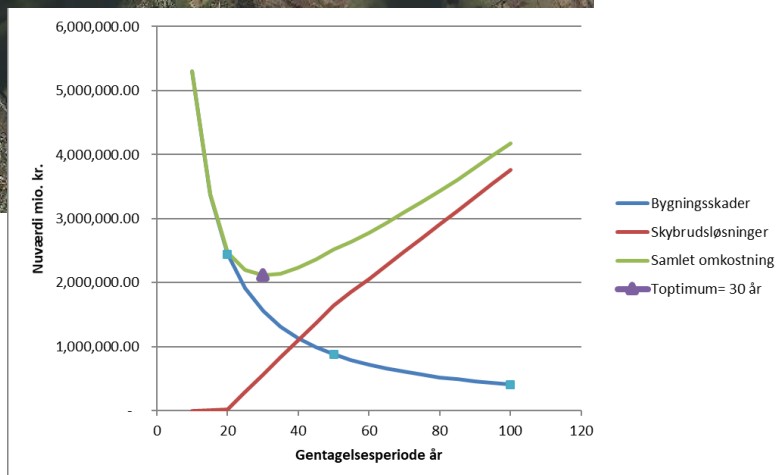
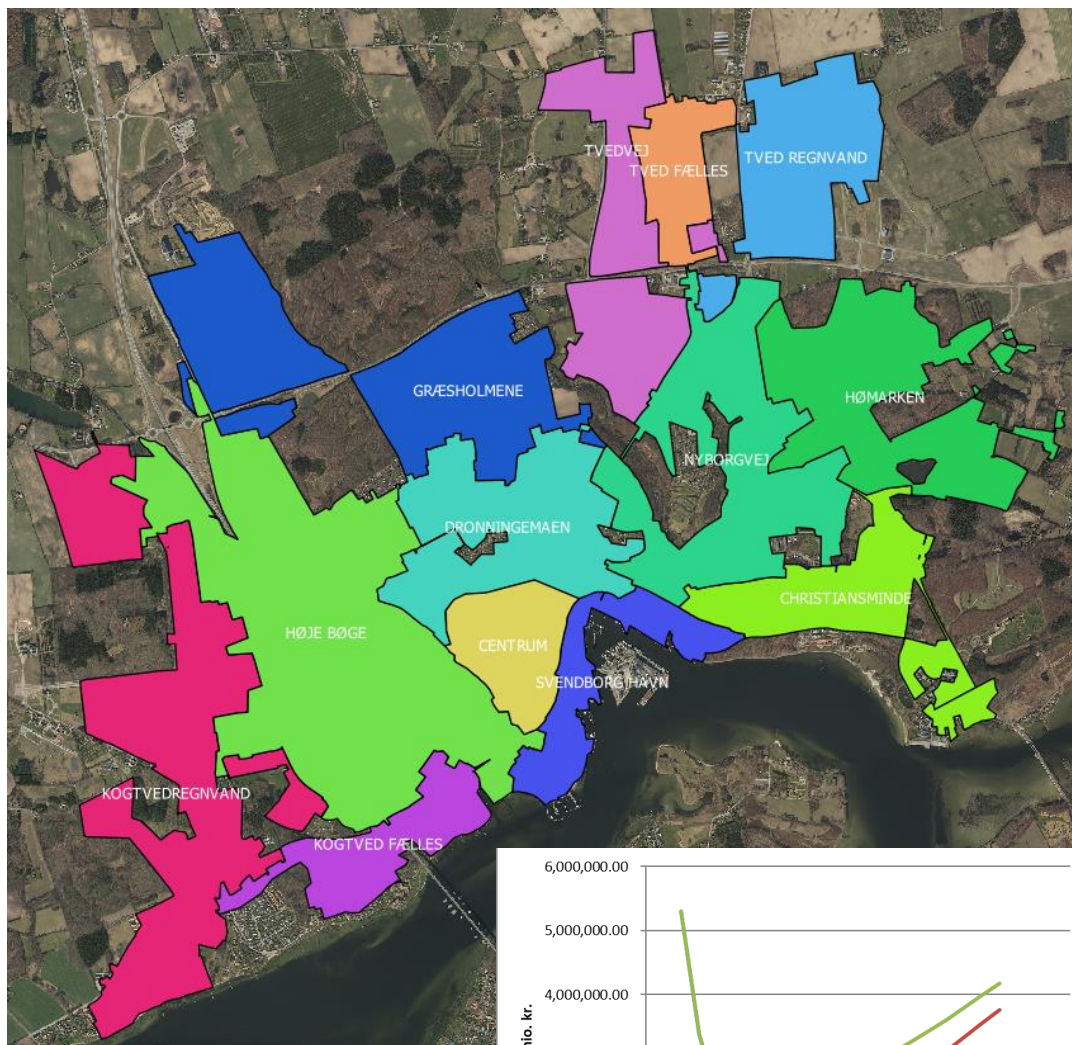


Grundlag for opdatering af prioritering af klimatilpasning og beslutning af serviceniveau for vand på terræn i Svendborg

20. november 2018



Indhold

1	Baggrund og indledning.....	4
2	Formål	6
3	Sammenfatning og konklusion	7
3.1	Metode og forudsætninger.....	7
3.2	Resultat.....	9
3.3	Konklusion	10
4	Metodebeskrivelse	11
4.1	Beregning af skadesprofil.....	11
4.2	Beregning af gennemsnitlig årlig skade (EAD)	12
4.3	Beregning af skadesreduktion	12
4.4	Beregning af løsningsomkostninger	13
4.5	Sammenligning af skadesreduktion og løsningsomkostninger	14
4.6	Optimering	15
4.7	Prioritering af klimatilpasning.....	15
5	Cost-benefit analyse og optimering	16
5.1	Beregning af skadesreduktion	17
5.1.1	Valg af oversvømmelseskort	17
5.1.2	Skadesværdisætning	19
5.1.3	Prisansættelse af bygningsskade og vurdering af bygningsskadernes omfang	19
5.1.4	Skadesprofiler.....	22
5.1.5	Gennemsnitlige årlige skader	24
5.1.6	Nutidsværdi af bygningsskader	24
5.2	Omkostninger til løsninger ved klimatilpasning og skybrudstilpasning	25
5.2.1	Løsningsomkostninger til klimatilpasning	25
5.2.2	Omkostninger til skybrudstilpasning.....	26
5.2.3	Driftsomkostninger.....	26
6	Resultater	27
6.1	Centrum	28
6.2	Christiansminde.....	30
6.3	Dronningemaen	32
6.4	Græsholmene.....	34
6.5	Høje Bøge.....	36
6.6	Hømarken	38



6.7	Kogtved Fælles.....	40
6.8	Kogtved Regnvand.....	42
6.9	Nyborgvej.....	44
6.10	Svendborg Havn.....	46
6.11	Tved Fælles.....	48
6.12	Tved Regnvand.....	50
6.13	Tvedvej.....	51
6.14	Opsummering.....	52
7	Resultatets robusthed.....	53
7.1	Dybdeafhængig enhedspris for bygningsskader.....	54
7.2	Kritisk vandstand for bygningsskader.....	54
7.3	Enhedspriser på skader.....	56
7.4	NAF og drifts- og reinvesteringsfaktor samt effekt af sikkerhedsfaktor.....	57
7.5	Effekt af udviklingen i løsningsomkostningerne.....	58
7.6	Sammenfatning af robusthedsanalysen.....	59
8	Referencer.....	60
9	BILAG 1 Anbefalingen fra Skrift 31.....	61

1 Baggrund og indledning

Svendborg Kommune fik i 2016 sammen med Vand og Affald udarbejdet områdeplaner, og ønsker nu at få en opdateret prioritering af planerne og etableret et beslutningsgrundlag for serviceniveau for vand på terræn (Spildevandskomiteens Skrift 31) og et grundlag for prioritering af klimatilpasningen af afløbssystemet (Spildevandskomiteens Skrift 27).

Grundlaget for analysen er

- Masterplaner for regn- og spildevand. Vand og Affald, Krüger 2016
- Eksisterende oversvømmelseskort udarbejdet i 2015 for gentagelsesperiode (T) = 5, 10, 20, 50 og 100 år med tilhørende rapportering der beskriver klima- og sikkerhedsfaktorer, herefter kaldet "oversvømmelseskortet".

Analysen medtager således ikke tiltag, som er gennemført siden det tidspunkt hvor oversvømmelseskortene blev udarbejdet. Dette har primært betydning for industriområdet i Græsholmene, hvor der er gennemført klimatilpasningstiltag siden oversvømmelseskortets tilvejebringelse.

Gentagelsesperioderne, som anvendes i analysen, er fundet ved brug af regnintensiteter opdateret til 2017 i oversvømmelseskortet, hvorfor årstal for gentagelsesperioderne er 2017 og 2117.

Serviceniveau for vand på terræn

I Svendborg Kommunes spildevandsplan er der fastlagt følgende servicemål jf. Skrift 27:

- I fælleskloakerede områder må der højst ske oversvømmelse hvert 10.år
- I separatkloakerede områder må der højst ske oversvømmelse hvert 5. år

Servicemålene gælder fremadrettet for nye bebyggelser samt ved kloakreoveringer.

I takt med at afløbssystemerne klimatilpasses, vil det fortsat kunne ske (ved regnhændelser større end serviceniveauet), at der kommer vand på terræn, og at der er risiko for skadevoldende oversvømmelser. Derfor har man et generelt oversvømmelsesberedskab. Normalt tænker man på et beredskab som en aktiv, manuel og midlertidig indsats. Men der er også den mulighed, at man indretter byens overflade sådan, at når afløbssystemerne løber over, så løber vandet de steder, hvor det gør mindre skade. Dette kaldes skybrudstilpasning. Ligesom man kan klimatilpasse afløbssystemerne til et bestemt serviceniveau, så kan man skybrudstilpasse i højere eller lavere grad. I hvilken grad og hvor dyrt det må være at skybrudstilpasse, kan bl.a. afhænge af, hvor stor risiko der er for oversvømmelser i et område, og hvor store værdier, som skal bevares. For at finde et rimeligt niveau, hvor omkostningen til tiltag mod oversvømmelse står mål med skaden som kan forekomme uden tiltaget, kan der gennemføres en økonomisk analyse.

Nogle steder kan det give mening at gennemføre en skybrudstilpasning, som kan give alle borgere et ensartet minimum serviceniveau mod skadevoldende oversvømmelser, der ligger højere end serviceniveauet for klimatilpasning af afløbssystemerne. Andre steder kan det give mening at differentiere det skærpede niveau afhængigt af f.eks. arealanvendelsen i kommunen. Igen andre steder kan det give mening at beslutte område for område hvilket niveau og hvilke muligheder der er for konkret skybrudstilpasning ved at gennemgå dem enkeltvis.

I denne rapport er der gennemført en analyse af hvert af de 13 hydrauliske oplande i Svendborg By. På et screeningsniveau danner analysen grundlag for at beslutte, hvilke evt. differentierede serviceniveauer, som vil give bedst mening i Svendborg By. Analysen kan desuden benyttes som grundlag for en prioritering af klimatilpasningen af afløbssystemerne, ud fra hvor man får mest skadesreduktion for pengene.

Undersøgelsen gennemføres ved brug af en screeningsmetode, hvor de oversvømmelseskort, som blev udarbejdet i forbindelse med Svendborg Kommunes klimatilpasningsplan, anvendes i kombination med en teoretisk beregning af restomkostningen ved oversvømmelse efter klimatilpasning er gennemført (jf. SVK31). Denne metode har vist sig at passe med virkelige forhold i bl.a. Helsingør og Greve Kommune (der begge er anvendt som eksempler i SVK31). Der er således ikke foretaget nye hydrauliske beregninger af oversvømmelsesrisiko i forbindelse med nærværende analyse.

Rapporten belyser, om det giver mening at beslutte et minimum serviceniveau for vand på terræn i tillæg til serviceniveauet for afløbssystemerne. For hvert opland vurderes det desuden hvilket skadevoldende niveau, der er optimalt.

Tanken er, at denne undersøgelse kan gå forud for en mere detaljeret analyse, hvor der bruges en hydraulisk model til at afprøve konkrete tiltag til klima- og skybrudstilpasning i kommunen. Nærværende analyse kan danne grundlag for beslutningen om hvorvidt der skal gennemføres mere detaljerede beregninger for at finde de(t) optimale serviceniveau(er).

Spildevandskomiteen under Ingeniørforeningen har udgivet Skrift 31 (SVK31) i 2017, som giver anbefalinger til, hvilke metoder, som skal anvendes, når der skal træffes beslutning om serviceniveau for vand på terræn. Anbefalingerne fra SVK31 er gengivet i Bilag 1.

I Svendborg er det valgt at gennemføre analysen ved brug af metode 3, dvs. at der gennemføres en individuel analyse af de hydrauliske oplande, som indledningsvist er afgrænset baseret på inddelingen i kloakoplande og de tidligere inddelinger i Masterplanerne.

Såfremt det besluttet at indføre et minimum serviceniveau for vand på terræn, bør det overvejes i forbindelse med fremtidige byggemodninger at stille krav til at områderne skal indrettes således, at dette niveau kan opretholdes. Det kan sikres ved at skrive kravet ind i kommuneplanens retningslinjer for lokalplanlægning.

Prioritering af klimatilpasning af afløbssystemerne

Når der skal prioriteres klimatilpasning af afløbssystemerne, er der mange forskellige aspekter, som man kan vælge at inddrage i sine overvejelser. I nærværende rapport er der fokuseret på at beregne effekten af anlægsinvesteringer (udtrykt ved en cost-benefit-faktor (CB-faktor)), men der er mange andre forhold, som vil spille ind på hvor klimatilpasningen starter og slutter f.eks.:

- Behov for renovering
- Miljøforhold, f.eks. reduktion af overløb til recipienter
- Byplanlægning og investeringer i byens overflader, f.eks. udskiftning af belægninger eller byggemodninger
- Spildevandsselskabets øvrige aktiviteter f.eks.: opsporing af uvedkommende vand, renovering af renseanlæg osv.
- Risiko for oversvømmelser pga. stormfloder og koordinering med kystsikringstiltag.

Vand og Affald og Svendborg Kommune har ønsket af få beregnet CB-faktorerne, så de efterfølgende sammen kan prioritere henholdsvis klima- og skybrudstilpasning. Der foreslås derfor ikke en prioritering i denne rapport.

2 Formål

I nærværende screening undersøges det, hvor stort et potentiale der er for skadesreduktion ved klimatilpasning af afløbssystemerne og ved skybrudstilpasning på terræn. Det undersøges ud fra en økonomisk betragtning, om det kan betale sig at indføre et skærpet minimum serviceniveau for vand på terræn for hvert opland (skybrudstilpasning).

Denne analyse udgør naturligvis kun en del af grundlaget til beslutning om der skal være et serviceniveau for vand på terræn i Svendborg. Andre politiske fokuspunkter kan medføre, at man vælger at skybrudstilpasse, selv om det ikke kan motiveres ud fra den bygningsøkonomiske vurdering. Det kunne f.eks. være beskyttelse af vigtige samfundsværdier, rekreative forhold, synergi med byplanlægning og fortætning etc.

CB-faktorer for oplandene beregnes som forholdet mellem bygningsskadesreduktion og investeringsomkostninger og kan efterfølgende anvendes til prioriteringen af klimatilpasningen af afløbssystemerne.

Analysen er indledt med en opdeling af Svendborg By i hydrauliske oplande, som er udført i tæt samarbejde med Vand og Affald og Svendborg Kommune.

3 Sammenfatning og konklusion

3.1 Metode og forudsætninger

I analysen er det antaget, at der ikke står vand på terræn oftere end hvert 5. år i regnvandssystemerne og hvert 10. år i fællessystemerne svarende til, at afløbssystemerne lever op til minimumskravet fra SVK27. Dette kaldes i det følgende for "klimatilpasning" af kloakkerne, mens tilpasning ud over dette niveau kaldes "skybrudstilpasning". I optimeringen af serviceniveau for vand på terræn (skybrudstilpasning) i denne analyse er det antaget, at afløbssystemerne allerede er klimatilpassede.

I analysen er der kun medtaget bygningsskader. Andre materielle ting kan være relevante at inkludere lokalt, og der kan være politiske hensyn at tage, som ligger ud over nærværende analyse¹. Øvrige skader og "hotspots" som ønskes bedre sikret alt andet lige, skal således behandles som et supplement til nærværende analyse.

Analysen er gennemført på et screeningsniveau dvs. uden brug af hydrauliske modeller til modellering af løsninger på klima- og skybrudstilpasning, men med en tilnærmet tilgang.

Analysen er gennemført på baggrund af oversvømmelseskort. Der er således ikke inkluderet tiltag i oversvømmelseskortet som er gennemført siden. Dette vil have indflydelse på hvor meget vand som skal håndteres i f.eks. industriområdet i Græsholmene, hvor der i mellemtiden er gennemført tiltag, men det har ikke været muligt at medtage her.

Analysens resultater er baseret på, at der etableres traditionelle klimatilpasningsløsninger, dvs. at vand på terræn håndteres ved en kombination af bassiner og transportveje ud af områderne. Andre løsninger såsom LAR vil kunne give betydeligt andre resultater både pga. løsningsomkostningerne, som kan ændre sig, men også fordi skadesreduktionen i høj grad afhænger af løsningernes robusthed (Lauesen, L.M., 2019).

Screeningen illustrerer situationen, hvor anlæggene til skybrudstilpasning ville blive etableret med det samme. I virkeligheden vil investeringerne skulle gennemføres over en årrække, og skadesreduktionerne vil derfor være mindre end beregnet her. På den anden side vil investeringerne også først komme senere, og dermed korrigeres der delvist for usikkerheden. Til brug for prioriteringen af oplandene gør dette ingen forskel, men i store oplande, hvor investeringerne løber over en årrække vil det kunne have en betydning for det optimale serviceniveau. Dette kan der tages højde for i en konkret beregning, hvor de aktuelle detailomkostninger beregnes forud for aktuelle projekter, der skal realiseres.

I denne screening er forudsætningerne for beregningen, at bygningsskader vurderes ved kritisk vandstand > 20 cm til 800 kr./m², og vandstande > 40 cm til 6.500 kr./m². Der er anvendt en årlig drift og reinvesterings på samlet set 3% af anlægsinvesteringen. Der er regnet uden sikkerhedsfaktorer, med moms og afgifter i form af en nettoafgiftsfaktor på 32.5% (kun på anlægsinvesteringen) og uden tillæg for uforudsete udgifter.

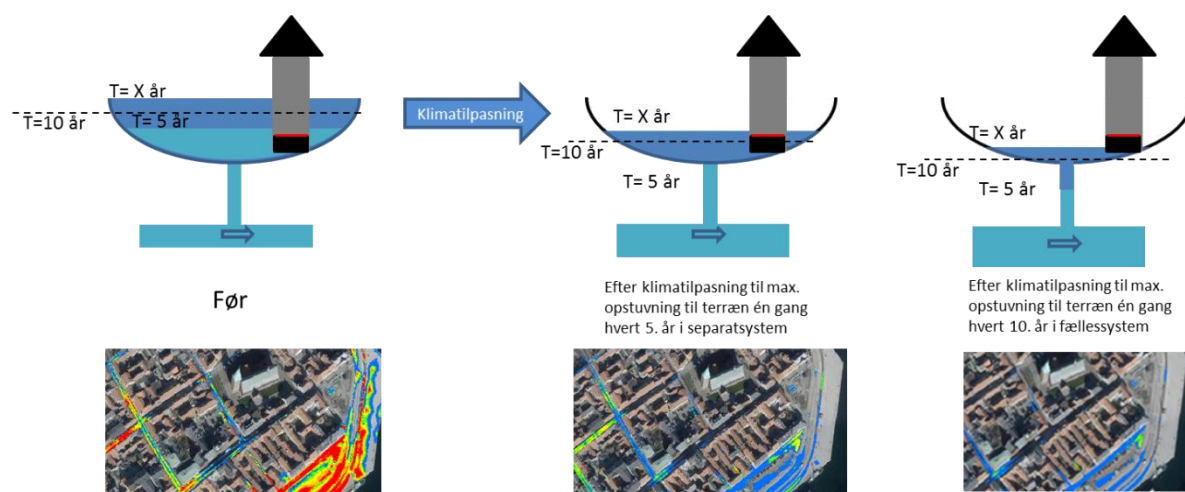
Løsningsomkostninger til klimatilpasning er regnet som 17500 kr./m³ oversvømmet vand på terræn i fællessystemer og 5000 kr./m³ oversvømmet vand i separate systemer. Skybrudstilpasning er beregnet

¹ F.eks. kunne der være et politisk ønske om at sikre trafikknudepunkter, sygehuset eller store industribygninger til et højt serviceniveau på trods af, at det ikke umiddelbart er bygningsskadesøkonomisk optimalt.



med 5000 kr./m³ for kategorien ”forstad” og 8750 kr./m³ for kategorien ”Indre by”. Disse økonomier er gennemsnitstal fra Vand og Affald på baggrund af totalomkostninger til en række konkrete anlægsprojekter forskellige steder i Svendborg Kommune.

Når afløbssystemet klimatilpasses, vil der også ske en delvis skybrudstilpasning. Det skyldes at klimatilpasningen af afløbssystemet sikrer håndtering af et vist volumen der enten transporteres væk eller tilbageholdes. Figur 1 illustrerer dette.



Figur 1 Illustrationen viser effekten af klimatilpasning af afløbssystemet på skybrudsserviceniveauet. Venstre figur viser statussituationen og de to figurer til højre viser klimatilpassede situationer til hhv. 5 år og 10 år. Skålen illustrerer fordybning i terræn hvor der står et hus. Soklen på huset er sort og den røde streg angiver kritisk niveau, dvs. der hvor vandstanden gør skade. Når afløbssystemet klimatilpasses, falder vandstands niveauet til terræn og vandstanden for alle andre hændelser falder som følge deraf. Figuren viser hvordan X-års situationens vandstand falder ved klimatilpasning. Vandstanden vil falde svarende til hvor meget volumen som håndteres i klimatilpasningssituationen og hvordan terrænet det pågældende sted er udformet.

