter såväl uppströms som nedströms dessa skyddsåtgärder. Om de studerade åtgärderna är på avrinningsområdesskala, exempelvis i form av åtgärder för att reglera vattendrag, blir effekterna också mera omfattande och det kan finnas behov av att kunna simulera effekter också utanför det aktuella avrinningsområdet.

Sammanfattningsvis är bedömningen att det inte finns några principiella begränsningar att använda den framtagna modellen för skadekostnadsberäkningar och kostnads-nyttoanalys på olika skalor. Man bör dock vara medveten om att osäkerheterna i förväntad skadekostnad ökar med minskat antal skadeobjekt, allt annat lika. Det kan också finnas behov av modifieringar för att på ett korrekt vis kunna simulera effekter av åtgärder i olika skalor. Detta behöver utredas vidare.

7 Hållbara lösningar för åtgärder mot översvämningar

I de tillämpningar av kostnads-nyttoanalys av översvämningsåtgärder som utförts inom Göteborgs Stad (Ramböll, 2014; Sweco Environment AB, 2014) har endast storskaliga lösningar studerats. I ett fortlöpande arbete med klimatanpassning är emellertid också mera lokala lösningar kopplade till detaljplaneprocessen mycket viktiga. Klimat-anpassningsarbetet, och därmed tillämpningen av olika metoder för beslutsstöd (såsom kostnads-nyttoanalyser), blir därmed i många fall inriktat mot dagvattenhantering. I detta avsnitt diskuteras därför olika åtgärdslösningar för dagvattenhantering som ett led i hanteringen av översvämningsrisker.

7.1 Hållbar dagvattenhantering

Hantering av dagvatten är komplicerat, ur flera aspekter. Dagvatten berör samhälls-planeringen och är inte enbart en teknisk fråga. Ansvarsfördelningen för dagvatten är komplicerad där alla olika aktörers handlande påverkar dagvattenavrinningen inom ett avrinningsområde. Ingen aktör har egen rådighet över hela dagvattenfrågan. Enligt gällande lagstiftning sträcker sig VA-huvudmannens ansvar vid nyexploateringar till att hantera dagvattenflöden från dimensionerande regn. Enligt nuvarande praxis innebär det att VA-huvudmannen ska kunna hantera det s.k. "10-års-regnet".

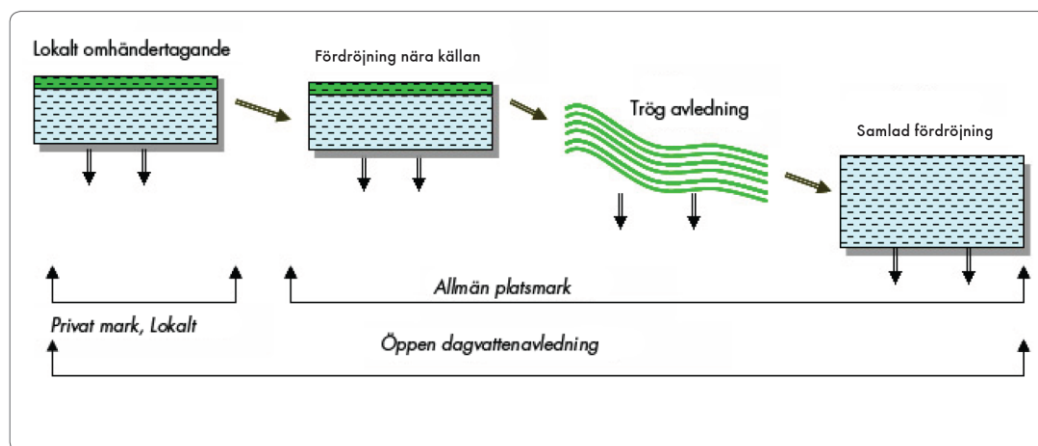
Det ligger dock i både samhällets och enskildas intresse att åstadkomma en dagvattenhantering som klarar även större nederbördsmängder och- intensiteter samt tillfälligt höjda nivåer in anslutande vattendrag. I takt med att problem med översvämningar i samband med kraftiga skyfall och tillfälligt höjda nivåer i vattendrag, sjöar och hav uppmärksammas alltmer har därför andra lösningar än "traditionella" "rörlösningar" utvecklats och utförts. "Gröna" och "hållbara" lösningar anses idag som nödvändiga för att kunna hantera situationer utanför VA-huvudmannens ansvar, se exempelvis Svenskt Vatten (2016).

Med hänsyn till det stora antalet översvämningshändelser som sker varje år i urbana områden, delvis på grund av otillräcklig dagvattenavrinning, är frågan varför inte hållbara/gröna dagvattenlösningar används i större utsträckning. Det finns flera skäl till detta och en viktig orsak är det juridiska ansvar VA-huvudmannen har, se ovan. Dessutom spelar faktorer som tradition och kunskap in, samt att det för att anlägga hållbara dagvatten-lösningar kan krävas genomgripande åtgärder med komplicerade planprocesser.

Under början av 2000-talet blev emellertid begreppet Hållbar dagvattenhantering mer allmänt tillämpat. Det innebär att förutsättningar skapas så att dagvattenhanteringen efterliknar naturens sätt att hantera nederbörd, från att den första regndroppen träffar marken tills den sista når recipienten. Dagvattnet hanteras så långt möjligt i öppna lösningar, se Figur 7-1. I Tabell 7-1 redovisas exempel på olika lösningar.

Utformningen av hållbar dagvattenhantering omfattar många olika typer av åtgärder. Den kännetecknas enligt Svenskt Vatten (2016) av en "trög" avrinning, infiltration så långt som

möjligt, stor flödeskapacitet för extremsituationer via öppna dagvattenlösningar samt en höjdsättning som skyddar bebyggelsen från översvämningar.



