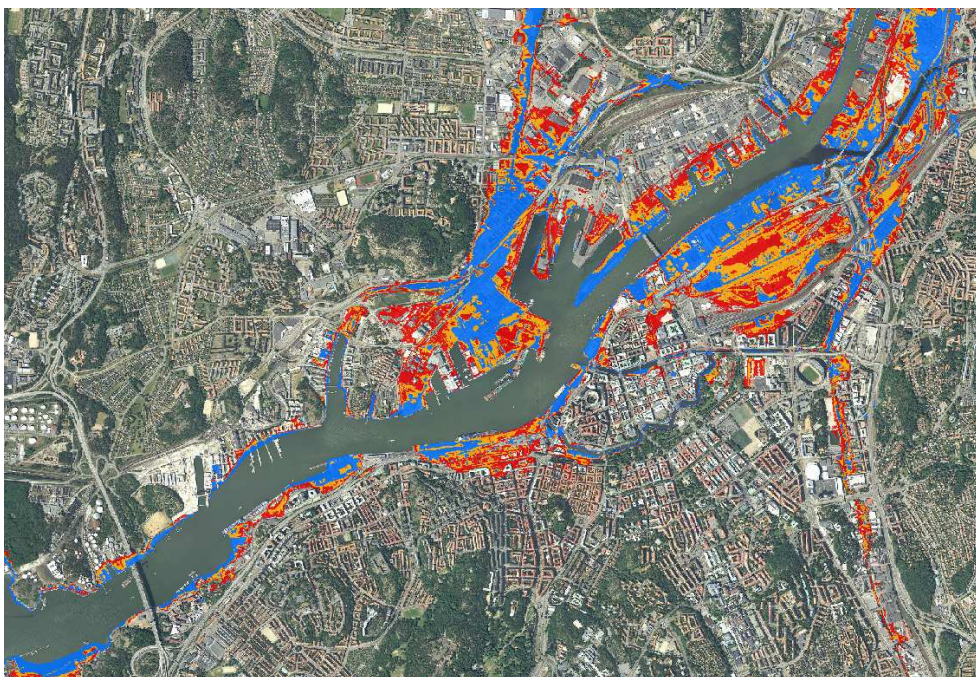


RAPPORT

GÖTEBORGS STAD

Kostnads-nyttoanalys av översvänningsåtgärder i Göteborg – en pilotstudie

UPPDRAGSNUMMER 1321203000



GÖTEBORG

2014-03-14

Sweco
Göteborg Miljöteknik

SAMMANFATTNING

BAKGRUND

Göteborgs läge vid Göta älvs mynning i Kattegatt innebär att staden vid höga vattennivåer i havet och i Göta älv kan drabbas av översvämningar. Redan idag kan staden drabbas allvarligt och med stigande havsnivåer bedöms sannolikheten för allvarliga översvämningar öka under 2000-talet.

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 denna typ av prioriteringar är samhällsekonomiska bedömningar av potentiella åtgärder.

SYFTE

Det övergripande syftet är att i denna rapport presentera en riskbaserad kostnads-nyttoanalys (KNA) av åtgärder mot översvämningar för Göteborgs stad. Arbetet är en pilotstudie. Två tekniska lösningar för att förhindra översvämningar av Göteborgs stad - uppförande av vallkonstruktion i centrala Göteborg samt anläggning av öppningsbara barriärer vid Göta älvs mynning och vid Kungälv - har studerats övergripande.

Utredningen ger en första indikation rörande storleksordningen på kostnaderna för framtida översvämningar, om det finns någon åtgärd som är samhällsekonomiskt lönsam att genomföra samt vilken åtgärd av de som studerats som är mest lönsam. Detta är en första ansats till en kostnads-nyttoanalys som behöver fördjupas för att ge ett mera fullständigt beslutsunderlag.

STIGANDE HAVSNIVÅ ÖKANDE HOT MOT GÖTEBORG

SMHI bedömer att för perioden 1990-2100 är en övre rimlig gräns för havsvattenytans stigning ungefär en meter. Siffran ska korrigeras för landhöjning och andra lokala effekter. Nettohöjningen blir därmed nästan 70 cm för Göteborg till år 2100.

Föreliggande sammanställning fokuserar på havets nivåer i ett 100-årsperspektiv. För den fysiska planeringen och annan långsiktig planering är naturligtvis perioden bortom år 2100 också av stort intresse. Här är dock osäkerheten mycket stor eftersom framtida utsläpp av växthusgaser och en rad återkopplingsmekanismer, som inte är fullt ut kända, kommer in i bilden. Sammantaget kan den långsiktiga nivåhöjningen bli flera meter enligt Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007).

I takt med att havsnivån stiger och stormar blir mer frekventa kommer höga vattennivåer att bli mer frekventa. Sannolikheten för höga nivåer kommer enligt tillgängliga prognosmodeller att öka dramatiskt de närmaste 90 åren. Till exempel kommer nivån +1,95 möh, som idag har en statistisk återkomstperiod på 100 år 2010, att år 2100 ha en

I (V)

RAPPORT
2014-03-12

KOSTNADS-NYTTOANALYS AV ÖVERSVÄMNINGSÅTGÄRDER
I GÖTEBORG – EN PILOTSTUDIE

återkomstperiod på endast 1,5 år. Det vill säga nivån som idag inträffar i genomsnitt en gång på 100 år kommer år 2100 att inträffa en gång per 18 månader.

SAMHÄLLSEKONOMISKA KONSEKVENSER AV ÖVERSVÄMNINGAR

När ett tätbebyggt område översvämmas kan en rad olika typer av skador uppstå och en mängd olika funktioner kan påverkas. I denna utredning har det inte funnits möjlighet att kartlägga samtliga konsekvenser som uppstår och de som kartlagts har studerats övergripande. Det har inte heller funnits någon möjlighet att kartlägga översvämningar som orsakas genom ledningsnätet. Konsekvenser har endast undersökts mellan Älvsborgsbron och Angeredsbron.

Följande konsekvenser har helt eller delvis kvantifierats i ekonomiska termer:

- Akuta åtgärder vid översvämningstillfället
- Avbrott i produktion
- Trafikförseningar
- Skador på byggnader

Det finns en rad potentiella skadekostnader som inte har kunnat kvantifieras i denna pilotstudie.

Valet av diskonteringsränta¹ har en stor inverkan på nuvärdesberäkningar av samhällsekonomiska konsekvenser. I denna utredning har räntesatsen 1,4 % använts, vilken rekommenderas i den s.k. Stern-rapporten för beräkningar av samhällsekonomiska effekter av klimatiförändringar. En känslighetsanalys har gjorts med avseende på räntesatsen 3,5 %, vilket för närvarande rekommenderas för samhällsekonomiska kalkyler av Trafikverket. Med räntesatsen 1,4 % har den förväntade skadekostnaden till följd av översvämningar – också benämnd riskkostnaden - beräknats till mellan 3 och 7 miljarder kronor fram till år 2100.

Det är av stor vikt att betona att ett antal, sannolikt mycket stora kostnader, inte är inkluderade och att riskkostnaden därmed är underskattad.

NYTTOR AV ÅTGÄRDER MOT ÖVERSVÄMNING

I denna studie har följande samhällsekonomiska nyttor av åtgärder mot översvämningar beaktats:

- Minskade riskkostnader för översvämning.
- Besparingar som kan göras på lokala översvämningsskydd vid utförandet av framtida byggnader och anläggningar.

¹ 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.

ÅTGÄRDSALTERNATIV

Två åtgärdsalternativ har undersökts övergripande. Båda kommer innebära betydande investerings- och underhållskostnader:

Alternativ 1 – Vallar mellan Älvsborgsbron och Tingstadstunneln

Vallar är en åtgärd som kan vidtas för att skydda Göteborg mot översvämningar orsakade av höjda nivåer i Göta älv och i havet. Förutom invallning måste det även säkerställas att vatten inte rinner in via dagvattenledningar, exempelvis genom bakvattenstopp. Därutöver måste även dagvatten som uppstår innanför vallarna hanteras.

Alternativ 2 – Barriärer vid Älvsborgsbron och vid Kungälv

En möjlig barriärlösning för att skydda Göteborg kan konstrueras genom en barriär vid havssidan i kombination med en barriär i Göta älv söder om Kungälv. Barriärerna ska skydda Göteborg mot höga vattennivåer i Västerhavet och Göta älv. Vid låga vattennivåer ska de kunna hållas öppna så att fartyg kan passera.

De två alternativen innebär att riskkostnaden för översvämningar kommer att minska kraftigt. Alternativ 1 har beräknats leda till en riskkostnadsminskning på 2,1 – 4,3 miljarder kronor, med en diskonteringsränta på 1,4 %. Alternativ 2 har beräknats leda till en riskkostnadsminskning med 3,1 – 6,8 miljarder kronor med samma räntesats. Riskreduktionen har beräknats för perioden 2013-2100.

Förutom minskade risker har besparingar vid utförande av framtida byggnader och anläggningar värderats mycket överslagsmässigt. I denna pilotstudie har antagits att kostnadsbesparingar på ca 100 Mkr per år under den studerade tidshorisonten kan åstadkommas om klimatanpassningsåtgärder genomförs. Som jämförelse kan konstateras att nuvärdet av detta belopp för den aktuella tidshorisonten (fram till år 2100) motsvarar ca 25 % av kostnaderna för Västlänken, vilket endast är ett av många bygg- och anläggningsprojekt i centrala Göteborg fram till år 2100. Den antagna årliga kostnadsbesparingen utgör knappt 2 % av en preliminär bedömning av årlig investering i bostäder, arbetsplatser och infrastruktur i älvnära lägen i Göteborg.

Det ska poängteras att antagandet om kostnadsbesparingar i framtida bygg- och anläggningsprojekt endast ska ses som en illustration av hur modellen kan användas. För att ge en mera rättvisande bild av de verkliga framtida nyttorna måste en ingående analys av förväntade besparingar göras.

KOSTNADS-NYTTOANALYS

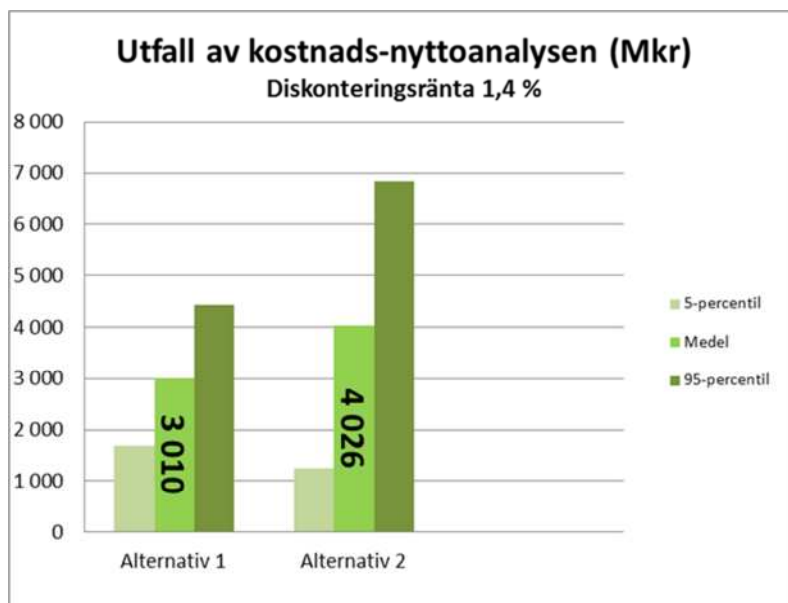
Kostnads-nyttoanalysen (se figur nedan) visar att med 1,4 % diskonteringsränta är båda åtgärdsalternativen samhällsekonomiskt lönsamma. Vid en räntesats på 3,5 % är åtgärdsalternativ 1 inte lönsamt medan alternativ 2 ligger nära ett break-even resultat. I båda fallen framstår således alternativ 2 som det mest fördelaktiga alternativet. Valet av diskonteringsränta har stor inverkan på de beräknade nuvärdena, medan rangordningen av alternativ inte påverkas i det här fallet.

III (V)

RAPPORT
2014-03-12

KOSTNADS-NYTTOANALYS AV ÖVERSVÄMNINGSÅTGÄRDER
I GÖTEBORG – EN PILOTSTUDIE

Som framgår av figuren nedan är kostnads-nyttoanalysen förknippad med betydande osäkerheter. Värderingarna av såväl kostnads- som nyttoposter är osäkra och studien ska endast ses som en första indikation på hur en kostnads-nyttoanalys av översvämningsåtgärder för Göteborg skulle kunna utföras.



Nettonuvärden för de studerade åtgärdsalternativen med en diskonteringsränta på 1,4 % inklusive osäkerhetsbedömning. Stapeln i mitten visar ett förväntat utfall (väntevärde), 5-percentilstapeln (till vänster) visar ett rimligt lägsta utfall och 95-percentilstapeln (till höger) visar ett rimligt högsta utfall.

SLUTSATSER OCH SAMMANFATTANDE DISKUSSION

Kostnads-nyttoanalys (KNA) ska ses som ett verktyg för att ge stöd för beslut rörande val av åtgärder. Resultaten bör utgöra en viktig del, men inte hela, beslutsunderlaget. Analysen innehåller flera steg och kräver en betydande mängd information. Viss information är vanligtvis tillgänglig, men som helhet är informationsunderlaget ofta bristfälligt.

Kostnads-nyttoanalys resulterar i:

- Stöd för beslut rörande prioritering väl avvägda investeringar.
- Struktur åt komplicerad värderingsprocess.
- Hänsynstagande till och öppen redovisning av faktorer och effekter som annars lätt kunde förbisetts.
- Transparens i hur värderingsprocessen av olika åtgärdsalternativ sker.

IV (V)

RAPPORT
2014-03-12

KOSTNADS-NYTTOANALYS AV ÖVERSVÄMNINGSÅTGÄRDER
I GÖTEBORG – EN PILOTSTUDIE

Trots att den genomförda analysen är ofullständig och att många olika typer av nyttor inte kunnat kvantifieras, indikerar kostnads-nyttoanalysen att klimatsäkrande åtgärder är samhällsekonomiskt motiverade. I valet mellan att anlägga en vallkonstruktion i centrala staden och att uppföra barriärer/slussportar vid Älvsborgsbron och Jordfallsbron framstår det senare alternativet som det mest fördelaktiga. Detta beror på att detta alternativ leder till ett mera omfattande skydd. Dessutom borde detta alternativ innebära större flexibilitet vid planering och utveckling av det framtida Göteborg. För att i detalj klargöra vilken typ av åtgärd som är lämplig bör kostnads-nyttoanalysen fördjupas.

V (V)

RAPPORT
2014-03-12

KOSTNADS-NYTTOANALYS AV ÖVERSVÄMNINGSÅTGÄRDER
I GÖTEBORG – EN PILOTSTUDIE

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Introduktion	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Genomförande	1
2	Översvämning av Göteborg	2
2.1	Extremt väder, fas 1	2
2.2	Extremt väder, fas 2	2
2.3	Havshöjning i Göteborgsområdet	3
3	Principer för kostnads-nyttoanalys av åtgärder	4
3.1	Vad är kostnads-nyttoanalys?	4
3.1.1	Kostnader, nyttor och lönsamhet	4
3.1.2	Matematisk beskrivning av KNA	6
3.2	Diskontering och tidshorisont	6
3.3	Kostnader och nyttor av översvämningsåtgärder	7
3.3.1	Nyttor	7
3.3.2	Kostnader	10
3.4	Osäkerhets- och känslighetsanalys	10
4	Genomförande och resultat	13
4.1	Analysens olika steg	13
4.2	STEG 1: Översvämningsscenarier	13
4.2.1	Förändring av sannolikheter	14
4.2.2	Utbredning av vattennivåer	16
4.3	STEG 2: Ekonomisk värdering av översvämningarnas konsekvenser	18
4.3.1	Akuta åtgärder	19
4.3.2	Avbrott i produktion	19
4.3.3	Trafikförseningar	19
4.3.4	Skador på byggnader	20
4.3.5	Kvalitativa skadekostnader	22
4.4	STEG 3: Beräkning av riskkostnaden innan åtgärd	25
4.5	STEG 4: Identifiering av Åtgärdsalternativ	27
4.5.1	Alternativ 1 – Vallar mellan Älvsborgsbron och Tingstadstunneln	28
4.5.2	Alternativ 2 – Barriärer vid Älvsborgsbron och vid Kungälv	29
4.6	Steg 5: Kostnadsuppskattning av åtgärder	32
4.6.1	Vallar mellan Älvsborgsbron och Tingstadstunneln	32
4.6.2	Barriärer	33
4.6.3	Beräkning av totala åtgärds-kostnader	34
4.7	STEG 6: Beräkning av åtgärdernas nyttor	36

4.7.1	Riskreduktion	36
4.7.2	Övriga nyttor	36
4.8	STEG 7: Kostnads-nyttoanalys	37
4.9	STEG 8: Rangordning och identifiering av mest lönsamma alternativ	40
5	Slutsatser och sammanfattande diskussion	42
6	Utveckling av modellen	44
7	Referenser	45

Bilagor:

Bilaga 1: Skadekostnadsschabloner

Bilaga 2: Beräkning av trafikförseningar

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Göteborg är med sitt läge vid Göta älvs mynning i Kattegatt nära sammankopplat med vatten. Detta innebär att staden vid höga vattennivåer i havet och i Göta älv kan drabbas av översvämningar. Redan idag kan staden drabbas allvarligt och med stigande havsnivåer bedöms sannolikheten för allvarliga översvämningar öka under 2000-talet.

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 denna typ av prioriteringar 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. Samhällsekonomiska bedömningar kan göras med kostnads-nyttoanalys (KNA).

1.2 Syfte

Det övergripande syftet är att i denna rapport presentera en riskbaserad KNA av åtgärder mot översvämningar för Göteborgs stad. Arbetet är en pilotstudie. Två tekniska lösningar för att förhindra översvämningar - uppförande av vallkonstruktion i centrala Göteborg samt anläggning av öppningsbara barriärer vid Göta älvs mynning och vid Kungälv - har studerats översiktligt.

Åtgärdernas kostnader beräknas och jämförs med de samhällsekonomiska nyttorna i form av minskade risker för framtida översvämningar som åtgärderna förväntas åstadkomma. Utredningen ger en första indikation rörande storleksordningen på kostnaderna för framtida översvämningar, om det finns någon åtgärd som är samhällsekonomiskt lönsam att genomföra, samt vilken åtgärd av de som studerats som är mest lönsam. Detta är en första ansats till en kostnads-nyttoanalys, vilken behöver fördjupas för att ge ett mera fullständigt beslutsunderlag.