3.2 Resultat

Tabel 1 viser resultatet af analysen af det optimale serviceniveau for vand på terræn samt CB-faktoren for hvert opland.

Tabel 1 Oversigt over resultatet af analysen. Gentagelsesperioden for den optimale dimensionsgivende regn (Topt) for serviceniveau for vand på terræn er ikke beregnet for Tved Regnvand og Tvedvej, da der ikke er skader i disse oplande under de givne forudsætninger. Derfor er CB-faktoren også 0%, da der er en vis omkostning ved klimatilpasning, men det vil ikke give en skadesreduktion med den valgte kritiske vandstand.

Opland	Topt i år	Skadesreduktion ved klimatilpasning i mio. kr	Løsningsomkostning til klimatilpasning i mio. kr	CBA
Centrum	30	11	71	15%
Christiansminde	30	0	8	5%
Dronningemaen	20	12	215	5%
Græsholmene	20	26	41	64%
Høje Bøge	20	25	127	20%
Hømarken	20	6	20	33%
Kogtved Fælles	20	0	13	0%
KogtvedRegnvand	20	27	57	48%
Nyborgvej	100	165	239	69%
Svendborg Havn	100	3	91	3%
Tved Fælles	100	4	22	17%
Tved Regnvand	NN	0	14	0%
Tvedvej	NN	0	5	0%

Analysen viser, at hvis kloaksystemet klimatilpasses, så der maksimalt sker opstuvning til terræn hvert 5. år i regnvandssystemet og hvert 10. år i fællessystemet, så vil stort set alle oplande være skybrudstilpassede til en regnhændelse med en gentagelsesperiode på $T = 20$ år.

Omkostningen til skybrudstilpasning, der er større end 20 år, udgør i størrelsesordenen 10% af omkostningerne til den samlede klimatilpasning, hvilket er i samme størrelsesorden som usikkerhederne på resultatet.

Det kan derfor anbefales at fokusere indsatsen på klimatilpasningen, og først derefter i kritiske tilfælde at overveje mulige lokale skybrudstiltag på særligt udsatte matrikler ved, f.eks. at justere terrænet omkring bygninger, der er i risiko.

Alternativt kan der ses på en afkobling af regnvand fra fællessystemet eller separatkloakering.

Spildevand kan af mange årsager ikke tillades at løbe rundt i gaderne særlig ofte, og særligt er der et sundhedshensyn for byens borgere. Spildevandskomiteen har med sine anbefalinger om maksimal opstuvning til terræn med kloakvand sikret, at byens borgere kan være sikre på at det relativt sjældent sker at de udsættes for sundhedsrisiko. Det er ikke kun opstuvning af vand fra fællessystemer, som udgør en sundhedsrisiko. Regnvand i separate systemer løber over på spildevandsledningen når regnvandsledningen overbelastes og dermed blandes regn- og spildevand og løber ukontrolleret på overfladen. Servicekravene om 5 og 10 års maksimal opstuvning til terræn er således vurderet af Spildevandskomiteen til at være grænsen for, hvor ofte der må komme spildevand op i byen.

Hvis fælleskloakerede oplande antages at blive klimatilpassede ved separatkloakering, så falder skadesreduktionen, da der kun skal klimatilpasses til en 5 års hændelse. Løsningsomkostningerne falder tilsvarende både pga. vandmængden, men også pga. enhedsprisen, som er lavere ved separatkloakering end ved klimatilpasning ved bevarelse af fællessystemet.

3.3 Konklusion

Traditionel klimatilpasning af afløbssystemet i Svendborg By vil sikre byens borgere mod sundhedsrisici i henhold til den almindelige anbefaling, og de fleste steder sikre mod skadevoldende oversvømmelser ved hændelser med gentagelsesperioder på i størrelsesordenen 20 år.

Analysen viser, at der er forskel på optimum for serviceniveau for vand på terræn mellem de forskellige oplande.

Fordi, der er relativt små skader, bør der gennemføres analyser lokalt af hvilke tiltag som relativt enkelt og billigt vil sikre de udsatte bygninger i kommunen. Disse analyser bør gennemføres i forbindelse med klimatilpasningen af afløbssystemerne.

Det bør for hvert opland undersøges, om klima- og skybrudstilpasning kan gennemføres med kombinerede løsninger. Når der ses detaljeret på et område, kan der vise sig lokale løsninger, som gør det attraktivt at udnytte løsningerne til både klima- og skybrudstilpasning.

Anbefalingen, baseret på nærværende analyse, er, at skybrudstilpasning gennemføres i henhold til metode 3 i Skrift 31, med et minimum serviceniveau, som sikrer, at der maksimalt sker skader hvert 20. år. Det svarer til skybrudstilpasningen, som opnås alene ved klimatilpasning af afløbssystemet. For Nyborgvej og Svendborg Havn anbefales det at differentiere serviceniveauet, eftersom analysen viser, at det kan betale sig at gå længere end en 20 års hændelse. Lokalt bør der undersøges for løsninger, som viser scenarier, der kan skybrudstilpasse disse områder for regnstørrelser fra 50-100 års regnhændelser.

Den optimale skybrudstilpasning for de to oplande bør findes, når der gennemføres klimatilpasning af oplandene, da synergier mellem klima- og skybrudstilpasning kan give et mere optimalt serviceniveau. Dertil kommer undersøgelsen af, om det kan betale sig at separatkloakere i forbindelse med klima- og skybrudstilpasning, hvilket også vil reducere aflastningerne til havet.

Det anbefales at der gennemføres beregninger af lokale skadesomkostninger i forbindelse med, at et område planlægges klimatilpasset i detaljen, og at der på den baggrund tages beslutning om skybrudstilpasning for oplandet afhængigt af de lokale forhold. Dette vil også kunne afdække, hvor det vil være hensigtsmæssigt at gennemføre lokal tilpasning på de enkelte matrikler frem for i det fælles afløbssystem, og hvor der bør gennemføres separatkloakering eller afkobling af regnvand fra fællessystemet.

Ud over den aktive klima- og skybrudstilpasning anbefales det, at der ved byggemodninger fokuseres på forebyggelse mod skadevoldende oversvømmelser. Dertil bør der indføres en praksis, som sikrer, at fortætning ikke øger risikoen for oversvømmelser. Hvis det glemmes, kan der blive behov for øget skybrudstilpasning i fremtiden.

CB-faktorerne kan danne grundlag for en mere detaljeret prioritering af klimatilpasningen af områderne i kommunen, som fokuserer på, at anlægsinvesteringerne gennemføres efter princippet om at investere der, hvor der opnås mest skadesreduktion for pengene.

Tabel 1 viser, at der vil opnås mest klimatilpasning for pengene i oplandet Nyborgvej. Svendborg Havn er relativt dyr at klimatilpasse, men det kan overvejes at separatkloakere oplandet, da det kan give mulighed for (billig) direkte afledning af regnvand til havet, hvilket kan give en væsentlig besparelse på klima- og skybrudstilpasningen.

4 Metodebeskrivelse

I dette afsnit beskrives metoderne, som er anvendt i den økonomiske analyse for Svendborg. I afsnit 5 beskrives den konkrete implementering af metoden for hvert af delområderne 1-13.

I den ideelle situation bør der gennemføres modelberegninger med en hydraulisk kloak- og overflademodel, for at beregne hvor meget vand på terræn, der kan forventes i 2017 og 2117 og med de forskellige tilpassede løsninger. Der regnes over 100 år fra 2017-2117, svarende til de tidspunkter, som regnintensiteterne er fundet for. Det er dog vurderet af Svendborg Kommune og Vand og Affald, at det i første omgang ikke giver mening at gennemføre de mange dyre beregninger for at danne sig et overblik over hvor der skal sættes ind.

Derfor er en mere simpel, teoretisk og erfaringsbaseret metode anvendt her. Resultatet af screeningen kan anvendes som beslutningsgrundlag for det videre arbejde med skybrudstilpasning i Svendborg og give en god fornemmelse for størrelsesordenerne af såvel skadesomkostningerne som løsningsomkostningerne.

Der anvendes oversvømmelseskort i kombination med teori for klimatilpassede skadesprofiler, som er valideret med eksempler fra Helsingør, Greve og Solrød.

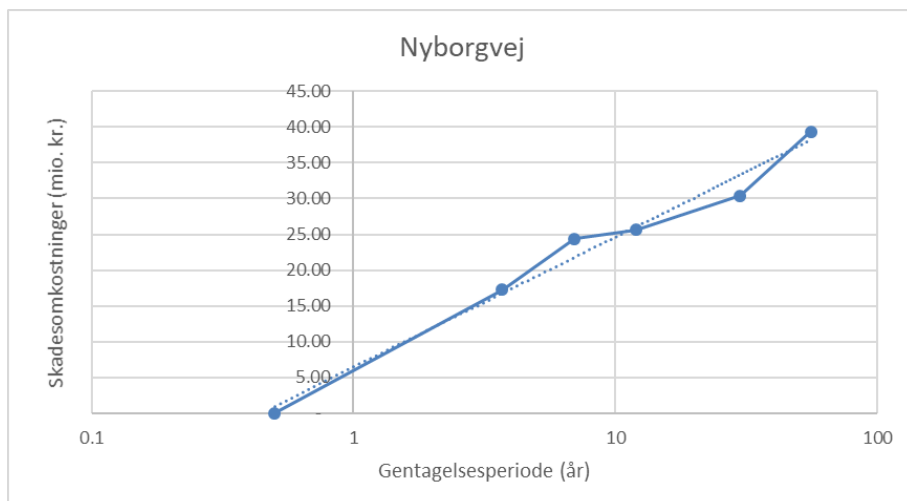
Ved vægtning af skadesreduktion og omkostninger til tilpasning til forskellige niveauer findes det mest økonomisk optimale serviceniveau for afstrømningssystemet efter følgende proces:

1. Beregning af skadesprofil
2. Beregning af gennemsnitlig årlige skader under forskellige forhold (EAD)
3. Beregning af skadesreduktion
4. Beregning af løsningsomkostninger
5. Sammenligning af skadesreduktion og løsningsomkostninger
6. Optimeringskurve for analysen

Baseret på skadesreduktion og løsningsomkostninger for klimatilpasningen af afløbssystemet beregnes der cost-benefit faktorer (CB-faktorer).

4.1 Beregning af skadesprofil

For hver bygning beregnes den potentielle maksimale skade og sandsynligheden (gentagelsesperioden) for skader ved brug af oversvømmelseskortene. For alle gentagelsesperioder opsummeres skaderne nu og i fremtiden (som illustreret i figuren herunder) og danner ”skadesprofilet”.

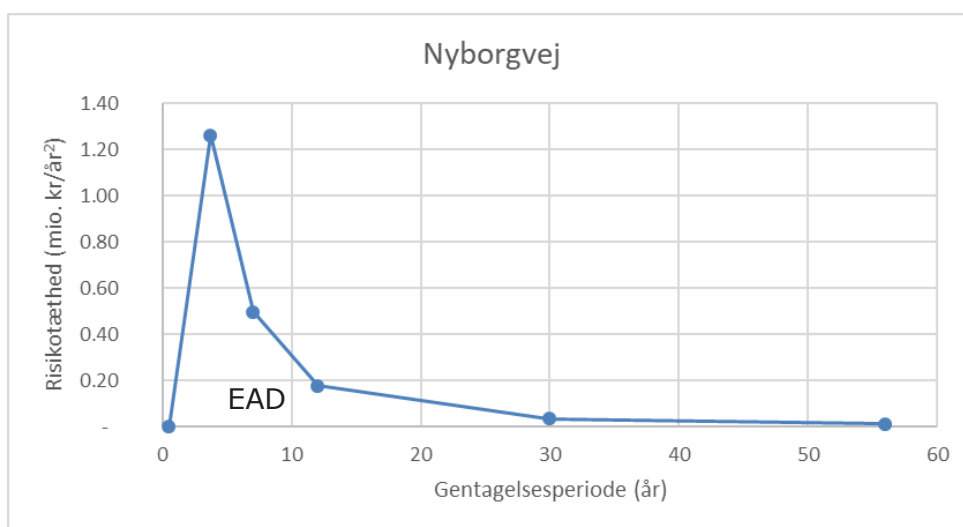


Figur 2 Illustration af skadesprofilen: Skadesomkostningen som funktion af gentagelsesperioden.

4.2 Beregning af gennemsnitlig årlig skade (EAD)

For at beregne den gennemsnitlige årlige skade (Expected Annual Damage, EAD) nu og i fremtiden og med og uden tilpasning, omregnes skadesprofilerne til risikotætheden.

Risikotætheden kombinerer information om skadens størrelse med sandsynligheden for at skaden indtræffer. EAD i kr./år findes ved at integrere (dvs. finde arealet) under kurven. Et eksempel er vist på Figur 3.

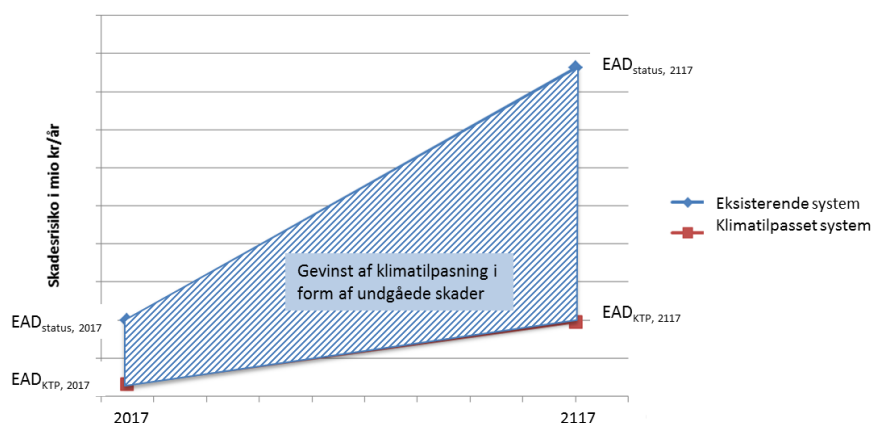


Figur 3 Risikotætheden kombinerer information om skadens størrelse med sandsynligheden for at skaden indtræffer (den årlige skadesrisiko). EAD i kr./år findes ved at integrere (dvs. finde arealet) under kurven.

4.3 Beregning af skadesreduktion

Den gennemsnitlige årlige skade beregnes for hver af de ønskede situationer: det eksisterende system; nu og i fremtiden, samt for et tilpasset system; nu og i fremtiden. Det antages, at der er en lineær udvikling af klimaændringerne vedrørende ekstrem nedbør fra nutid til fremtiden (100 år). Differencen mellem skaderne (beregnet for eksisterende forhold og for klimatilpassede forhold over 100 år) er den

gevinst, der kan opnås ved klimatilpasning i form af reducerede skader (her i form af undgåede bygningsskader). Figur 4 illustrerer beregningen af skadesreduktionen.



Figur 4 Illustration af beregning af skadesreduktion = gevinst i form af undgåede bygningsskader.

Når den årlige skadesrisiko (EAD) nu og i fremtiden er kendt, med og uden diverse tiltag, kan gevinsten i nutidskroner (i form af reduceret skade) beregnes ved:

$$S_{2017} = \int_0^{100} (EAD_{\text{før}} - EAD_{\text{efter}}) \cdot e^{-0.03t} dt$$

Hvor S_{2017} er nutidsværdien af skadesreduktionen; $EAD_{\text{før}}$ er skadesudviklingen fra 2017-2117 uden tiltag; og EAD_{efter} er med tiltag. Kalkulationsrenten sættes til 3% over 100 år.

Skadesreduktionen beregnes ud fra en tænkt "straks-investering". I virkeligheden kan der ikke gennemføres en fuld klimatilpasning af hele kommunen inden for få år, hvilket betyder, at der er en usikkerhed i form af en skadesreduktion i starten af perioden, som ikke burde tælles med. Usikkerheden er mindre, hvis investeringen i et opland forløber over en kort periode. De indledende beregninger viser, at skadesreduktionen alt andet lige er meget lille, så en "straks-investering" vil vise hvor udpræget det er. Derfor er det valgt at anvende "straks-investeringer" i denne analyse. Når der senere skal ses på prioritering af klimatilpasningsprojekterne, kan en bedre belyst investeringstakt for hele kommunen beregnes.

Anvendelse af "straks-investering" betyder altså, at den beregnede skadesreduktion overvurderes.

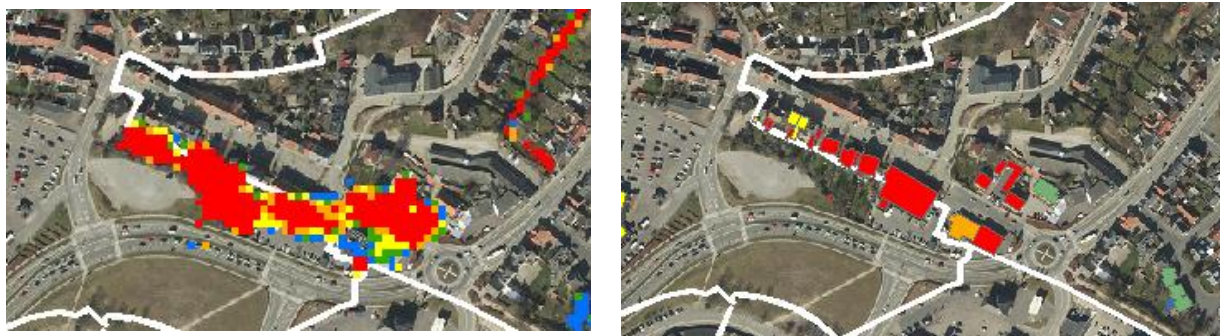
4.4 Beregning af løsningsomkostninger

I en detaljeret analyse ville man ved brug af en numerisk hydraulisk model kunne finde løsninger til at opnå forskellige serviceniveauer. Omkostningerne til at etablere sådanne løsninger kunne da beregnes mere eller mindre detaljeret. Baseret på løsningerne skulle der ideelt set efterfølgende beregnes nye oversvømmelseskort for de forskellige tilpasninger og gentagelsesperioder og heraf nye skadesniveauer.

På dette screeningsniveau er der brugt en mere simpel tilgang, hvor det antages, at det oversvømmelsesvolumen, som ligger på terræn med en dybde over 20 cm og i berøring med en bygning skal håndteres, og at omkostningerne til en løsning kan findes ved at anvende en enhedspris for hver m^3 vand der skal fjernes.

I randområderne, hvor et opland møder et naboopland, kan der være vand på terræn, som skyldes regnvand, der oprindeligt er faldet i det opstrøms opland, men som giver oversvømmelse i det nedstrøms. Det eneste sted, hvor dette er en udfordring i Svendborg by, er i oplandet Nyborgvej, hvor den værste oversvømmelse sker på Ørkildsgade. Her er det antaget, at såvel volumen af oversvømmet vand, som skader på bygninger, hører hjemme i oplandet Nyborgvej.

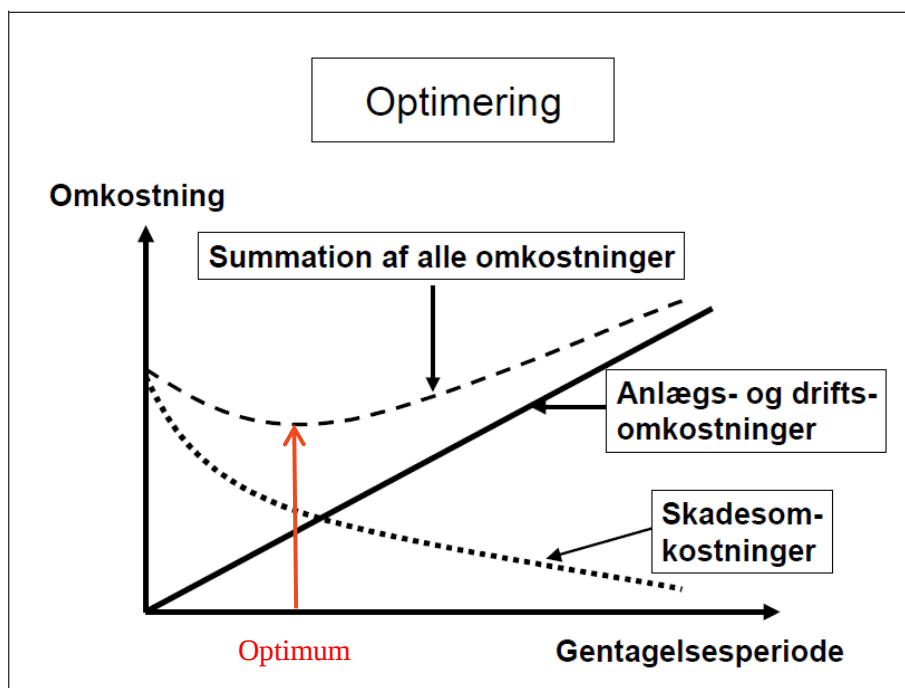
Figur 5 viser den aktuelle oversvømmelse på Ørkildsgade og bygningerne som skades.



Figur 5 Oversvømmelserne på Ørkildsgade til venstre, og de bygninger, som skades, til højre (med mere end 40 cm vand). Gentagelsesperioderne $T = 5, 10, 20, 50$ og 100 år svarer til farverne: rød, orange, gul, grøn og blå).