Figur 7-1 Principiell skiss av olika kategorier av öppna åtgärdslösningar för dagvatten (Helsingborgs kommun; Stahre, 2004)

Tabell 7-1 Exempel på olika åtgärder för olika kategorier av åtgärdslösningar (Helsingborgs kommun, 2015; Stahre, 2004)

Kategori	Lokalt omhändertagande	Fördrojning nära källan	Trög avledning	Samlad fördrojning
Exempel	Infiltration och fördrojning i gräs-, grus- och makadamfyllningar Vattenutkastare och infiltration på gräsytor Genomsläppliga beläggningar Gröna tak Dammar	Infiltration och fördrojning i gräs-, grus- och makadamfyllningar Infiltration på gräsytor Genomsläppliga beläggningar Översvämningssytor Diken, dammar, våtmarker	Svackdiken Kanaler Bäckar och diken Sekundära avrinningsvägar i grönstråk, på gång- och cykelvägar och på gator	Dammar Våtmarksområden Översvämningssytor i parker och i jordbrukslandskapet

Som påpekas av Svenskt Vatten (2016) är hållbara dagvattenlösningar viktiga ur flera aspekter. Hållbar dagvattenhantering minskar momentana flödestoppar, vilka är svåra att rena och kan skada känsliga recipienter med erosion eller ge ökad översvämningssrisk i nedströms liggande bebyggelse. Om dagvattenfrågan skulle lösas med större rördimensioner förvärras istället dessa problem. Dessutom medför ökad avledning i rör en försämring av den lokala vattenbalansen med risk för sänkta grundvattennivåer. I urbana miljöer kan detta innebära allvarliga problem med exempelvis försämrade stabilitet och ökad risk för marksättningar och skador på byggnader och andra konstruktioner.

7.2 Exempel på hållbara åtgärdslösningar

Hållbara åtgärder för dagvatten har utförts i vissa svenska kommuner under ett 30-tal år. Olika åtgärdslösningar (se Tabell 7-1) har utvecklats under denna period och flera publikationer beskriver hur hållbara åtgärdslösningar kan utformas. Exempel är Stahre (2004), Svenskt Vatten (2016), Vinnova (2014), Sweco Environment AB (2015), Örebro kommun (2005), Malmö Stad (2008), Lerums kommun (2015), Helsingborgs Stad (2015). För Göteborg diskuteras hållbara lösningar övergripande i Göteborgs Stads handbok för kommunal planering och förvaltning (Göteborgs Stad, 2010).

Nedan presenteras en översikt av utformning, förmåga att fördröja avrinning och reningseffekt på dagvatten för olika typer av åtgärder. Åtgärderna indelas i följande kategorier:

- Dränerande beläggningar
- Tak
- Ytlig avledning
- Öppen dagvattenhantering
- Dagvattenhantering under mark

Beskrivningen är baserad på den handbok för dagvattenhantering som utarbetats av Sweco Environment AB för Lerums kommun (2015). En mera omfattande och detaljerad genomgång av åtgärdslösningar, baserad på en genomgång av svensk och internationell litteratur, presenteras i Vinnova (2014).

7.2.1 Dränerande beläggningar

När ytor ska hårdgöras kan dränerande beläggningar användas, exempelvis hålsten av betong, pelleplattor, betongraster med gräs eller grus, permeabel asfalt och gräsarmering. Underliggande makadammagasin med dräneringsrör ökar kapaciteten och förhindrar spridning av föroreningar i mark. Markunderlag som är utformat med hålrum, t.ex. hålsten och pelleplattor, kan fyllas med grus eller växtlighet. Dränerande beläggningar kan vara lämpliga att anlägga på parkeringsplatser, vändplatser, vägar och GC-banor. De har en lägre avrinningskoefficient än t.ex. vanlig asfalt då mer vatten infiltreras. Om höjdsättningen anpassas kan infiltrations- och fördröjningskapaciteten öka ytterligare.

Dränerande beläggningar har en låg till hög reningspotential beroende på hur stor andel av vattnet som infiltreras och hur stor del som avrinner ytligt. Det ytligt avrinnande vattnet renas inte medan det infiltrerade vattnet renas då det filtreras ner i underliggande marklager.

Dränerande beläggningar kan bidra till en positiv gestaltning men det beror till stor del på materialvalet. Det är mycket viktigt att anpassa drift och underhåll för anläggningarnas livslängd. Rasterytor med grus kan behöva fyllas på och rasterytor med gräs kan behöva

gödslas och klippas. Dränerande beläggningar kan behöva grävas om ifall de tappas sin dränerande förmåga. Generellt är den här typen av lösningar bra mot halka på vintern.

I Figur 7-2 visas exempel på dränerande beläggningar.



Figur 7-2 Exempel på dränerande beläggningar (foto: Marie Larsson, Sweco)

7.2.2 Tak

En stor del av den hårdgjorda ytan i tätorter idag består av tak. De utgör därför en god möjlighet att påverka dagvattenflödena. Det finns tak som utförs platta med en ovanliggande makadamfyllning, så kallade bruna tak. Bruna tak utformas för att fördröja dagvattenflödena från taket. Det finns även så kallade gröna tak, vars utformning kan variera från tunna sedummattor till metertjocka jordlager med träd och buskar.

Gröna och bruna tak kan anläggas på alla typer av byggnader förutsatt att de anpassas för att klara vikten. Taken får inte ha en för kraftig lutning. Bruna tak fördröjer en volym motsvarande den hålrumsvolym som finns tillgänglig. För tak med makadamfyllning utgör de tillgängliga hålrummen ca 1/3 av den totala volymen.

Gröna tak kan ta emot och fördröja mindre regn. De minskar ytavrinningen genom att vegetationen tar upp, magasineras och avdunstar nederbörden. Ett 50 mm djupt tak uppbyggt av sedumvegetation kan minska årsavrinningen med ca 50 %. När det gröna taket är mättat ger det inte längre någon fördröjning. Både bruna och gröna tak har en låg reningspotential. Växtligheten på gröna tak kan avge ett visst näringsläckage (P och N). I sammanhanget ska nämnas att vattnet som faller på taket är relativt rent.

Framförallt gröna tak anses bidra mycket positivt till gestaltningen. Vidare bidrar gröna tak med ekosystemtjänster. Exempel på drift och underhåll som kan behövas vid anläggande av gröna tak är gödsling, krattning, borttagande av grenar som påverkar taket, lagning av kala fläckar och kontroll av takbrunnar och hängrännor. Driften av gröna tak ligger generellt sätt på fastighetsägaren.

Takdagvattnet från befintliga tak kan kopplas bort från dagvattenssystemet om det finns möjlighet att på tomtmark avleda vattnet till grösytor eller andra infiltrationsvänliga ytor.

För tak på nya byggnader kan man redan i planeringsstadiet skapa förutsättningar för att hantera takdagvattnet lokalt.

Genom att takdagvatten infiltrerar i marken eller samlas upp i lågstråk kan dagvattnet fördröjas. Reningspotentialen är hög om vattnet får infiltrera. Reningspotentialen är hög och takdagvattnet infiltrerar i mark.

Exempel på utformning av gröna tak ges i Figur 7-3.