1.3 Genomförande

Arbetet har utförts av Sweco Environment AB i Göteborg för Göteborg Stads räkning. Finansiering av utredningen har skett av Göteborg Stad och genom ett teknikutvecklingsprojekt finansierat av Sweco Environment. Ulf Moback har varit beställare från Göteborg stad. Medverkande från Sweco har varit Lars Rosén, Johan Nimmermark, Andreas Karlsson, Geert Schaap, Andreas Lindhe och Mats Andréasson.

2 Översvämning av Göteborg

Göteborgs Stad har genomfört ett antal utredningar med inriktning mot översvämningar. Nedan återges de arbeten och en kort bakgrund som ligger till grund för detta arbete. Avsnitten 2.1–2.2 är baserade på Göteborgs stads utredningar om extremt väder (Stadskansliet, Göteborgs Stad, 2006; 2009).

2.1 Extremt väder, fas 1

Kommunstyrelsen i Göteborg har utrett ett antal frågeställningar om beredskap, kunskaper, risk och åtgärder i anslutning till extrema vädersituationer (höga vattennivåer i havet, starka vindar, kraftig nederbörd, snöoväder och isbarkstorm). Stadskansliet tog i samverkan med Stadsbyggnadskontoret, Kretsloppskontoret, Trafikkontoret, Göteborg Energi och Göteborg Vatten fram rapporten *"Extrema vädersituationer – hur väl rustat är Göteborg"* (maj 2006). Utredningen godkändes i Kommunfullmäktige den 14 september 2006. De huvudsakliga slutsatserna i rapporten avseende översvämningar, främst i områden som ligger lågt och nära älven eller havet i Göteborg, var att de kan ge konsekvenser för:

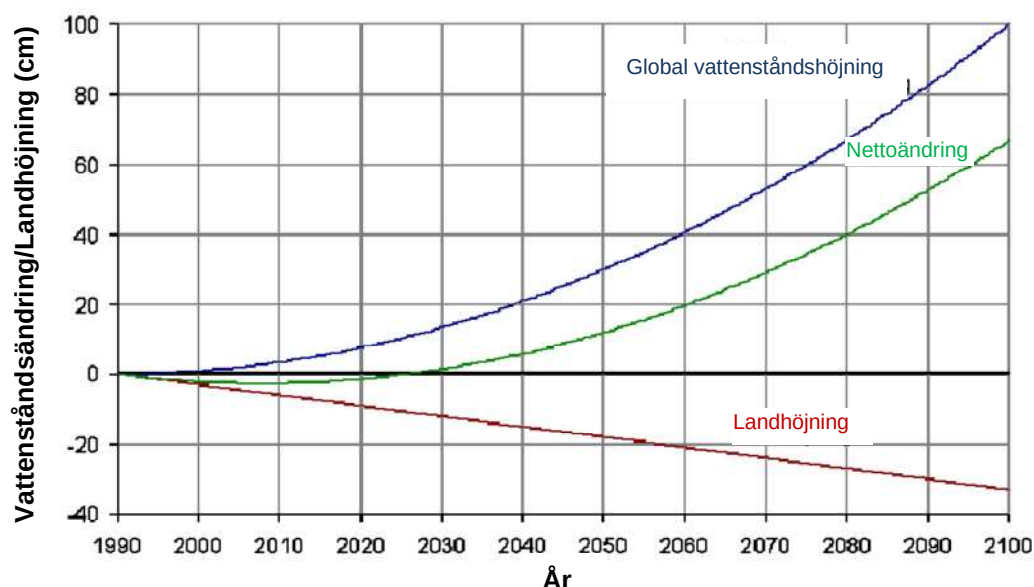
- Mycket stora befintliga och framtida byggnadsvärden
- Transportnätet
- Vattenförsörjningen
- Avlopp
- Energiförsörjningen
- Avfallshanteringen och nedlagda deponier
- Optofibernätet

2.2 Extremt väder, fas 2

Efter "Extremt väder" väcktes från flera håll ett behov av fortsatt samordning över förvaltningsgränserna. Med anledning av detta tog Byggnadsnämnden ett initiativ (2007-04-17) att åta sig samordningsansvaret för en fördjupad sårbarhetsanalys med tillhörande åtgärdsplanering med anledning av extrema väderhändelser. Deltagande var Kretsloppskontoret, Trafikkontoret, Göteborg Energi, Göteborg Vatten, Stadskansliet, Älvstranden Utveckling AB, Park- och naturförvaltningen, Fastighetskontoret, Miljöförvaltningen, Räddningstjänsten och dåvarande Banverket. Dessutom hölls kontakter med dåvarande Vägverket och Länsstyrelsen. Gullbergsvassområdet valdes ut för närmare studier. Extremt högsta högvatten kopplat till olika havsnivåhöjningar studerades. Kostnader för åtgärder i Gullbergsvass uppskattades.

2.3 Havshöjning i Göteborgsområdet

SMHI har nyligen gjort en sammanställning över förväntade climateffekter och havsytens havsnivåns betydelse för översvämningar i olika delar av Sverige (SMHI, 2012). SMHI har också analyserat havsytens effekter specifikt för Västra Götalandsområdet (SMHI, 2011). I detta material redovisas den förväntade nettohöjningen av havsytans nivå i Göteborg uppgår till ca 0,7 m fram till år 2100, se Figur 1.



Figur 1. Nettohöjning av havet i Göteborg fram till 2100 under antagande av en global havsnivåhöjning på 30 cm år 2050 respektive 1 meter år 2100 räknat från referensåret 1990. Den globala höjningen är beskriven med ett andragradsuttryck. (SMHI, 2011)

Landhöjningen i Göteborg är ca 3 mm/år, vilket innebär att den förväntade globala höjningen av havsnivå på ca 1,0 m reduceras till ca 0,7 m i Göteborgsområdet. I Göta älvdalen kompliceras samtidigt situationen av markförhållanden som medför sättningar. I Marieholm och Partihallsområdet i närheten av Västlänkens norra tunnelmynning har sättningshastigheter på 2-15 mm/år uppmätts (Trafikverket, 2012a). Marknivån kan därmed lokalt sjunka där sättningshastigheten är större än landhöjningen.

SMHIs bedömningar har hittills fokuserat på utvecklingen under de kommande 100 åren. I många sammanhang är ett längre tidsperspektiv än 100 år av intresse. Det gäller exempelvis långsiktig utveckling av bebyggelse och infrastruktur. Det mesta pekar mot att havet kommer att fortsätta att stiga även efter 2100, även om osäkerheten om stigningen blir allt större ju längre in i framtiden som planeringshorisonten sträcker sig.

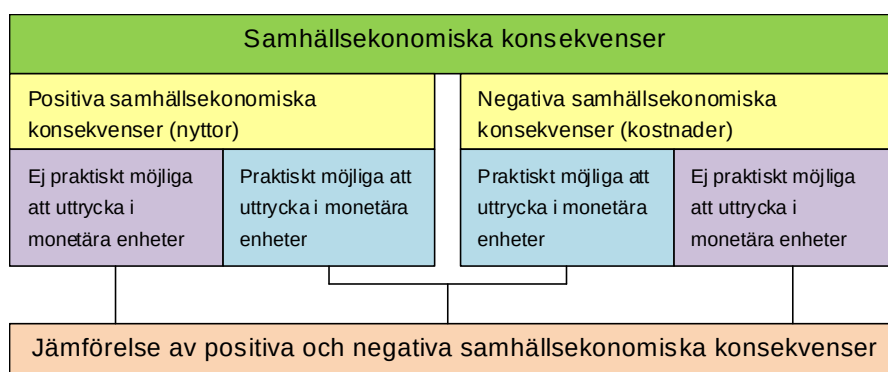
3 Principer för kostnads-nyttoanalys av åtgärder

3.1 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, se exempelvis Rosén m fl (2008) och Hanley & Barbier (2009). I KNA uttrycks de olika konsekvenserna i monetära enheter (t.ex. kr eller Euro) i så stor utsträckning som möjligt.

3.1.1 Kostnader, nyttor och lönsamhet

När man pratar om en samhällsekonomisk värdering menas närmare bestämt handlingsalternativens konsekvenser för både 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.



Figur 2. Samhällsekonomiska konsekvenser.

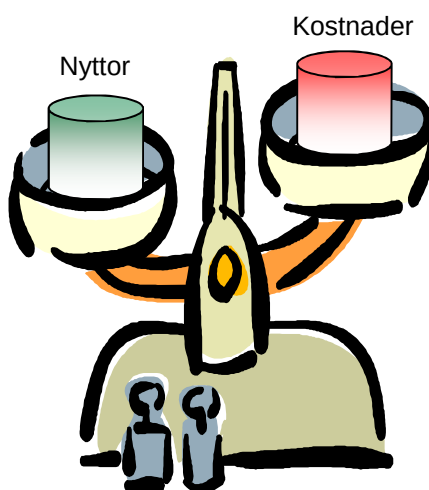
För att så långt som möjligt uttrycka nyttor och kostnader i monetära enheter har monetära mått på förändringar i välbefinnande utvecklats i ekonomisk teori. Dessa mått är förändringen i *konsumентöverskott* (för individer) och förändringen i *producentöverskott* (för företag). De bygger på antaganden om att individer strävar efter att maximera sitt välbefinnande och att företag vill maximera sin vinst. De här monetära måtten kan skattas med hjälp av marknadsdata för varor och tjänster som är föremål för handel på marknader.

Det finns dock många varor och tjänster som utan att vara marknadsprissatta är av betydelse för individers välbefinnande och företags vinster. Så är t ex fallet för

hälsoriskminskningar samt många varor och tjänster som naturen och miljön tillhandahåller, exempelvis så kallade *ekosystemtjänster* inklusive miljö kvalitet. Ett exempel på en ekosystemtjänst är tillgång till rent vatten. För sådana *icke-marknadsvaror* finns särskilda värderingsmetoder tillgängliga. Att använda sådana metoder ger därmed en möjlighet att ta reda på de samhällsekonomiska effekterna av hälso- och miljömässiga 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 3.



Figur 3. Avvägning mellan kostnader och nyttor.

En kostnads-nyttoanalys är en speciell typ av analys som måste kompletteras med andra slags analyser för att beslutsunderlaget ska bli heltäckande. En nödvändig komplettering är 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.

3.1.2 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:

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

där:

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

B_i = nyttor (benefits) av att genomföra åtgärdsalternativet

C_i = kostnader (costs) för att genomföra åtgärdsalternativet

r = diskonteringsränta

T = tidshorisont angivet i antal år t

Om värdet på målfunktionen, dvs. nettonuvärdet, är positivt är alternativet samhällsekonomiskt lönsamt, och ju högre positivt värde desto bättre är alternativet. Alternativen utvärderas i förhållande till ett referensalternativ, som vanligen, men inte alltid, definieras som att inte vidta någon åtgärd och de konsekvenser som detta leder till.

3.2 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. Som framgick av målfunktionen ovan används en diskonteringsränta för att räkna om alla nyttor och kostnader i kostnads-nyttoanalysen till ett *nuvärde*.

Diskontering är en omdebatterad metod, eftersom exempelvis kostnaderna för åtgärder som syftar till att förbättra miljön 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 (se ekvation 1). Om diskonteringsräntan däremot är noll värderas framtida kostnader och nyttor lika högt som dagens kostnader och nyttor.

Diskonteringsräntan kan antingen vara en *real* eller *nominell* ränta. En real ränta är lika med en nominell ränta som har justerats för att inte räkna med inflationseffekter. En real ränta ska användas om fasta priser används i analysen och en nominell ränta ska användas om rörliga priser används. Eftersom fasta priser vanligen används i KNA är det således vanligast att en real ränta används för diskontering.

Naturvårdsverket rekommenderar en real diskonteringsränta på 4 procent (Naturvårdsverket 2003). Det är dock inte självklart vilken räntesats som bör användas, i synnerhet inte om det är fråga om konsekvenser som inträffar långt fram i tiden och som påverkar framtida generationer. Den vetenskapliga diskussionen har bland annat resulterat i förslag att använda en fallande diskonteringsränta över tiden. Fallande diskonteringsräntor för offentliga projekt har exempelvis rekommenderats av Storbritanniens finansdepartement, se vidare Söderqvist (2006). I flera arbeten förordas lägre räntesatser än den som presenteras av Naturvårdsverket. I de senaste rekommendationerna från Arbetsgruppen för samhällsekonomiska kalkyl- och analysmetoder inom transportområdet (ASEK) rekommenderas en kalkylränta på 3,5 %. När det gäller samhällsekonomiska beräkningar rörande climateffekter har den s.k. Stern-rapporten (Stern, 2006) fått stort genomslag. Här rekommenderas en diskonteringsränta på 1,4 % för projekt rörande climateffekter.

Det har i olika arbeten diskuterats hur den typ av skador som uppstår på grund av climateffekter och annan miljöförstöring bör diskonteras. Som påpekas av exempelvis Söderqvist (2006) är valet av diskonteringsränta mycket komplicerat och det finns inget entydigt svar på vilken räntesats som bör väljas. Problematiken kring vilken nivå på diskonteringsräntan som är rimlig gör att det alltid är motiverat att göra en *känslighetsanalys*. I känslighetsanalysen studeras om slutsatserna från kostnads-nyttoanalysen förändras när räntenivån varierar.

I denna kostnads-nyttoanalys har Sweco valt att i första hand studera utfallet med diskonteringsräntan, 1,4 %. Detta dels eftersom det finns flera skäl (se exempelvis Söderqvist, 2006) att använda lägre räntesatser än marknadsräntan vid samhällsekonomiska beräkningar av klimatanpassning för långa tidshorisonter, dels eftersom denna räntesats rekommenderas i den s.k. "Stern-rapporten" (Stern, 2006). Denna rapport har kommit att få mycket stor internationell betydelse i debatten om samhällsekonomiska effekter av ett förändrat klimat. I en känslighetsanalys har dock en jämförelse av kostnads-nyttoanalysens utfall med en högre diskonteringsränta, 3,5 %, gjorts.

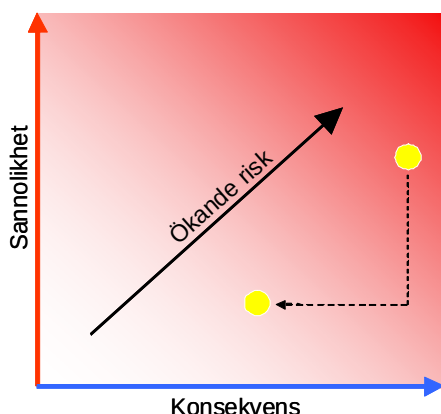
Valet av tidshorisonten är av stor betydelse för kostnads-nyttoanalysens utfall. Sweco har i denna kostnadsnyttoanalys i samråd med Göteborgs Stad valt att studera åtgärdernas effekter fram till år 2100, vilket innebär att tidshorisonten satts till 87 år, d.v.s. från och med år 2013 till och med år 2100. Som ovan nämnts kan det mycket väl vara lämpligt att i framtida analyser ta hänsyn till längre tidshorisonter.

3.3 Kostnader och nyttor av översvämningsåtgärder

3.3.1 Nyttor

Översvämningsinträffar oregelbundet och det går inte att med säkerhet förutsäga om, och i så fall när, en översvämningsinträff ska inträffa. Det är därför lämpligt att istället försöka bedöma *riskerna* för skador till följd av översvämningsinträff. En riskuppskattning innebär i detta sammanhang en *sammanvägning* av sannolikheten för

översvämning och dess negativa konsekvenser (*skador*). 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 skadekostnaden*. Sammanvägningen av sannolikhet för översvämning och skadekostnad beskrivs principiellt i Figur 4.



Figur 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*.

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.

Exempel på förebyggande åtgärder är förbättrad reglering av vattendrag så att dess kapacitet att klara ökade flöden 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.

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 exempelvis 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* vore 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 utföra nya anläggningar, byggnader och andra objekt till en lägre kostnad än vad som varit fallet om varje enskilt objekt behövt klimatanpassas.

3.3.2 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, 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.

Vid stora infrastrukturprojekt sker normalt en investering över flera år vilket innebär att kostnaderna också faller ut under flera år. Ett heltäckande skydd är först upprättat det år åtgärden är färdigställd och tagen i bruk. Av beräkningstekniska skäl har det i denna utredning antagits att hela investeringen sker det första året och att åtgärden även är färdigställd detta år.

Driftskostnader uppstår årligen genom driften av den aktuella åtgärden.

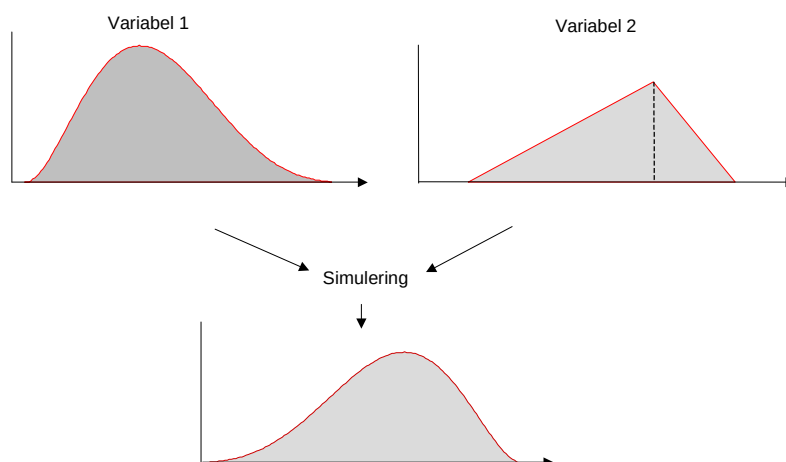
Underhållskostnader inbegriper kostnader för att upprätthålla åtgärdens funktion och kan innehålla både årligen återkommande kostnader men även större underhållsinvesteringar av engångskaraktär. I denna utredning har underhållskostnaderna fördelats jämnt under hela åtgärdens livslängd.

3.4 Osäkerhets- och känslighetsanalys

Kostnads-nyttoanalysen är förknippad med osäkerheter. Såväl skattningsarna av nyttorna som kostnaderna måste göras utan fullständig kunskap om de verkliga utfallen.

Osäkerheterna för varje variabel (kostnads- eller nyttopost) i beräkningen kan beskrivas med hjälp av statistiska osäkerhetsfördelningar.