4.5 Sammenligning af skadesreduktion og løsningsomkostninger

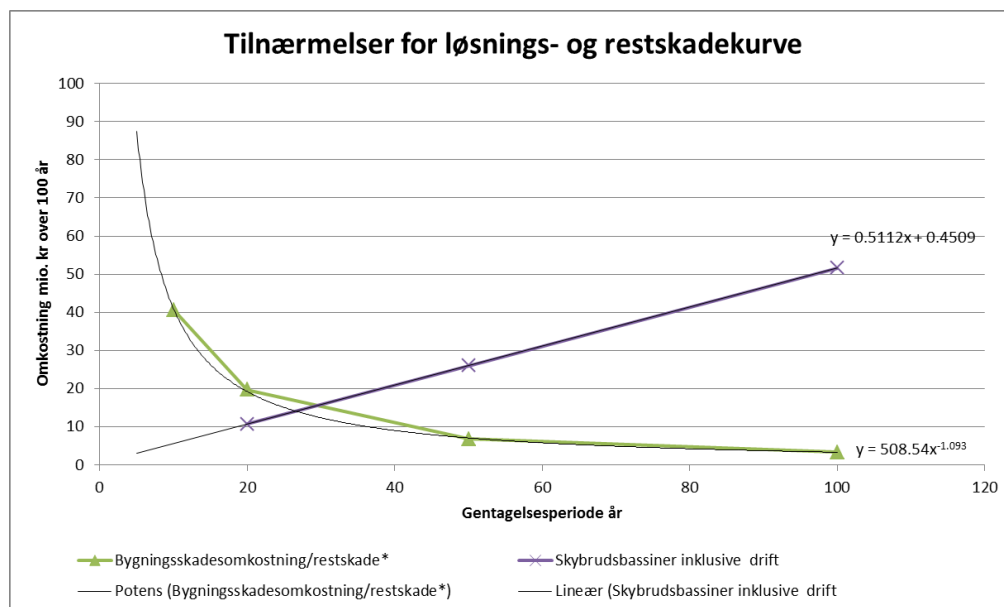
Når løsningsomkostninger og restskader er beregnet, kan det for det første afklares, om tilpasning til forskellige niveauer kan betale sig. For det andet kan man finde sammenhængen mellem de samlede omkostninger (summen af restskader og løsningsomkostninger) og gentagelsesperioden. Figur 6 illustrerer hvordan det økonomisk optimale serviceniveau kan findes, i det punkt hvor den samlede omkostning er mindst.



Figur 6 Økonomisk optimering af forholdet mellem anlægsomkostninger og skadeomkostninger (figur fra SVK 27)

4.6 Optimering

I nærværende analyse er der kun beregnet restskade og løsningsomkostninger for $T = 5, 10, 20, 50$ og 100 år. Restbygningsskaden aftager mest ved tilpasning til de små gentagelsesperioder, og mindre for de store gentagelsesperioder. Sammenhængen mellem restskade og gentagelsesperiode kan tilnærmes med en potensfunktion og løsningsomkostningerne med en lineærfunktion som vist på Figur 7. Potensfunktionen vælges alene, fordi den er aftagende og konkav og passer godt med de punkter som skal tilnærmes.



Figur 7 Illustration af tilnærmelse af restskade- og løsningsomkostninger

Når de samlede omkostninger som funktion af gentagelsesperioden skal beregnes, summeres de tilnærmede kurver, og optimum findes.

4.7 Prioritering af klimatilpasning

For hvert opland beregnes der en cost-benefit faktor (CB-faktor):

$$CB - faktor = \frac{\text{skadesreduktion}}{\text{investeringsomkostninger}}$$

Der regnes på skadesreduktion og investeringsomkostninger inklusive drift over en periode på 100 år. Det er den forventede levetid på de bygninger som rammes, og det er tæt på samme størrelsesorden, som levetiderne på de anlæg som skal etableres. Samtlige skadesreduktioner og anlægsinvesteringer er beregnet som nutidsværdi, ved brug af en kalkulationsrente på 3%.

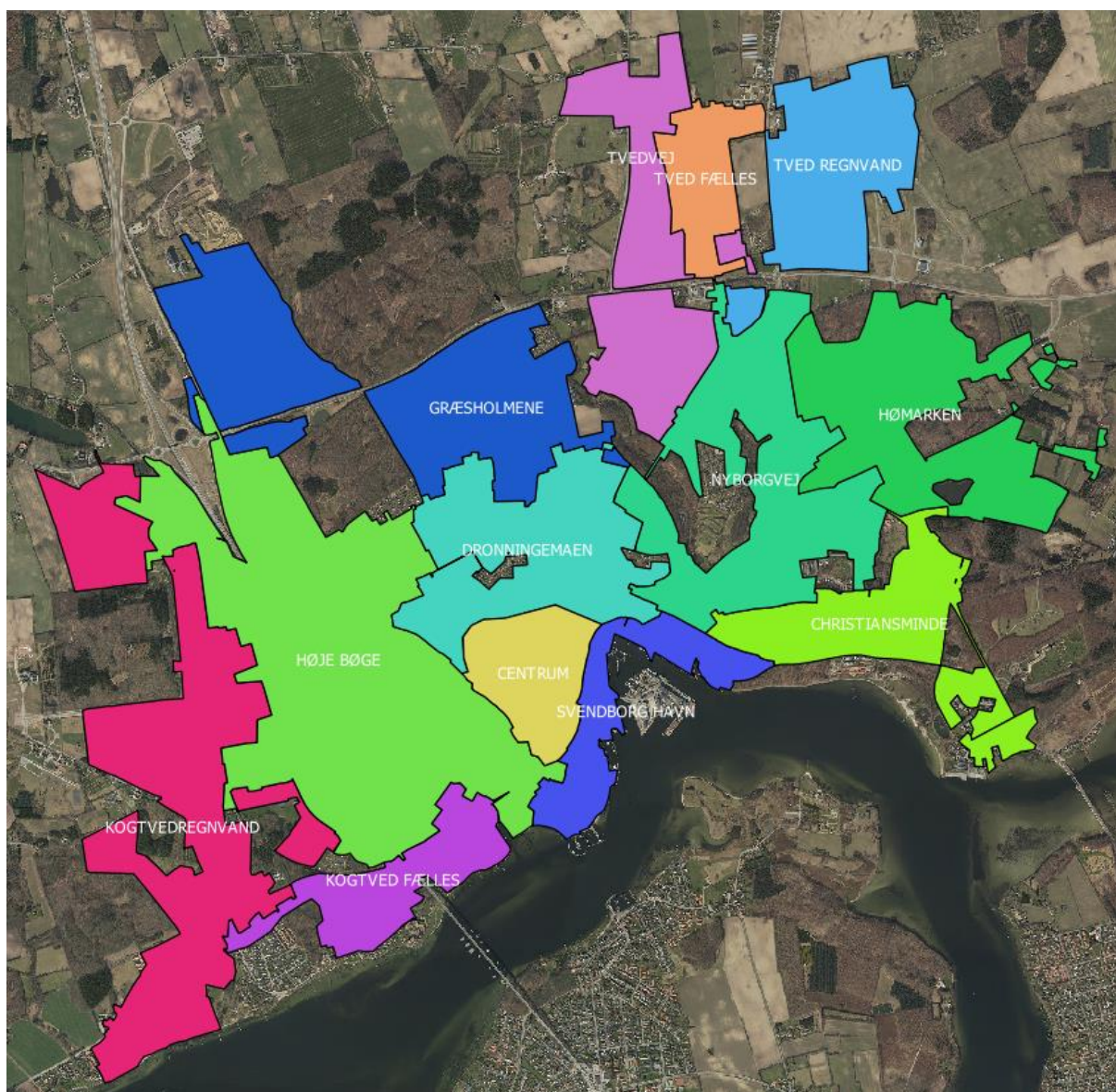
I afsnit 5 er metoden anvendt for oplandene i Svendborg By.

5 Cost-benefit analyse og optimering

I dette afsnit gennemføres metoden, som er beskrevet i afsnit 4, konkret for hvert hydraulisk opland, og det beskrives hvilke antagelser, der er gjort. Det er valgt kun at vise eksempler på figurer og kort i teksten, men kort for alle oplandene kan findes i afsnit 6.

Inddelingen i oplande gennemføres med udgangspunkt i inddelingen i Masterplanerne (reference 2). Det sikres, at der er hydraulisk sammenhæng, og at inddelingen kommer til at kunne koordineres med det arbejde, som allerede er i gang.

Resultatet af oplandsinddelingen ses på Figur 8.



Figur 8 De hydrauliske oplande i Svendborg By

5.1 Beregning af skadesreduktion

5.1.1 Valg af oversvømmelseskort

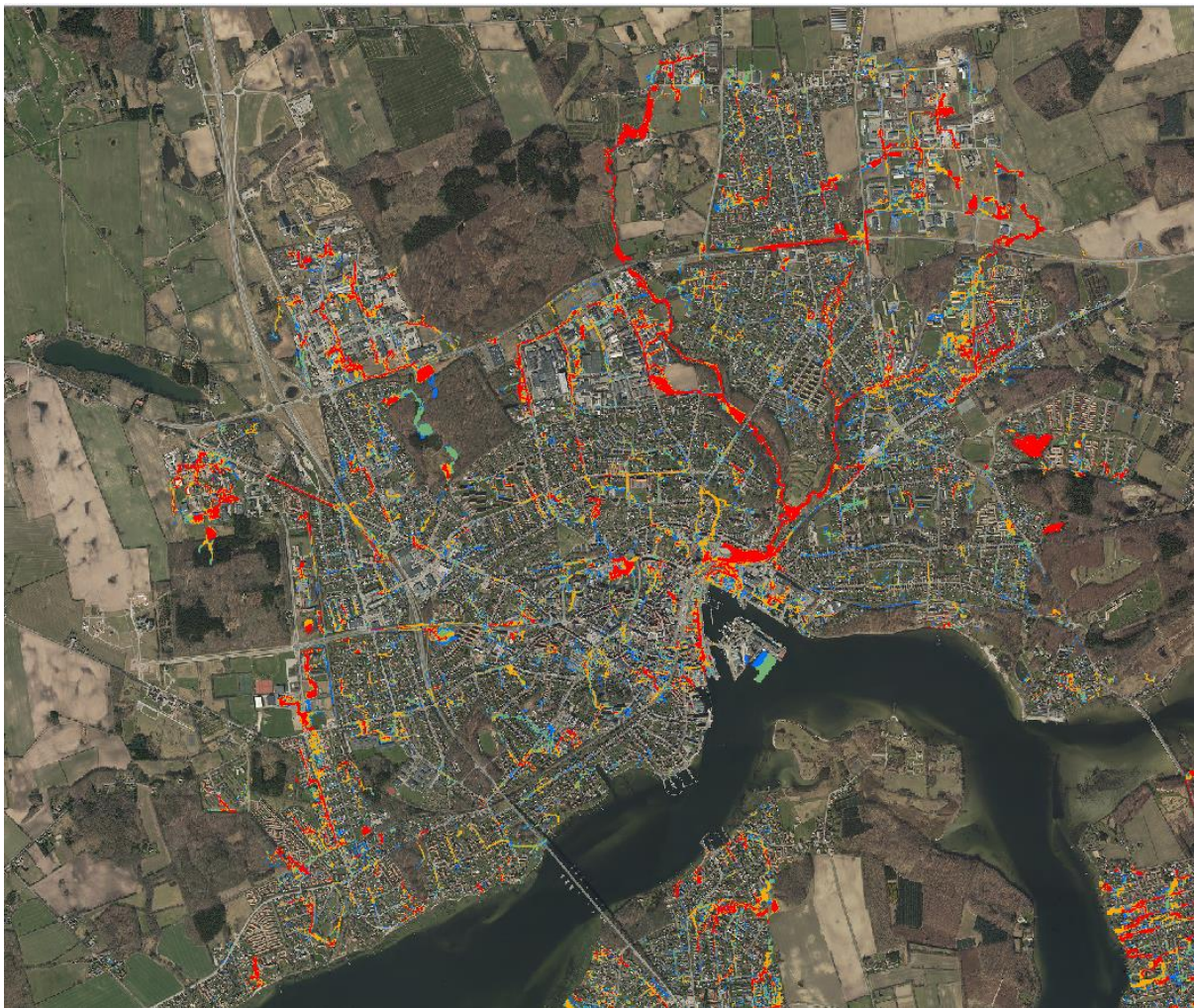
Vand og Affald har fået udarbejdet et opdateret oversvømmelseskort som opfølgning på udarbejdelsen af Masterplanen jf. reference 2.

Oversvømmelseskortene er udarbejdet af Krüger og modtaget i punktform med opløsningen 5x5 m. Punktværdierne er lig middeldybde i kvadrater på 5x5 m.

Der findes oversvømmelseshændelser med tilhørende dybde for gentagelsesperioderne $T = 5, 10, 20, 50$ og 100 år med en fremskrivning til 2050 for regnrækker fra SVK28. Da såvel forsyningsanlæg som bygninger har levetider på i størrelsesordenen 100 år, er det rimeligt at gennemføre cost-benefit analysen med en tidshorisont på 100 år frem for på 50 år. Til brug for beregning af den gennemsnitlige årlige skade i dag, er det nødvendigt at kende oversvømmelsesudbredelserne i dag. Oversvømmelseskortene er derfor tilbage- og fremskrevet til hhv. 2017 og 2117 ved brug af de opdaterede regionale regnrækker (SVK Skrift 30). Således findes gentagelsesperioderne for 2017 og 2117 som vist i Tabel 2:

Tabel 2 Gentagelsesperioder for 2050 omskrevet til hhv. 2017 og 2117. T er gentagelsesperioden.

T(2050)	5	10	20	50	100
Klimafaktor (2050)	1.11	1.14	1.15	1.17	1.18
T(2117)	3.7	7	12	30	56
Klimafaktor (2117)	1.22	1.26	1.30	1.32	1.35
T(2017)	8	18	38	110	225
Klimafaktor (2017)	1	1	1	1	1



Figur 9 Oversvømmelseskort 2050 for T= 5 (rød), 10 (orange), 20 (gul), 50 (grøn) og 100 (blå) år.

5.1.2 **Skadesværdisætning**

Flere undersøgelser har vist, at bygningsskader udgør 80-90% af skaderne ved oversvømmelser i byer. Ved beregningen af skadesreduktion ses der derfor kun på bygningsskader, som følge af oversvømmelserne.

Hvis det viser sig, at det kan betale sig at skybrudstilpasse alene på baggrund af bygningsskader, vil øvrige undgåede skader og positive effekter af tilpasningen gøre gevinsten endnu større. Med tilgangen her, beregnes der derfor minimum skadesreduktion ved tilpasning.

Øvrige positive effekter kan f.eks. være:

- Reduktion af ødelæggelser af veje og anden infrastruktur
- Reduktion af omkostninger pga. at trafikken ikke kan afvikles
- Reduktion af omkostninger pga. forsinkelser og ødelæggelse af forretninger
- Bedre rekreative forhold
- Tryghed ved ikke at få sit hus oversvømmet
- Beskyttelse af vitale funktioner som hospital og plejehjem
- Beskyttelse af kultur, natur og øvrige samfundsværdier

Disse øvrige positive effekter kaldes også ”merværdi”, og ville, hvis de blev værdisat, kunne forbedre den beregnede balance mellem den opnåede skadesreduktionen og omkostningerne til tilpasningen.

Da der ved kun at inkludere bygningsskaderne opnås et konservativt resultat, og da der på dette niveau ikke er belæg for fastsættelsen af de øvrige gevinster, har Vand og Affald og Svendborg Kommune besluttet, ikke at inkludere de øvrige effekter i nærværende analyse.

For at sikre, at resultatet er rimeligt robust, er der gennemført en sammenligning af forskellige bygningsskader og forudsætninger:

- Kritisk vandstand for bygningsskader på enten 10 og 20 cm
- Enhedspriser differentieret på dybde, så skaderne stiger med dybden
- Enhedspriser sammenlignet med Forsikring og Pensions skadesdata

Disse er præsenteret i afsnit 7, hvor der også er lavet en robusthedsanalyse af andre faktorer.

5.1.3 **Prisansættelse af bygningsskade og vurdering af bygningsskadernes omfang**

Svendborg var udsat for kraftige regn med skadevoldende oversvømmelser til følge d. 29. juni 2012. Svendborg Kommune har fået skadesdata fra Forsikring og Pension for denne periode. Skadesdata fra Forsikring og Pension inkluderer skader på bygninger og inventar, men er ikke opdelt på skader som følge af overfladiske oversvømmelser og oversvømmelser som følge af opstuvning i afløbssystemerne til kældre. Da det ikke er muligt at indsamle bedre informationer om oversvømmelserne, og da det vurderes rimeligt at anvende de data som findes, er det antaget at bygningsskader forekommer når de berøres af mindst 20 cm vand på terræn og skadesdata er anvendt til at finde kvadratmeterprisen på skaderne. Kritisk dybde på 20 cm er anvendt som et gennemsnit for byområderne i Svendborg, da der ofte er der et stykke ubefæstet areal mellem kloak og hus som skal ”fyldes” før der sker skader. Dertil kommer, at moderne huse har fugtspærre i nye husmure, som hindrer ”opsugning” af vand i murene.

Alt andet lige, så er 20 cm et konservativt valg, da det ikke overestimerer skadesreduktionen. Denne kritiske vandstand er også brugt i klimatilpasningsplanen.

Nedbørsdata fra SVK-måleren Fruerskoven viser karakteristika for regnen, se Figur 10.

Intensitetsvarighed (min)	1	5	10	30	60	dybde mm	Varighed (min)	Intensitet (l/s/ha)
20120625 07:35	70	0.333	3.333	1.556	1.111	0.573	0.366	1.4
20120625 10:29	179	0.333	8.333	3.500	2.014	0.795	0.429	3.6
20120629 03:24	329	2.725	43.333	34.000	25.000	12.062	6.825	53.8
20120629 16:29	87	0.421	3.333	2.000	1.667	0.793	0.441	2.2
20120706 06:33	50	0.133	3.333	0.721	0.395	0.177	---	0.4

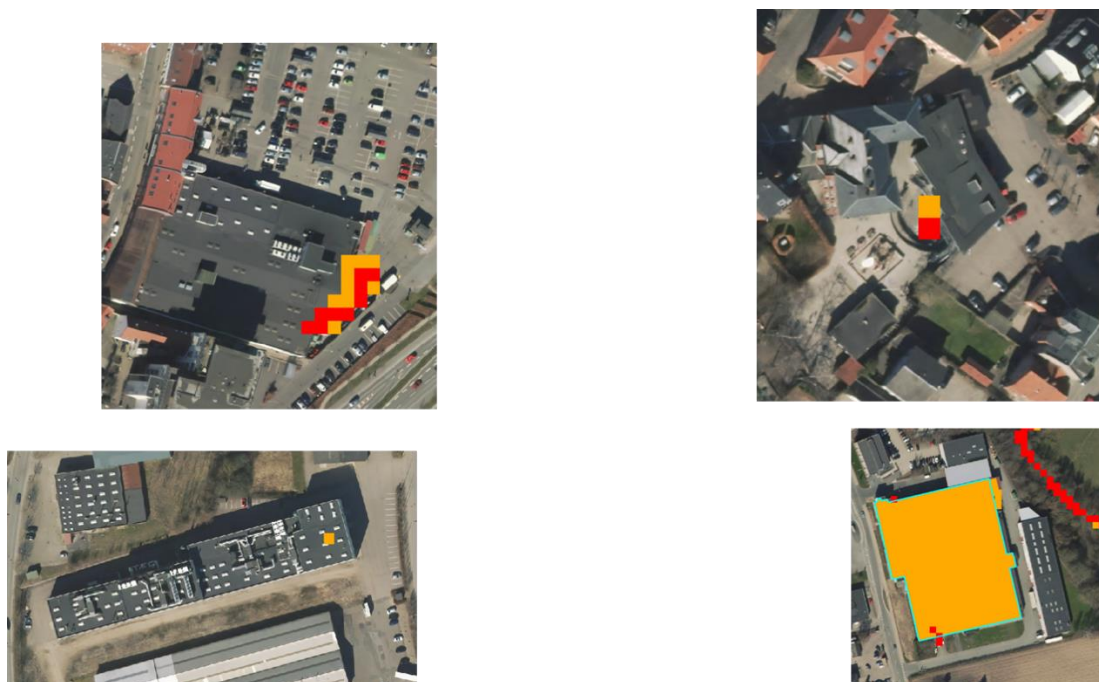
Figur 10 Udsnit af nedbørsrapporten fra SVK-måleren Fruerskov omkring d. 29. juni 2012 med intensiteter i my-m/s (=10 l/s/ha). Til højre er vist regnvarighederne for den regionale regnrække i l/s/ha.

Regnrækken for 10-års hændelsen i 2050 (til højre i figuren) viser stort set samme intensiteter som de registrerede varigheder fra Fruerskovens SVK måler.

Regnen d. 29. juni 2012 svarer således ca. til en 10 års hændelse i 2050 og ca. en 17 års hændelse i dag, hvilket betyder at den kan sammenholdes med vanddybderne fra oversvømmelseskortet for denne hændelse.

Alle bygninger, der er markeret som oversvømmede, er gennemgået manuelt, og bygninger, som oversvømmes meget lidt eller som er markeret som oversvømmet pga. fejl i højdekortet, er fjernet fra analysen. Det er kun de bygninger, som fejlagtigt bidrager markant til skaderne i byen, som fjernes. Mindre bygninger, der måtte være fejlbehæftede, er fortsat i analysen ud fra den overvejelse, at der anvendes en relativt lille skadesenhedspris i størrelsesordenen 800 kr./m², og alle bygninger under 50 m² er ikke med i analysen. Disse tilretninger betyder at skaderne reduceres.

Figur 11 viser et eksempel på bygninger, hvor det er vurderet, at det er rimeligt at reducere skadesomkostningen på bygningen, da det kun er en meget lille del af bygningen som er oversvømmet. Skadesomkostningen er i sådanne tilfælde sat til 0% af den potentielle omkostning.



Figur 11 Eksempler på bygninger, som ikke medtages i analysen pga. fejl i højdemodellen (nederste figurer), eller fordi oversvømmelsen er meget lille (øverste figurer).

Når disse forudsætninger anvendes og sammenlignes med den samlede skadespris på 7.8 mio. kr. fra Forsikring og Pensions skadesdata d. 29. juni 2012, findes der en enhedsskadespris på bygningsskader med kritiske vandstande større end 20 cm på 800 kr./m². Vand og Affald og Svendborg Kommune har undersøgt, om der var særlige skader på Svendborg Kommunes eller Vand og Affalds ejendom, som skulle med i analysen. Svendborg Kommune, som er selvforsikrede, havde registreret egne særskilte skader, som er talt med, og skaderne hos Vand og Affald er inkluderet i Forsikring og Pensions skadesdata.