Figur 7-3 Exempel på grönt tak och infiltration av takdagvatten (foto: Sweco och Växjö kommun)

7.2.3 Ytlig avledning

Dagvatten kan avledas ytligt i öppna rännor, kanaler diken eller bäckar. Generellt sätt har öppen avledning högre kapacitet än nedgrävda ledningar. De kan utformas i syfte att föra bort dagvatten från hårdgjorda ytor till ytor där vattnet kan fördröjas och renas. De kan även utformas med ströpta utlopp, flacka slänter och i infiltrerande material vilket bidrar till fördröjning och rening i anläggningen. Exempel på ytlig avledning är stenplattor med infälld fördjupning. De kan utformas genom att den del av gatans körbana som är närmast trottoarens kantsten får en lutning så att vatten kan avledas. Det kan även vara stora kanaler eller mer naturligt utformade diken.

Ytlig avledning kan utformas på väldigt varierande vis och har därför ett brett användningsområde. I befintliga områden kan man strypa intaget i dagvattenbrunnar för att minska belastningen på nedströms ledningssystem. Man kan välja att anlägga öppna dagvattenkanaler istället för kulvertar.

Reningskapaciteten varierar från låg till medel beroende på möjligheterna till infiltration, sedimentering och växtupptag. Ytlig avledning kan bidra positivt till gestaltningen. De bidrar till att synliggöra dagvatten. Det krävs att anläggningarna kontrolleras regelbundet med avseende på skräp och sedimentering. In och utlopp ska kontrolleras för att säkerställa att dagvattnet kan flöda fritt.

Exempel på utformning av åtgärder för ytlig avledning visas i Figur 7-4.



Figur 7-4 Exempel på ytlig avledning av dagvatten (foto: Sweco)

7.2.4 Öppna dagvattenlösningar för rening och fördröjning av dagvatten

Det finns många olika typer av ytlig dagvattenhantering för rening och fördröjning av dagvatten. Några av dem listas nedan.

Svackdiken och infiltrationsstråk

Svackdiken är växtbeklädda diken med flacka slänter och låg längslutning. Bottenbredden ska föredragsvis vara över 0,5 m. Om lutningen är över 2 % krävs flödesreducerande åtgärder. För att öka infiltrations- och fördröjningskapaciteten kan svackdikena utformas som infiltrationsstråk med underliggande makadammagasin. Det finns även olika typer av infiltrationsstråk som inte är växtbeklädda.

Svackdiken och infiltrationsstråk placeras lämpligen i lågstråk längs med vägar, parkeringar, industri- eller villaområden. De kan anläggas både i nya områden och där man behöver göra åtgärder i befintliga miljöer. I befintliga områden kan åtgärder som att t.ex. ta bort kantstenar möjliggöra avledande till svackdiken och infiltrationsstråk.

Svackdiken har en medelgod reningspotential. Fördröjning åstadkoms genom de flacka slänterna, låg längslutning och växtlighet. Om infiltrationsstråk utformas utan växtlighet är de en lägre reningspotential. Utformningen bidrar till ökat flödesmotstånd och ökad infiltrationsförmåg. Fördröjningskapaciteten ökar ytterligare med ett eventuellt underliggande makadammagasin. Ett bräddutlopp, t.ex. en kupolbrunn, kan anläggas nedströms i diket för att avleda stora flöden vid extrem nederbörd.

Svackdiken kan bidra till positiv gestaltning främst genom gröna ytor och genom att synliggöra dagvattenhanteringen. För att svackdiken skall bibehålla sin hydrauliska funktion och förmåga att ta hand om föroreningar krävs viss skötsel i form av gräsklippning och bortförsel av växtrester.

Exempel på utformning av svackdiken redovisas i Figur 7-5.



Figur 7-5 Exempel på svackdike.

Översilningsytor

Översilningsytor är vegetationsbekladda ytor som tar emot ett utspritt dagvattenflöde. En inloppsanordning krävs för att fördela och sprida flödet jämt över anläggningen. Det spridda flödet översilas över en svagt lutande yta. Översilningsytor anläggs lämpligen

längs vägar, parkeringar eller industriområden. De kan anläggas både i nya områden och i befintliga områden.

Översilningsytor har en medelgod reningspotential. De har en flödesutjämnande funktion vid mindre regn. Vid större regntillfällen blir marken mättad och vatten rinner vidare ytledes. Därför är det viktigt att kontrollera vart eventuellt vatten tar vägen nedströms anläggningen.

Översilningsytor bidrar positivt till gestaltningen genom gröna ytor och genom att synliggöra dagvattenhanteringen. Ytan skall slås/klippas efter säsong och växtresterna transporteras bort för att undvika oönskad näringstillförsel.

Exempel på översilningsytor redovisas i Figur 7-6.



Figur 7-6 Exempel översilningsytor (Foto: VegTech).

Biofilter

Biofilter syftar till anläggningar avsedda att fördröja och rena dagvattenvatten från hårdgjorda ytor genom att efterlikna vattnets naturliga kretslopp. Biofilter är ett samlingsnamn för olika typer av växt och regnbäddar, internationellt kallas de ofta "rain gardens" och "curb extensions". Biofilter är ofta utformade som nedsänkta planteringar med inlopp av dagvatten på bred front. De har en fördröjningszon ovan växtbädden och en växtjord i vilken dagvattnet infiltreras och renas. Växtjordens sammansättning i biofiltren är mycket viktig då det styr infiltrationskapaciteten och den vattenhållande förmågan som är viktiga förutsättningar för att anläggningen ska fungera.

Biofilter kan anläggas i hårdgjorda miljöer och då ofta i anslutning till vägar, parkeringar och annan centrumbebyggelse. Biofilter kan byggas både i nya områden och i befintlig bebyggelse. I befintlig bebyggelse kan de t.ex. anläggas i refuger, vid övergångsställen eller som avskiljare mellan väg och CG-väg. Biofilter kan även anläggas i enklare format i t.ex. bostadsområden. Ytmässigt talar man ofta om att biofiltret ska motsvara 2-6 % av den tillrinnande ytan.

Biofilter har hög reningspotential. De kan ge god fördröjning av dagvatten. Flöden vid extrem nederbörd bör ledas vidare i ett bräddutlopp, t.ex. via en kupolbrunn. Biofilter bidrar positivt till gestaltning. De kan utformas efter platsspecifika förutsättningar vilket ger

stora valmöjligheter. Växtligheten kan variera från gräs till träd. Biofiltren kräver regelbundet underhåll av bl.a. inlopp, utlopp, eventuell erosion samt allmänt underhåll liknande vad som krävs för vanliga planteringar.

Exempel på utformning av biofilter ges i Figur 7-7.



Figur 7-7 Exempel på biofilter. Till vänster: Regnbädd i Portland, USA (foto: Sweco); Till höger: regnbädd vid Åkervägen, Tyresö (foto: Thomas Larm, Sweco).