Genom statistisk simulering (Monte Carlo) kan en osäkerhetsfördelning också för den sökta storheten, exempelvis målfunktionen, skattas (se principiell beskrivning i Figur 5).



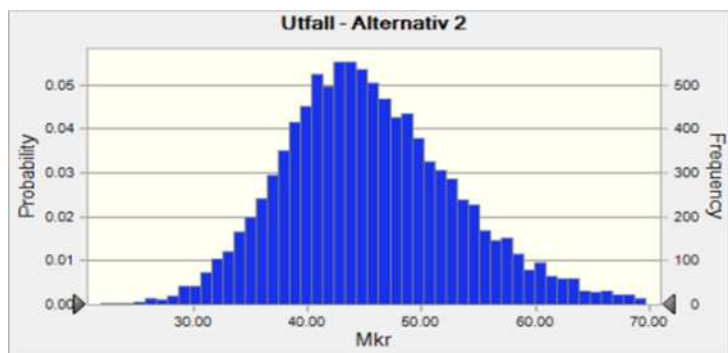
Figur 5. Principiell beskrivning av statistisk simulering.

Ur fördelningen för slutresultatet, exempelvis nuvärdet, kan bl.a. väntevärdet² (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.

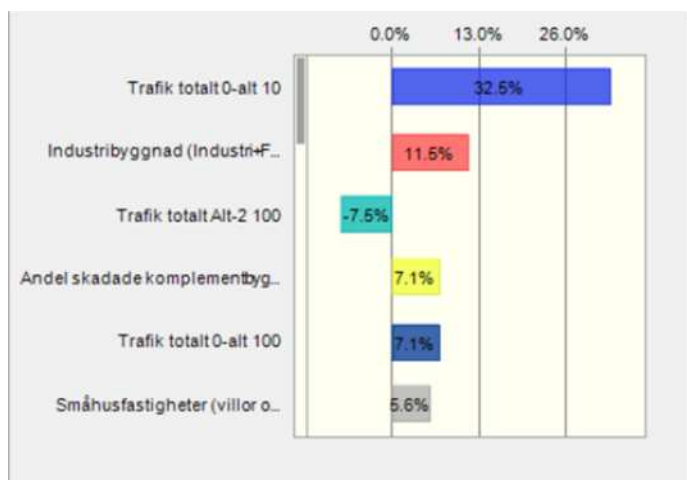
Utifrån simuleringarna kan också känslighetsanalyser utföras för att identifiera vilka variabler som har störst betydelse för osäkerheten i beräkningarnas utfall. Detta ger information om vilka variabler som bör vara mest angelägna att studera vidare i syfte att nå en säkrare skattning av den samhällsekonomiska lönsamheten för de studerade alternativen.

I Figur 6 ges ett exempel på osäkerhetsfördelning för ett beräknat nuvärde, givet de osäkerheter som anges för indata. I Figur 7 ges ett exempel på osäkerhetsanalys av vilka indata som ger störst bidrag till den osäkerheten i nuvärdet. Resultaten visar till hur stor andel respektive variabel/indata i beräkningen bidrar till osäkerheten i det studerade utfallet (exempelvis nuvärdet). Med hjälp av osäkerhetsanalysen får användaren vägledning kring vilken typ av ny information som i första hand bör samlas in i syfte att åstadkomma en mera säker nuvärdesberäkning.

² Kostnads-nyttanalys är en form av "expected utility analysis" där väntevärden, vilka kan representeras av statistiska beräkningars medelvärden av möjliga utfallsrum, normalt används.



Figur 6. Osäkerhetsfördelning för utfallet vid beräkning av samhällsekonomisk lönsamhet (nuvärde, se nedan).



Figur 7. Osäkerhetsanalys för beräkning samhällsekonomisk lönsamhet (nuvärde) för ett åtgärdsalternativ. Trafikförseningar är i detta exempel den post som ger störst bidrag till den totala osäkerheten kring nuvärdet för åtgärdsalternativet.

4 Genomförande och resultat

4.1 Analysens olika steg

Den KNA-modell som Sweco utarbetat och som används för att utvärdera översvämningssåtgärder för Göteborg består av följande åtta huvudsteg:

1. Hydrologisk modellering av översvämningsscenarier för olika återkomsttider (exempelvis 10, 50, 100 år)
2. Ekonomisk värdering av skadekostnader för de olika översvämningsscenarierna:
 - i. Direkta
 - ii. Efterbehandling
 - iii. Bestående
3. Beräkning av riskkostnad som en funktion av återkomsttider och skadekostnader
4. Identifiering av åtgärdsalternativ
5. Kostnadsuppskattning av åtgärder
6. Beräkning av åtgärdernas nyttor, som en funktion av minskade riskkostnader och andra tillkommande nyttor, för varje åtgärdsalternativ
7. Kostnads-nyttoanalys, inklusive osäkerhetsanalys, och beräkning av samhällsekonomisk lönsamhet
8. Rangordning och identifiering av mest lönsamma alternativ

Nedan beskrivskostnads-nyttoanalysen olika steg och dess resultat för Göteborg.

4.2 STEG 1: Översvämningsscenarier

I denna utredning har tre havsvattennivåer valts för att studera konsekvenserna vid översvämningar. För vidare beskrivning av hur informationen om dessa nivåer används i kostnads-nyttoanalysen, se avsnitt 4.4. Nivåerna som studerats presenteras i Tabell 1. För att förenkla beräkning av drabbade områden vid olika översvämningssnivåer har det antagits att samma nivå, den vid Göta Älvbron, gäller i hela staden. Detta innebär att en viss överskattning av konsekvenserna nedströms bron sker men samtidigt sker en underskattning uppströms.

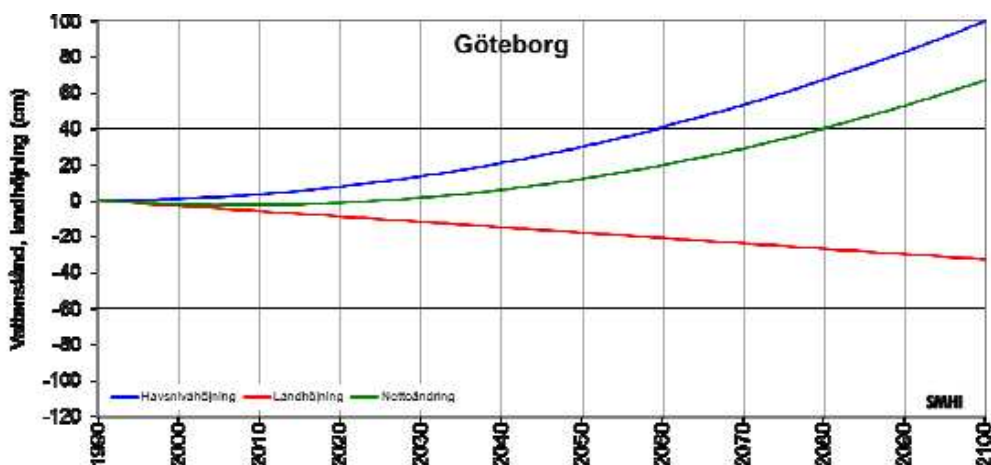
Tabell 1. Nivåer i Torshamnen och motsvarande nivå vid Göta älvbron.

Torshamnen (möh)	Göta Älvbron (möh och i Göteborg stads höjdsystem)	
1,4	1,7	11,65
1,65	1,95	11,90
1,9	2,2	12,15

På senare år har höga vattennivåer i Göteborgs stad observerats vid flera tillfällen. Med stigande globala havsvattennivåer kommer det bli allt vanligare med höga vattennivåer i Göteborg. I denna utredning har kostnader som uppstår vid ovanstående tre vattennivåer beräknats.

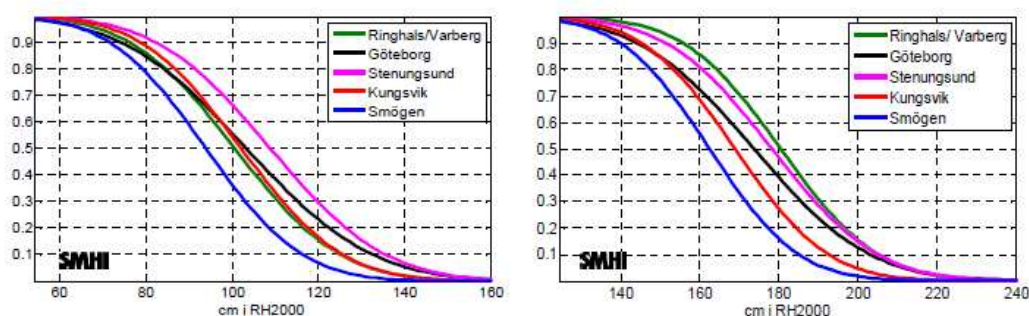
4.2.1 Förändring av sannolikheter

Sannolikheten att olika vattennivåer ska uppstå kommer att förändras i takt med att havsnivån stiger. SMHI (2011) genomförde 2011 en klimatanalys för Västra Götaland där hänsyn till detta tas. I Göteborg bedöms nettoändringen i havsnivå (med hänsyn tagen till landhöjning) vara knappt 70 cm till år 2100, se Figur 8.



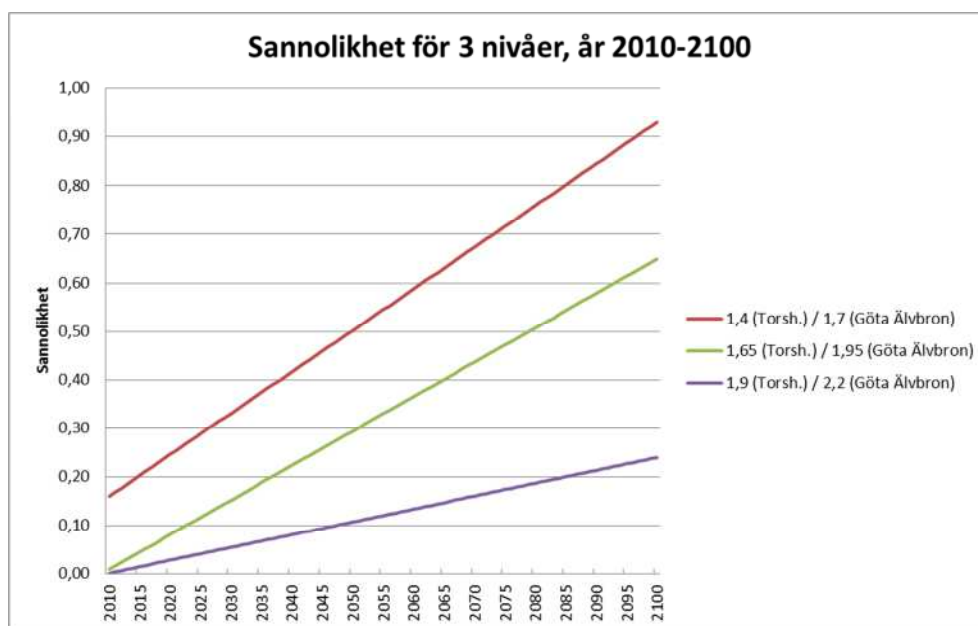
Figur 8. Relativ förändring av medelvattenståndet från 1990 till 2100 för Göteborg (Klimatanalys Västra Götaland, SMHI, 2011). Utveckling av medelvattenytan (blå) förutsätter en global havsnivåhöjning med 30 cm fram till 2050 och 100 cm fram till 2100. Den absoluta landhöjningen (röd) Nettoändringen (grön) blir nästan 70 cm för Göteborg.

Sannolikhetsfördelningar av årshögsta har beräknats av SMHI för år 2010 och 2100 (SMHI, 2011), se Figur 9. Sannolikheten för att samma vattennivå ska uppstå ökar kraftigt till år 2100, jmf. återkomsttiden för en vattennivå på 140 centimeter år 2010 (1 gång på 20 år) med samma nivå år 2100 (nästan en gång per år).



Figur 9. Sannolikhetsfördelning av årshögsta vattenstånd i dagens klimat (vänster) och år 2100 (höger) (SMHI, 2011). Figuren visar resultat för de fyra mätstationer som ligger i Västra Götalands län och stationen Varberg/Ringhals, i höjdsystemet RH2000. Sannolikheten 0,5 motsvarar 2 års återkomsttid. En sannolikhet på 0,1 motsvarar 10 års återkomsttid.

Med hjälp av den utredning SMHI genomfört har en förenklad (linjär) beräkning av hur sannolikheten för de olika nivåerna kommer att förändras från 2010 till år 2100. Det är troligt att förändringen kommer att ske mer stegvis vilket kan innebära att sannolikheten för vissa år underskattas och för andra överskattas. I Figur 10 visas hur återkomsttiden förväntas förändras mellan 2010 och 2100.



Figur 10. Förändring av sannolikheten (återkomsttiden) för att de tre studerade vattennivåerna ska uppträ mellan 2010 och 2100.

Det kan konstateras att sannolikheten för att höga nivåer inträffar kommer öka dramatiskt de närmaste 90 åren, se Tabell 2.

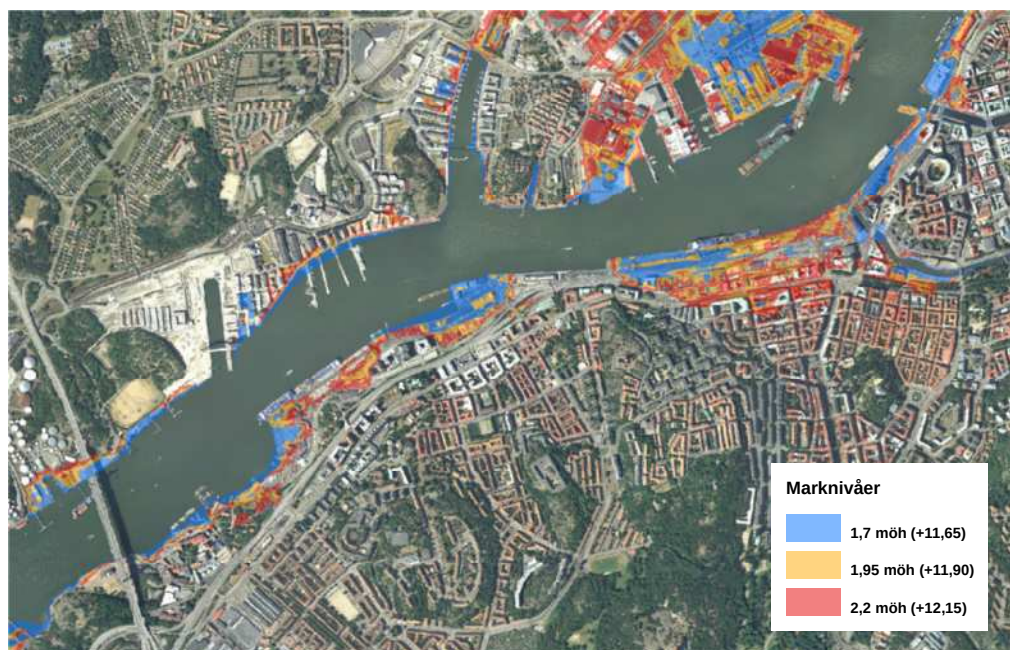
Tabell 2. Förändringen av återkomstperiod och sannolikhet för att olika vattennivåer vid Göta Älvbron ska uppstå 2010 och 2100.

Vattennivå	Återkomstperiod år:		Sannolikhet år:	
	2010	2100	2010	2100
1,70 möh (11,65)	16,8	1,1	0,16	0,93
1,95 möh (11,90)	100	1,5	0,01	0,65
2,20 möh (12,15)	500*	4,2	0,002*	0,24

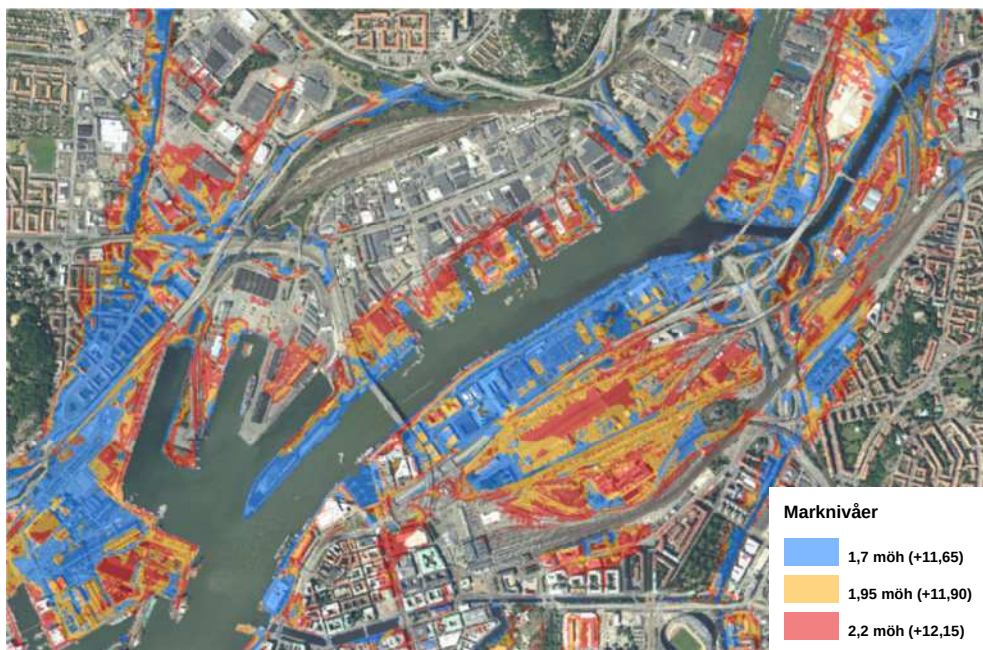
*Vilken återkomstperiod och sannolikhet nivån 2,20 möh har år 2010 är osäkert. 97,5 -percentilen för 200-årsnivån är enligt SMHI (Klimatanalys Västra Götaland, 2011) 2,04 möh. En känslighetsanalys har visat att det är av marginell betydelse för utredningen om återkomstperioden för denna nivå är 1000, 500 eller 250 år för år 2010. Detta eftersom sannolikheten för denna kommer förändras dramatiskt till år 2100. Utifrån en rimlighetsbedömning har det antagits att nivån 2,20 möh har en återkomstperiod på 500 år 2010.