Til sammenligning er der beregnet enhedspriser med Forsikring & Pensions skadesdata for København og Greve.

I København er enhedsprisen fundet ved at dele skadesopgørelsen på den enkelte bygning med arealet af bygningen, uden at der er foretaget en korrektion af graden af oversvømmelsen.

I Greve Kommune er der foretaget en tilsvarende beregning med Forsikring & Pensions data, som har givet en enhedsskadespris på 2.500 kr./m². I Greve analysen blev bygninger korigeret for graden af bygningens oversvømmelse. Analysen understøtter sammenhængen mellem oversvømmelsesgrad og enhedspris: hvis der korrigeres og anvendes 2.500 kr./m² fås der stort set samme resultat, som hvis der ikke korrigeres og anvendes 1.100 kr./m².

Det er besluttet at anvende 800 kr./m² når vandstanden ved bygninger er større end 20 cm, men at korrigere bygningsskaderne, så skaderne bedst muligt repræsenterer virkeligheden. Således findes der en konservativ skadesreduktion.

Indledende analyser med skadespriser på 800 kr./m² viser, at der i visse områder med stor vanddybde ikke er tilstrækkelig skade i forhold til Vand og Affalds og Svendborg Kommunes erfaringer.

”Greve-analysen” viste, at skaderne formentlig bør differentieres over dybden, så bygninger som oplever større vandstande end 40 cm skades med 6.500 kr./m², hvilket stort set svarer til at bygningen skal genopbygges. Disse skader afspejles ikke i Forsikrings- og Pensionsdata for Svendborg d. 29. juni 2012, men projektgruppen har besluttet, at der arbejdes videre med en differentieret skadessætning på 800 kr./m² for vandstanden større end 20 cm og med et tillæg på 5.700 kr./m² for vandstande større end 40 cm, da det passer bedre med den oplevede fordeling af risikoen i Svendborg.

I rapporten her vises resultaterne med enhedspriser på skader fordelt jf. ovenstående henover vanddybden, og i afsnit 7.1 er resultaterne vist uden vanddybdeafhængighed.

Det antages derudover, at hele bygningsarealet skades, når en bygning rammes af en oversvømmelse. Det antages fordi:

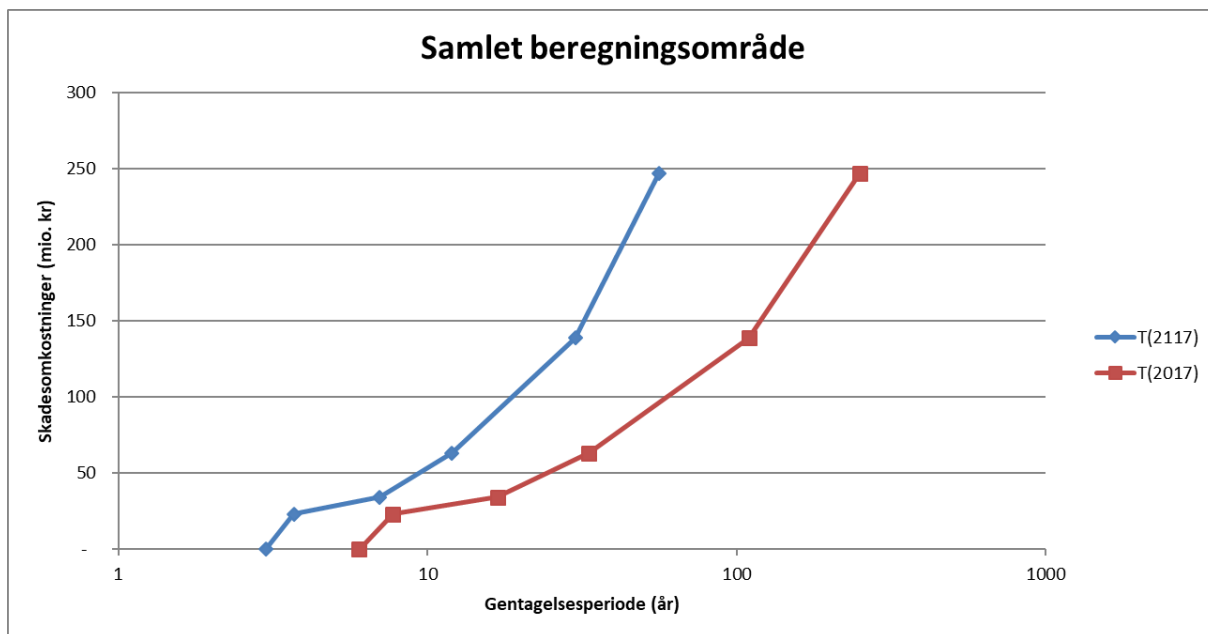
- Gulve er vandrette, så når der er vand i en vis højde ved huset, må det antages at hele huset påvirkes.
- Krybekældre transporterer vand til hele bygningen.
- Udluftningskanaler i soklen transporterer vand til hele bygningsfladen.

5.1.4 **Skadesprofiler**

Ved brug af bygningsskadesprisen, bygningstemaet og oversvømmelseskortet fra kommuneplanen etableres der således et skadesprofil for Svendborg By svarende til år 2117. Nulniveauet for skader er vurderet for hvert opland særskilt ved logaritmisk lineær forskydning. Med andre ord - en parallelforskydning af graferne i et koordinatsystem, som har en lineær skala op ad y-aksen (skadesomkostninger), men en logaritmisk skala ud af x-aksen (gentagelsesperioden for regn).

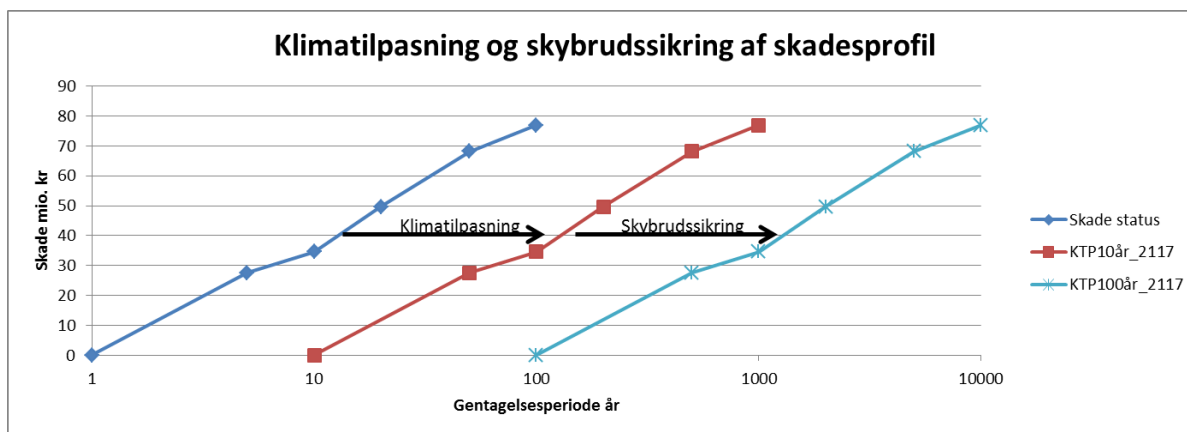
Gentagelsesperioderne for 2017 og 2117 findes for de regnrækker, som der er beregnet oversvømmelseskort for i 2017 (jf afsnit 5.1.1). Således findes sammenhængen mellem skader og gentagelsesperioder for regn i 2017, som vist på Figur 12.

En 100-års regn i 2017 (rød graf) har en skadesomkostning på ca. 125 mio. kr. På grund af klimaforandringerne og fremskrivningen af regnintensiteter, vil denne størrelse regn være mere hyppig i 2117, og derfor være at betragte som en mindre gentagelsesperiode; nu kun på ca. 50 år (blå graf). Skaden er teoretisk set den samme for samme regnintensitet – dvs. ca. 125 mio. kr.



Figur 12 Skade som funktion af gentagelsesperioden (skadesprofil) i det samlede analyseområde nu og i fremtiden

Der er ikke gennemført hydrauliske beregninger for at vise hvilken effekt tilpasning af afstrømningssystemet vil have på skadesprofilen. Erfaringer fra Helsingør og Greve, hvor der er anvendt detaljerede beregningsmodeller, viser, at effekten på skaderne ved tilpasning af afstrømningssystemerne (med traditionelle løsninger) ses ved en parallelforskydning af skadesprofilen svarende til at kurven har samme hældning, men skærer x-aksen i et nyt nulskadeniveau (svarende til serviceniveauet for skader som ønskes opnået). Dette er illustreret på Figur 13.



Figur 13 Illustration af metode til at finde skadesprofil for klimatilpasning til T = 10 år (rød) og skybrudstilpasning til 100 år (om 100 år). Gentagelsesperioden vises logaritmisk.

Således findes skadesprofilerne svarende til tilpasninger til T = 10, 20, 50 og 100 år i nutid og fremtid.

Det skal bemærkes, at med denne metode, svarer restskaderne til, at der er gennemført tilpasning med traditionelle metoder, og da restskaden afhænger af løsningen, giver det anledning til usikkerhed. F.eks. kan der vise sig større restskader, hvis der klimatilpasses ved brug af større grad af tilbageholdelse f.eks. i form af LAR frem for at transportere vandet ud af området.

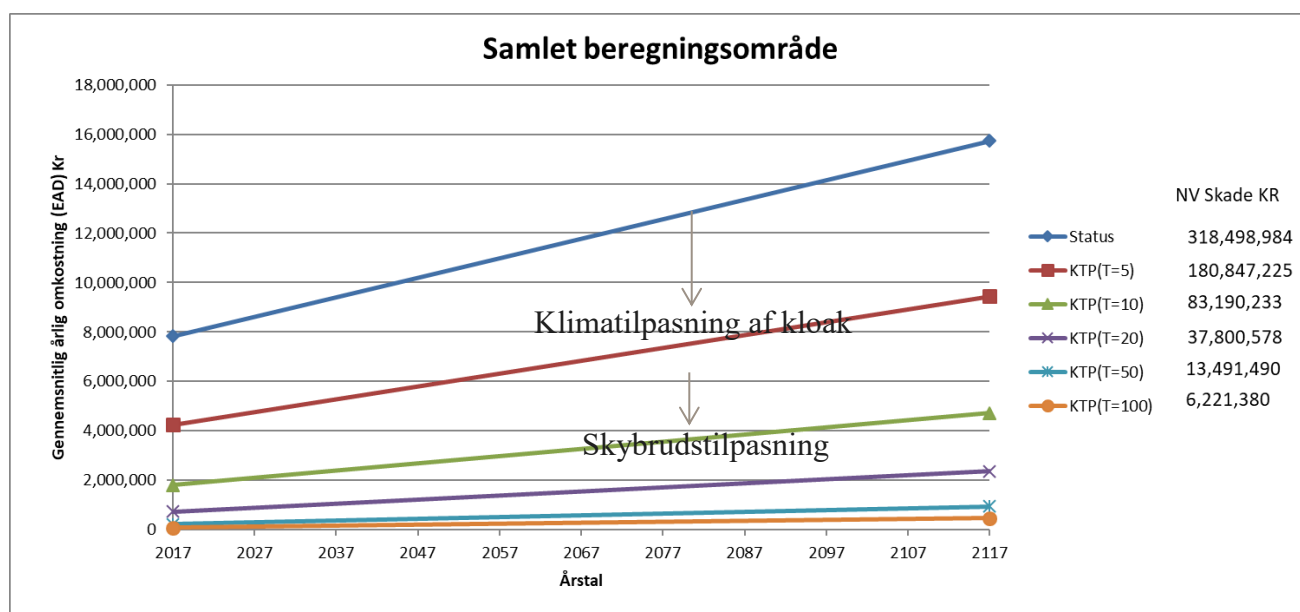
5.1.5 Gennemsnitlige årlige skader

For samtlige skadesprofiler beregnes de gennemsnitlige årlige skader ved integration af risikotætheden, som forklaret i afsnit 4.2. Resultatet samlet set for alle de analyserede oplande i Svendborg By er vist i Figur 14. I afsnit 6 er resultaterne vist for alle oplandene hver for sig.

Det ses for det analyserede område findes der en gennemsnitlig årlig skade på ca. 8 mio. kr./år i dag stigende til 16 mio. kr./år i fremtiden hvis der ikke forebygges.

Den relativt store gennemsnitlige årlige skade på 8 mio. kr./år. i dag, skyldes, at det er valgt at anvende en vanddybdeafhængig skadesfunktion, hvor der i områder med mere end 40 cm vand der berører bygninger regnes med 6500 kr/m². Anvendes den konstante skadesfunktion på 800 kr/m² findes en gennemsnitlig årlig skade på 2.5 mio. kr./år. Anvendelse af den vanddybdeafhængige skadesfunktion betyder at det endelige resultat er konservativt, idet skadesreduktion ved klimatilpasning og skybrudssikring er højere. En konstant enhedsskade ville reducere det optimale serviceniveau for regnvand på terræn til 20 år i stedet for 100 år jf afsnit 7.1.

Grunden til, at vi har valgt at arbejde videre med det forhøjede niveau for skader over 40 cm er, at modellen og prioriteringerne ellers vil falde radikalt anderledes ud for Svendborg kommune. Valget af dette har betydet, at modellen nu illustrerer dét billede, der er set i praksis fra kendte skybrudsrelaterede oversvømmelser i henholdsvis 2012 og også senere 2016.



Figur 14 Udvikling i den gennemsnitlige årlige skade for det eksisterende system og ved tilpasning i det analyserede beregningsområde frem til 2117.

5.1.6 Nutidsværdi af bygningsskader

Nutidsværdien af skadesomkostningerne for hvert tilpasningsniveau beregnes over 100 år med en kontinuert diskontering og en rente på 3%. Skadesreduktionen er forskellen i skadesomkostningen for statussituationen og det respektive tilpasningsniveau.

Der anvendes en diskontering over 100 år, da det er den samme størrelsesorden som levetiden af bygningerne og løsninger. Figur 14 viser skadesreduktionerne ved forskellige tilpasningsniveauer

sammen med nutidsværdien af bygningsskaderne over 100 år. I afsnit 6 er de tilsvarende figurer for oplandene vist.

For det samlede analyserede opland ses det, at skadesreduktionen ved traditionel klimatilpasning vil være på hhv. 137 mio. kr. for en 5-års hændelse og 235 mio. kr. for en 10-års hændelse. En yderligere skybrudstilpasning til $T = 20$ år vil give en ekstra skadesreduktion på 45 mio. kr., dvs. i alt en reduktion ved klimatilpasning og skybrudstilpasning på 280 mio. kr. Skybrudstilpasning til $T = 100$ år inklusive klimatilpasningen udgør 312 mio. kr.

5.2 Omkostninger til løsninger ved klimatilpasning og skybrudstilpasning

Der er ikke gennemført beregninger af oversvømmelseskort med klimatilpasnings- og skybrudsløsninger med en hydraulisk model for Svendborg By. Det har derfor været nødvendigt at finde en tilnærmet metode til estimering af løsningsomkostninger. Vandmængden på terræn giver et udtryk for hvor store omkostninger, der vil være til klima- og skybrudstilpasning. Erfaringsværdier fra klima- og skybrudstilpasning af afløbssystemer kan anvendes som et helt overordnet skøn på løsningsomkostningerne. Det betyder naturligvis, at der er store usikkerheder forbundet med resultatet, men det kan anvendes til at vurdere, om der skal foretages yderligere modelberegninger for at opnå et mere korrekt beslutningsgrundlag.

Ved beregning af vand på terræn, som ønskes fjernet, er vand, som allerede ligger på terræn i bassiner, søer og vandløb naturligvis ikke regnet med.

Priser pr. m^3 vand på terræn er beregnet af Vand og Affald ud fra gennemførte projekter i såvel Svendborg som andre steder i landet.

Staten anbefaler, at der anvendes en nettoafgiftsfaktor på offentlige cost-benefit-analyser. Nettoafgiftsfaktoren er indregnet her med 32.5%, men der er ikke indregnet en skatteforvridningsfaktor, da det vil afhænge af hvem der skal betale udgifterne, skatteborgerne eller forsyningskunderne.

Der er ikke anvendt en sikkerhedsfaktor på løsningsomkostningerne. Hvis der skal gennemføres en anlægs-investeringsplanlægning, bør der tillægges 20% i sikkerhed til klimatilpasningsløsningerne.

5.2.1 Løsningsomkostninger til klimatilpasning

Vand og Affald har gennemført en analyse af anlægsomkostninger til håndtering af regnvand ved at beregne den gennemsnitlige m^3 -pris for forskellige projekter, som er gennemført i Svendborg. Analysen viste, at der er en omkostning til klimatilpasning i fællessystem på 17.500 kr./ m^3 , og i regnvandssystemet i de separatkloakerede områder på 5.000 kr./ m^3 .

Indledende analyser af vand på terræn og tilhørende klimatilpasning med traditionelle midler i bl.a. Helsingør og Glostrup viser, at prisen for håndtering af vand på terræn i afløbssystemerne koster i størrelsesordenen mellem 3.500 og 4.500 kr./ m^3 i regnvandssystemer og mellem 13.000 og 20.000 kr./ m^3 i fællessystemer. Disse erfaringer passer således godt med de priser, som er fundet i Svendborg.

Det er i det følgende antaget, at afløbssystemerne er klimatilpassede før skybrudstilpasningen.

Det er opgjort hvor meget vand, som ligger på terræn i 5- og 10-års regnhændelserne. Dette er udtryk for hvor store vandmængder, der skal håndteres ved klimatilpasning af afløbssystemerne, hvor der ikke må komme vand på terræn. I beregningen er der taget hensyn til, at det volumen som ligger i søer, bassiner og vandløb ved 5- og 10-års hændelserne ikke skal medtages i volumenberegningen.

5.2.2 *Omkostninger til skybrudstilpasning*

Til brug for vurderingen af skybrudstilpasning er det beregnet hvor meget vand, som vil ligge på terræn, som berører en bygning og som ligger over 20 cm ved de forskellige gentagelsesperioder. Fra dette volumen er fratrasket det volumen, som må forventes at blive fjernet pga. klimatilpasningen af afløbssystemerne til hhv. 5 og 10 år (jf 5.2.1).

Vand og Affald har oplyst, at erfaringer indsamlet fra Svendborg viser, at omkostningerne til skybrudstilpasning er: 8.750 kr./m³ for indre by og 5.000 kr./m³ i forstæder.

Følgende priser er brugt for de forskellige oplande:

Opland	Kategori	Skybrudspris kr/m ³
Dronningemaen	forstad	5000
Centrum	Indre by	8750
Christiansminde	forstad	5000
Dronningemaen	Indre by	8750
Græsholmene	forstad	5000
Høje Bøge	forstad	5000
Hømarken	forstad	5000
Kogtved Fælles	forstad	5000
KogtvedRegnvand	forstad	5000
Nyborgvej	forstad	5000
Svendborg Havn	Indre by	8750
Tved Fælles	forstad	5000
Tvedvej	forstad	5000
Tved Regnvand	forstad	5000

5.2.3 *Driftsomkostninger*

Sammenligningen af løsningsomkostninger og skadesreduktion inkluderer naturligvis også omkostninger til drift set over den 100-årige periode. Der regnes med erfaringsbaserede gennemsnitsværdier for den årlige drift og vedligehold og reinvesterings. Vand og Affald har beregnet omkostninger til reinvesterings og drift i 2010 svarende til 3% af den samlede anlægssum. Det er lidt mere end der er fundet i Greve og Helsingør (2.5%), hvilket kan skyldes at Vand og Affald håndterer større områder i det åbne land, som har en større driftsudgift bl.a. pga. de lange transportveje for spildevand.

6 Resultater

Ved brug af de screeningsmetoder, som er gennemgået i de foregående afsnit, er der udarbejdet en indledende optimering af serviceniveau for vand på terræn, og beregnet CB-faktorer for klimatilpasningen i hvert opland.

I dette afsnit gennemgås resultaterne opland for opland. Optimeringen er gennemført med skader i de forskellige dybder, der kigges på.

Skadesreduktionen er overestimeret her, da der i denne beregning er antaget en straks-investering – dvs. at alle tiltag regnes som om de implementeres med det samme. Det er naturligvis ikke tilfældet, idet det tager tid at implementere tiltagene, og da der ikke er midler til at gennemføre så store investeringer på meget kort tid. Til gengæld vil anlægsinvesteringerne og den følgende drift også være mindre år for år. Det er ikke muligt at beregne den ”korrekte” skadesreduktion og anlægsinvestering uden at kende investeringsstrategien for klimatilpasning, dvs. over hvor lang tid skal der tilpasses, om betalingstakten skal være konstant osv. Det anbefales, at det besluttet hvilken investeringstakt der skal gennemføres. Det vurderes, at straks-investering kan anvendes i optimeringen inden for hvert opland, hvis klima- og skybrudstilpasning gennemføres indenfor relativt få år (<5-10 år).

Skadesreduktionen ved klimatilpasning afhænger af hvordan der klimatilpasses. Her er det antaget at der klimatilpasses med traditionelle løsninger. Andre løsninger som f.eks. LAR kan reducere skadesreduktion, fordi skaderne for $T > 10$ år stiger, og dermed ændrer på optimeringen.

Der er meget store usikkerheder på såvel enhedspriser på skader, som på løsningsomkostninger, og løsningsomkostningerne i de aktuelle projekter kan vise sig at være meget begrænsende netop pga. de relativt små skader. Hvis omkostningen til tilpasningen overstiger de anvendte enhedspriser væsentligt, bør optimeringen revurderes.