Dagvattendamm

Dagvattendammar är dammar med permanent vattenspiegel som är anpassade för rening och fördröjning av dagvatten. De placeras lämpligen längs vägar, vid industriområden eller i parker dit dagvatten avrinner. För att bibehålla den permanenta vattenytan krävs ett kontinuerligt vattenflöde. Storleken på dagvattendammar kan variera men det talas ofta om ett storleksförhållande på mellan 100- 300 m² dammyta per tillrinnande yta (ha).

Dagvattendammar utformas lämpligen med en reglervolym för rening och en reglervolym för fördröjning. På så sätt kan den första smuttpulsen, ofta kallad "first flush", renas genom att en lång uppehållstid åstadkoms (12-24 h). Vid stora nederbördstillfällen (exempelvis regn med 10 års återkomsttid eller mer) kan uppehållstiden behöva kortas.

Dagvattendammar har en hög reningspotential och kan ge god fördröjning av höga dagvattenflöden. Dagvattendammar kan bidra positivt till gestaltningen. Vattendjup och släntlutningar ska anpassas efter platsspecifika förutsättningar. Säkerheten ska beaktas utifrån var dammen placeras. Drift och underhåll krävs bl.a. genom kontroll av in- och utlopp, slamsugning då sediment ansamlats samt skötsel och skörd av växtlighet.

Exempel på dagvattendammar ges i Figur 7-8.



Figur 7-8 Exempel på dagvattendamm (foto: Sweco).

Multifunktionella ytor för dagvattenhantering

Med multifunktionella ytor avses platser som tillåts svämma över vid kraftig nederbörd men som vid torrväder kan användas för t.ex. rekreation. De kan utformas som parker, lekplatser, skateparker och bollplaner.

Reningspotentialen är låg men kan bli högre om ytan anpassas för infiltration. Ytorna förses med ströpta utlopp och kan ge en god fördröjning.

En multifunktionell yta tillhandahåller goda möjligheter till positiv gestaltning. För att underlätta drift och underhåll är det viktigt att ytan utformas så att vatten kan rinna bort från platsen när behovet minskar och att eventuellt skräp och sediment som ansamlats kan städas bort.

Exempel på multifunktionella ytor för dagvattenhantering ges i Figur 7-9.



Figur 7-9 Multifunktionella ytor för dagvattenhantering (foto: Sweco)

7.2.5 Dagvattenlösningar under mark

Det finns olika typer av tekniker för dagvattenhantering under mark. Ett par lösningar som kan fördröja avrinning och bidra till en hållbar dagvattenhantering beskrivs nedan.

Stenkista

En stenkista är en vanlig lösning för att leda bort vattnet från hus som del i en dräneringslösning. Till en stenkista leder man både dagvatten och dränering. Normalt när man diskuterar en stenkista så syftar man på en utgrävd volym fylld med sten eller makadam för ändamålet att omhänderta dagvatten. Avtappning sker via infiltration i marken samt eventuellt via anslutning till anlagt dräneringssystem. Stenkistor kan användas för omhändertagande av dagvatten på tomtmark i t.ex. villaområden.

Stenkistor har låg reningspotential. Om de placeras i mark lämpad för infiltration kan reningspotentialen öka då vattnet infiltrerar till omkringliggande mark. Stenkistor bidrar till god fördröjning av dagvatten. Det är den tillgängliga hålrumsvolymen, vanligtvis ca 30 %, som utgör fördröjningsvolymen. För att åstadkomma en fördröjningsvolym på 3 m³ ska stenkistan således utgöra 9 m³.

Stenkistor grävs ner under mark och bidrar således inte till positiv gestaltning. De kan sätta igen över tid och kan därför behöva grävas om.

Exempel på stenkista beskrivs i Figur 7-10.



Figur 7-10 Exempel på stenkista (foto: husgrunder.com)

Dagvattenmagasin

Dagvattenmagasin som anläggs under mark finns i flera olika varianter, t.ex. makadammagasin, dagvattenkassetter och rörpaket. De anläggs normalt i hårdgjorda områden där det inte finns möjlighet till ytlig fördröjning. De kan anläggas istället för stenkistor.

Dagvattenmagasin är inte utformade för rening av dagvatten. De kan dock ha låg reningspotential genom viss sedimentation eller om omgivande förhållanden tillåter infiltration. De har god förmåga att fördröja dagvatten. Makadammagasin har ca 30 % effektiv volym medan kassettmagasin har ca 96 % effektiv utjämningsvolym. För att fördröja 3 m³ vatten behövs således ett 9 m³ stort makadammagasin och ett 3 m³ stort kassettmagasin.

Magasin under marken bidrar inte till positiv gestaltning. Inlopp och utlopp måste kontrolleras regelbundet och magasinet bör kunna spolas eller rensas.

Exempel på dagvattenmagasin under mark ges i Figur 7-11.



Figur 7-11 Exempel på dagvattenmagasin med dagvattenkassetter (foto: Pipelife)

7.3 Effekter i samhället

Som ovan nämnts, påpekar Svenskt Vatten (2016) att hållbara dagvattenlösningar är nödvändiga för att minska skadliga effekter av höga dagvattenflöden och samtidigt begränsa de miljömässiga effekterna vid sådana flödessituationer. Åtgärderna kan emellertid också medföra andra effekter i samhället, exempelvis bidra till ökad tillgång på rekreationsytor och vara estetiskt tilltalande. Inför val och utformning av åtgärdslösningar finns därför ett behov av att kunna utvärdera de olika metoderna, såväl tekniskt som ekonomiskt, socialt och miljömässigt.

Som ovan nämnts ges ingående beskrivningar och tekniska dimensioneringsråd exempelvis i Vinnova (2014). I några examensarbeten vid Chalmers och SLU har hållbara dagvattenlösningar studerats och värderats utifrån ett bredare perspektiv:

- Aalto (2014) presenterade i ett examensarbete vid SLU ett förslag till en vägledning med utvärderingskriterier för val av långsiktigt hållbara åtgärdslösningar.
- Bergqvist (2014) beskrev ett förslag till metodik för att utvärdera hållbara åtgärdslösningars hållbarhet med avseende på miljömässiga, sociala och ekonomiska effekter.
- Lundahl (2005) genomförde en miljömässig utvärdering av dagvattensystem för nyexploateringsområden med avseende på substansflöden, samt hur införandet av sedimenteringsdammar och infiltration av dagvatten påverkar föroreningsmängderna till det vattendrag som utgör recipient för området.