4.2.2 Utbredning av vattennivåer

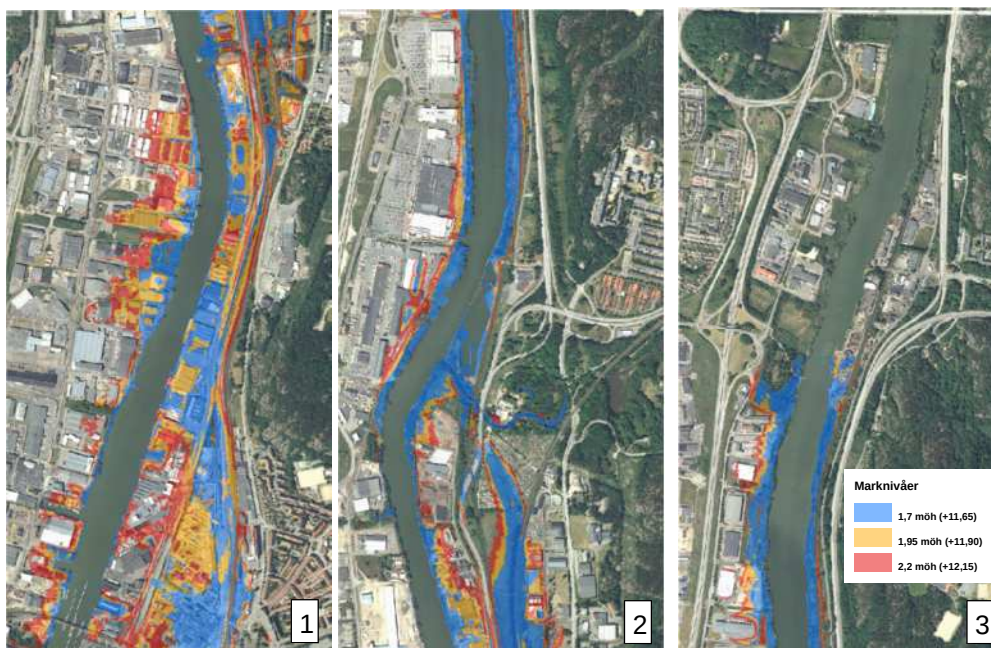
I Figur 11, Figur 12 och Figur 13 presenteras vattennivåernas utbredning för de tre valda översvämningsscenarierna (nivåerna), från Älvsborgsbron till Angeredsbron. Modelleringen av översvämningsscenariernas utbredning har gjorts med hjälp av GIS-analys och tillgängliga höjddata.



Figur 11. Marknivåkarta över området Älvsborgsbron till Stenpiren och Packhuskajen. De olika färgerna (blå/gul/röd) visar marknivåerna 1,7; 1,95 och 2,2 möh eller lägre. Observera att en låg marknivå inte nödvändigtvis innebär att en översvämning inträffar, det kan vara så att området är skyddat av högre marknivåer eller av befintliga skydd.



Figur 12. Översvämningsskarta över området Packhuskajen och Frihamnen till Marieholmsbron. De olika färgerna (blå/gul/röd) visar marknivåerna 1,7; 1,95 och 2,2 möh. Observera att en låg marknivå inte nödvändigtvis innebär att en översvämning inträffar, det kan vara så att området är skyddat av högre marknivåer eller av befintliga skydd.



Figur 13. Översvämningsskarta över området norrut från Marieholmsbron (1), Råvattenintaget Göteborg Vatten (2) till Angeredsbron (3). De olika färgerna (blå/gul/röd) visar marknivåerna 1,7; 1,95 och 2,2 möh, det kan vara så att området är skyddat av högre marknivåer eller av befintliga skydd.

4.3 STEG 2: Ekonomisk värdering av översvämningarnas konsekvenser

I detta steg analyseras de ekonomiska konsekvenserna av de tre olika översvämningsscenarierna. I ramen för denna studie har det inte varit möjligt att genomföra en värdering *ex ante* och därför har den minskade risken för översvämning värderats med hänsyn till minskade skadekostnader, se vidare avsnitt 3.2.1 ovan. Sannolikt leder detta till en viss undervärdering av riskkostnaden för översvämningar i området.

När ett tätbebyggt område översvämmas kan en rad olika typer av skador uppstå och en mängd olika funktioner kan påverkas. I denna utredning har det inte funnits möjlighet att kartlägga samtliga konsekvenser som uppstår och de som kartlagts har studerats övergripande. Det har inte heller funnits någon möjlighet att kartlägga översvämningar som orsakas genom ledningsnätet. Endast s.k. ytvattenöversvämningar har därför kartlagts. Därutöver har endast Göteborg stads fastighetsdatabas utnyttjats i denna utredning och skador söder om Kungälv utanför Göteborgs kommun har inte undersökts. Konsekvenser i Göteborgs stad norr om Angeredsbron har inte heller undersökts.

Det ska betonas att kostnadsbedömningarna av översvämningars konsekvenser är grova och i flera fall baserade på expertbedömningar inom Sweco och i samråd med Göteborgs stad. Det har inom ramen för denna pilotstudie inte varit möjligt att genomföra detaljerade och platsspecifika värderingar av översvämningars konsekvenser. Alla värderingar anges med ett osäkerhetsintervall.

Följande konsekvenser har helt eller delvis kvantifierats i ekonomiska termer:

1. Akuta åtgärder vid översvämningstillfället
2. Avbrott i produktion
3. Trafikförseningar
 - Vägtrafik
4. Skador på byggnader:
 - Flerfamiljshus
 - Handelsbyggnader
 - Kontorsbyggnader
 - Industribyggnader
 - Komplementbyggnader (garage, förråd, vissa parkeringshus m.m.)
 - Transformatorstationer

4.3.1 Akuta åtgärder

Kostnader för akuta åtgärder inbegriper kostnader för akuta arbetsinsatser, kostnader för att anlägga temporära vallar, installera pumpar och andra tillfälliga åtgärder för att begränsa översvämningar.

Vid översvämningar längs Mölndalsån (Sweco, 2009) uppskattades kostnader för akuta åtgärder till mellan 0,5-1 Mkr per kommun (Göteborg, Härryda och Mölndal).

Vid höga havsnivåer kommer hela Göteborg att drabbas av översvämningar, vilket innebär att de akuta kostnaderna kan antas vara betydligt högre än vid översvämningen av Mölndalsån 2006. I Tabell 3 redovisas bedömda akuta kostnader vid olika vattennivåer. Bedömningarna har baserats på rimlighetsresonemang inom utredningsgruppen vid Sweco.

Tabell 3. Bedömda akuta kostnader vid olika vattennivåer.

Akuta kostnader (Mkr) vid respektive nivå		
1,7 möh (11,65)	1,95 möh (11,90)	2,20 möh (12,15)
1-5	2-10	5-20

4.3.2 Avbrott i produktion

Avbrott i produktion kan leda till stora kostnader för företag och samhället. Antalet möjliga avbrott i produktion har likställts med antalet översvämmade industribyggnader, se Tabell 4. Att en översvämning drabbar en industribyggnad behöver inte resultera i att ett produktionsavbrott uppstår. En osäkerhetsfördelning för antalet avbrott i drabbade byggnader har antagits. Den totala kostnaden för avbrott beräknas med hjälp av schablonkostnaden för avbrott, baserat på försäkringsstatistik, se Bilaga 1. Det bedöms vara troligt att översvämningar i centrala Göteborg kommer att leda till större avbrottskostnader än schablonkostnaden ger.

Tabell 4. Antal drabbade industribyggnader vid olika vattennivåer.

Drabbat objekt	Antal industribyggnader inom översvämmat område vid resp. nivå		
	1,7 möh (11,65)	1,95 möh (11,90)	2,20 möh (12,15)
Industribyggnader	499	857	1198

4.3.3 Trafikförseningar

Mycket omfattande trafikproblem kan uppstå på väg, spårväg och järnväg i samband med översvämningar i Göteborg och uppströms längs Göta älv. Det har inom denna utredning inte varit möjligt att mer i detalj studera kostnader för trafikförseningar som uppstår i samband med översvämningar. Det finns flera områden som potentiellt kan drabbas

allvarligt och därutöver uppstå översvämningar parallellt vilket leder till ytterligare trafikförseningar både för väg samt järnväg.

För att få en uppfattning om hur stora kostnaderna för trafikförseningar i vägtrafiken kan vara, har det undersökts vilka kostnader som uppstår om Götatunneln och delar av Mårten Krakowgatan är oframkomlig. I Bilaga 2 redovisas det tillvägagångssätt som använts.

Anledningen till att Götatunneln har undersökts är för att den påverkas av översvämningar vid betydligt lägre nivåer än t.ex. Tingstadstunneln. Götatunneln klarar nivåer omkring 12 meter utan att temporära översvämningsskydd måste monteras. Ungefär vid 12,10-12,30 m måste Götatunneln spärras av och vallas in för att förhindra att tunneln ska bli vattenfylld (*Trafikverket, Per Thunstedt 13/9-12*). Detta innebär att tunneln inte kan användas under uppmontering, översvämningsskydd och nedmontering. Det kan uppskattningsvis röra sig om ungefär 1,5 dygn (12 timmar uppmontering, 12 timmar översvämning och 12 timmar nedmontering) som tunneln inte kan användas. Även vid lägre nivåer i kombination med stora regnmängder kan det uppstå problem i Götatunneln med vattenfyllnad via ledningsnätet. Om Götatunneln blir vattenfylld kan det ta åtskilliga månader att återställa el och ventilation.

Beräkningar i SAMPERS-prognos visar att samhällskostnaden för 1 dygns trafikförseningar är ca 1 Mkr eftersom ett och ett halvt dygns avstängning av Götatunneln uppskattningsvis kostar 1 500 000 kr, se Bilaga 2. Denna beräkning är behäftad med en stor osäkerhet och skall i första hand betraktas som en indikation och storleksordning. Modellen tar bland annat inte hänsyn till fortplantningseffekter i trafiksystemet och sammantaget är samhällskostnaden sannolikt en underskattning av den egentliga kostnaden. Kostnader för trafikförseningar på grund av att Götatunneln är avstängd bedöms uppstå om havsnivån är 12,15 meter eller högre. Lundbyleden översvämmas sannolikt vid en lägre nivå men en avstängning varar sannolikt kortare tid. Skulle både Lundbyleden och Göta tunneln vara översvämmade och blockerade kan det antas att kostnaden skulle vara minst det dubbla per tidsenhet. Det har därför antagits att kostnaderna för trafikförseningar vid en vattennivå på 12,15 är ca 2 Mkr och ca 0,5 Mkr vid 11,90.

4.3.4 Skador på byggnader

Skador på byggnader vid översvämningar kan ske både till följd av ytvattenpåverkan och genom ledningspåverkan. Översvämningar kan även spridas genom ledningsnätet och till källare. I denna utredning har endast byggnader som ligger lågt kunnat identifieras (ej källare). Någon översyn av ledningsnätet och eventuella byggnader som påverkas av översvämningar genom detta har inte varit möjlig.

Utsökningen av byggnader har skett utifrån marknivå och inte exakta utbredningar av översvämningar. Som en effekt av detta inkluderas en del områden som inte har hydrauliskt samband pga markytans topografiska förhållanden. Detta kommer till viss del att representera ledningsnätspåverkan, eftersom lågpunkter i stadsbebyggelse generellt är utrustade med dagvattenbrunnar. Sammantaget resulterar den metod som används för

utsökning av antalet översvämningsspåverkade byggnader, troligtvis, i en underskattning av påverkan.

Påverkade byggnader har alltså identifierats genom utsökning i GIS. I Tabell 5 redovisas antalet objekt som ligger inom översvämmat område.

Tabell 5. Antal drabbade objekt vid olika vattennivåer.

Drabbat objekt (namn i fastighetsdatabas)	Antal objekt inom översvämmat område vid resp. nivå		
	1,7 möh (11,65)	1,95 möh (11,90)	2,20 möh (12,15)
Flerfamiljshus (bostad)	157	214	299
Handels- och Kontorsbyggnader (handel-kontor)	88	134	192
Industribyggnader (industri)	499	857	1198
Offentliga byggnader (offentlig och annan offentlig byggnad)	55	103	178
Komplementbyggnader (uthus, ej till bostad)	156	239	332
Transformatorstationer (transformator)	29	48	69

När en översvämning inträffar kommer inte samtliga byggnader som ligger inom området att få skador. Därför har osäkerhetsfördelningar ansatts för hur stor andel av de drabbade byggnaderna som påverkas, se Bilaga 1. De utsökta objektstyperna matchas sedan mot de schablonkostnadskategorier som beräknats utifrån försäkringsstatistik, se Bilaga 1.

Flerfamiljshus (bostad) – denna kategori inbegriper både flerbostadshus och villor. I det område som drabbas av översvämningar finns främst flerbostadshus. Därför har skador på dessa objekt representerats av schablonkostnaden flerbostadshus.

Handels- och kontorsbyggnader (handel-kontor) – skador på dessa objekt representeras av schablonskadekostnaden handelsbyggnad eller kontorsbyggnad i beräkningsmodellen. I Göteborgs stads fastighetsdatabas är handels- och kontorsbyggnader klassificerade som en kategori. I riskkostnadsberäkningen har det antagits lika sannolikt att samtliga byggnader är handels- som kontorsbyggnader.

Industribyggnader (industri) – skador på dessa objekt representeras av schablonskadekostnaden industribyggnad i beräkningsmodellen.

Offentliga byggnader (offentlig och annan offentlig byggnad) – denna kategori innehåller en rad typer av byggnader men utgörs främst av skolor, äldreboenden, förskolor samt kontor för offentlig verksamhet. Någon schablonskadekostnad har ej kunnat beräknas för offentliga byggnader. Det antas att skador på denna kategori kan representeras av schablonskadekostnaden kontorsbyggnad.

Komplementbyggnader (uthus, ej till bostad) – skadorna på dessa objekt representeras av schablonskadekostnaden komplementbyggnad i beräkningsmodellen.

Transformatorstationer (transformator) – skadorna på dessa objekt representeras av schablonskadekostnaden transformatorstation i beräkningsmodellen. Det antas vidare att de stationer som blir skadade är 10 kV-400 V.

4.3.5 Kvalitativa skadekostnader

Det finns en rad potentiella skadekostnader som inte har kunnat kvantifieras i denna pilotstudie. Åtgärderna som utvärderats kommer att kunna medföra minskade skadekostnader i området mellan Älvsborgsbron och Kungälv. Exempel på sådana skadekostnader som inte kunnat kvantifieras är:

Direkta

- Skador på uppställda fordon
- Intäktsförluster
- Utebliven försäljning
- Förlorad inkomst (privatpersoner)

Trafikförseningar

- Förseningar på järnväg
- Ytterligare försening på väg (förutom Götatunneln)

Avbrott teknisk infrastruktur

- Avbrott i reningsverk*
- Avbrott i vattenverk
- Ersättning till kunder för avbrott i vattenleveranser
- Ersättning till kunder för elavbrott

Avbrott och återställning samhällsservice

- Förskola
- Skola
- Äldreboenden
- Hemtjänst
- Sjukvård

Skador miljö/jord/skogsbruk

- Läckage förorenade områden
- Bräddning av avloppsvatten
- Skogsskador*
- Jordbruksskador*
- Vattentäkt

Efterbehandling

Byggnader

- Övriga byggnader
- Kulturhistoriska byggnader
- Evenemangsbyggnader

Infrastruktur

- Väg
- Järnväg
- Dagvattenledningar
- Fjärrvärmeledningar
- Elledningar
- Optokablar

Bestående skador

- Restriktioner i markanvändning
- Psykisk ohälsa

- Fysiska skador

**Finns ej i området alternativt är posten av mindre betydelse i området*

Med hänsyn tagen till det stora antalet ej kvantifierade skadekostnadsposter är det mycket sannolikt att riskkostnaden av översvämningar underskattas. Ovanstående identifiering av ej kvantifierbara skadekostnadsposter indikerar att det finns många poster för vilka mera detaljerade värderingar kan vara motiverade.

De direkta kostnaderna vid översvämningar är sannolikt betydande. Kostnader för akuta åtgärder inbegriper kostnader för material, arbetstid, evakuering och tillfälligt boende mm. Kostnader för skador på uppställda fordon är sannolikt också stor om en större översvämning drabbar Göteborg. Vid översvämningen av Gårda brandstation och SOS-alarm totalförstördes mer än 20 bilar i källaren på huset och detta var en begränsad översvämning.

Intäktsförluster kommer både bestå i utebliven försäljning för en rad företag som ligger i översvämningsdrabbat område men även i form av utebliven intäkt både för företag och för personer som inte kan utföra sitt arbete. Detta kan även bero på indirekt påverkan på grund av till exempel elavbrott.

Samhällskostnaden för trafikförseningar på väg har beräknats för en begränsad del av trafiksystemet, Götatunneln. Där beräknas kostnaden som uppstår till drygt 1 Mkr. Denna beräkning innehåller stora osäkerheter och är sannolikt underskattad. Om en betydande översvämning drabbar Göteborg kommer flera trafikleder att kunna blockeras bland annat Lundbyleden och tillfartsgatorna i höjd med Lundbymotet därutöver kan andra viadukter vattenfyllas. Det är därför troligt att kostnaden för ett halvt till ett helt dygns trafikförseningar sammantaget kostar flera miljoner enbart sett till vägtrafik. Om dessutom förseningar på järnväg uppstår, vilket är sannolikt, kommer kostnaderna öka ytterligare. Inträffar betydande skador på en tunnel eller bro som medför lång återställningstid kommer kostnaderna för trafikförseningar att öka betydligt.

Om stor påverkan på elnät, fjärrvärme eller vatten sker vid en översvämning kan det dels uppstå direkta återställningskostnader till följd av skador, dels ersättningskostnader. Ersättning för elavbrott till privatpersoner ska vid avbrott utgå enligt SFS 1997:857. Vid ett elavbrott som varar 12-24 timmar ska en ersättning av 12,5 % av elanvändarens årliga nätkostnad eller minst 2 % ett prisbasbelopp (44 900 kronor år 2012) utgå. Vid längre avbrott ökar ersättningsnivån efter varje 24 timmars period. Sammantaget kan kostnaden för avbrottersättning alltså bli betydande

Avbrott i samhällsservice kan uppstå om skolor, förskolor, äldreboenden, sjukvård och andra serviceinrättningar skadas vid översvämningar. Merkostnader kommer att uppstå dels under översvämningen, dels under återställningsfasen. Dessa merkostnader kan bero på tillfälliga lokaler, överbeläggning, inställd service och i värsta fall kan det inträffa dödsfall till följd av försämrad service.