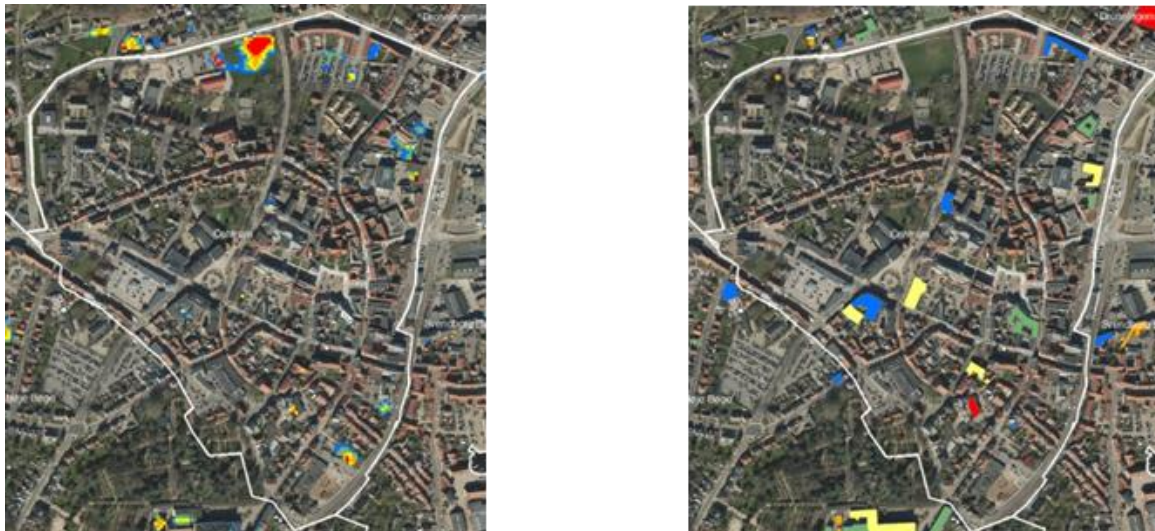
Der vises tre figurer for hvert opland:

1. Oversigt over oversvømmelserne i 2050 hvis der ikke gennemføres tiltag og bygninger der vil blive skadet for hver af gentagelsesperioderne $T = 5, 10, 20, 50$ og 100 år i 2050.
2. Udviklingen i den gennemsnitlige årlige skade til hvert tilpasningsniveau.
3. Skaderne og løsningsomkostningerne for hvert tilpasningsniveau, og det resulterende optimum for serviceniveau for vand på terræn efter klimatilpasning. Her angives også løsningsomkostningerne til klimatilpasning inklusive drift over 100 år, moms og afgifter (Nettoafgiftsfaktor NAF) samt forholdet mellem indtægter og udgifter hvis der straks-investeres.

I det følgende gennemgås analysen for hvert af oplandene.

6.1 Centrum

Oplandet Centrum er fælleskloakeret og ligger i kategorien ”indre by”. De skadevoldende oversvømmelser i Centrum er koncentreret i den østlige del af området. Oversvømmelser og bygninger som skades ved en vandstand på terræn på 20 cm ses på Figur 15.



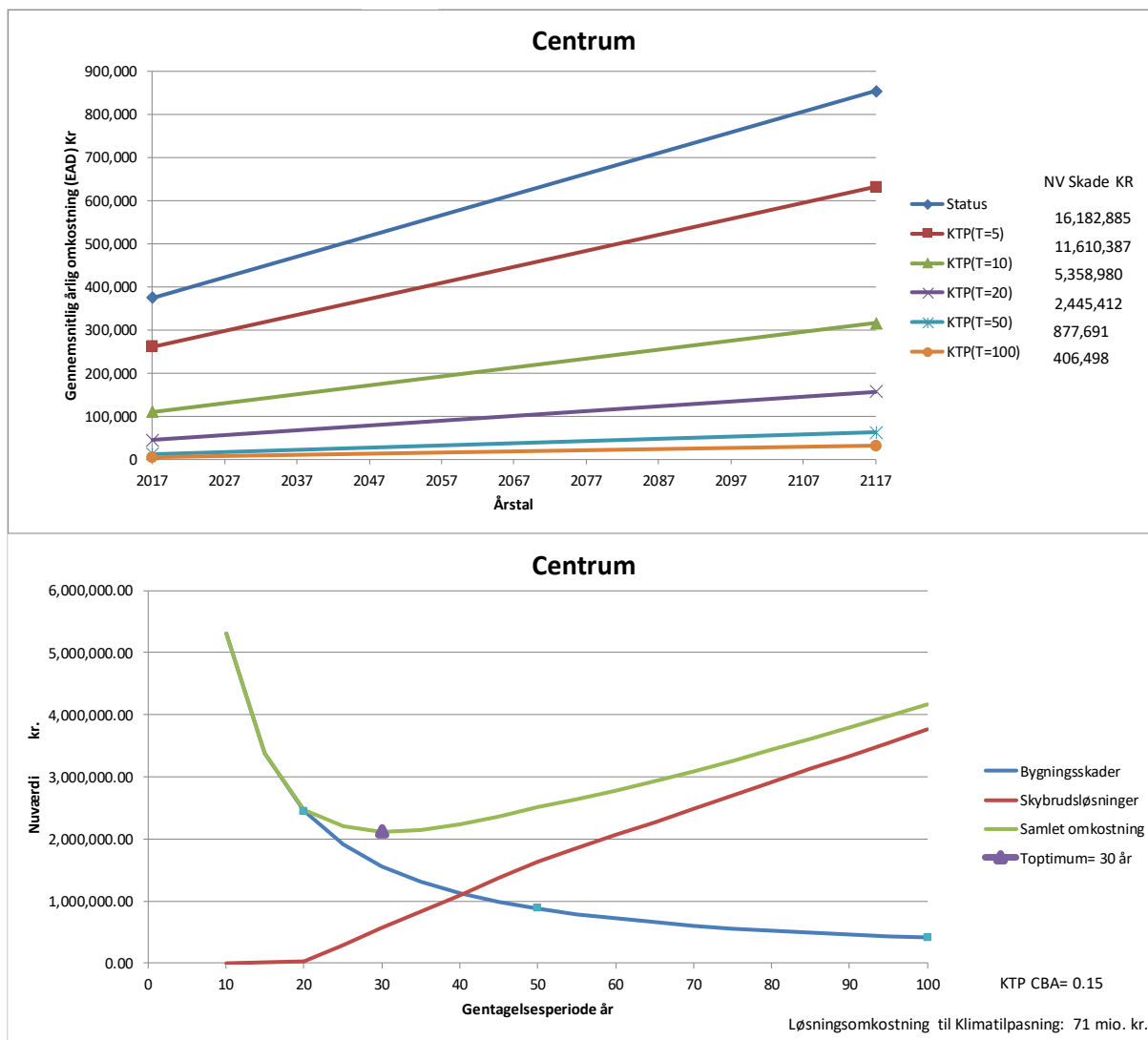
Figur 15 Til venstre: Oversigt over oversvømmelserne i 2050, hvis der ikke gennemføres tiltag, og til højre; bygninger, der vil blive skadet for hver af gentagelsesperioderne $T = 5, 10, 20, 50$ og 100 år (svarende til farverne: rød, orange, gul, grøn og blå).

Figur 16 viser udviklingen i den gennemsnitlige årlige skade til hvert tilpasningsniveau, skaderne og løsningsomkostningerne for hvert tilpasningsniveau og resulterende optimum for serviceniveau for vand på terræn efter klimatilpasning.

Løsningsomkostningerne er relativt høje i forhold til skadesreduktionen ved klimatilpasning. Kun 15% af investeringen i klimatilpasning på 71 mio. kr. kommer tilbage i form af bygningsskadesreduktion. Bygningsskadesreduktionen alene kan derfor ikke balancere klimatilpasningen, som bør gennemføres af andre hensyn, vigtigst er sundhed som er årsagen til at det i SVK27 anbefales, at der maksimalt sker opstuvning til terræn hvert 10. år.

Ved klimatilpasning opnås stort set et skybrudstilpasningsniveau til $T = 20$ år.

Skybrudstilpasning efter klimatilpasning er optimalt for ca. en 30 års hændelse, hvor der findes et minimum for de samlede oversvømmelsesomkostninger.

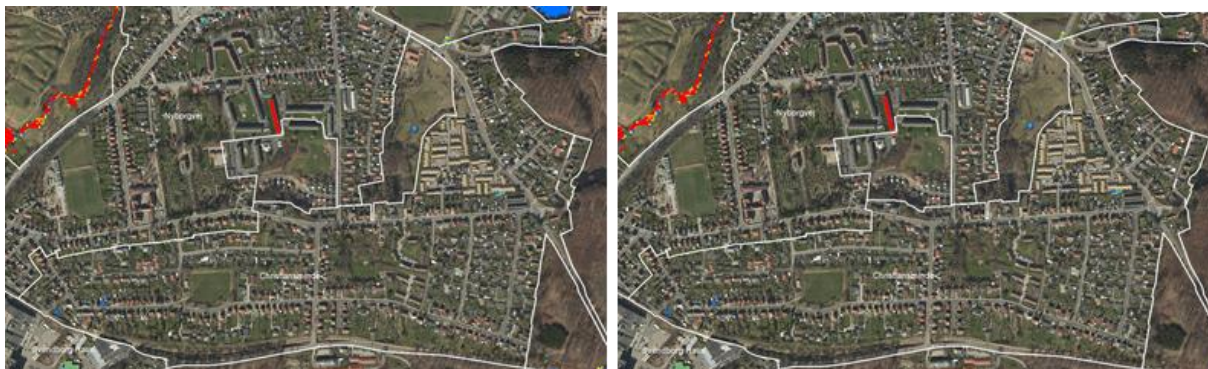


Figur 16 Øverst: Udviklingen i den gennemsnitlige årlige skade til hvert tilpasningsniveau. Nederst: Skaderne og løsningsomkostningerne for hvert tilpasningsniveau og resulterende optimum for serviceniveau for vand på terræn efter klimatilpasning.

6.2 Christiansminde

Oplandet Christiansminde er fælleskloakeret og ligger i kategorien ”forstad”. Oversvømmelser og bygninger som skades ved en vandstand på terræn på 20 cm ses på Figur 17.

Der ses et meget lavt skadesniveau i oplandet, Kun fire bygninger er i risiko for oversvømmelser med 20 cm i 56 års hændelsen i 2118. Der er ingen oversvømmelser med vanddybder større end 40 cm



Figur 17 Til venstre: Oversigt over oversvømmelserne i 2050, hvis der ikke gennemføres tiltag, og til højre; bygninger, der vil blive skadet for hver af gentagelsesperioderne $T = 5, 10, 20, 50$ og 100 år (svarende til farverne: rød, orange, gul, grøn og blå).

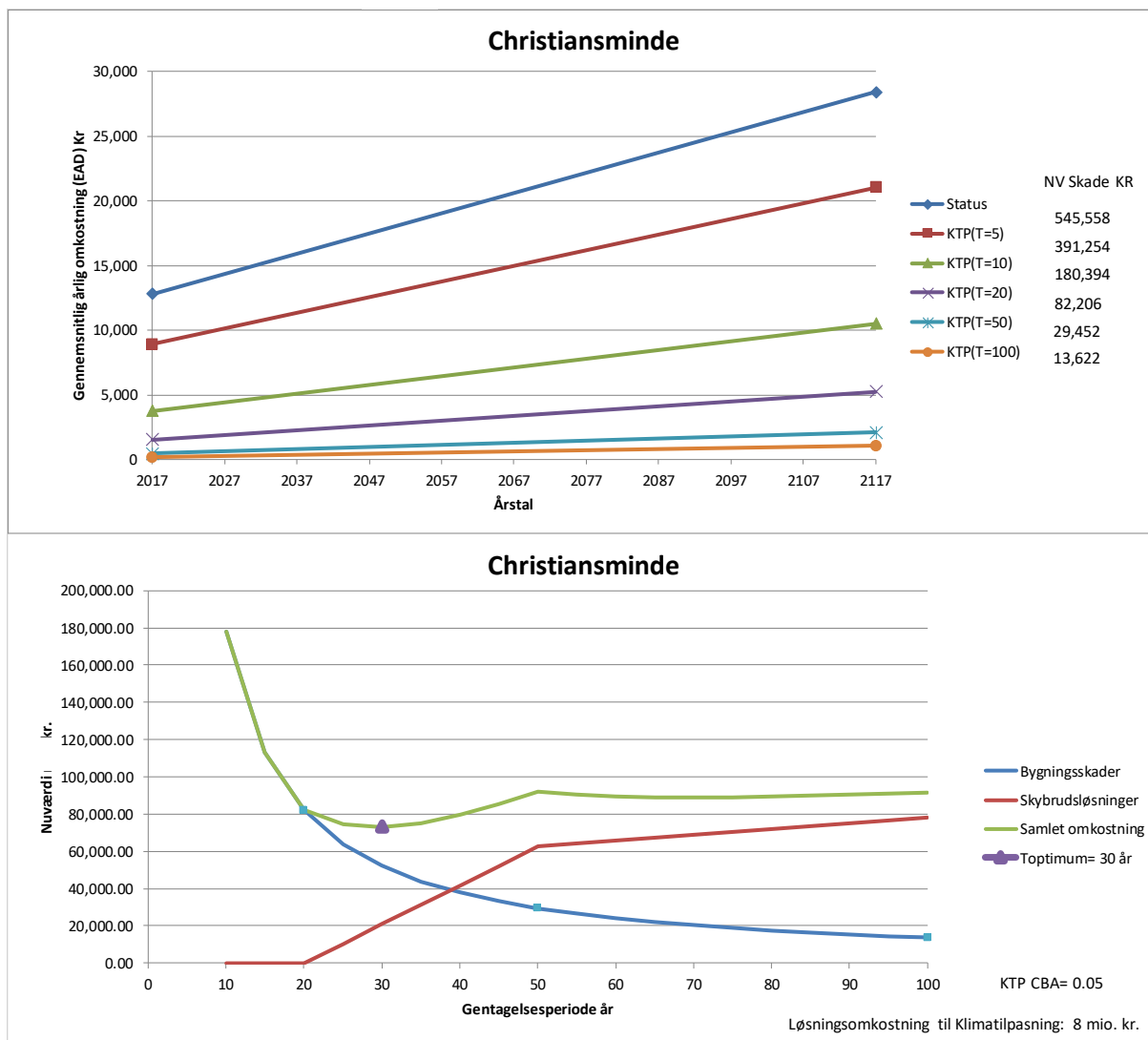
Figur 18 viser udviklingen i den gennemsnitlige årlige skade til hvert tilpasningsniveau, skaderne og løsningsomkostningerne for hvert tilpasningsniveau og resulterende optimum for serviceniveau for vand på terræn efter klimatilpasning.

Løsningsomkostningerne er relativt høje i forhold til skadesreduktionen ved klimatilpasning. Kun 5% af investeringen i klimatilpasning på 8 mio. kr. kommer tilbage i form af bygningsskadesreduktion. Bygningsskadesreduktionen alene kan derfor ikke balancere klimatilpasningen, som bør gennemføres af andre hensyn, vigtigst er sundhed som er årsagen til at det i SVK27 anbefales, at der maksimalt sker opstuvning til terræn hvert 10. år.

Ved klimatilpasning opnås der et skybrudstilpasningsniveau til $T = 20$ år.

Skybrudstilpasning efter klimatilpasning er optimalt for ca. en 30-års hændelse. Hvor der findes et minimum for de samlede oversvømmelsesomkostninger.

Resultatet skal dog ses i relation til de relativt store usikkerheder ved denne screeningsmetode og de relativt små løsningsomkostninger og skader som formentlig er i samme størrelsesorden som usikkerheden på metoden.



Figur 18 Øverst: Udviklingen i den gennemsnitlige årlige skade til hvert tilpasningsniveau. Nederst: Skaderne og løsningsomkostningerne for hvert tilpasningsniveau og resulterende optimum for serviceniveau for vand på terræn efter klimatilpasning.

6.3 Dronningemaen

Oplandet Dronningemaen er fælleskloakeret og ligger i kategorien ”Indre by”. Oversvømmelser og bygninger, som skades ved en vandstand på terræn på 20 cm ses på Figur 19.

Oversvømmelserne på grænsen til oplandet ”Nyborgvej” i øst er tillagt beregningerne i ”Nyborgvej”, da det er der, vandet genereres. Der er spredte skadevoldende oversvømmelser i oplandet. Den dybdeafhængige skadespris betyder en fordobling af skadesniveauet.



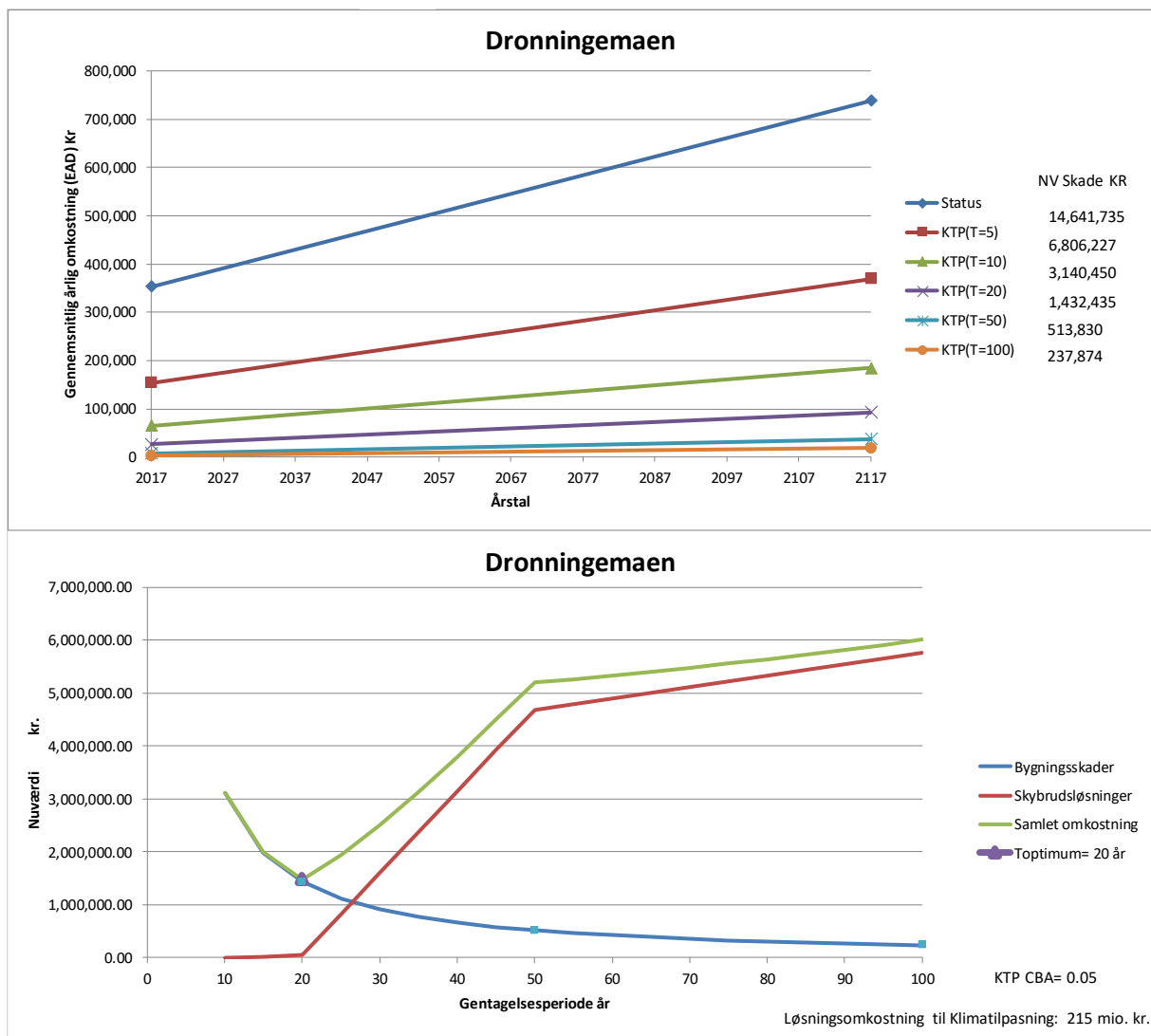
Figur 19 Til venstre: Oversigt over oversvømmelserne i 2050, hvis der ikke gennemføres tiltag, og til højre; bygninger, der vil blive skadet for hver af gentagelsesperioderne $T = 5, 10, 20, 50$ og 100 år (svarende til farverne: rød, orange, gul, grøn og blå).

Figur 20 viser udviklingen i den gennemsnitlige årlige skade til hvert tilpasningsniveau, skaderne og løsningsomkostningerne for hvert tilpasningsniveau og resulterende optimum for serviceniveau for vand på terræn efter klimatilpasning.

Løsningsomkostningerne er relativt høje i forhold til skadesreduktionen ved klimatilpasning. Kun 5% af investeringen i klimatilpasning på 215 mio. kr. kommer tilbage i form af bygningsskadesreduktion. Bygningsskadesreduktionen alene kan derfor ikke balancere klimatilpasningen, som bør gennemføres af andre hensyn, vigtigst er sundhed som er årsagen til at det i SVK27 anbefales, at der maksimalt sker opstuvning til terræn hvert 10. år.

Ved klimatilpasning opnås der næsten et skybrudstilpasningsniveau til $T = 20$ år.

Det optimale skybrudstilpasningsniveau ligger et sted mellem 20- og 50-års hændelsen. Pga. de relativt store omkostninger i forhold til bygningsskaderne kan det ikke betale sig at skybrudstilpasse ud over klimatilpasningsniveauet. Det skal dog bemærkes, at der er antaget en lineær udvikling i løsningsomkostningerne fra stort set 0 til 5 mio. kr. fra sikring til $T = 20$ år til 50 år. En ændring af denne forudsætning vil kunne vise et højere optimalt skybrudstilpasningsniveau.



Figur 20 Øverst: Udviklingen i den gennemsnitlige årlige skade til hvert tilpasningsniveau. Nederst: Skaderne og løsningsomkostningerne for hvert tilpasningsniveau og resulterende optimum for serviceniveau for vand på terræn efter klimatilpasning.

6.4 Græsholmene

Oplandet Græsholmene er separatkloakeret og ligger i kategorien ”forstad”. Oversvømmelser og bygninger som skades ved en vandstand på terræn på 20 cm ses på Figur 21.