Stahre (2004) beskrev olika möjliga effekter i samhället till följd av anläggning av hållbara dagvattenlösningar. Inom projektet *Grågröna systemlösningar för hållbara städer - Inventering av dagvattenlösningar för urbana miljöer* inom Vinnovas program *Utmaningsdriven innovation – Hållbara attraktiva städer* beskrev Larsson (2013) sociala aspekter på hållbara dagvattenlösningar.

Det har inom ramen för denna utredning inte varit möjligt att genomföra en detaljerad litteraturstudie kring effekter i samhället från hållbara dagvattenlösningar. I ovan nämnda publikationer beskrivs emellertid att hållbara dagvattenlösningar, förutom sin förmåga att hantera avsevärt större dagvattenmängder än konventionella rörsystem, kan skapa flera mervärden. Aalto (2013) sammanfattar dessa värden enligt följande:

- **Upplevelsemässiga värden.** Många öppna dagvattenlösningar bidrar till olika upplevelsevärden som kan uppfattas med synen, hörseln eller luktsinnet, t.ex. fågelkvitter, vattenljud och doftande växter. De bidrar också till attraktiva stadsmiljöer genom att tillföra ett arkitektoniskt värde och vara estetiskt tilltalande. Vegetation ger i regel ett attraktivt intryck. Vid dåligt underhåll och skötsel eller brist på vatten kan de hållbara dagvattenlösningarna däremot förlora sitt estetiska värde och istället upplevas som någonting negativt.
- **Rekreationsvärden.** Dessa skapas genom att gång- och cykelvägar, strövtigar och ridstigar ofta kan samordnas med sammanhängande avrinningsstråk för dagvatten.
- **Pedagogiska värden.** Öppna dagvattenanläggningar kan ha ett pedagogiskt värde och bidra till att sprida kunskap om vatten och vattnets kretslopp.
- **Historiska och sociala värden.** Olika former och uttryck kan ge en koppling bakåt i tiden och historiska värden. En damm kan t.ex. anläggas med ett uttryck som speglar en särskild tidsepok. Ett annat sätt kan vara att återskapa ett historiskt vattendrag eller annan vattenanläggning som försvunnit på grund av urbaniseringen. Vatten fungerar som social mötesplats, rogivare och religiös symbol.
- **Ekologiska värden.** Flera hållbara dagvattenlösningar som presenterats bidrar till en ökad biologisk mångfald.
- **Miljömässiga värden.** Föroreningsbelastningen på den yttre miljön minskar genom att t.ex. viss avskiljning av föroreningar sker genom sedimentation då vattnet passerar en öppen dagvattenanläggning. Föroreningar kan även tas upp av eventuella växter. Om vattendrag, dammar, träd och grönområden placeras strategiskt och integreras med stadens bebyggelse och dess omgivning kan de fungera både som luftförbättrare och temperatursänkare i staden.
- **Ekonomiska värden.** Att välja en öppen dagvattenlösning är ofta en ekonomisk fördel för flera förvaltningar. Om trög avledning av dagvatten exempelvis utnyttjas vid anläggandet av en ny park, måste VA-förvaltningen hjälpa till med en del av kostnaden. En integrering av park- och dagvattenändamålet innebär ofta en

ekonomisk fördel för både park- och VA-förvaltningen. För gatuförvaltningen är det betydligt billigare att fördröja dagvattenflöden och avskilja föroreningar från trafikdagvatten i en grön buffertzon längs vägen än att anlägga konventionella underjordiska reningsanläggningar.

Fastigheter som ligger nära vatten- och grönska är oftast mer attraktiva för försäljning än de som ligger mitt i en hårdgjord miljö. En park med en attraktiv miljö kan användas som marknadsföring för t.ex. ett nytt bostadsområde.

- **Tekniska värden.** De tekniska förvaltningarna i kommunen får genom hållbara dagvattenlösningar hög kvalitet och god funktion på dagvattenhanteringen. För exempelvis gatukontoret skapar gröna buffertzoner längs trafikleder möjlighet till en fördröjning av trafikdagvatten och parkförvaltningar får en park som upplevs mer attraktiv genom olika inslag av vatten.

8 Förslag till ramverk för hållbarhetsbedömning av översvämningsåtgärder

Utifrån den genomförda granskningen av hydromodellens KNA-metod och med beaktande av de behov som Göteborgs Stad har att fortlöpande utvärdera för- och nackdelar med olika åtgärder mot översvämningsrisker, dras slutsatsen att den framtagna modellen för kostnads-nyttoanalys måste modifieras och i högre grad automatiseras för att bli praktiskt användbar. Förslag till modifieringar har beskrivits i Kapitel 5 och 6.

Med hänsyn till att många åtgärder kommer behöva göras i centrala delar av Göteborg och att dessa åtgärder kommer att orsaka effekter som inte enkelt kan inkluderas i en KNA av den typ som utvecklats för hydromodellen, behöver KNA-modellen kompletteras. Många åtgärder kommer att innebära anläggning av mera effektiva och hållbara lösningar för hantering av dagvatten, främst i samband med skyfall. Dessa innebär synliga förändringar i stadsmiljön i form av grönytor, öppna kanaler, dammar, etc. Åtgärder mot stigande nivåer kommer också att innebära synliga konstruktioner i stadsmiljön.

Olika positiva och negativa effekter av dessa åtgärder för klimatanpassning behöver vägas in i planprocessen för att få relevanta beslutsunderlag kring vilka åtgärder som är lämpligast att utföra. Den framtagna KNA-modellen kan efter modifiering vara ett praktiskt verktyg för att ge viktig information om de ekonomiska effekterna av olika åtgärder. Som ovan nämnts behöver modellen automatiseras i högre utsträckning med en mera fullständig integrering av FME-delen och kalkyldelen.

KNA-modellen ger information om ekonomiska effekter baserat på reduktion av riskkostnader (förväntade skadekostnader) och åtgärds-kostnader. För att ge ett relevant planerings- och beslutsunderlag för en långsiktigt hållbar klimatanpassning förslås att den ekonomiska delen (KNA) kompletteras med bedömningar av sociala och miljömässiga effekter. En vanlig metod för den typen av bedömningar är s.k. multi-kriterieanalys (MKA), se exempelvis Rosén m fl (2015).

En MKA bör inkludera följande steg:

- Etablera kontext. Vad är analysens målsättning och vilka är intressenterna?
- Identifiera alternativ som ska analyseras.
- Identifiera kriterier mot vilka alternativen ska bedömas.
- Bedöm de förväntade effekterna (prestanda) av respektive alternativ mot de uppställda kriterierna.
- Tilldela vikter (betydelse) för respektive kriterium.
- Kombinera vikter och poäng för varje alternativ för att få ett sammanvägt värde.
- Utvärdera resultaten.
- Genomför känslighetsanalys.