Kostnaden för skador som uppstår på grund av läckage från förorenade områden är sannolikt av mindre betydelse i de flesta fall. En påtaglig risk är dock om förorenade

jordmassor skredar ut i Göta älv. Då kan konsekvenserna för såväl miljö som för Göteborgsregionens vattenförsörjning bli katastrofala. Vidare kan bräddning av avloppsvatten ge betydande skador på miljö och vattenförsörjning.

Skogsskador och jordbruksskador är sannolikt av mindre betydelse i denna utredning men uppströms Göteborg kommer denna typ av markanvändning kunna påverkas och beroende på årstid kan stora skador på grödor inträffa.

Dricksvattentäkten i Göta älv måste ofta stängas till följd av saltvattenuppträngning i älven. Hur detta kommer att påverkas av framtida stigande havsnivåer har inte studerats inom ramen för denna utredning.

Kostnadsberäkning av skador på byggnader har skett med hjälp av schablonkostnader. Detta innebär att kostnader för skador på speciella byggnader med högt kulturhistoriskt värde, evenemangsbyggnader med mera sannolikt är underskattat. I vissa fall går det kanske inte ens att återställa en skadad byggnad. I Göteborg finns ett stort antal unika byggnader vilket sannolikt innebär att kostnaden för återställande av byggnader är underskattad.

Skador på infrastruktur har inte kostnadssatts i denna utredning. I andra utredningar har schablonkostnader ansatts per meter skadad väg och järnväg, bland annat i *Konsekvenser av översvämning i Mälaren* (MSB Fö2010/560/SSK). Skador på väg och järnväg vid översvämningar sker sannolikt oftast vid broar, tunnlar och vägtrummor. Skador på dagvatten-, vatten-, fjärrvärme- och elledningar med mera kan inte heller uteslutas. Eftersom stor osäkerhet råder om vilka och var skador kan uppstå i Göteborg har Sweco i denna utredning valt att inte kostnadssätta denna typ av skador. Det är sannolikt att vid en större översvämning kommer betydande skador uppstå på infrastruktur. Ett exempel på detta är att en större översvämning av Götatunneln av Trafikverket uppskattningsvis bedöms innebära en reparation av tunneln i uppmot ett år. Det är därför inte orimligt att anta att denna post kommer innebära åtskilliga miljoner i kostnad vid en större översvämning. Mindre dramatiska skador som kan uppstå, som därmed inte behöver vara försumbara, är igensättning av VA-ledningar och ett behov av spolning.

I centrala Göteborg, främst på Hisingssidan men även sydsidan, finns stora outnyttjade områden som det finns både önskan och planer på att exploatera. En stor del av dessa områden ligger lågt och för att en exploatering ska vara möjlig måste någon form av åtgärd vidtas. Om en storskalig åtgärd genomförs bör åtgärder som vidtas lokalt kunna bli mindre omfattande och därmed mindre kostsamma. Dessa lägre kostnader kan ses som en nytta. Detta kan röra sig om miljonbesparingar i investeringar och drift- och underhåll.

Kostnader som är mycket svår att värdera är kostnader både för fysiska skador och för psykisk ohälsa. I Sverige har vi varit relativt förskonade från dödsfall i samband med översvämningar. Trots detta har det vid sju tillfällen (översvämningar) inträffat ett eller flera dödsfall (*Översvämningar i Sverige 1901-2010*, MSB355, 2012). Vid minst nio översvämningar har personer skadats allvarligt. Dödsfall och tillbud har till exempel inträffat när personer försökt köra igenom vattenfyllda viadukter.

4.4 STEG 3: Beräkning av riskkostnaden innan åtgärd

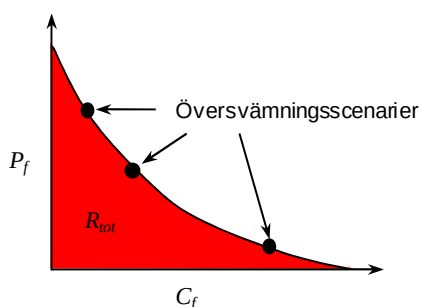
Hur stora skadekostnaderna blir beror på översvämningarnas utbredning. Olika utbredningar uppstår med olika sannolikhet, se ovan. För att kunna beräkna en *total riskkostnad* måste därför en summering göras över alla översvämningsscenarier som är möjliga.

Risken kan i ett ekonomiskt perspektiv definieras som:

$$R = P_f C_f \quad (\text{ekvation 2})$$

där P_f är sannolikheten för översvämning och C_f är skadekostnaderna till följd av översvämning (kr). Risken är således väntevärdet för skadekostnaden.

Olika översvämningsscenarier och därmed olika skadekostnader uppstår med olika sannolikhet. Detta kräver en summering över alla möjliga utfall för att en total risk R_{tot} för området eller platsen ska kunna beräknas. Den totala risken kan beskrivas enligt Figur 14.



Figur 14. Principiell beskrivning av den totala risken, vilket svarar mot den totala ytan i grafen.

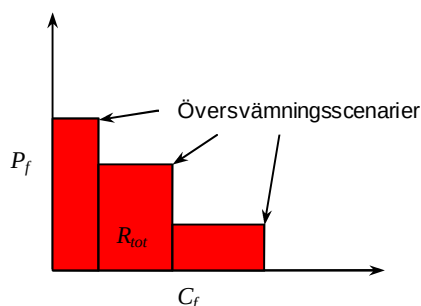
Skadekostnaderna är beroende på hur omfattande översvämningens utbredning är. Beräkningar av ett större antal möjliga utfall är därför inte praktiskt möjligt att utföra eftersom varje beräkning av ett översvämningstillfalles utbredning kräver omfattande hydrologiskt modelleringsarbete. Detta innebär därmed att inte heller någon exakt beräkning av R_{tot} är praktiskt möjlig.

Ett förenklat sätt att beräkna den totala risken är, så som indikeras i Figur 14 och mer specifikt Figur 15, att beräkna risken för några få möjliga utfall (översvämningsscenarier) och utifrån detta approximativt skatta den totala risken. I Göteborgs-studien har tre scenarier använts.

Den generella formeln för att beräkna den totala risken baserat på n översvämningsscenarier kan beskrivas som:

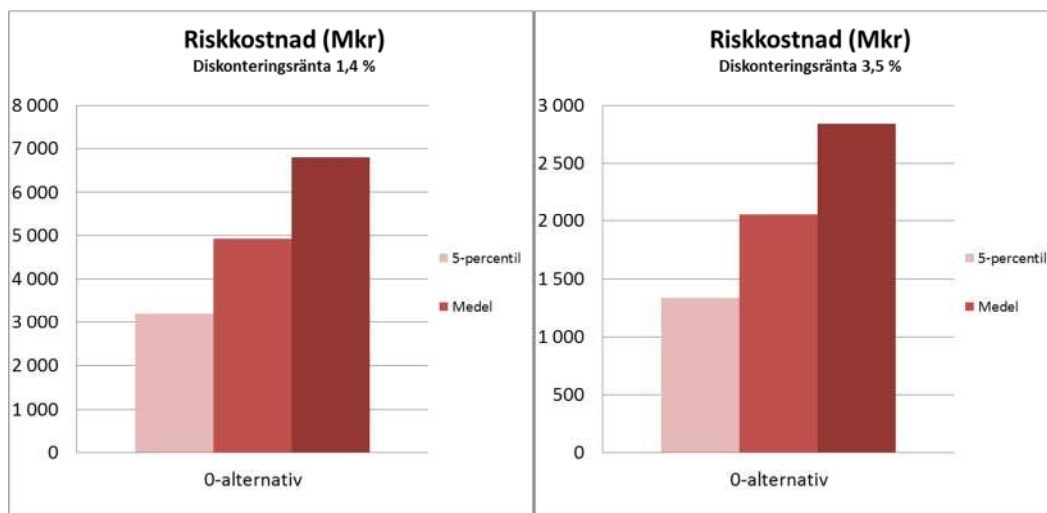
$$R_{tot} = P_{f1}C_{f1} + \sum_{i=2}^n P_{fi}(C_{fi} - C_{f(i-1)}) \quad (\text{ekvation 3})$$

för översvämningsscenarier $i = 1 \dots n$.



Figur 15 Principiell beskrivning av den totala risken baserat på tre översvämningsscenarier.

Detta beräkningssätt ger normalt en underskattning av den verkliga risken i de fall endast ett fåtal utfall kan inkluderas i beräkningarna. Beräkningar av riskkostnaden har gjorts med hjälp av de kvantifierade skadekostnaderna vid en översvämning. I Figur 16 och Tabell 6 redovisas sammanställningar av beräknad riskkostnad med diskonteringsräntorna 1,4 % och 3,5 %.



Figur 16. De beräknade riskkostnaderna för nollalternativet. Diagrammen visar de beräknade riskkostnaderna beräknade från år 2012 till år 2100 med diskonteringsräntan 1,4 % respektive 3,5 %. Stapeln i mitten visar ett förväntat utfall (väntevärde), 5-percentilstapeln (till vänster) visar ett rimligt lägsta utfall och 95-percentilstapeln (till höger) visar ett rimligt högsta utfall.

Tabell 6. Riskkostnader i miljoner kronor för nollalternativet beräknade från år 2013-2100 med olika diskonteringsräntor.

Diskonteringsränta	Förväntat värde	5-percentil	95-percentil
1,4 %	4 920	3205	6 800
3,5 %	2 060	1 340	2 835

Riskkostnaden för översvämningar i Göteborg från 2013-2100 är betydande. I diagrammen och tabellen kan det tydligt observeras att en högre diskonteringsränta (en lägre värdering av framtida risker) innebär att riskkostnaderna i samband med översvämningar värderas lägre. Det kan konstateras att den totala riskkostnaden endast är ca 1/3 om diskonteringsräntan 3,5 % väljs, jämfört med en räntesats på 1,4 %. Beroende på valet av diskonteringsränta kommer översvämningar enligt dessa beräkningar att kosta Göteborg stad mellan ca 1 - 6 miljarder kronor omräknat till nuvärde. Det är av stor vikt att betona att ett stort antal, sannolikt, mycket stora kostnader inte är inkluderade och att riskkostnaden därmed är underskattad.

4.5 STEG 4: Identifiering av Åtgärdsalternativ

I detta steg redovisas de storskaliga åtgärdslösningar som har undersökts för att skydda Göteborgs stad mot översvämningar som orsakas av höga vattennivåer i havet eller Göta älv. Förutom havet och Göta älv måste även hänsyn tas till Kvillebäcken, Mölndalsån, Säveån och Lärjeån. För att skydda Göteborg och Göta älvdalen nedströms Kungälv har två åtgärdslösningar undersökts övergripande och kostnadssatts. Den första innebär invallning av staden med vallar, Alternativ 1. Den andra innebär anläggning av barriärer vid Älvsborgsbron och Kungälv, Alternativ 2. Det finns för- och nackdelar med båda dessa lösningar.

Åtgärdsalternativen som redovisas i denna utredning har undersökts övergripande. Fokus har varit att identifiera åtgärdsalternativ som är möjliga att genomföra och att för dessa identifiera en ungefärlig kostnad. Någon detaljerad flödesbalans eller detaljprojektering har inte genomförts.

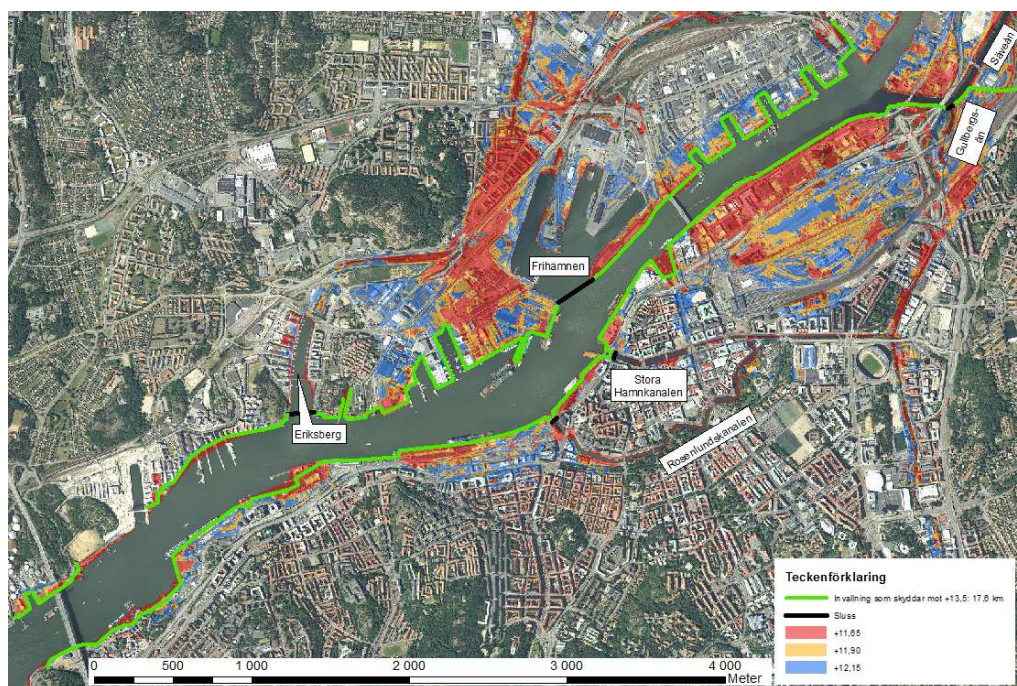
En alternativ lösning är att värdera enskilda stadsdelar och därefter avgöra vilken skyddsnivå som är rimlig för respektive stadsdel. Då kan det även vara intressant att överväga skydd med mobila barriärer istället för permanenta barriärer. Ett problem med mobila barriärer är hur dagvatten som uppkommer innanför dessa barriärer ska hanteras för att inte orsaka översvämning. Dessutom finns en viss risk för att barriärerna inte hinner monteras i tid. Denna typ av åtgärder har inte undersökts vidare

4.5.1 Alternativ 1 – Vallar mellan Älvsborgsbron och Tingstadstunneln

Vallar är en åtgärd som kan vidtas för att skydda Göteborg mot översvämningar orsakade av höjda nivåer i Göta älv och i havet. Förutom invallning måste det även säkerställas att vatten inte rinner in via dagvattenledningar, exempelvis genom bakvattenstopp.

Därutöver måste även dagvatten som uppstår innanför vallarna hanteras. I detta fall har en fullständig invallning av Göta älv mellan Älvsborgsbron och Tingstadstunneln undersökts. Alternativ är att skydda endast utvalda delar där högre värden finns eller att variera vallarnas höjd i olika områden, men sådana alternativ har inte undersökts i denna utredning.

I denna utredning har en skyddsnivå på +13,5 meter valts. Nivån har valts i samråd med Göteborgs stad. För att skydda centrala Göteborg med hjälp av vallar och slussar mot en nivå på +3,45 möh (13,5) kommer det behövas 17,6 kilometer vallar och slussar, se Figur 17.



Figur 17. Invallning och slussar

I denna utredning är den högsta översvämningsnivån som undersökts 12,15. Den höga skyddsnivån på vallarna kommer alltså skydda mot nivåer som är betydligt högre än de som studerats i utredningen. Effekterna av detta skydd kommer således inte att kunna tillgodoses på nyttosidan av kostnads-nyttoanalysen. Framförallt i slutet av århundradet kommer den högre skyddsnivån att vara användbar men sannolikheten för högre nivåer än 12,15 är osannolika i början av århundradet. En lägre skyddsnivå skulle

innebära lägre kostnader, dels för att färre delsträckor behöver skyddas, dels på grund av den lägre nivån på vallarna vilket bl.a. innebär enklare grundläggning.

4.5.2 Alternativ 2 – Barriärer vid Älvsborgsbron och vid Kungälv

En möjlig barriärlösning för att skydda Göteborg kan konstrueras genom en barriär vid havssidan (A) i kombination med en barriär i Göta älv söder om Kungälv (B) samt en vall vid Tuve och Skogome, där det finns en vattendelare och Kvillebäcken har sitt källflöde. Barriärerna ska skydda Göteborg mot höga vattennivåer i Västerhavet och Göta älv. Vid låga vattennivåer ska de kunna hållas öppna. Det finns många olika möjliga lösningar och i denna utredning föreslås en. Om beslut tas om att vidta en barriärlösning måste de exakta lösningarna och placering undersökas i detalj.

Vid höga vattennivåer i Västerhavet stängs barriärerna (A) och (B). Därutöver förhindrar vallen vid Tuve och Skogome havet från att översvämma staden genom Kvillebäcken. En viss nivå måste upprätthållas för att bibehålla miljö-, skredskyddande- och naturfunktioner genom Göta älv nedströms barriären (B). Målet måste även vara att begränsa eller helt utesluta behovet av pumpning vid barriären eftersom detta är mycket kostsamt. Flödena från Kvillebäcken, Lärjeån, Sävveån och Mölndalsån samt andra vattendrag nedströms fördelningsverket måste hanteras och bör i så stor utsträckning som möjligt förhindras att rinna ut i Göta älv. Att anlägga vallar vid Tuve och Skogome är aktuella först om havsnivåer över 13,0 uppstår. Detta undersöks inte närmre i denna utredning.

Barriären vid Kungälv (B) får även en skyddande funktion om stora flöden i Göta älv uppstår. Flödet kan då regleras om mot Nordre älv så att ett hanterbart flöde uppstår i Göta älv. Denna effekt har inte värderats, dock är det mindre sannolikt att denna situation ska uppstå. Därutöver kan flödet redan idag regleras i Trollhättan.

Ytterligare fördelar finns med att anlägga en barriär som även fungerar som ett fördelningsverk (B). Bland annat kan det ha positivt effekt för Göteborg Vattens vattenintag vid Lärjeholm. Dessa effekter har inte värderats. Det kan vara nödvändigt att vidta åtgärder för att förhindra skred i Göta älvdalen om flödet förändras detta har inte undersökts.

Barriär öster om Älvsborgsbron (A)

Det finns många olika tekniska lösningar för en barriär mot höga havsnivåer. PIANC InCom Working Group 26 har gjort en bra sammanfattning av dessa lösningar (Design of movable weirs and storm surge barriers; juni 2006). Välkända barriärer finns i Haringvliet (1970), London (1982), Rotterdam (1997) och Venedig (planerat att vara klart 2014), vilka alla fyra demonstrerar olika lösningar. Vilken lösning som väljs är delvis beroende på vilka krav som ställs på lösningen och de lokala förutsättningarna. Inom denna utredning har en "Maeslant-barriär" (A1) i kombination med "Hartel-barriär" (A2) valts, båda finns i Rotterdams hamn, se Figur 19-24. Dessa lösningar har visat sig fungera för en av världens viktigaste hamnstäder och har dessutom implementerats flera gånger och är i planeringsfas för nya implementeringar.