Industrikvarteret i det nordvestlige hjørne i Græsholmene er allerede delvist klimatilpasset. Da der ikke er udarbejdet oversvømmelseskort efter klimatilpasningen, og da det ikke har været muligt at estimere restskader efter klimatilpasning, er oversvømmelseskortene fra 2017 anvendt her på hele Græsholmene oplandet uagtet, at der allerede er gennemført tiltag. Det betyder naturligvis, at resultatet for klimatilpasningen ikke er korrekt, men overvejelserne vedrørende skybrudstilpasningsniveauet er formentlig i den rigtige størrelsesorden.

Oversvømmelserne i øvrigt i oplandet relaterer sig derudover til den østligste del af oplandet, som ligger ud mod vandløbet.



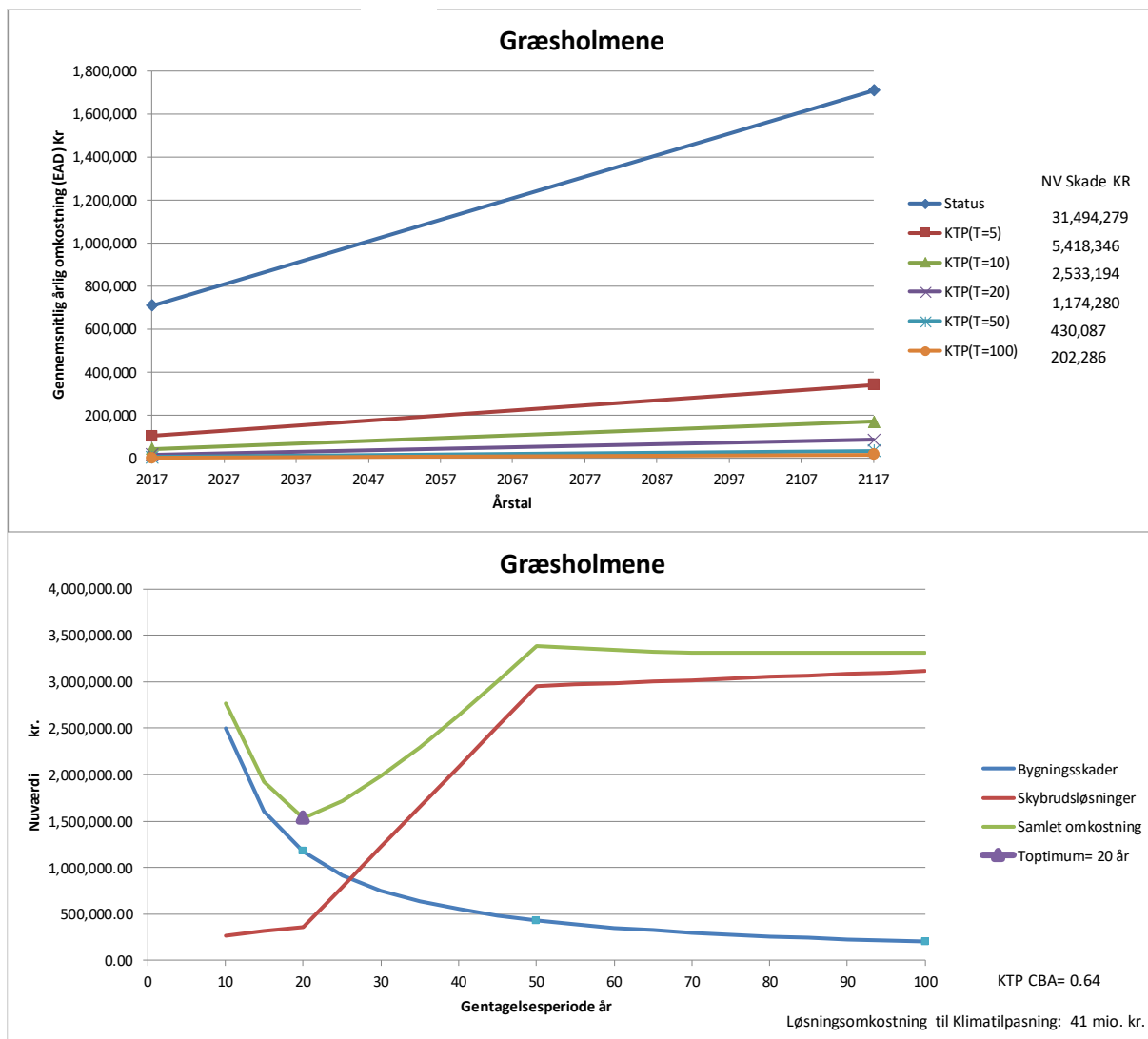
Figur 21 Til venstre: Oversigt over oversvømmelserne i 2050, hvis der ikke gennemføres tiltag, og til højre; bygninger, der vil blive skadet for hver af gentagelsesperioderne $T = 5, 10, 20, 50$ og 100 år (svarende til farverne: rød, orange, gul, grøn og blå).

Figur 22 viser udviklingen i den gennemsnitlige årlige skade til hvert tilpasningsniveau, skaderne og løsningsomkostningerne for hvert tilpasningsniveau og resulterende optimum for serviceniveau for vand på terræn efter klimatilpasning.

I forhold til mange af de øvrige oplande er der en relativt god balance mellem bygningsskadesreduktionen ved klimatilpasning og omkostningerne til klimatilpasning. 64% af en potentiel investering kommer tilbage i form af bygningsskadesreduktion.

Ved klimatilpasning opnås der et skybrudstilpasningsniveau på mellem $T = 5$ og 10 år.

Det optimale skybrudstilpasningsniveau ligger på en 20-års hændelse.



Figur 22 Øverst: Udviklingen i den gennemsnitlige årlige skade til hvert tilpasningsniveau. Nederst: Skaderne og løsningsomkostningerne for hvert tilpasningsniveau og resulterende optimum for serviceniveau for vand på terræn efter klimatilpasning.

6.5 Høje Bøge

Oplandet Høje Bøge er fælleskloakeret og ligger i kategorien ”forstad”. Oversvømmelser og bygninger som skades ved en vandstand på terræn på 20 cm ses på Figur 21.

I oplandet er det primært sygehuset, som er i risiko for oversvømmelse. I analysen er det vurderet, at kun en del af bygningerne omkring sygehuset er oversvømmet. Derfor er kun halvdelen af bygningsarealet, der hører til sygehuset, medtaget i analysen.

Regionen har gennemført en analyse af risikoen for oversvømmelser af sygehuset lokalt, men det vides ikke om der er gennemført nogen tiltag. Af rapporten fra Regionerne fremgår det, at det formentlig bedst kan betale sig med en lokal skybrudstilpasning, da det kræver relativt få tiltag til at skybrudstilpasse sygehuset.

Risikoen er særligt høj, fordi vanddybderne omkring sygehuset kommer op over 40 cm. Skaderne bliver derved dobbelt så store ved den dybdeafhængige skade.

Derudover er der spredt bebyggelse, som er i risiko, men først for en 56-års hændelse i 2117 (svarende til en 100-årshændelse i 2050).

Kolonihavehusene som ligger centralt i oplandet er ikke medtaget i analysen, da de er mindre end 50 m².



Figur 23 Til venstre: Oversigt over oversvømmelserne i 2050, hvis der ikke gennemføres tiltag, og til højre; bygninger, der vil blive skadet for hver af gentagelsesperioderne T = 5, 10, 20, 50 og 100 år (svarende til farverne: rød, orange, gul, grøn og blå).

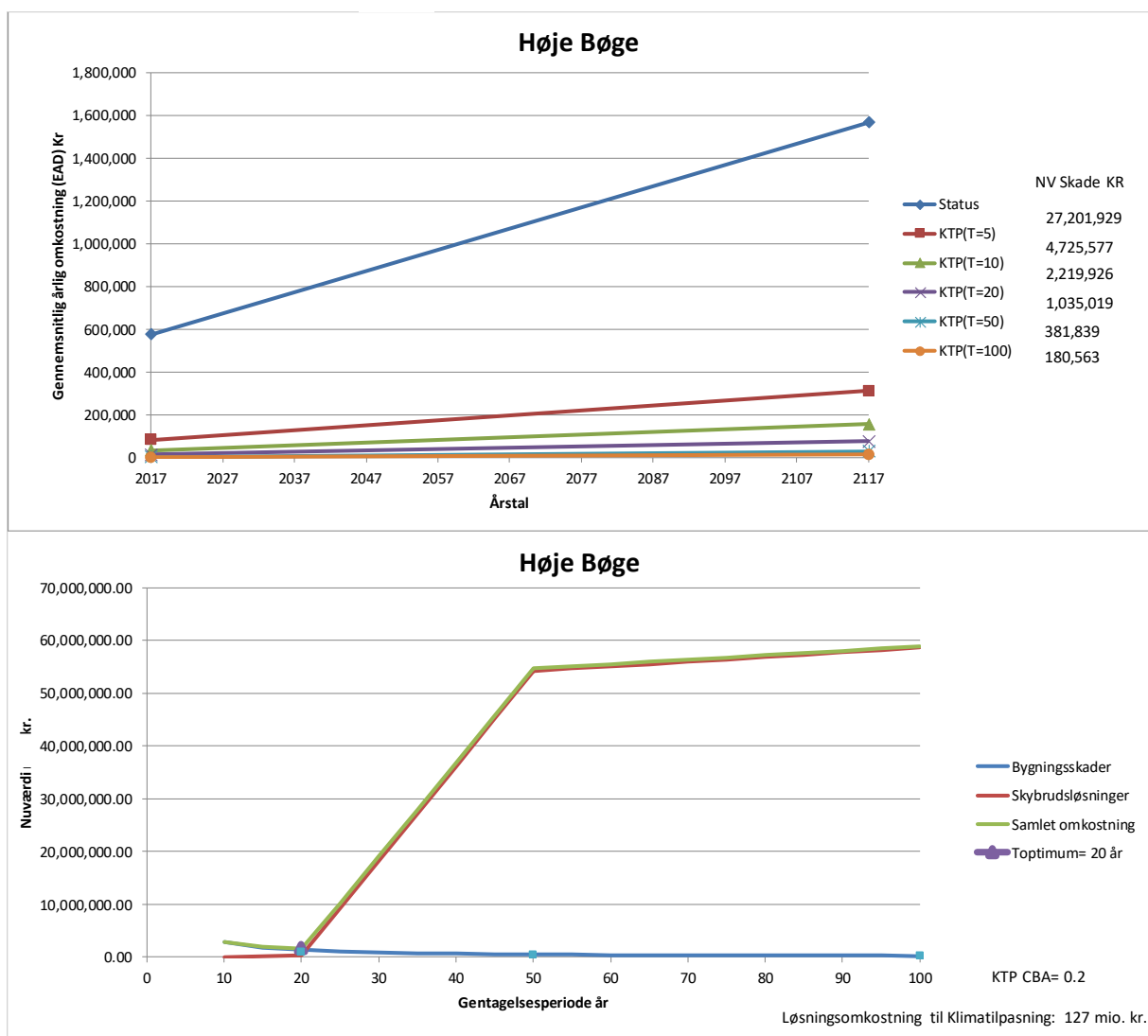
Figur 24 viser udviklingen i den gennemsnitlige årlige skade til hvert tilpasningsniveau samt skaderne og løsningsomkostningerne for hvert tilpasningsniveau og resulterende optimum for serviceniveau for vand på terræn efter klimatilpasning. Ved beregning af løsningsomkostninger skyldes de 3.500 m³ af de ca. 5.000 m³, som skal håndteres i klimatilpasningssituationen, oversvømmelser i kolonihaverne. Denne udgør en relativt stor udgift, da der kun sikres to huse, da kolonihavehusene ikke medtages.



Kun 20% af investeringen i klimatilpasning på 127 mio. kr. kommer tilbage i form af bygningsskadesreduktion. Bygningsskadesreduktionen alene kan derfor ikke balancere klimatilpasningen, som bør gennemføres af andre hensyn, vigtigst er sundhed som er årsagen til at det i SVK27 anbefales, at der maksimalt sker opstuvning til terræn hvert 10. år.

Ved klimatilpasning opnås der næsten et skybrudstilpasningsniveau til $T = 20$ år.

Pga. de meget store omkostninger til skybrudstilpasning kan det ikke betale sig at skybrudstilpasse ud over klimatilpasningsniveauet.



Figur 24 Øverst: Udviklingen i den gennemsnitlige årlige skade til hvert tilpasningsniveau. Nederst: Skaderne og løsningsomkostningerne for hvert tilpasningsniveau og resulterende optimum for serviceniveau for vand på terræn efter klimatilpasning.

6.6 Hømarken

Oplandet Hømarken er separatkloakeret og ligger i kategorien ”forstad”. Oversvømmelser og bygninger som skades ved en vandstand på terræn på 20 cm ses på Figur 21.

Der er kun ganske få huse, som er i risiko for skadevoldende oversvømmelser.



Figur 25 Til venstre: Oversigt over oversvømmelserne i 2050, hvis der ikke gennemføres tiltag, og til højre; bygninger, der vil blive skadet for hver af gentagelsesperioderne $T = 5, 10, 20, 50$ og 100 år (svarende til farverne: rød, orange, gul, grøn og blå).

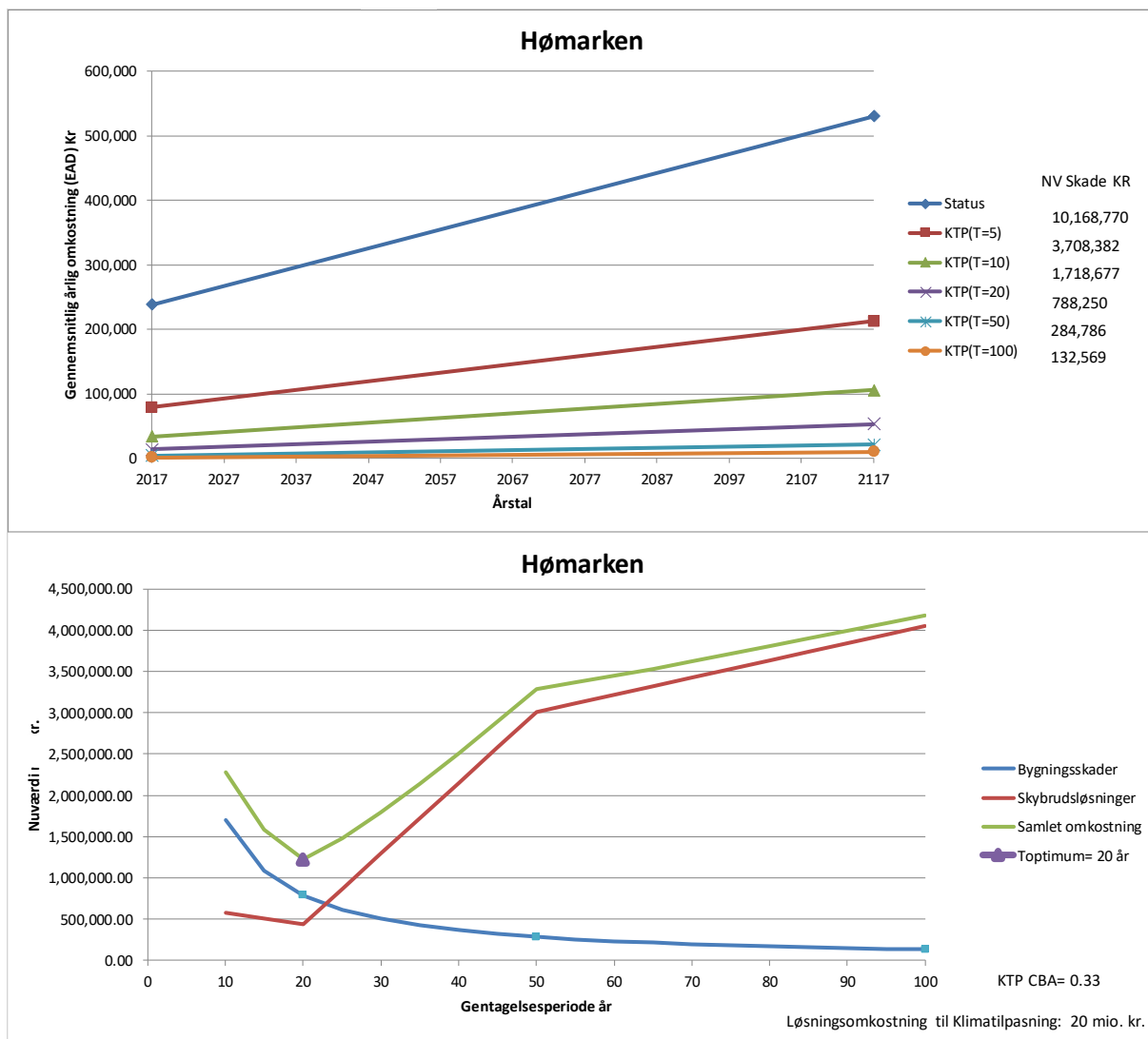
Figur 25 viser udviklingen i den gennemsnitlige årlige skade til hvert tilpasningsniveau, skaderne og løsningsomkostningerne for hvert tilpasningsniveau og resulterende optimum for serviceniveau for vand på terræn efter klimatilpasning.

30% af løsningsomkostningerne på 20 mio. kr. til klimatilpasningen kommer tilbage i form af bygningsskadesreduktion.

Ved klimatilpasning vil der måske kunne opnås et skybrudstilpasningsniveau på op til $T = 50$ år, idet omkostningerne til skybrudstilpasning til dette niveau ligger på 10% af omkostningen til klimatilpasning, svarende til usikkerheden på beregningen.

Med den angivne beregningsmetode er det optimale skybrudstilpasningsniveau dog kun en 20-års hændelse.

Det bemærkes, at beregningen af omkostninger til skybrudstilpasning for en 20-års hændelse ligger en smule under omkostningen til en 10-års hændelse. Det er naturligvis ikke korrekt, men skyldes formentlig at vandmængderne er så små, og at der er mindre instabiliteter i modellen, som giver små mængder vand på terræn, som ikke er korrekt beregnet. Fejlen har ikke indflydelse på det endelige resultat.



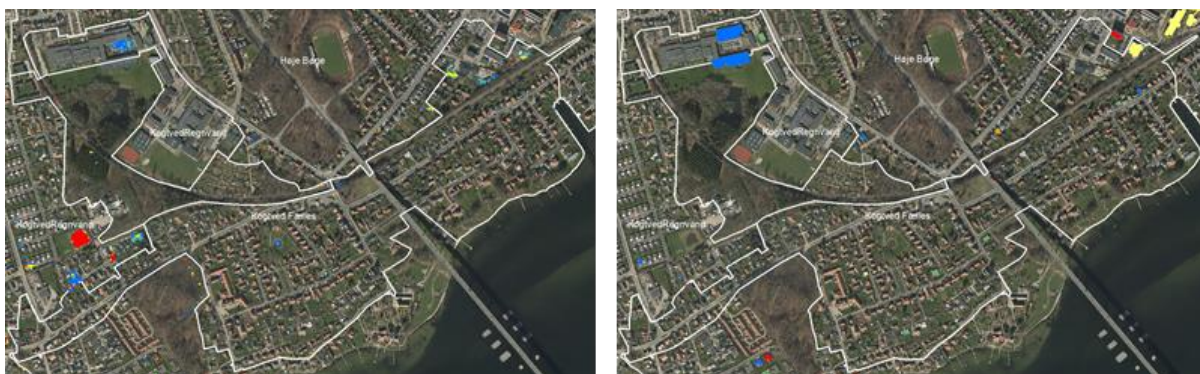
Figur 26 Øverst: Udviklingen i den gennemsnitlige årlige skade til hvert tilpasningsniveau. Nederst: Skaderne og løsningsomkostningerne for hvert tilpasningsniveau og resulterende optimum for serviceniveau for vand på terræn efter klimatilpasning.

6.7 Kogtved Fælles

Oplandet Kogtved Fælles er som navnet indikerer fælleskloakeret og ligger i kategorien ”forstad”. Oversvømmelser og bygninger som skades ved en vandstand på terræn på 20 cm ses på Figur 27.

Det er meget få bygninger, som lider skadevoldende oversvømmelser i oplandet. For 50- og 100-års hændelserne i 2050 overstiger de oversvømmende vanddybder 40 cm ved nogle bygninger.

Der er ingen skader for en 10 års hændelse i 2117 og dermed ingen skadesreduktion til det klimatilpassede niveau. Dermed bliver CB-faktoren (skadesreduktion delt med løsningsomkostninger til klimatilpasning) 0.