I en MKA vägs ingående kriterier samman till en slutlig bedömning. Sammanvägningen kan göras på olika sätt, exempelvis genom poängsättningssystem. Förfarandet innebär att användaren/beslutsfattaren tvingas att öppet redovisa hur de olika kriterierna hanterats. MKA är därför ett viktigt verktyg för att ge stöd och struktur vid sammanvägning av ekonomiska effekter med andra viktiga faktorer i syfte att åstadkomma en hållbar klimatanpassning.

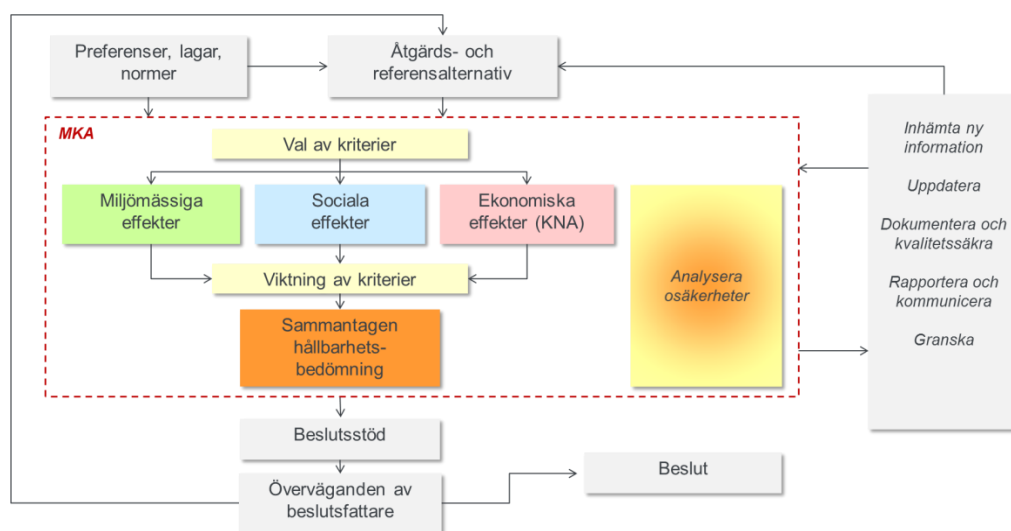
Den kanske vanligaste metoden för MKA är den *linjära additiva metoden*. Denna metod innebär att kriterier poängsätts och vägs samman till en slutlig bedömning med hjälp av ett viktningsystem. I metoden tilldelas varje ingående kriterium, j ($j=1 \dots K$ kriterier) en poäng, R . Därefter görs en sammanvägning av dessa poäng till ett slutbetyg genom att varje kriterium ges en vikt, W :

$$\text{Slutbetyg} = \sum_{j=1}^N W_j R_j \quad (\text{ekvation 3})$$

Denna viktade poängsättning görs för samtliga åtgärdsalternativ varefter en rangordning av alternativen kan ske.

I en MKA av översvämningsåtgärder i Göteborg skulle en i automatiserad kostnadsnyttoanalys med FME och en kopplad kalkylmodell kompletteras med poängsättning av ett antal miljömässiga och sociala nyckelkriterier. I MKAn vägs alltså den ekonomiska, den sociala och den miljömässiga dimensionen av hållbarhet samman för att välja bästa alternativ för att reducera översvämningsrisker.

Ett förslag till ramverk för MKA av övervakningsåtgärder presenteras i Figur 8-1.



Figur 8-1 Förslag till ramverk för MKA av översvämningsåtgärder i Göteborg (efter Rosén m fl, 2015).

Exempel på möjliga kriterier i den sociala och miljömässiga dimensionen och poängsättning av dessa redovisas i Tabell 8-1 och Tabell 8-2. I exemplet har poängsättning av effekter gjorts enligt en femgradig skala:

- Trolig negativ effekt: -2
- Möjlig negativ effekt: -1
- Ingen effekt: 0
- Möjlig positiv effekt: +1
- Trolig positiv effekt: +2

Liksom är fallet i kostnads-nyttoanalysen poängsätts kriterierna relativt referensalternativet. På så vis blir analysen konsistent i samtliga tre hållbarhetsdimensioner.

I Tabell 8-3 presenteras slutligen ett exempel där de olika kriterierna vägts samman till ett hållbarhetsindex utifrån poängsättning och vikt. I exemplet har också ekonomiska effekter från en hypotetisk kostnads-nytto-analys inkluderats.

Hållbarhetsindexet (slutbetyg) har beräknats för ett antal åtgärdsalternativ i ($i=1\dots N$) med följande formel:

$$H_i = 100 \left[\frac{W_E \frac{H_{E,i}}{\max[\max(H_{E,1..N}); |\min(H_{E,1..N})|]} + W_{SC} \frac{H_{S,i}}{\max[\max(H_{S,1..N}); |\min(H_{S,1..N})|]} + W_{NPV} \frac{NPV_i}{\max[\max(NPV_{1..N}); |\min(NPV_{1..N})|]} \right] \quad (\text{ekvation 4})$$

där H_E är det viktade miljömässiga betyget, H_S är det viktade sociala betyget, NPV är nettonuvärdet, och W är vikten för varje dimension. I beräkningen av slutlig poängsumma i Tabell 8-3 har den ekonomiska, sociala och miljömässiga dimensionen viktats lika. Dessutom har kriterierna inom varje dimension viktats. Denna viktning redovisas emellertid inte för exemplet.

Liksom för kostnads-nyttoanalysen kan osäkerheter hanteras i poängsättningen av kriterier. Rosén m fl (2015) har utvecklat rutiner för detta, vilket innebär att kriteriernas poängsättning kan inkluderas i känslighetsanalyser.

Tabell 8-1 Exempel på poängsättning av kriterier i den sociala dimensionen.