Maeslant-barriären (Maeslantkering) ligger i Nieuwe Waterweg kanalen och leder till en stor del av hamnområdet i Rotterdam. Maeslant-barriären består av två stora böjda ståldörrar som roterar om en vertikal axel och glider i horisontell led på ett betongfundament. Dörrarna förvaras på båda sidor i en torrdocka, för att begränsa korrosion och förenkla underhåll. I Figur 19-22 visas fotografier på Maelsant-barriären.



Figur 18. En av armarna på Maeslant barriären infälld. (www.seacityresearchnet.com 12-10-18)



Figur 19. Flygbild på Maeslant barriären när anläggning är i bruk. (www.seacityresearchnet.com 12-10-18)



Figur 20. Flygbild från sidan när Maeslant barriären är utfälld. I förgrunden är en av torrdockorna (www.bits-chips.nl 2012-10-18)



Figur 21. Maeslant barriären (<http://en.wikipedia.org> 2012-10-18)

Hartelbarriären (Hartelkering) stänger Hartel kanal och är av en mer konventionell konstruktion. Den utgörs av en stor port som när den är öppen hissas rakt upp för att låta båtar och fartyg passera. Nedan visas fotografier på Hartel barriären.



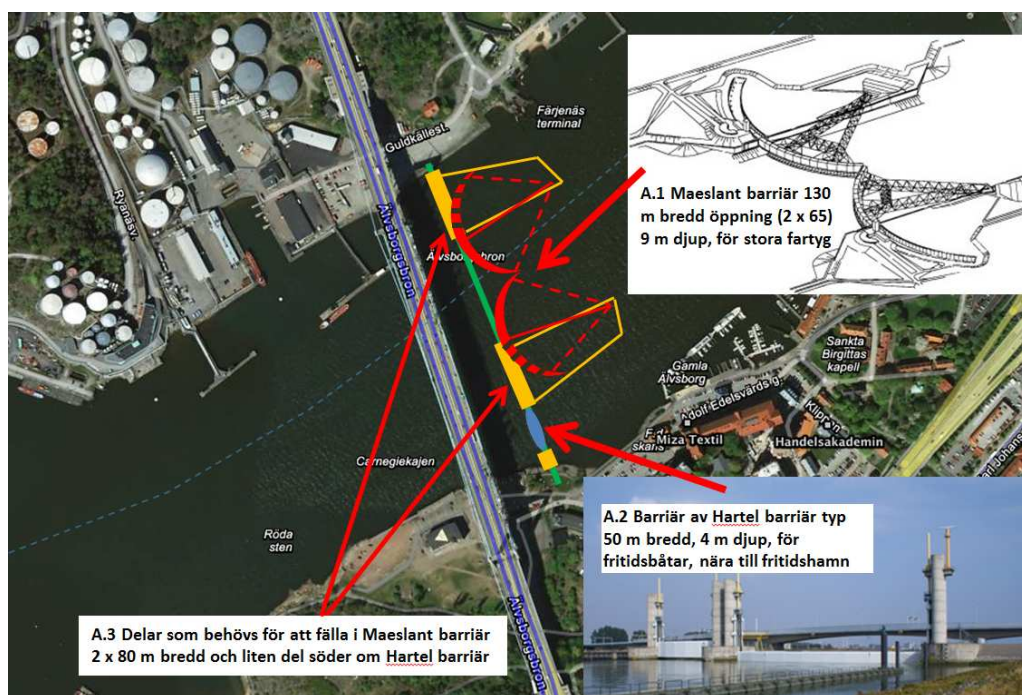
Figur 22. Hartel barriären nedfälld
(www.rijkswaterstaat.nl 12-10-18)



Figur 23. Hartel barriären uppfälld
<http://fr.wikipedia.org>

Genom att kombinera de två lösningarna Maeslant-barriär och Hartel-barriär uppnås en lösning där större fartyg (kommersiell trafik) samt båtar (fritidsbåtar) kan hållas separerade, vilket leder till bättre sjöfartssäkerhet. En skiss över en möjlig placering och lösning för barriär öster om Älvsborgsbron visas i Figur 24.

Göta älvs bredd vid det aktuella avsnittet är ca 360 meter. I mitten av älven är djupet ungefär 9 meter (ca 240 meter av bredden) och övriga delar (ca 120 meter av bredden) är djupet ungefär 4 meter.



Figur 24. En lösning med konstruktioner av Maeslant och Hartel barriärs typ öster om Älvsborgsbron. Göta älvs bredd vid det aktuella avsnittet är ca 360 meter. I mitten av älven är djupet ungefär 9 meter (ca 240 meter av bredden) och övriga delar (ca 120 meter av bredden) är ungefär 4 meter djup. (©Lantmäteriverket. Ärende nr MS2011/02599)

Barriär och vallar söder om Kungälv (B)

För att styra om flödet i Göta älv tillfälligt (under högvattensvaraktighet) till Nordre älv anläggs en barriär i Göta älv söder om Kungälv (B) precis norr om Jordfallsbron. Göta älvs bredd vid det aktuella avsnittet är ca 250 meter. I mitten av älven är djupet ungefär 7 meter (ca 125 meter av bredden) och i övriga delar (ca 125 meter av bredden) är djupet ungefär 2 meter. Därutöver måste även vallar anläggas för att förhindra att vatten vid översvämningar når Göta älv via lågt liggande områden.

Den tekniska lösningen för att styra om flödet kan vara att anlägga en Hartel-barriär. Detta underlättar samordning av underhållsarbete eftersom lösningen även föreslås vid Älvsborgsbron. Det finns en rad förutsättningar som måste diskuteras vidare innan ett beslut om åtgärd tas b.l.a.:

- Vilken höjd ska fartyg som passerar barriären kunna ha?
- I dagsläget är segelfrihöjd på Göta älv 27 meter (Västra Götalandsregionen, 2011)

Beroende på vilken segelfri höjd som kommer att gälla i Göta älv påverkas åtgärdsalternativen och kostnaderna för åtgärden. Hartelbarriären har en segelfri höjd på 14 meter. Om det är möjligt att anlägga denna typ av barriär med en segelfrihöjd till 27 meter har inte undersökts men det är troligtvis möjligt. Alternativ till att anlägga en Hartel barriär kan vara att använda den typ av barriär som anläggs i Venedig, så kallade "flap gates". Denna typ av barriär ligger nedsänkt på botten av vattendraget när de inte används.

4.6 Steg 5: Kostnadsuppskattning av åtgärder

4.6.1 Vallar mellan Älvsborgsbron och Tingstadstunneln

För att skydda centrala Göteborg mot översvämningar med en vallkonstruktion bedöms att ca 17 km vall behöver anläggas, se Figur 17. Kostnaderna för att uppföra en vall i centrala staden vid Gullbergs vass har tidigare bedömts i Göteborg Stads utredning om extremt väder (Göteborgs Stad, 2009). Här bedömdes att det kostar ca 300 Mkr att anlägga 1 km vall. Utgående från denna utredning har en överslagsmässig bedömning av kostnaderna för att anlägga en 17 km lång vall inom hela den centrala staden utförts. Den förväntade anläggningskostnaden uppgår till 3,5 – 5,1 miljarder kronor, med en mest trolig kostnad på ca 4,2 miljarder kronor, se Tabell 7.

Uppskattningar av drifts-, underhålls- och återinvesteringskostnader för åtgärderna har skett med hjälp av sakkunniga dels på Sweco, dels på ITT Water & Wastewater Sverige. Följande antaganden har gjorts:

- Underhållskostnaderna är 0,5 % per år av investeringen för byggnation och mark (pumphus och andra maskinhus).
- Underhållskostnader är 2 % för maskin, VVS och elinstallationer.

- En pump håller 25 år innan den måste ersättas.
- Övriga delar i åtgärden medför underhållskostnader på 0,1 % av den totala kostnaden per år.

I en åtgärdsstudie av vallar för skydd mot översvämningar i området Skåre (i Karlstad kommun) för pumphus respektive pumpar hänfördes 72 % av investeringskostnaderna till pumphus och 28 % till pumpar. Det ger en beräknad underhållskostnad på ca 0,9 %. I samma studie för området Skåre hänfördes 75 % av kostnaderna till vallar och 25 % till pumpar och pumphus. Detta ger att den totala underhållskostnaden är 0,3%³. För Göteborg kan det då vara rimligt med 0,5 % eftersom det sannolikt kommer att krävas mer pumpar och andra installationer än i ett mindre urbaniserat område.

Tabell 7. Sammanställning av mest troliga värden för anläggning, underhåll och drift av en vallkonstruktion för centrala Göteborg mellan år 2013 och 2100.

År	Investering (Mkr)	Underhålls och driftskostnader (Mkr)
0 (2013)	4 200	0
1	-	21,0
...	-	21,0
87 (2100)	-	21,0
Totalt:		
Ej diskonterat	4 200	1 827
Diskontering 1,4 %	4 200	1 053

4.6.2 Barriärer

I Nederländerna har omfattande skydd etablerats för att skydda landet. I ett projekt där framtida översvämningsproblem för regionen Stor-Rotterdam undersöks har ett omfattande arbete genomförts där historiska kostnader för storskaliga tekniska åtgärder kartlagts och indexerats upp (*Kostenraming Verkenning Klimaatbestendig Nederland, technisch rapport en conclusies; DHV och Deltares; februari 2010*). Med hjälp av kostnadssammanställningen för olika befintliga barriärer i Nederländerna har en funktion som beskriver investeringskostnaden tagits fram⁴. I Deltares rapporter från 2011 hanteras denna funktion som bas för kostnadsuppskattningar för högvattenbarriärer. Indexering från 2010 till 2011 års nivå är noll. För omräkning till svenska kronor har Eurons medelkurs under 2010 använts⁵.

³ $0,009 \cdot 0,25 + 0,75 \cdot 0,001$

⁴ Investeringskostnaderna (inklusive moms) i Euro = $5\,545,7 \cdot \text{vänd vattenyta}^{0,3038} \cdot \text{vänd vattenyta}$

⁵ 1 EUR = 9,54 SEK

Ett skydd som skyddar mot en nivå på 2,20 meter över dagens normalvattennivå anläggs. Vid Älvsborgsbron (A) uppskattas den vända vattenytan för barriären till 3 430 m²⁽⁶⁾. Vid Kungälv och Jordfallsbron uppskattas den vända vattenytan för barriären till 1 560 m²⁽⁷⁾.

I mitten av älven är djupet ungefär 7 meter (ca 125 meter av bredden) och övriga delar (ca 125 meter av bredden) är djupet ungefär 2 meter.

Underhåll av barriärerna antas av Deltares årligen kosta 2 % av den totala investeringen. Det motsvarar 3,2 miljoner Euro per år.

Driftkostnaderna beror delvis på hur ofta man behöver stänga barriärerna. Driftkostnader har antagits inkludera 2 fulltidsanställda som sköter stängning och öppning, el och ICT/datorprogram.

En sammanställning av kostnaderna för anläggning av barriärer (Slussportar) redovisas i Tabell 8.

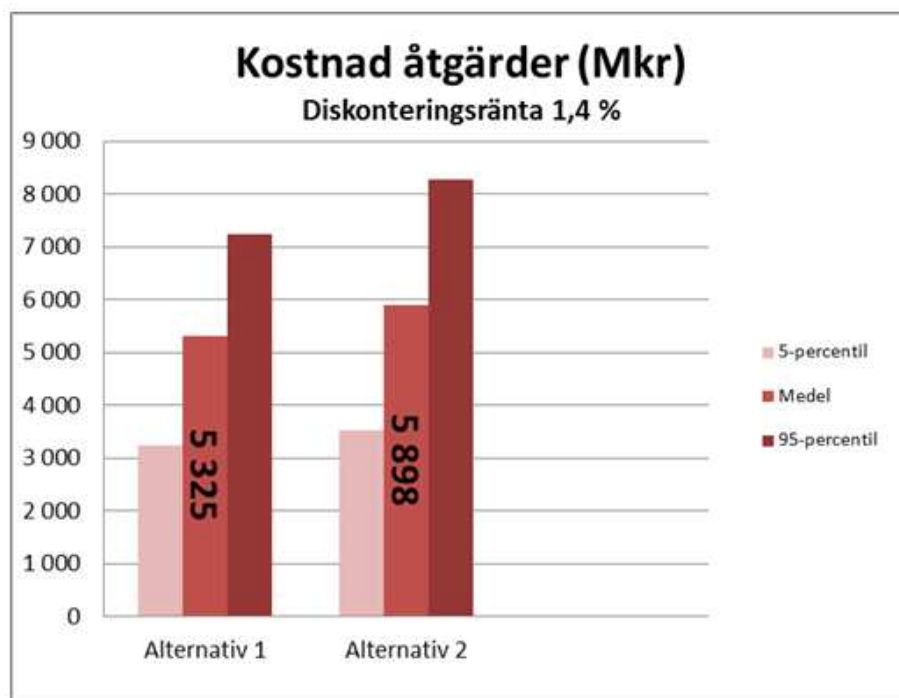
Tabell 8. Sammanställning av mest troliga värden för anläggning, underhåll och drift av barriärer i form av slussportar vid Älvsborgsbron och Jordfallsbron.

År	Investering (Mkr)	Underhålls och driftskostnader (Mkr)
0 (2013)	2 926	0
1	-	58,5
...	-	58,5
87 (2100)	-	58,5
Totalt:		
Ej diskonterat	2 926	5 091
Diskontering 1,4 %	2 926	2 932

4.6.3 Beräkning av totala åtgärds-kostnader

I Figur 25 presenteras de beräknade kostnaderna för de två åtgärdsalternativen med hänsyn taget till osäkerheter i underlaget för kostnadsbedömningarna.

⁶ 240 * 11,2 + 120 * 6,2
⁷ 125*9,2+125*4,2

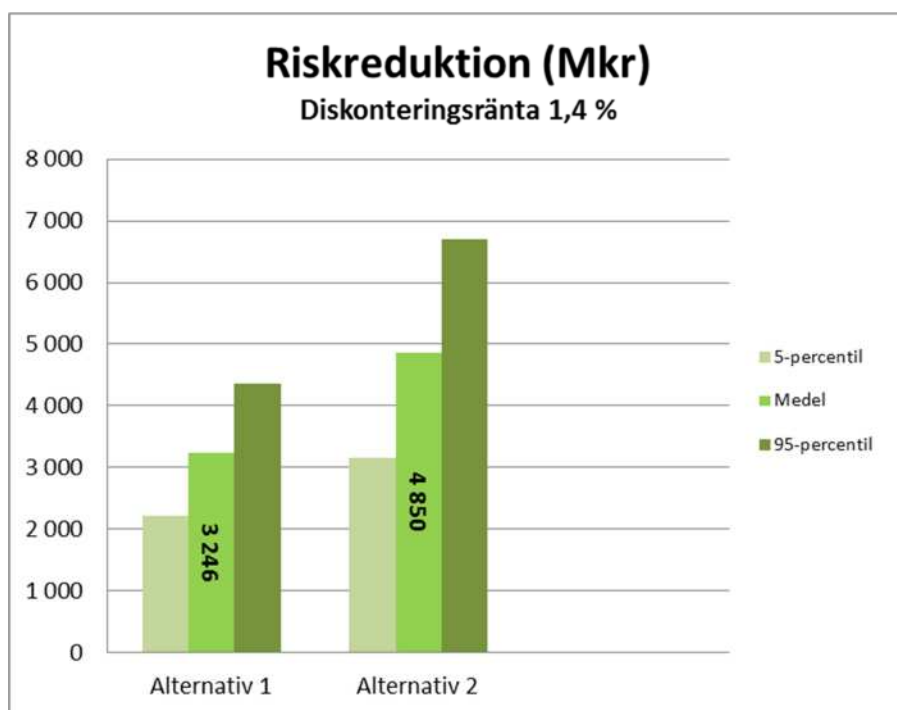


Figur 25. Beräkning av de totala kostnaderna för de två åtgärdsalternativen (Alternativ 1: Vallar och Alternativ 2: Slussportar). Diskonteringsräntan har satts till 1,4 % och tidshorisonten är 87 år fram till år 2100. Observera att värdena i diagrammet inte överensstämmer exakt med de redovisade värdena i Tabell 8 och Tabell 9. Detta beror på att värdena i tabellerna är deterministiska punktskattningar medan redovisade värden i diagrammet har beräknats med hjälp av statistisk simulering (Monte Carlo).

4.7 STEG 6: Beräkning av åtgärdernas nyttor

4.7.1 Riskreduktion

De två åtgärdsalternativen leder till reducerade samhällsekonomiska risker. I Figur 26 presenteras den beräknade riskreduktionen för de två åtgärdsalternativen.



Figur 26. Den beräknade riskreduktionen för de två åtgärdsalternativen (Alternativ 1: Vallar och Alternativ 2: Slussportar). Diagrammet visar den beräknade riskreduktionen under 89 år med diskonteringsräntan 1,4 %. Stapeln i mitten visar ett förväntat utfall (väntevärde), 5-percentilstapeln (till vänster) visar ett rimligt lägsta utfall och 95-percentilstapeln (till höger) visar ett rimligt högsta utfall.

4.7.2 Övriga nyttor

I Göteborg planeras ett stor antal bygg- och infrastrukturprojekt och det är rimligt att än fler kommer att bli aktuella under översvämningsåtgärdernas livstid. Genom att anlägga något av åtgärdsalternativen kommer behovet och omfattningen på åtgärder i de enskilda projekten att minska.

Nedan räknas ett antal planerade bygg- och infrastrukturprojekt i Göteborg och längs Göta älv upp där hänsyn till (och åtgärder mot) förändrade havsnivåer måste tas:

- | | |
|-----------------|-----------------------------------|
| - Västlänken | - Ringön |
| - Frihamnen | - Norra Masthugget |
| - Gullbergsvass | - Mölndalsån och Mölndals centrum |
| - Gamlestaden | - Ale kommun längs Göta älv |

Att anlägga vallar och de kringsystem som behövs i en tätort har uppskattats kosta 300 Mkr per kilometer vall. Genom de här studerade åtgärderna kan avsevärda kostnadsbesparingar sannolikt åstadkommas i ovannämnda projekt. Hur stora besparingarna är har inte studerats i detalj.

En preliminär bedömning är att fram till år 2030 kommer investeringar i bostäder, arbetsplatser och tillhörande infrastruktur i älvnära läge att uppgå till ca 6 Mdkr/år (Älvstranden Utveckling AB, 2014).