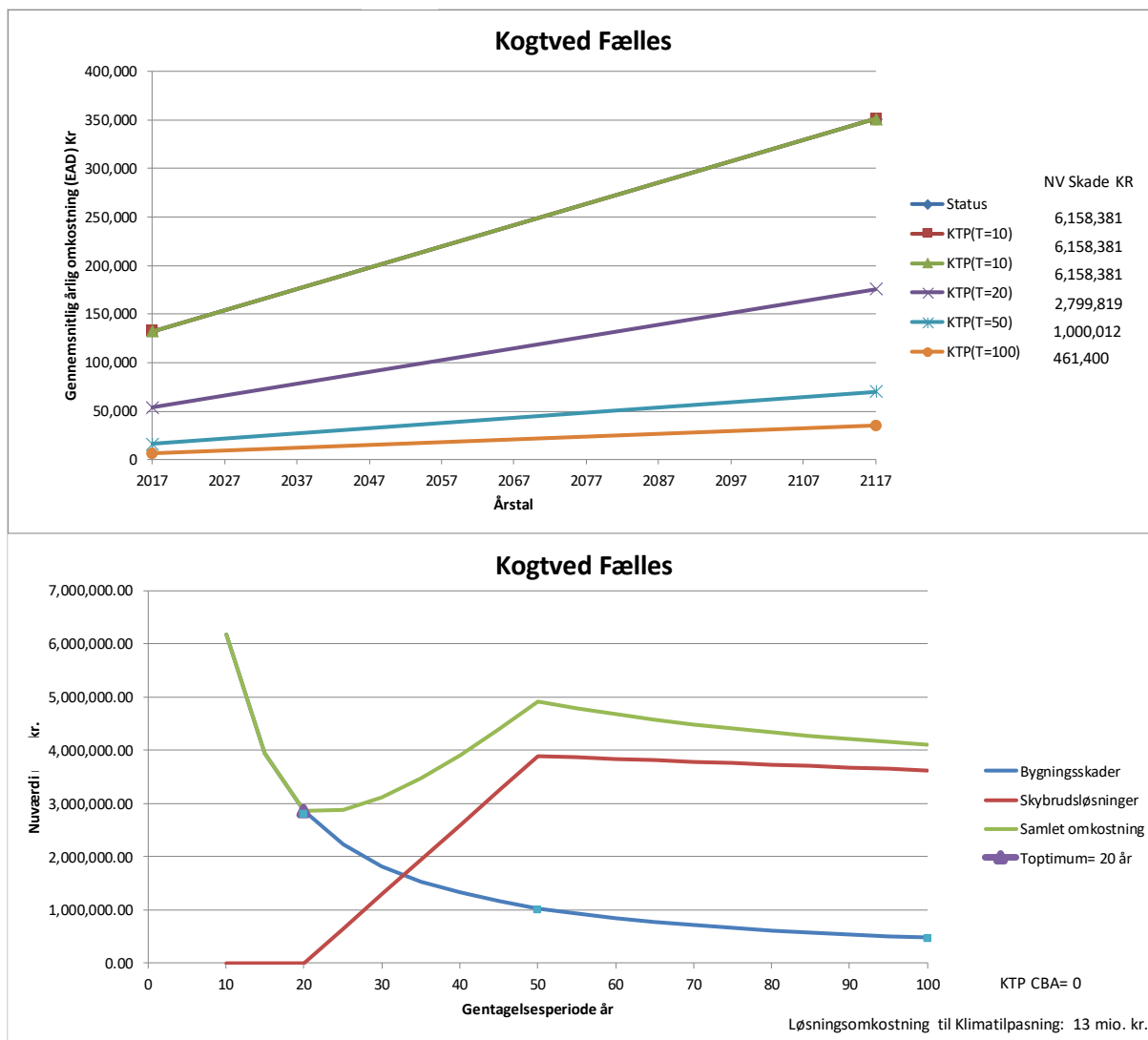
Figur 27 Til venstre: Oversigt over oversvømmelserne i 2050, hvis der ikke gennemføres tiltag, og til højre; bygninger, der vil blive skadet for hver af gentagelsesperioderne $T = 5, 10, 20, 50$ og 100 år (svarende til farverne: rød, orange, gul, grøn og blå).

Figur 28 viser udviklingen i den gennemsnitlige årlige skade til hvert tilpasningsniveau, skaderne og løsningsomkostningerne for hvert tilpasningsniveau og resulterende optimum for serviceniveau for vand på terræn efter klimatilpasning.

Klimatilpasningsomkostningen på 13 mio. kr. giver ingen bygningsskader. Klimatilpasning bør gennemføres af andre hensyn, vigtigst er sundhed som er årsagen til at det i SVK27 anbefales, at der maksimalt sker opstuvning til terræn hvert 10. år.

Ved klimatilpasning opnås der et skybrudstilpasningsniveau på mellem $T = 20$ år og 50 år.

Det kan ikke betale sig at skybrudstilpasse ud over klimatilpasningsniveauet.



Figur 28 Øverst: Udviklingen i den gennemsnitlige årlige skade til hvert tilpasningsniveau. Nederst: Skaderne og løsningsomkostningerne for hvert tilpasningsniveau og resulterende optimum for serviceniveau for vand på terræn efter klimatilpasning.

Der er steder i oversvømmelseskortet, hvor 10-års hændelsen har større udbredelse end 20-års hændelsen, og hvor 50-års hændelsen har større udbredelse end 100-års hændelsen. Det er ikke udtalt, kun få m³, men det tyder på, at modellen har været ustabil, eller der er sket en fejl ved konvertering af data. Det vurderes ikke, at det har væsentlig betydning for resultatet, men det betyder, at kurverne ikke er helt konsistente.

6.8 Kogtved Regnvand

Oplandet Kogtved Regnvand er separatloakeret og ligger i kategorien ”forstad”. Oversvømmelser og bygninger som skades ved en vandstand på terræn på 20 cm ses på Figur 29. Det ses at oversvømmelsesrisikoen er jævnt fordelt over oplandet, bortset fra området nær kysten, som ikke har nogen bygningsskadesrisiko. Størst risiko ses der i industriområdet i nord (hvor Vand og Affald er beliggende).



Figur 29 Til venstre: Oversigt over oversvømmelserne i 2050, hvis der ikke gennemføres tiltag, og til højre; bygninger, der vil blive skadet for hver af gentagelsesperioderne $T = 5, 10, 20, 50$ og 100 år (svarende til farverne: rød, orange, gul, grøn og blå).

Figur 30 viser udviklingen i den gennemsnitlige årlige skade til hvert tilpasningsniveau, skaderne og løsningsomkostningerne for hvert tilpasningsniveau og resulterende optimum for serviceniveau for vand på terræn efter klimatilpasning.

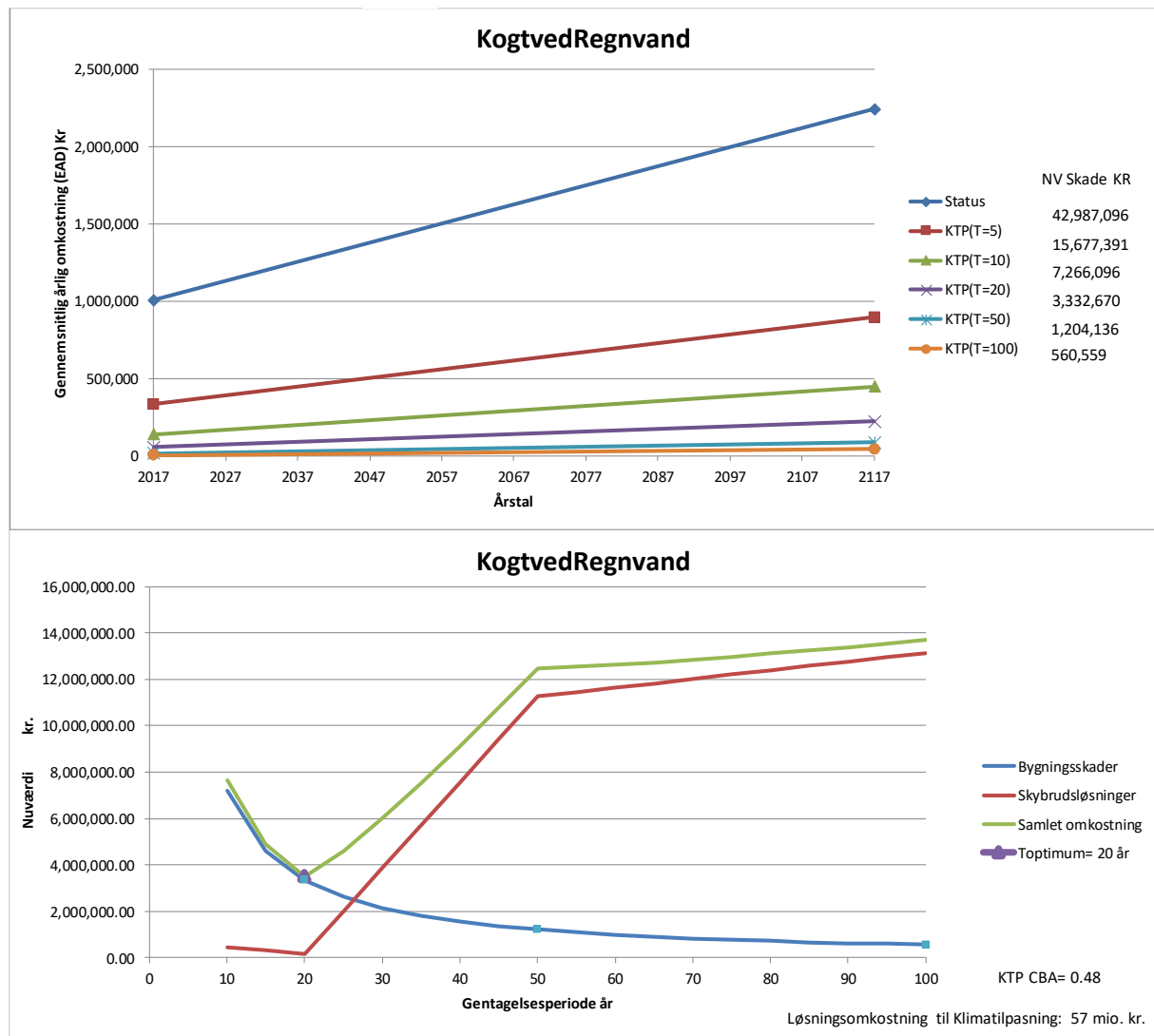
48% af løsningsomkostningerne på 57 mio. kr. til klimatilpasningen kommer tilbage i form af bygningsskadesreduktion.

Ved klimatilpasning vil der formentlig kunne opnås et skybrudstilpasningsniveau på op til mellem 10 og 20 år. Omkostningerne til skybrudstilpasning til disse niveauer ligger kun på 10% af omkostningen til klimatilpasning, svarende til usikkerheden på beregningen.

Med den angivne beregningsmetode er det optimale skybrudstilpasningsniveau dog kun en 20-års hændelse.



Det bemærkes, at beregningen af omkostninger til skybrudstilpasning for en 20-års hændelse ligger en smule under omkostningen til en 10-års hændelse. Det er naturligvis ikke korrekt, men skyldes formentlig at vandmængderne er så små, og at der er mindre instabiliteter i modellen, som giver små mængder vand på terræn, som ikke er korrekt beregnet. Fejlen har ikke indflydelse på det endelige resultat.



Figur 30 Øverst: Udviklingen i den gennemsnitlige årlige skade til hvert tilpasningsniveau. Nederst: Skaderne og løsningsomkostningerne for hvert tilpasningsniveau og resulterende optimum for serviceniveau for vand på terræn efter klimatilpasning.

6.9 Nyborgvej

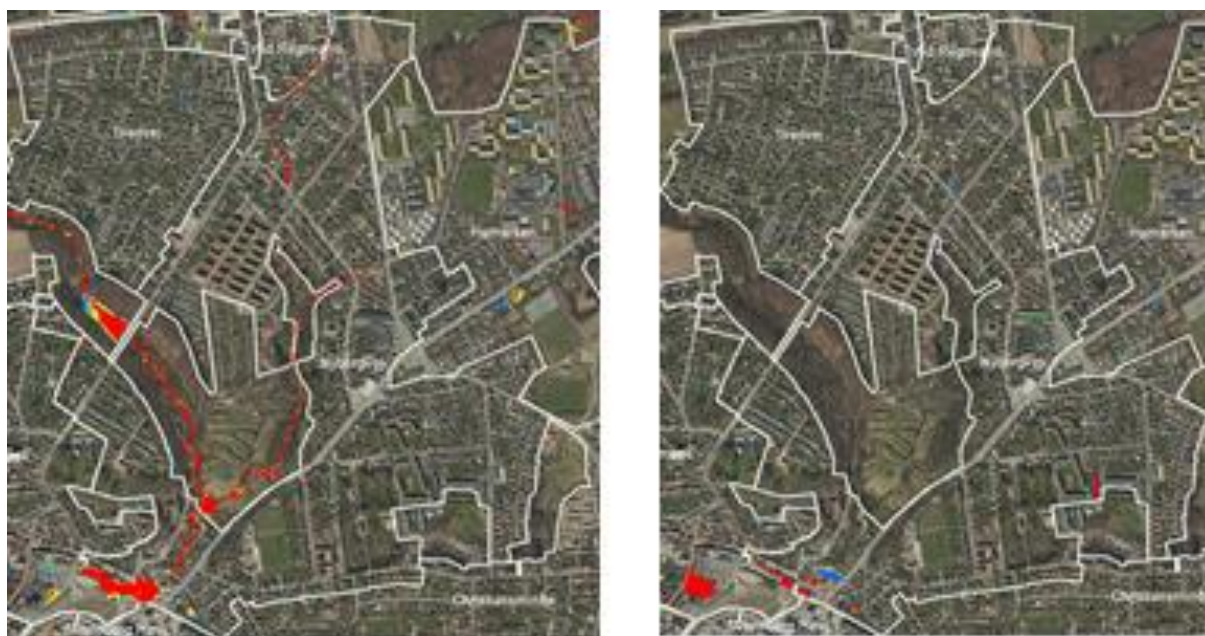
Oplandet Nyborgvej er fælleskloakeret og ligger i kategorien ”forstad”. Oversvømmelser og bygninger som skades ved en vandstand på terræn på 20 cm ses på Figur 31.

Risikoen er særligt høj omkring bygningerne på Ørkildsgade fordi vanddybderne kommer op over 40 cm. Skaderne bliver derved væsentligt større end uden den dybdeafhængige skade. Det formodes at oversvømmelserne primært skyldes kapacitetsudfordringer i vandløbet.

Derudover er der spredt bebyggelse som er i risiko.

Oversvømmelsesrisikoen ligger på grænsen til oplandet Dronningemaen, men det er valgt at medregne oversvømmelser og skader i Nyborg oplandet, da det formodes at være oversvømmelser herfra som giver skaderne.

Der er gennemført et tilpasningsprojekt i oplandet til Nyborgvej, som tilbageholder en del af regnvandet i oplandet. Dette tiltag er medtaget i oversvømmelseskortet.



Figur 31 Til venstre: Oversigt over oversvømmelserne i 2050, hvis der ikke gennemføres tiltag, og til højre; bygninger, der vil blive skadet for hver af gentagelsesperioderne $T = 5, 10, 20, 50$ og 100 år (svarende til farverne: rød, orange, gul, grøn og blå).

Figur 32 viser udviklingen i den gennemsnitlige årlige skade til hvert tilpasningsniveau, skaderne og løsningsomkostningerne for hvert tilpasningsniveau og resulterende optimum for serviceniveau for vand på terræn efter klimatilpasning.

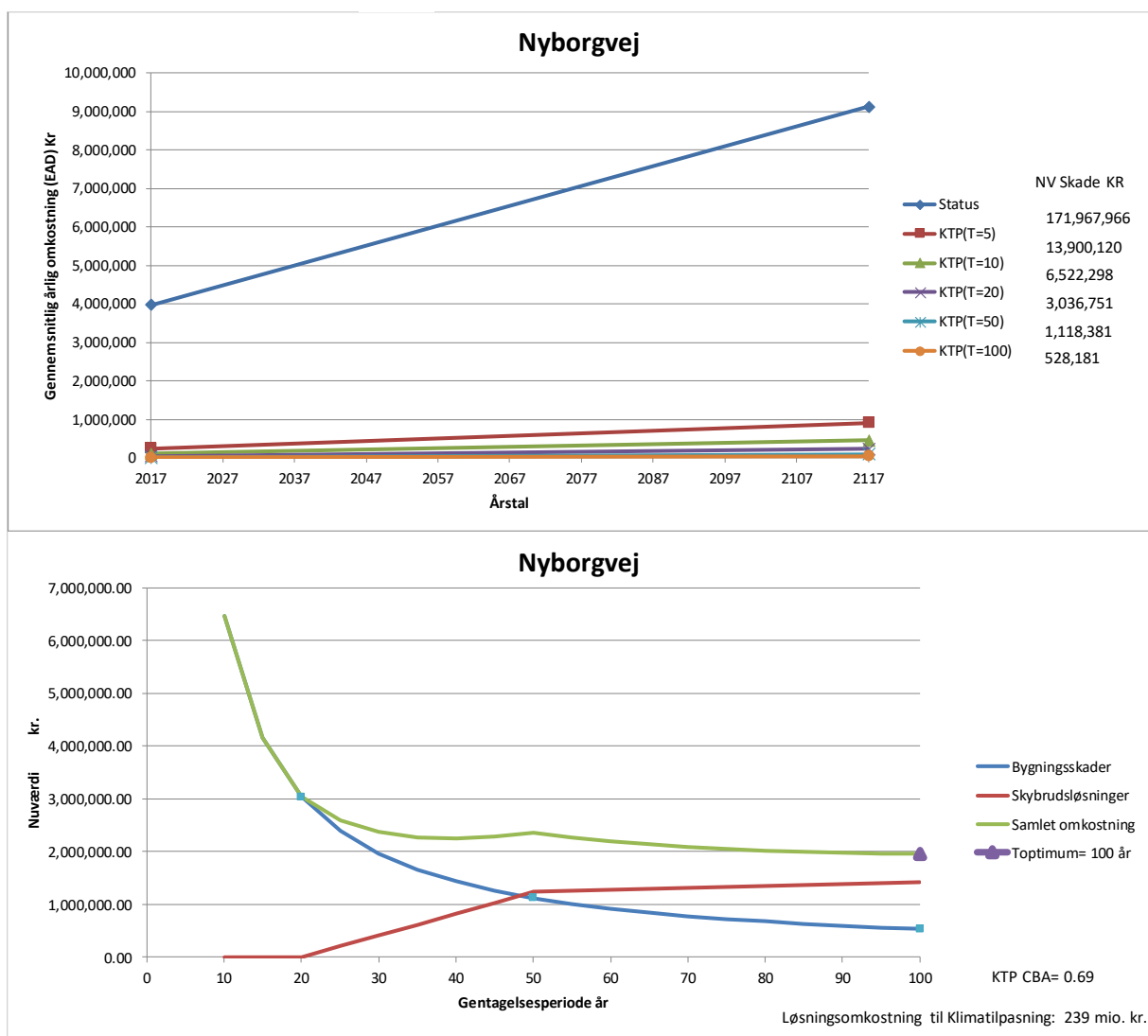
Klimatilpasningsomkostningen på 239 mio. kr. giver en bygningsskadesreduktion svarende til 69% af investeringen, hvilket er relativt højt i denne sammenhæng. Det skal bemærkes, at såfremt oversvømmelserne primært skyldes oversvømmelser fra vandløbet, så antages det her, at vandløbet også klimatilpasses til $T = 10$ år, hvilket kan være rimeligt i forhold til at fællessystemet ellers oversvømmes.

Ved klimatilpasning opnås der næsten et skybrudstilpasningsniveau på $T = 20$ år.



Derudover gør de store bygningsskader, at det kan betale sig at undersøge mere nøjagtigt hvilket optimum, der er for skybrudstilpasning. Kurven for optimum er konstant faldende, og viser derfor i denne analyse et optimum ved $T = 100$ år. Det bør dog analyseres nærmere ved en mere detaljeret undersøgelse i dette område, for at finde et mere nøjagtigt forhold mellem konkrete løsningsforslag og aktuelle bygningsskaderreduktioner, usikkerhederne i screeningsanalysen taget i betragtning.

Formentlig vil der også kunne etableres relativt kost-effektiv skybrudstilpasning på grund af nærheden til havnebassinet. F.eks. kan der formentligt etableres skybrudsløsninger fra fordybningen ved Ørkildsgade og direkte ned til havnen. Det vil formentligt være billigere end løsninger opstrøms. Det formodes, at oversvømmelsen også vil optræde ved meget regn over længere tid (fordi de grønne områder fyldes op og begynder at dræne), hvilket også vil kunne løses ved en øget transport ud mod havet.

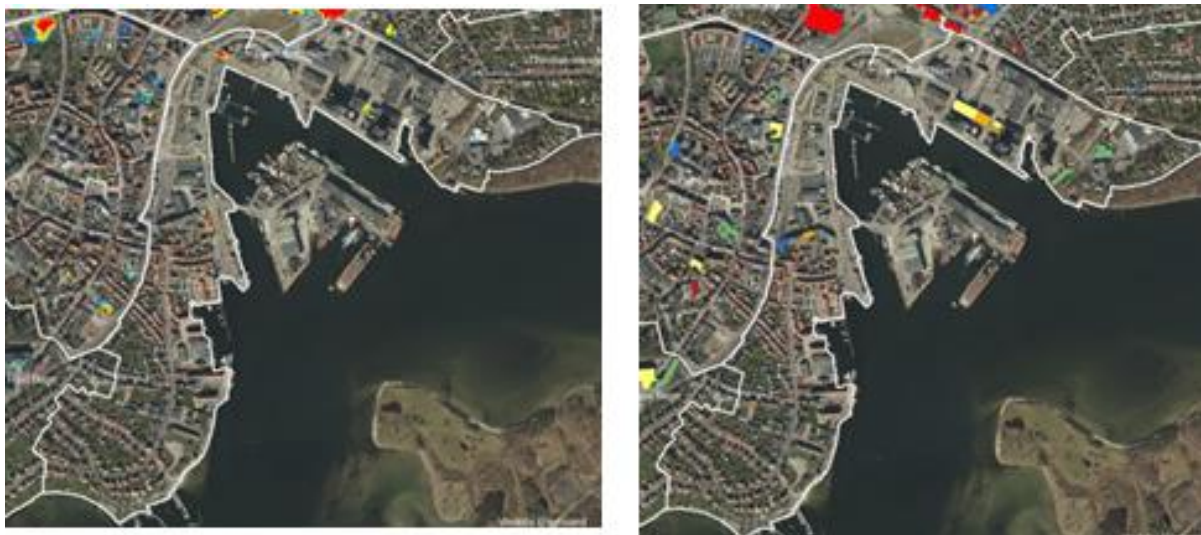


Figur 32 Øverst: Udviklingen i den gennemsnitlige årlige skade til hvert tilpasningsniveau. Nederst: Skaderne og løsningsomkostningerne for hvert tilpasningsniveau og resulterende optimum for serviceniveau for vand på terræn efter klimatilpasning.

6.10 Svendborg Havn

Oplandet Svendborg Havn er fælleskloakeret og ligger i kategorien ”Indre by”. Oversvømmelser og bygninger som skades ved en vandstand på terræn på 20 cm ses på Figur 33.