Sociala effekter				
Kriterium	Viktning	Effekter		
		Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3
Kulturvården. Vilka effekter uppstår på kulturvården i samband med åtgärden? Exempelvis borttagning av kulturbyggnader.	15%	Möjlig negativ	Möjlig positiv	Trolig negativ
Markanvändning. Vilka effekter uppstår på den lokala markanvändningen i området och dess närhet till följd av åtgärden? Exempelvis att marken på eller i närheten av området kan nyttjas för nya ändamål såsom rekreation eller bostäder alt att begränsning i markanvändning sker.	15%	Möjlig positiv	Möjlig positiv	Möjlig positiv
Rättvisa. Påverkas någon grupp i samhället påverkats av åtgärden och i så fall hur? Exempelvis kan en lokal idrottsförening få bättre förutsättningar för utövande.	20%	Möjlig negativ	Trolig negativ	Ingen effekt
Rekreation. Kan åtgärden medföra förändrad rekreation i området eller dess omgivning? Exempelvis att området blir möjligt att besöka för promenader, fiske eller cykelturer.	20%	Möjlig positiv	Möjlig positiv	Trolig positiv
Hälsa. Kan åtgärden medföra någon hälsoeffekt eller på hur människor uppfattar hälsosituationen i området? Exempelvis att människors oro minskar till följd av åtgärden.	20%	Möjlig positiv	Möjlig positiv	Ingen effekt
Lokala sociala effekter. Kan åtgärden medföra några lokala sociala effekter? Exempelvis skapande av arbetstillfällen eller andra effekter på lokalt näringsliv.	10%	Möjlig positiv	Trolig positiv	Möjlig positiv

Tabell 8-2 Exempel på poängsättning av kriterier i den miljömässiga dimensionen.

Miljöeffekter				
Kriterium	Viktning	Effekter		
		Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3
Luft. Vilken påverkan på luftmiljön och utsläpp av växthusgaser medför åtgärden? Exempelvis utsläpp av CO ₂ , SO _x , NO _x och partiklar.	25%	Möjlig negativ	Möjlig negativ	Trolig negativ
Avfall. Vilken produktion av icke-återvinningsbart avfall medför åtgärden? Exempelvis deponering av förorenade massor.	15%	Möjlig negativ	Möjlig negativ	Trolig negativ
Naturresurser. Vilken förbrukning av ändliga naturresurser resulterar åtgärden i? Exempelvis användning av fossila bränslen eller användning av nyproducerad sand och grus för återfyllning.	10%	Ingen effekt	Möjlig negativ	Trolig negativ
Mark. Vilka effekter uppstår för markmiljön till följd av åtgärden? Exempelvis livsbetingelser för mark ekosystem.	10%	Möjlig positiv	Möjlig positiv	Ingen effekt
Grundvatten. Påverkas grundvattnets kvalitet eller dess betydelse för ekosystem som nyttjar grundvatten av åtgärden? Exempelvis förutsättningar för djur och växter som nyttjar grundvatten eller utströmmande grundvatten.	15%	Trolig negativ	Trolig negativ	Möjlig negativ
Ytvatten. Påverkas förutsättningarna för ekosystem i ytvatten? Exempelvis förutsättningarna för vattenlevande organismer i vattendrag.	15%	Trolig negativ	Trolig positiv	Trolig negativ
Sediment. Påverkas förutsättningarna för ekosystem i sediment? Exempelvis förutsättningarna för sedimentlevande organismer i havet eller vattendrag.	10%	Möjlig negativ	Möjlig positiv	Ingen effekt

Tabell 8-3 Exempel på beräkning av hållbarhetsindex

Samlad bedömning	-11	47	23
------------------	-----	----	----

Sammanfattningsvis rekommenderas att följande huvudsakliga modifieringar och kompletteringar görs av den framtagna metodiken för kostnads-nyttoanalys i Göteborg Stads hydromodell:

- Integrera FME-applikationen tydligare med kalkylmodellen för mera automatiserad kostnads-nyttoanalys.
- Möjliggör analys av flera åtgärdsalternativ i samma kalkylark.
- Förbättra den grafiska presentationen i kalkylmodellen.
- Möjliggör att enkelt välja tidshorisont och diskonteringsränta.
- Upprätta ett formulär i kalkylmodellen med relevanta poster för åtgärds kostnader.
- Möjliggör en global osäkerhetsanalys. Detta kräver att osäkerhetsfördelningar för enhetspriser beräknas (metodik finns) samt att åtgärds kostnader ansätts som intervall istället för punktskattningar.
- Ta hänsyn till att förväntad framtida höjning av vattennivå inte kommer att ske linjärt från nu och in i framtiden.
- Behåll kostnads-nyttoanalysen begränsad till effekter som värderas i termer av undvikande av skador.
- Komplettera den ekonomiska analysen med en analys av sociala och miljömässiga effekter av studerade alternativ för översvämningsskydd.
- Bedömning och sammanvägning av studerade åtgärders effekter görs med gängse principer för multi-kriterieanalys (MKA).
- Kalkylarket utvecklas för att inkludera poängsättning av sociala och miljömässiga effekter samt MKA av identifierade alternativ för översvämningsskydd.

Genom att utföra dessa modifieringar och kompletteringar kan ett kraftfullt verktyg för jämförelse av olika alternativ för översvämningsskydd erhållas. Verktöget kan göras användarvänligt och tillämpas på såväl övergripande som lokal planeringsskala och ge vägledning kring vad som är de långsiktigt mest hållbara åtgärderna. En viktig användning av ett sådant verktyg är också att identifiera på vilket/vilka sätt studerade alternativ skulle kunna utformas för att göras mera hållbara.

9 Referenser

- Aalto, A. 2013. Långsiktigt hållbar dagvattenhantering - Vägledning vid val av dagvattenlösningar i stadsmiljö. Examensarbete vid landskapsarkitektprogrammet, SLU. Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap. Institutionen för stad och land, avdelningen för landskapsarkitektur. Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU). Uppsala.
- Bergqvist, N. 2014. Environmental assessment and sustainable stormwater planning with regard to climate change through multi-criteria analysis (MCA) - Case study Guldheden. Master's Thesis 2014:156. Institutionen för Bygg och miljöteknik. Chalmers tekniska högskola. Göteborg.
- Boardman, A.E., Greenberg, D.H, Vining, A.R, Weimer, D. L. 2011. Cost-benefit analysis; Concepts and practice. 4th Edition. Pearson/Prentice Hall. Upper Saddle River New Jersey.
- CRUE-ERANET, 2008. CRUE Research Report No I-1: Systematisation, evaluation and context conditions of structural and non-structural measures for flood risk reduction FLOOD-ERA Joint Report. ERAC-CT-2004-515742.
- Flood-CBA, 2014. Support Tool No. 1: Cost Benefit Analysis Guidelines of Flood Risk Management (FRM). Deliverable number C.3. Delivery date 28/2/2014. Grant agreement nr. ECHO/SUB/2012/638445.
- Göteborgs Stad. 2010. Dagvatten, så här gör vi! Handbok för kommunal planering och förvaltning.
- Helsingborgs Stad. 2015. Dagvattenprogram Helsingborgs Stad. Dagvattenpolicy NSVA.
- Jha, A.K., Bloch, R., Lamond, J. 2012. Cities and Flooding: A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century. World Bank. ISBN 978-0-8213-8866-2.
- Kind, J.M. 2012. Economically efficient flood protection standards for the Netherlands. *Journal of Flood Risk Management* 7 (2014) 103–117. DOI: 10.1111/jfr3.12026.
- Larsson, M. 2013. Sociala aspekter och grå-gröna systemlösningar för hållbara städer. Sweco Environment AB. Uppdragsnummer 9921002956.
- Lerums kommun. 2015. Handbok för dagvattenhantering i Lerums kommun. Sweco Environment AB, Uppdragsnummer 1311947000.
- Lundahl, J. 2005. Alternativa dagvattenlösningar för nyexploateringsområden med avseende på Substansflöden. Examensarbete 2005:81. Institutionen för Bygg- och miljöteknik. Chalmers tekniska högskola. Göteborg.
- Malmö Stad. 2008. Dagvattenstrategi för Malmö.
- Messer, F., Penning-Rowsell, E., Green, C., Meyer, V., Tunstall, S., van der Veen, A., 2007. Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods. FloodSite, Report T09-06-01.