Genom att anta kostnadsbesparingar kan det i KNA-modellen beräknas hur stora besparingar som måste göras i bygg- och infrastrukturprojekt på grund av minskat behov av översvänningsåtgärder.

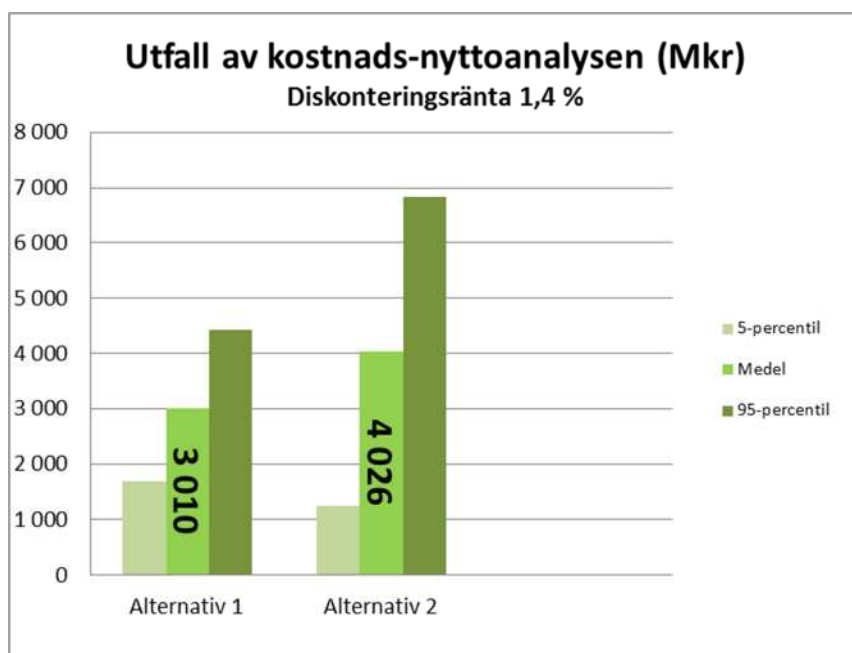
I denna pilotstudie har mycket överslagsmässigt antagits att kostnadsbesparingar på ca 100 Mkr per år kan åstadkommas om klimatanpassningsåtgärder genomförs. Som jämförelse kan konstateras att nuvärdet av detta belopp för den aktuella tidshorisonten (fram till år 2100) motsvarar ca 25 % av kostnaderna för Västlänken, vilket endast utgör ett av många bygg- och anläggningsprojekt som kommer att utföras i Göteborg fram till år 2100. Den antagna årliga kostnadsbesparingen utgör knappt 2 % av den bedömda årliga investeringen i bostäder, arbetsplatser och infrastruktur i älvnära lägen i Göteborg. Det ska poängteras att antagandet om kostnadsbesparingar i framtida bygg- och anläggningsprojekt endast ska ses som en illustration av hur modellen kan användas. För att ge en mera rättvisande bild av de verkliga framtida nyttorna måste en mera detaljerad analys av förväntade besparingar göras.

4.8 STEG 7: Kostnads-nyttoanalys

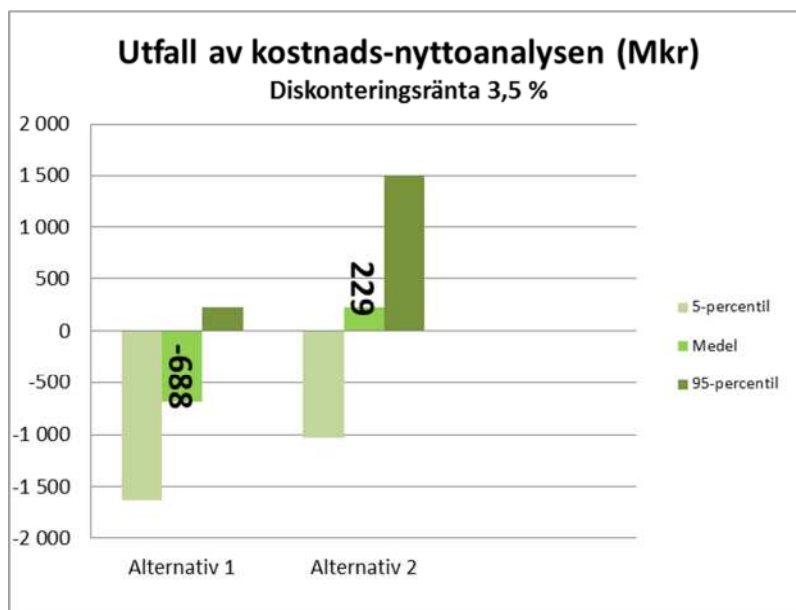
Efter värdering av åtgärdsalternativens kostnader och nyttor sammanförs dessa och diskonteras till nuvärden över den valda tidshorisonten enligt ekvation 1. Tidshorisonten valdes till 87 år och nuvärden beräknades med avseende på räntesatsen 1,4 % (Stern, 2006). I en känslighetsanalys gjordes en jämförelse med vad utfallet av kostnads-nyttoanalysen skulle blivit med en räntesats på 3,5 % (Trafikverket, 2012b). Valet av diskonteringsränta är, som ovan beskrivits, komplicerat och flera olika räntesatser kan motiveras utifrån olika synsätt.

Resultaten från kostnads-nyttoanalysen redovisas i Figur 27 och Figur 28.

Resultaten visar att vid 1,4 % diskonteringsränta är båda åtgärdsalternativen samhällsekonomiskt lönsamma. Vid en räntesats på 3,5 % är åtgärdsalternativ 1 inte lönsamt medan alternativ 2 ligger nära ett break-even resultat. I båda fallen framstår således alternativ 2 som det mest fördelaktiga alternativet. Valet av diskonteringsränta har stor inverkan på de beräknade nuvärdena, medan rangordningen av alternativ inte påverkas i det här fallet.

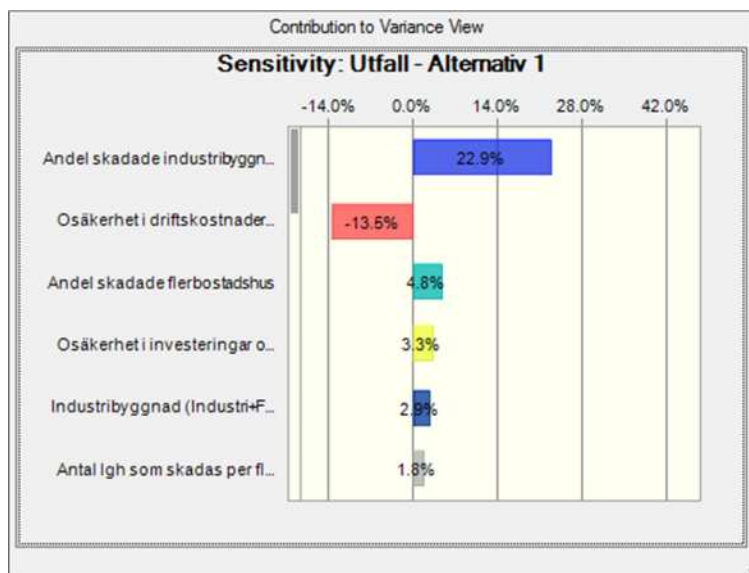


Figur 27. Nettonu värden för de studerade åtgärdsalternativen (Alternativ 1: Vallar och Alternativ 2: Slussportar) med en diskonteringsränta på 1,4 % inklusive osäkerhetsbedömning. Stapeln i mitten visar ett förväntat utfall (väntevärde), 5-percentilstapeln (till vänster) visar ett rimligt lägsta utfall och 95-percentilstapeln (till höger) visar ett rimligt högsta utfall.

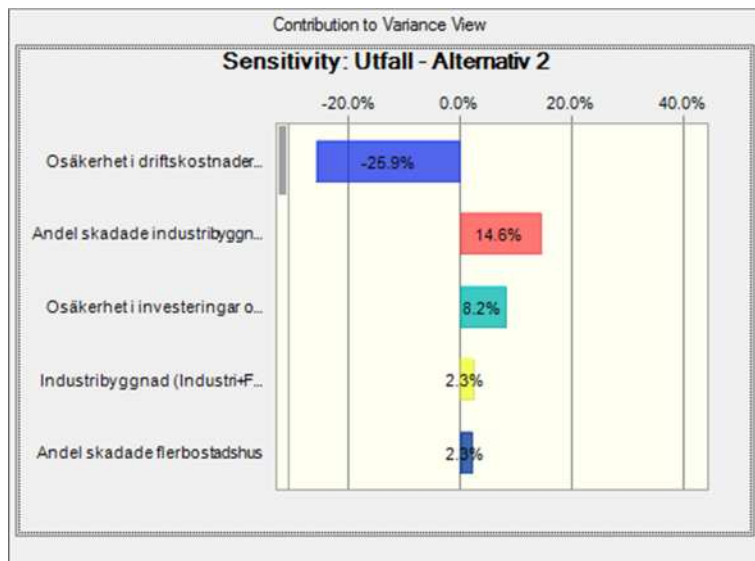


Figur 28. Nettonuvärden för de studerade åtgärdsalternativen (Alternativ 1: Vallar och Alternativ 2: Slussportar) med en diskonteringsränta på 3,5 % inklusive osäkerhetsbedömning. Stapeln i mitten visar ett förväntat utfall (väntevärde), 5-percentilstapeln (till vänster) visar ett rimligt lägsta utfall och 95-percentilstapeln (till höger) visar ett rimligt högsta utfall.

Figur 29 och Figur 30 redovisas resultaten från känslighetsanalyser av beräkningar av nuvärden för de två åtgärdsalternativen.



Figur 29. Känslighetsanalys för beräkning av nuvärdet för Alternativ 1 (Vallar). De största bidragen till den totala osäkerheten i nuvärdesberäkningen kommer från osäkerheten i andelen skadade industribyggnader och åtgärdens driftkostnader.

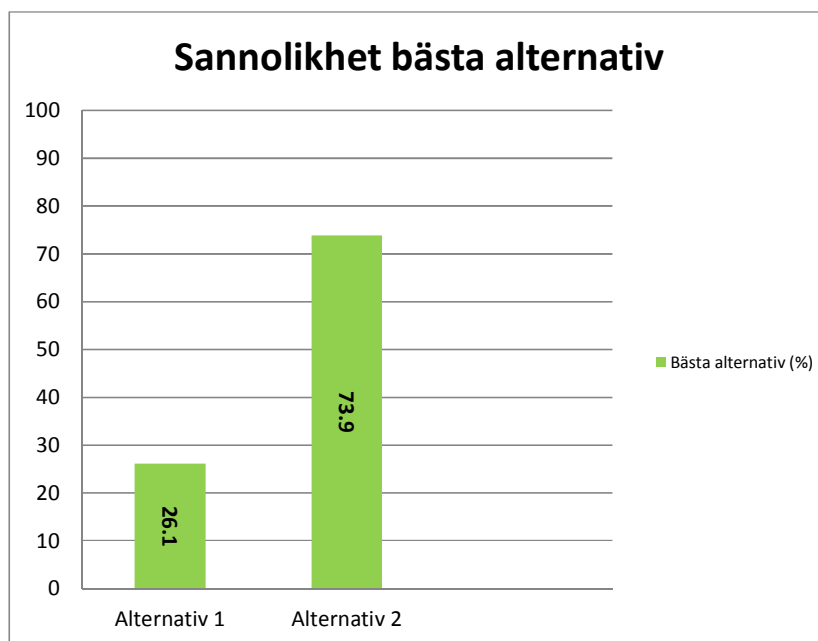


Figur 30. Känslighetsanalys för beräkning av nuvärdet för Alternativ 2 (Slussportar). De största bidragen till den totala osäkerheten i nuvärdesberäkningen kommer även här från osäkerheten i andelen skadade industribyggnader och åtgärdens driftkostnader.

4.9 STEG 8: Rangordning och identifiering av mest lönsamma alternativ

Utifrån den genomförda kostnads-nyttoanalysen kan konstateras att åtgärdsalternativ 2: Barriärer i form av slussportar vid Älvsborgsbron och Jordfallsbron är att föredra. Detta oavsett val av räntesats. Kostnaderna för alternativ 2 är något högre än för alternativ 1, men innebär att större områden skyddas mot översvämningar.

Med hjälp av osäkerhetsanalysen kan en beräkning av hur sannolikt det är att respektive åtgärdsalternativ har det högsta nuvärdet. I Figur 31 presenteras sannolikheten att respektive åtgärdsalternativ har det högsta nuvärdet. Som framgår av figuren är åtgärdsalternativ 2 det samhällsekonomiskt mest fördelaktiga alternativet med en sannolikhet på ca 74 %.



Figur 31. Sannolikhet att respektive åtgärdsalternativ (Alternativ 1: Vallar och Alternativ 2: Slussportar) har det högsta nuvärdet.

5 Slutsatser och sammanfattande diskussion

Kostnads-nyttoanalys (KNA) ska ses som ett verktyg för att ge stöd för beslut rörande val av åtgärder. Resultaten bör utgöra en viktig del, men inte hela, beslutsunderlaget. Analysen innehåller flera steg och kräver en betydande mängd information. Viss information är vanligtvis tillgänglig, men som helhet är informationsunderlaget ofta bristfälligt.

Kostnads-nyttoanalys resulterar i:

- Stöd för beslut rörande prioritering väl avvägda investeringar.
- Struktur åt komplicerad värderingsprocess.
- Hänsynstagande till och öppen redovisning av faktorer och effekter som annars lätt kunde förbisätts.
- Transparens i hur värderingsprocessen av olika åtgärdsalternativ sker.

Göteborg är med sitt läge vid Göta älvs mynning i Kattegatt nära sammankopplat med vatten. Detta innebär att staden vid höga vattennivåer i havet och i Göta älv kan drabbas av översvämningar. Redan idag kan staden drabbas allvarligt och med stigande havsnivåer bedöms sannolikheten för allvarliga översvämningar öka betydligt under 2000-talet.

Denna utredning har övergripande studerat samhällskostnaderna förknippade med översvämningar i Göteborg fram till år 2100. Därefter har två möjliga åtgärders effekt kartlagts – anläggning av vallar i centrala Göteborg och anläggning av barriärer vid Göta älvs mynning och vid förgreningen mellan Göta älv och Nordre älv. Resultatet är en jämförelse av vilket (om något) åtgärdsalternativ som är mest samhällsekonomiskt lönsamt att genomföra.

En central del i kostnads-nyttoanalysen är osäkerhetsanalys. Baserat på sannolikheter för översvämningar och skadorna (konsekvenserna) som uppstår vid dessa har en riskkostnad beräknats. Genom att simuleringar av tidsperioden (år 2013-2100) har upprepats 1000-tals gånger har riskkostnadens osäkerhet beräknats. Likaså har osäkerhetsanalys genomförts av åtgärdsalternativens kostnader. Slutligen har den samhällsekonomiska lönsamhetens osäkerhet beräknats med hjälp av statistisk simulering. Osäkerhetsanalysen ger information dels om vilken indata som ger störst bidrag till den totala osäkerheten, dels om hur sannolikt det är att respektive åtgärdsalternativ är det samhällsekonomiskt bästa.

Kostnads-nyttoanalysen är översiktlig och flera förenklingar har varit nödvändiga. Flera typer av nyttor har inte kunnat kvantifieras och effekter inom vissa geografiska områden har inte kunnat inkluderas. Exempelvis ingår inte nyttor till följd av minskade skadekostnader inom Kungälv kommun eftersom fastighetsdata endast från Göteborgs kommun har använts i analysen. Inte heller nyttor i form av minskat behov av lokala åtgärdslösningar för framtida bebyggelse ingår.

Trots att den genomförda analysen är ofullständig och att många olika typer av nyttor inte kunnat kvantifieras, indikerar kostnads-nyttoanalysen att klimatsäkrande åtgärder är samhällsekonomiskt motiverade. I valet mellan att anlägga en vallkonstruktion i centrala staden och att uppföra barriärer/slussportar vid Älvsborgsbron och Jordfallsbron framstår det senare alternativet som det mest fördelaktiga. Detta beror på att detta alternativ leder till ett mera omfattande skydd. Dessutom borde detta alternativ innebära större flexibilitet vid planering och utveckling av det framtida Göteborg. För att i detalj klargöra vilken typ av åtgärd som är lämplig bör kostnads-nyttoanalysen fördjupas.

6 Utveckling av modellen

Flera förbättringar kan göras i modellen för att ge ett bättre och tydligare beslutsunderlag. I nedanstående lista presenteras några av de områden där förbättringar kan vara lämpligt att genomföra:

- Åtgärdsalternativ
 - o Mera detaljerad identifiering och beskrivning av åtgärdslösningar
 - o Fördjupad studie av den tekniska funktionen hos studerade åtgärdsalternativ
 - o Mera detaljerad analys av investerings- och driftskostnader för åtgärder
 - o Undersökning av följeffekter på områden utanför åtgärderna
- Undersökning av när valda åtgärder bör genomföras. Det vill säga när är det mest lönsamt att genomföra en vald åtgärdslösning, om ett år, om 10 år eller om 50 år?
- Skador, geografiskt
 - o Undersökning av skador vid högre vattennivåer
 - o Undersökning av skador norr om Angeredsbron
 - o Undersökning av skador i Kungälv kommun och Ale kommun.
- Skador, typer
 - o Undersökning av skador som inte kvantifierats
 - o Fördjupad analys av konsekvenser för trafik
 - o Undersökning av konsekvenser för uteblivna leveranser till industri (kan eventuellt ingå i trafikkonsekvenser)
- Undersökning av storleken på besparingar som görs när anpassningsåtgärder för infrastruktur och byggnader i det skyddade området kan undvikas.

För att genomföra en investering av denna dignitet är det nödvändigt att grundligt utreda vilka konsekvenser som investeringen medför. Ovan ges förslag på utvecklingsmöjligheter rörande den samhällsekonomiska analysen. Åtgärder mot översvämningar i Göteborg är förknippade med mycket höga kostnader och höga krav bör därmed ställas på den samhällsekonomiska analysen. Den analys som utförts inom detta pilot-projekt är en början på en sådan analys, men bör fördjupas för att ge ett tillfredsställande beslutsunderlag.

7 Referenser

Hanley, N., Barbier, E. B., 2009. Pricing Nature: Cost-Benefit Analysis and Environmental Policy. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK.

IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Naturvårdsverket, 2003. Konsekvensanalys steg för steg: handledning i samhällsekonomisk konsekvensanalys för Naturvårdsverket. Naturvårdsverket, Stockholm.

Rosén, L., Söderqvist, T., Back, P.E., Soutukorva, Å., Brodd, P., Grahn, L., 2008. Kostnads-nyttoanalys som verktyg för prioritering av efterbehandlingsinsatser. Metodutveckling och exempel på tillämpning. Kunskapsprogrammet Hållbar Sanering. Naturvårdsverket, Stockholm.

SMHI, 2011. Klimatanalys för Västra Götalands län. SMHI Rapport 2011-45.

SMHI, 2012. Klimatologi Nr 5, 2012. Framtidens havsnivåer i ett hundraårsperspektiv – kunskapssammanställning 2012. Sten Bergström,

Stadskansliet, Göteborgs Stad, 2006. Extrema vädersituationer, fas 1: Hur väl rustat är Göteborg?

Stadskansliet, Göteborgs Stad, 2009. Extrema väderhändelser, fas 2: Fallstudie Gullbergsvass, januari 2009.

Stern, N., 2006. The Economics of Climate Change - the Stern Review. Cabinet Office, HM Treasury, Cambridge University press, Cambridge.

Sweco, 2009. Kostnads-nyttoanalys av översvämningsåtgärder längs Mölndalsån. Göteborgs Stad, Mölndals Stad och Härryda kommun. Sweco uppdragsnummer 1320850.

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

Trafikverket, 2012a. Teknisk PM Geoteknik, detaljplan, Olskroken – Kville, Ny Marieholmsbro. Bandel 601, Sträckan km 2+724 – 4+100. Dokumentnummer 102411-12-080. 2012-04-27. Tyréns.

Trafikverket, 2012b. Samhällsekonomiska principer och kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 5, Trafikverket. <http://www.trafikverket.se/Foretag/Planera-och-utreda/Planerings--och-analysmetoder/Samhallsekonomisk-analys-och-trafikanalys/ASEK---arbetsgruppen-for-samhallsekonomiska-kalkyl--och-analysmetoder-inom-transportområdet/ASEK-5---rapporter/>, tillgänglig 2013-06-28.

Västra Götalandsregionen, 2011. Vänersjöfarten i framtiden – en stråkstudie UTKAST till utredningsprogram och kostnader 2011-05-18 reviderat 2011-06-14.

Älvstranden utveckling AB, 2014, Telefonsamtal och mailkorrespondens med Olle Lindqvist mars 2014.

BILAGA 1: SCHABLONSKADEKOSTNADER

BILAGA SKADEKOSTNADSSCHABLONER

Göteborgs Stad

Denna bilaga innehåller beskrivningar av hur schablonkostnader för skador till följd av översvämningar har tagits fram.

Göteborg 2013-02-28

Sweco Environment AB

Gbg Miljöteknik

Lars Rosén

Johan Nimmermark

1 (5)

Sweco
Gullbergs Strandgata 3
Box 2203, 403 14 Göteborg
Telefon 031-62 75 00
Telefax 031-62 77 22
www.sweco.se

Sweco Environment AB
Org.nr 556346-0327
säte Stockholm
Ingår i Sweco-koncernen

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Bakgrund	3
2	Skadekostnadsdata	3
3	Självrisk	4
4	Beräkning av schablonskadekostnader	4

Bilaga 1b: Schablonskadekostnader

1 Bakgrund

För att kunna genomföra en kostnads-nyttoanalys av översvämningsåtgärder måste kostnader och nyttor beräknas. Kostnaderna utgörs av kostnader för att anlägga/implementera samt driva och underhålla åtgärden. Nyttorna utgörs av den minskade riskkostnaden (sammanräknad minskning i skadekostnad) som åtgärden innebär jämfört med nollalternativet. För att kunna beräkna riskkostnaden behöver således skadekostnader för olika objekt som kan skadas vid en översvämning att beräknas.

Med tillgång till ett större antal kända skadekostnader för olika kategorier kan schablonkostnader för översvämningsåtgärder beräknas. Dessa underlättar sedan beräkningar av riskkostnader vid genomförandet av en kostnads-nyttoanalys.

2 Skadekostnadsdata

Länsförsäkringar har gett Sweco tillgång till försäkringsärenden från de två Länsförsäkringsbolagen Göteborg och Bohuslän samt Värmland. Försäkringsärendena innehåller information om typ av objekt som drabbats samt skadekostnader, de är avidentifierade. Med hjälp av dessa skadedata kan skadekostnadsschabloner beräknas för flera olika objekt.

Databasen Sweco har fått ta del av innehåller drygt 3900 skadeposter från Göteborg och Bohuslän samt drygt 1600 skadeposter från Värmland som anmälts som översvämningskador. De första skadeposterna är registrerade 1987 och de sista 2010.

Skadekostnaderna har indexreglerats med 2010 års index. Självriskerna ingår inte i databasen, detta behandlas särskilt i avsnitt 3.

För följande objektkategorier har schablonkostnader vilka är användbara för tillämpningar i Karlstad kunnat beräknas utifrån Länsförsäkringars data:

- Småhus
 - Byggnadsskada
 - Lösöre
- Flerfamiljshus
 - Byggnadsskada
 - Lösöre
- Kontorsbyggnader
- Handelsbyggnader
- Industribyggnader
- Komplementbyggnader (ex garage, förråd mm)
- Avbrott i produktion

Dessutom har schablonkostnader tagits fram för följande kategorier av skadeobjekt:

- Skador på väg
- Skador på järnväg
- Skador på transformatorstation

För övriga skadekostnadsposter i modellen (se Bilaga 1b) har inte schablonkostnader varit möjliga att beräkna. För dessa poster måste en platsspecifik bedömning göras för varje aktuellt fall. I exempelvis Skåre-området gjordes en områdesspecifik trafikanalys för att värdera kostnaderna för trafikförseningar.

3 Självrisk

För vissa typer skadeposter är självriskens alltid densamma, medan den för andra varierar beroende på vilket avtal försäkringstagaren har valt. I dessa fall har självriskkostnaden uppskattats. Självriskens har sedan adderats till respektive skadekostnad för att få den totala skadekostnaden.

4 Beräkning av schablonskadekostnader

En schablonkostnad beräknas som medelvärdet för skadekostnaden, EC , baserat på ett antal historiskt inträffade händelser. Medelvärdet för en viss objekttyp, EC_i , betraktas som den bästa skattning som kan göras av en framtida skadekostnad för objekt i , exempelvis ett småhus. Eftersom KNA-modellen hanterar osäkerheter skattas också osäkerheten i medelvärdesberäkningen genom beräkning av medelvärdets konfidensintervall.

Skadekostnadsschablonerna har beräknats med hjälp av en statistisk analys av data från Länsförsäkringar. Eftersom data inte är normalfördelad och det inte är självklart att centrala gränsvärdessatsen gäller i alla fall beroende på relativt få observationer för vissa kategorier, har beräkning av skadekostnaders förväntade värden och konfidensintervall gjorts på logaritmerade data.

Den förväntade skadekostnaden (medelvärdet), $E(C_i | C_i > 0)$, för de objekt som drabbas av skador ($C > 0$) inom kategori i beräknas enligt följande:

$$E(C_i | C_i > 0) = e^{\mu + \sigma/2}$$

där μ är det populationens medelvärde på log-skalan och σ är populationens standardavvikelse på log-skalan.

Vidare gäller att

$$\mu = N(\bar{x}, \sigma / \sqrt{n})$$

där $\bar{x}$ är datas (observationernas) medelvärde på log-skalan.

Populationens varians är:

$$\sigma^2 = \frac{(n-1)s^2}{r}$$

där n är antalet observationer, s är datas standardavvikelse och r är

$$r = \frac{(n-1)s^2}{\sigma^2} \Big| n, \bar{x}, s^2$$

Den förväntade skadekostnaden för kategori i , K_i , med hänsyn till att endast en viss del av antalet objekt inom denna kategori typiskt drabbas av skador har beräknats genom statistisk simulering där r antagits följa en chi-square fördelning med $(n-1)$ frihetsgrader:

$$K_i = P(C_i > 0)E(C_i | C_i > 0)$$

Där $P(C_i > 0)$ är andelen observationer av kategori i som har skadekostnader > 0 kr. På så vis erhålls den förväntade skadekostnaden med hänsyn taget till både den typiska kostnaden som uppstår för de objekt som drabbas och med hänsyn till att endast en viss andel av alla objekt drabbas vid en översvämning.

Beräkningarna har resulterat i de skadekostnadsvärden som framgår av Bilaga 1b.

5. Skadekostnadsschabloner

I följande flik fasställs de skadekostnadsfördelningar som är schabloniserade, se bilaga 2 Schablonkostnader för beskrivning av schablonisering. Det är inte nödvändigt att göra ändringar i denna flik för att modellen ska fungera. Om "schablonkostnader" eller "andel skadade objekt" ska ändras bör detta dock ske här och **inte** i flik "3 Alternativ, skadekostnader". Detta eftersom ändringar här gör att samtliga schablonkostnader (dvs i alla olika alt. och översvämningar) för den aktuella kategorin ändras. Ordningen följer den ordningen skadekostnadskategorierna är listade efter i flik 3. Observera att bara de kategorier som en skadekostnadsschablon beräknats för listas här. Det finns ej någon schablonskadekostnad beräknad för objekt vars celler är **färglagda** i innehållsförteckning.

Innehållsförteckning schablonskadekostnader					
Avbrottsskador Miljö/Jordbruk	Bostadshus	Kontor, Handel , Industri	Övriga byggnader	Infrastruktur	
Avbrott i produktion	Småhus	Kontorsbyggnader	Komplementbyggnad	Väg	Transformatorstationer
Avbrott i försäljning	Flerfamiljshus	Handelsbyggnader		Järnväg	Elledningar
Skogsskador		Industribyggnader		Dagvattenledningar	Fjärrvärmeledningar
Jordbruksskador					

AVBROTSSKADOR	Min (5-percentil) (kr)	Max (95-percentil) (kr)	Medel (kr)	Andel skadade objekt	
Avbrott i tillverkningsindustri	86 922	300 944	193933.0	0.148113281	
Avbrott i försäljning (tjänster & varor)					
SKADOR MILJÖ/JORDBRUK	Min (5-percentil)	Max (95-percentil)	Medel	Andel skadade objekt	
Skogsskador (per/m2)	0	1	0.5	0.499996126	
Jordbruksskador (per/m2)	0	1	0.5	0.499996126	
BOSTADSHUS	Min (5-percentil)	Max (95-percentil)	Medel	Andel skadade objekt	Simulering
Småhus					50 339
Småhusfastigheter (villor och radhus)	29664.90	35491.43	32495.9	1.00	
Lösöre småhus (villor och radhus)	15561.25	19963.42	17843.0		
Flerbostadshus					274 524
Flerbostadsfastigheter (fastighet)	100 879	143 348	122858.8	1.00	
					Lägenheter flerbostadshus
Lösöre flerbostadsfastighet/hushåll	15561.25	19963.42	17843.0	Min.	Max.
Lösöre flerbostadsfastighet			17843.0	2	15 8.50 151 666
KONTORS-, AFFÄRS- och INDUSTRI	Min (5-percentil)	Max (95-percentil)	Medel	Andel skadade objekt	
Kontorsbyggnad					
Kontorsbyggnad (fastighet)	100 879	143 348	122856.7	1.00	
Kontorsbyggnad (verksamhet)	-	-			
Handelsbyggnad (Affärer+Fastighet)	177940.61	288721.79	224310.2	1.00	
Industribyggnad (Industri+Fastighet)	224571.48	351631.14	278287.5	1.00	

OFFENTLIGA BYGGNADER	Min (5-percentil)	Max (95-percentil)	Medel	Andel skadade objekt	
Kostnad per offentlig byggnad	-	-			
ÖVRIGA BYGGNADER	Min (5-percentil)	Max (95-percentil)	Medel	Andel skadade objekt	
Komplementbyggnad	2 000	8 000	5000.0	0.50	
INFRASTRUKTUR	Min (5-percentil)	Max (95-percentil)	Medel	Andel skadade objekt	Simulering
Väg (kr/m ²)	999	1 001	1000.0	0.19	
Järnväg (kr/m)	9 000	15 000	12000.0	0.19	
Dagvattenledningar (kr/m)	0	1	0.5	0.19	
Fjärrvärmeledningar	0	1	0.5	0.19	
Transformatorstation	10 kV in -400V ut				232 350
Material transformatorstation	10 000	500 000	143403.1	0.50	
Arbete transformatorstation	7 500	300 000	88947.3		
Elledningar (kr/m)	0	1	0.5	0.15	
Optokablar (kr/m)	0	1	0.5	0.07	

BILAGA 2: BERÄKNING AV TRAFIKFÖRSENINGAR

PM

UPPDRAG	UPPDRAGSLEDARE Johan Nimmermark	DATUM 2012-10-22
UPPDRAGSNUMMER 1321203000	UPPRÄTTAD AV Carl-Henrik Sandbreck	

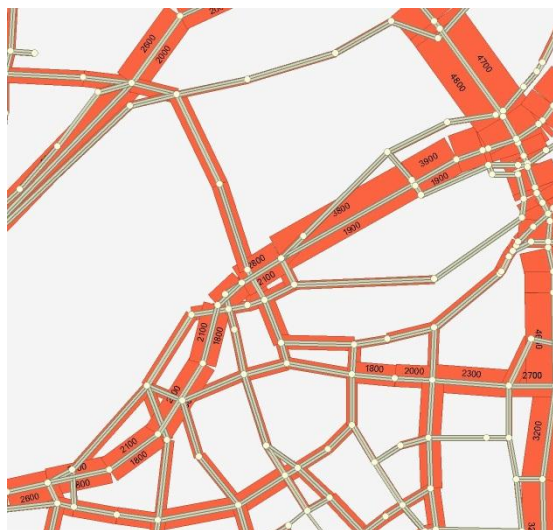
Samhällsekonomisk kostnad för avstängning Götatunneln och Mårten Krakowgatan

I syfte att skatta en storleksordning avseende den samhällsekonomiska kostnaden för att stänga Götatunneln i båda riktningar och Mårten Krakowgatan i västergående riktning under ett dygn har en översiktlig trafikanalys genomförts.

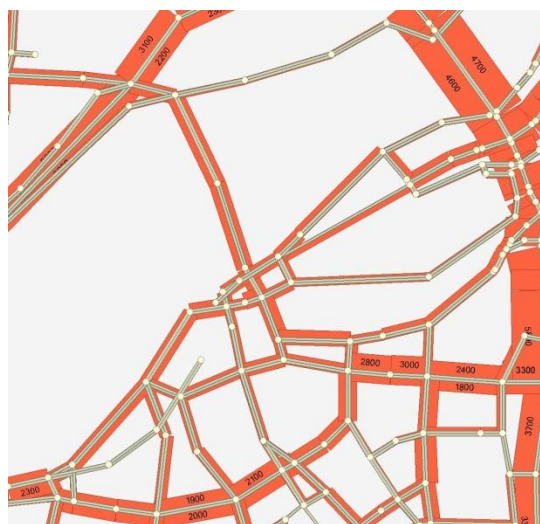
Analysen har genomförts med grunddata från SAMPERS-prognos avseende 2013 års trafiksituation inklusive trängselskatt. I analysen har nätutläggning med fasta matriser för biltrafik gjorts, för hög- respektive lågtrafikperiod, med och utan avstängningar.

Nätutläggningarna genererar restider och reseavstånd för de två situationerna med och utan avstängningar. Den extra restiden och det extra reseavståndet som avstängningarna medför multipliceras därefter, för olika ärenden, med tidsvärde och belägningsgrad respektive körkostnad för att beräkna den samhällsekonomiska kostnaden (dvs. konsumentöverskottet) för avstängningen.

För arbetsresor används differens av restid och reseavstånd enligt högtrafikperiod. För övriga ärenden, samt lastbilar, används restid och reseavstånd enligt lågtrafikperiod.



Trafiknät utan avstängningar



Trafiknät inklusive avstängning Götatunneln i båda riktningar och Mårten Krakowgatan i västergående riktning. (Trafikvolymen avser morgonrusning f/h)

Den samhällsekonomiska beräkningen, avseende konsumentöverskott, för ett dygns avstängning ger en samhällsekonomisk kostnad på ca 1,0 miljoner kr i 2010 års prisnivå (se tabell nedan).

	Tidsvärde/marginal-kostnad fordon		Samhällsekonomisk kostnad (konsumentöverskott) miljoner kr
Restid Personbil arbetsresor	87	kr/h	-0,23
Restid Personbil tjänsteresor	291	kr/h	-0,15
Restid Personbil övriga ärenden kortväga	59	kr/h	-0,22
Restid Personbil övriga ärenden långväga	108	kr/h	-0,03
Restid Yrkestrafik	272	kr/h	-0,22
Restid Lastbilar	272	kr/h	-0,09
Reskostnad personbil	6,80	kr/km	-0,01
Reskostnad lastbil	1,84	kr/km	-0,08
Totalt			-1,03

Den beräknade samhällsekonomiska kostnaden, 1,0 mkr, enligt ovan är behäftad med en stor osäkerhet och skall i första hand betraktas som en indikation och storleksordning. Med kompletterande kunskap om bilisters tillgång till information samt simulering i dynamisk trafikmodell skulle en mer tillförlitlig kostnad kunna beräknas.

Några av de antaganden och faktorer som i hög utsträckning påverkar beräkningen listas nedan:

- Sifforna är baserade på dagens trafiknivåer (dock inkl. trängselskatt). Om trafiken i framtiden ökar innebär detta ökad samhällsekonomisk kostnad. I denna ökning finns dels kostnaden för de tillkommande trafikanterna, dels kostnaden för ökade köer genom att omgivande trafiksystem får mindre möjligheter att ta hand om omfördelad trafik.
- Köer är bristfälligt representerade i strategiska modeller av denna typ. Om trängseln blir omfattande kommer köerna att sprida sig och i stora delar av trafiksystemet. I använd trafikmodell behandlas köerna på varje länk separat och s.k. "blocking back", dvs att en kö kan växa flera korsningar bakåt, finns inte med. Detta kan ge mycket stor påverkan på restid och därmed kostnaden för trafikanterna.
- Samtliga trafikanter väljer att åka bil trots att en del troligtvis ställer in sin resa eller åker med annat färdmedel om de får information i förväg.
- När trafikanten väl har satt sig i bilen har denne på direkten perfekt information om vilken väg som är den bästa.