- Naturvårdsverket, 2003. Konsekvensanalys steg för steg: handledning i samhällsekonomisk konsekvensanalys för Naturvårdsverket. Naturvårdsverket, Stockholm.
- NRC, 2000. Risk Analysis and Uncertainty in Flood Damage Reduction Studies. Committee on Risk-Based Analysis for Flood Damage Reduction Water Science and Technology Board Commission on Geosciences, Environment, and Resources. National Research Council. National Academy Press. Washington, D.C.
- Olfert, A., 2008. Guideline for ex-post evaluation of measures and instruments in flood risk management. FloodSite, Report T12-07-03.
- Pearce D.W. & Smale R. 2005. Appraising flood control investments in the UK. In: R. Brouwer & D. Pearce, eds. Cost-benefit analysis and water resources management. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, pp 71–93.
- Ramböll, 2014. Hydromodell för Göteborg. Kostnads-nyttoanalys gällande översvämningsskydd för centrala Göteborg. Simuleringsuppdrag 5. Ref nr 1320001782-005.
- Ramböll, 2015. Riskkartläggning av skyfallssimulering centrala Göteborg. November 2015.
- Rosén, L. Back, P.E., Söderqvist, T., Norrman, J., Brinkhoff, P., Norberg, P., Volchko, Y., Norin, M., Bergknut, M., Döberl, G. 2015. SCORE: A novel multi-criteria decision analysis approach to assessing the sustainability of contaminated land remediation. Science of the Total Environment, 511 (2015): 621–638.
- Stahre, P. 2004. En långsiktigt hållbar dagvattenhantering. Planering och exempel. Svenskt Vatten. Stockholm.
- Stern, N. 2006. The Economics of Climate Change - the Stern Review. Cabinet Office, HM Treasury, Cambridge University press, Cambridge.
- Svenskt Vatten. 2011. Handbok för långsiktigt hållbar dag- och dränvattenhantering, Publikation P105. Svenskt Vatten. Stockholm.
- Svenskt Vatten. 2016. Avledning av dag-, drän- och spillvatten. Funktionskrav, hydraulisk dimensionering och utformning av allmänna avloppssystem. Del I – Policy och funktionskrav för samhällets avvattnings. Publikation P110. Svenskt Vatten. Stockholm.
- Sweco Environment AB, 2011. Vägledning i kostnads-nyttoanalys av översvämningssåtgärder. Karlstads kommun. Uppdragsnummer 1311318000. Del av EU-projektet SAWA. http://www.sawa-project.eu/uploads/documents/Guidance_cba-sawa_Karlstad_Municipality.pdf. Tillgänglig 2016-02-29.
- Sweco Environment AB, 2014. Kostnads-nyttoanalys av översvämningssåtgärder i Göteborg – en pilotstudie. Göteborgs Stad. Uppdragsnummer 1321203000.
- Sweco Environment AB, 2015. Kostnads-nyttoanalys av översvämningssåtgärder i Mölndalsån. Mölndals Stad och Härryda kommun. Uppdragsnummer 1321560000.

Sweco Viak AB, 2006. Bedömning av riskkostnad vid översvämning i Karlstads tätort. Inom FLOWS-projektets WP3. Karlstads kommun. Uppdragsnummer 1335485.

Söderqvist, T., 2006. Diskontering i samhällsekonomiska analyser av klimatåtgärder. Rapport 5618, Naturvårdsverket, Stockholm.

Söderqvist, T., Baden, S., Pihl, L., 2014. CBA av miljöprojekt: Steg-för-steg. Kapitel 1 i del II i Kriström, B., Bonta Bergman, M. (red.), Samhällsekonomiska analyser av miljöprojekt – en vägledning. Rapport 6628, Naturvårdsverket, Stockholm.

Trafikverket, 2015. Samhällsekonomiska principer och kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 5.2. Kapitel 3 Kalkylprinciper och generella kalkylvärden.

http://www.trafikverket.se/contentassets/823481f052a74a3881492136383eb01b/filer/03_generella_principer_o_varden_a52.pdf. Tillgänglig 2016-02-29.

Theland, J. 2015. Funktionen av hållbara dagvattenlösningar och gröna ytor vid extrema regn – En analys baserad på översvämningarna i Malmö den 31 augusti 2014.

Examensarbete TVVR 15/5003. Avdelningen för Teknisk Vattenresurslära, Institutionen för Bygg - och Miljöteknologi. Lunds Universitet.

UK Environment Agency, 2005. Integrating Cost-Benefit Analysis and Multi-Criteria Analysis of Flood and Coastal Erosion Risk Management Projects. R&D Project Record FD2018/PR2.

Vinnova. 2014. Grågröna systemlösningar för hållbara städer. Inventering av dagvattenlösningar för urbana miljöer. Översikt och fördjupningsdel. Vinnovas program Utmaningsdriven innovation – Hållbara attraktiva städer. Ansvariga författare Tove Lindfors (Sweco), Henrik Bodin-Sköld (Sweco), Thomas Larm (StormTac, f.d. Sweco). Diarienummer: 2012–01271. Vinnova. Stockholm.

Zevenbergen, C., Gersonius, B., Puyan, N., van Herk, S. 2007. Economic Feasibility Study of Flood Proofing Domestic Dwellings. In: Ashley, R.; Garvin, S.; Pasche, E.; Vassilopoulos, A.; Zevenbergen, C. [Hrsg.]: Advances in Urban Flood Management. London: Taylor & Francis Group 2007, S. 299-319.

Örebro kommun. 2005. Dagvattenstrategi för Örebro kommun.