Risikoen er størst på nordsiden af havnen, men er generelt set relativt lille.



Figur 33 Til venstre: Oversigt over oversvømmelserne i 2050, hvis der ikke gennemføres tiltag, og til højre; bygninger, der vil blive skadet for hver af gentagelsesperioderne $T = 5, 10, 20, 50$ og 100 år (svarende til farverne: rød, orange, gul, grøn og blå).

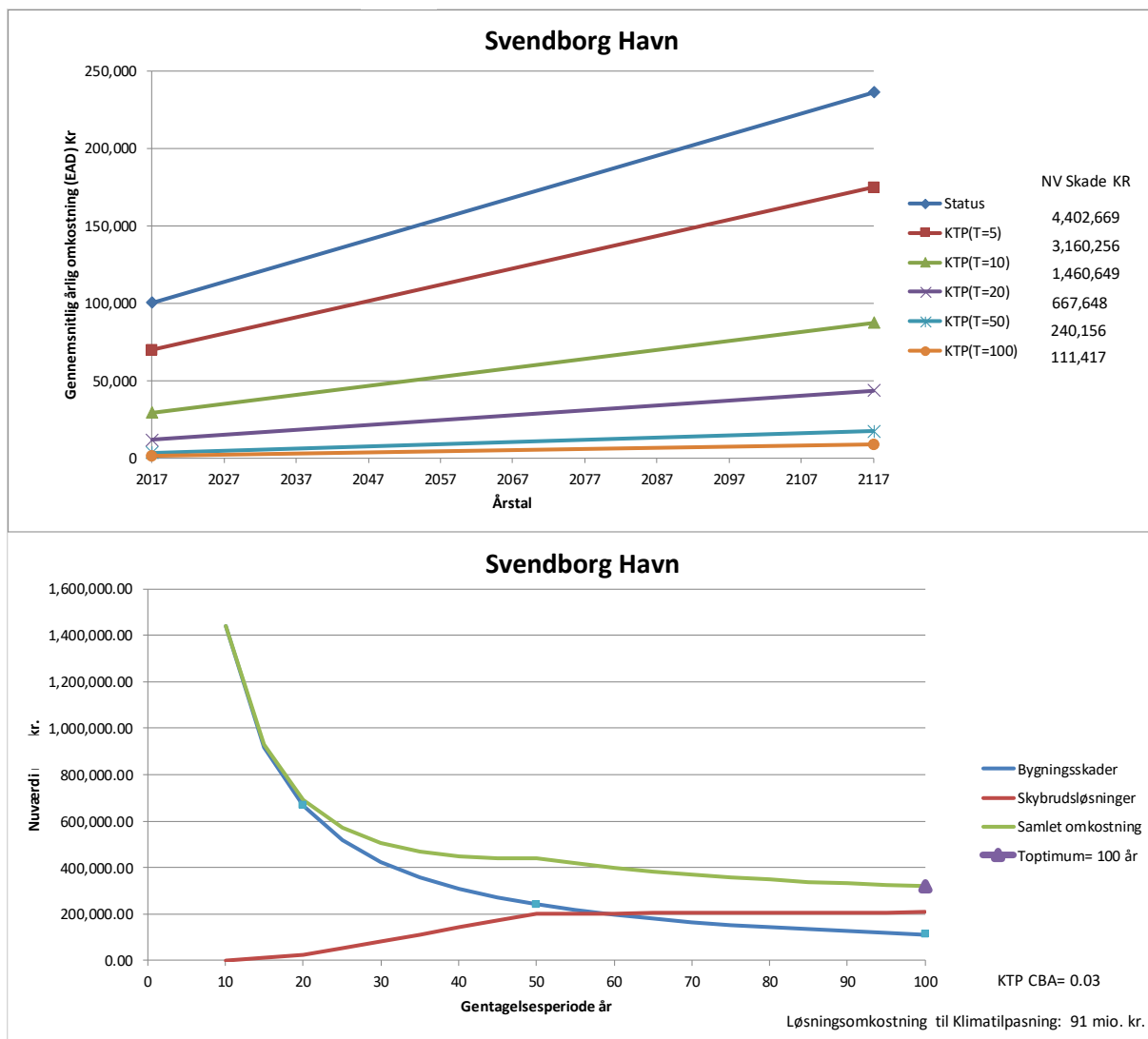
Figur 34 viser udviklingen i den gennemsnitlige årlige skade til hvert tilpasningsniveau, skaderne og løsningsomkostningerne for hvert tilpasningsniveau og resulterende optimum for serviceniveau for vand på terræn efter klimatilpasning.

Klimatilpasningsomkostningen på 91 mio. kr. giver en bygningsskadesreduktion svarende til kun 3% af investeringen, hvilket er meget lavt. Det skyldes at der er meget små skader i oplandet. Det skal dog bemærkes, at en separatkloakering af oplandet, formentlig vil være relativt kost-effektivt pga. nærheden til havet, hvilket vil give en højere ”tilbagebetaling” af løsningen. Derfor vil der formentlig også kunne etableres en relativt kost-effektiv skybrudstilpasning.

Ved klimatilpasning opnås der næsten et skybrudstilpasningsniveau på $T = 20$ år.

Pga. de relativt små vandmængder, som skal håndteres på terræn efter klimatilpasningen, bør det undersøges nærmere hvorvidt det kan betale sig at skybrudstilpasse helt op imod en 100-års hændelse.

Det gør ikke nogen væsentlig forskel om man medtager øgede skader for vandstande større end 40 cm



Figur 34 Øverst: Udviklingen i den gennemsnitlige årlige skade til hvert tilpasningsniveau. Nederst: Skaderne og løsningsomkostningerne for hvert tilpasningsniveau og resulterende optimum for serviceniveau for vand på terræn efter klimatilpasning.

6.11 Tved Fælles

Oplandet Tved Fælles er fælleskloakeret og ligger i kategorien ”forstad”. Oversvømmelser og bygninger som skades ved en vandstand på terræn på 20 cm ses på Figur 35.

Der er stort set ingen oversvømmelser i Tved Fælles, hvorfor det ikke giver meget mening at gennemføre analysen. Der er stort set allerede et 100-års skybrudstilpasningsniveau bort set fra et enkelt hus.

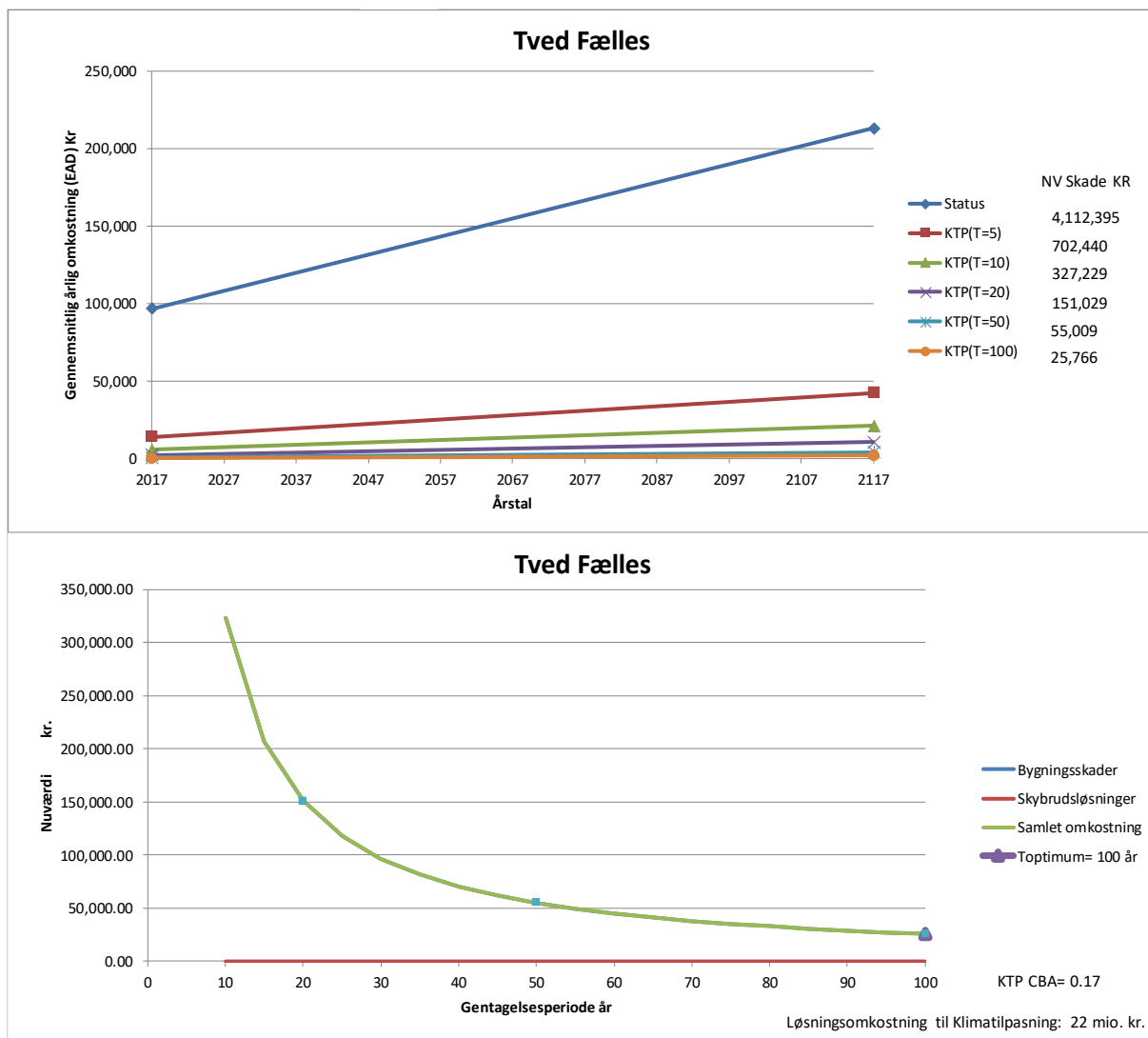


Figur 35 Til venstre: Oversigt over oversvømmelserne i 2050, hvis der ikke gennemføres tiltag, og til højre; bygninger, der vil blive skadet for hver af gentagelsesperioderne $T = 5, 10, 20, 50$ og 100 år (svarende til farverne: rød, orange, gul, grøn og blå).

Figur 36 viser udviklingen i den gennemsnitlige årlige skade til hvert tilpasningsniveau, skaderne og løsningsomkostningerne for hvert tilpasningsniveau og resulterende optimum for serviceniveau for vand på terræn efter klimatilpasning.

Klimatilpasningsomkostningen på 22 mio. kr. giver en bygningsskadesreduktion svarende til 17% af investeringen. Det skyldes at der er meget små skader i oplandet.

Ved klimatilpasning opnås der et skybrudstilpasningsniveau på $T = 100$ år.



Figur 36 Øverst: Udviklingen i den gennemsnitlige årlige skade til hvert tilpasningsniveau. Nederst: Skaderne og løsningsomkostningerne for hvert tilpasningsniveau og resulterende optimum for serviceniveau for vand på terræn efter klimatilpasning.

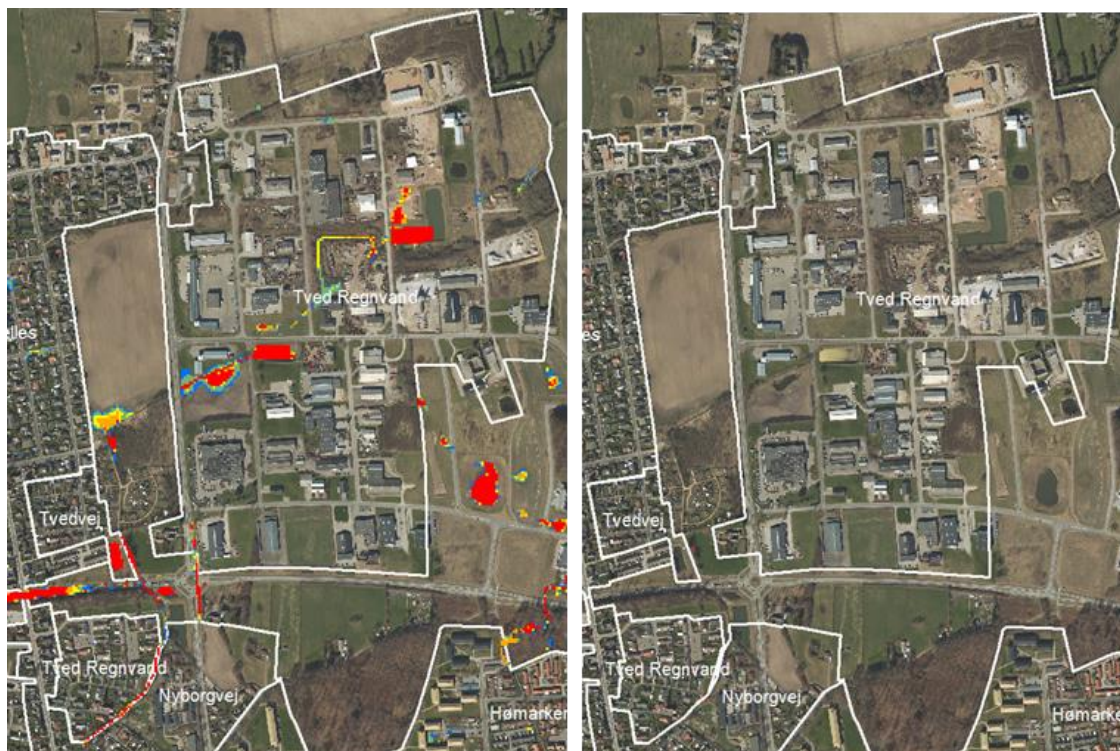
6.12 Tved Regnvand

Oplandet Tved Regnvand er separatkloakeret og ligger i kategorien ”forstad”. Oversvømmelser og bygninger som skades ved en vandstand på terræn på 20 cm ses på Figur 37.

Der er ingen skadevoldende oversvømmelser i oplandet i hvert fald op til en 100-års hændelse i 2050, ved en kritisk vandstand på 10 cm er der tilsvarende meget få skadevoldende oversvømmelser.

Det giver på denne baggrund ikke mening at gennemføre analysen for skybrud, da oplandet allerede er skybrudssikkert til et højt niveau.

Klimatilpasningsomkostningerne vil ligge på i størrelsesordenen 14 mio. kr.



Figur 37 Til venstre: Oversigt over oversvømmelserne i 2050, hvis der ikke gennemføres tiltag, og til højre; bygninger, der vil blive skadet for hver af gentagelsesperioderne $T = 5, 10, 20, 50$ og 100 år (svarende til farverne: rød, orange, gul, grøn og blå).

6.13 Tvedvej

Oplandet Tvedvej er separatloakeret og ligger i kategorien ”forstad”. Oversvømmelser og bygninger som skades ved en vandstand på terræn på 20 cm ses på Figur 38.

Der er næsten ingen skadevoldende oversvømmelser i oplandet, ved en kritisk vandstand på 10 cm er der tilsvarende meget få skadevoldende oversvømmelser.

Det giver på denne baggrund ikke mening at gennemføre analysen for skybrud, da oplandet allerede er skybrudssikkert til et højt niveau.

Klimatilpasningsomkostningerne vil ligge på i størrelsesordenen 5 mio. kr.



Figur 38 Til venstre: Oversigt over oversvømmelserne i 2050, hvis der ikke gennemføres tiltag, og til højre; bygninger, der vil blive skadet for hver af gentagelsesperioderne $T = 5, 10, 20, 50$ og 100 år (svarende til farverne: rød, orange, gul, grøn og blå).



6.14 Opsummering

Tabel 1 opsummerer optimalt serviceniveau for vand på terræn (Topt) og cost-benefit faktorer (CB-faktorer), som funktion af skadesreduktion og løsningsomkostninger ved klimatilpasning for alle oplandene.

Tabel 3 Oversigt over optimalt serviceniveau for vand på terræn (Topt) og cost-benefit faktorer, som funktion af skadesreduktion og løsningsomkostninger ved klimatilpasning.

Opland	Topt i år	Skadesreduktion ved klimatilpasning i mio. kr	Løsningsomkostning til klimatilpasning i mio. kr	CBA
Centrum	30	11	71	15%
Christiansminde	30	0	8	5%
Dronningemaen	20	12	215	5%
Græsholmene	20	26	41	64%
Høje Bøge	20	25	127	20%
Hømarken	20	6	20	33%
Kogtved Fælles	20	0	13	0%
KogtvedRegnvand	20	27	57	48%
Nyborgvej	100	165	239	69%
Svendborg Havn	100	3	91	3%
Tved Fælles	100	4	22	17%
Tved Regnvand	NN	0	14	0%
Tvedvej	NN	0	5	0%

7 Resultatets robusthed

I nærværende rapport er der gennemført en analyse af skadesreduktioner og tilhørende løsningsomkostninger ved klimatilpasning og efterfølgende skybrudstilpasning ved brug af en screeningsmetode. Det giver naturligvis anledning til stor usikkerhed. Detaljerede analyser med anvendelse af en hydraulisk model til beregning af løsningsomkostninger og løsningernes effekt på skaderne vil imidlertid også være behæftet med en vis usikkerhed, idet det under alle omstændigheder er nødvendigt at træffe en række valg om det samlede system og for skadernes størrelse. Dertil kommer, at der er usikkerheder på modelberegninger i såvel afløbssystem som på terræn.

Her er der ikke gennemført en analyse af screeningsmetodens usikkerhed. Der henvises i stedet til at metoden er udviklet i områder, hvor der samtidig er gennemført hydrauliske beregninger som understøtter at f.eks. skadesprofilen kan parallelforskydes i det logaritmisk lineære koordinatsystem for at finde de klima- og skybrudstilpassede skadesprofiler og på den baggrund skadesreduktionerne. Her er der i stedet gennemført beregninger af det optimale serviceniveau ved en række forskellige forudsætninger, som ved sammenligning kan give et indtryk af usikkerheden på resultatet og hvad det kan bruges til.

I dette afsnit gennemføres der således beregningerne for at illustrere, hvor meget forskellige ændringer i forudsætninger og rammer betyder for resultatet sammenlignet med resultaterne i afsnit 6, som i det følgende kaldes "referencesituationen" (hvor bygningsskade 800 kr./m² for $h > 20$ cm og 6.500 kr./m² for $h > 40$ cm)

Der fokuseres på robusthed i forhold til følgende parametre:

- Dybdeafhængig enhedspris for bygningsskader. Uden $h > 40$ cm til 6.500 kr./m².
- Kritisk vandstand for bygningsskader $h > 10$ cm
- Enhedspriser på skader
- NAF og drifts- og reinvesteringsfaktor samt effekt af sikkerhedsfaktor
- Effekt af udviklingen i løsningsomkostningerne

Bemærk at optimum primært relaterer sig til skybrudssituationen, da der ses på skader og løsninger efter klimatilpasning. CB-faktorerne afhænger primært af klimatilpasningssituationen, da skadesreduktionen og løsningsomkostningerne opgøres for klimatilpasningen af afløbssystemet.

7.1 Dybdeafhængig enhedspris for bygningsskader

Bygningsskadespriserne er naturligvis af stor betydning for analysen af såvel optimum for serviceniveau for vand på terræn, som for CB-faktorerne. Bygningsskaderne vil alt andet lige være større, når der sker oversvømmelser af bygningerne med større vandmængder. Det skyldes bl.a. at vandet vil nå længere ind i og op ad bygningerne, og de vil være længere om at blive tømt og tørre. Det kan betyde større risiko for bl.a. skimmelsvamp eller nødvendig nedrivning og dermed større skadespris.

Som beskrevet i afsnit 5.1.3. har man i Greve fundet en dybdeafhængig enhedsbygningsskade ved brug af skadesdata fra Forsikring og Pension, så vandstanden større end 40 cm giver skader på 6.500 kr./m². Denne skadespris udgør referencesituationen, og er anvendt her og sammenlignet med resultatet, hvis man ikke medtager dybdeafhængigheden.

Resultatet ses i Tabel 4. Det ses, at der kun er væsentlig forskel i optimum for serviceniveau for vand på terræn i oplandene Centrum og Nyborgvej. Her ses der til gengæld et væsentligt mindre optimum og mindre CB-faktorer. Vand og Affald og Svendborg Kommune har på dette grundlag vurderet, at det er mest i tråd med virkeligheden at anvende den dybdeafhængige bygningsskade.

Tabel 4 Beregnet optimum og CB-faktor, når der regnes uden dybdeafhængige bygningsskader. Oplande, hvor optimum er anderledes end i referencescenariet, er fremhævet.

Opland	Hkrit>20cm, drift 3% med NAF		H>20 cm og xtraskade >40cm, drift 3% med NAF	
	Topt	CBA	Topt	CBA
Centrum	20	6%	30	15%
Christiansminde	30	5%	30	5%
Dronningemaen	20	3%	20	5%
Græsholmene	20	21%	20	64%
Høje Bøge	20	9%	20	20%
Hømarken	20	13%	20	33%
Kogtved Fælles	20	0%	20	0%
KogtvedRegnvand	20	33%	20	48%
Nyborgvej	20	13%	100	69%
Svendborg Havn	100	3%	100	3%
Tved Fælles	100	4%	100	17%

7.2 Kritisk vandstand for bygningsskader

Der er gennemført beregninger, hvor bygningsskaderne medtages, når vandstanden, der rører bygningen, er større end 10 cm i stedet for 20 cm, men uden dybdeafhængig skelnen. Resultatet ses i Tabel 5.

For flere oplande betyder det at optimum ændres som fremhævet i tabellen. Der er ikke en direkte sammenhæng mellem ændringen i kritisk vandstand og optimum i forhold til referencesituationen, hvilket skyldes, at nogle oplande er mere følsomme for kritisk vandstand end for, om skaderne er afhængige af dybden. F.eks. ses det at Centrum og Nyborgvej får et mindre optimum, selv om kritisk vandstand falder, men det skyldes, at det, som vægter mest i oplandene, er de store vanddybder. Modsat er det i Græsholmene, hvor optimum stiger. CB-faktorerne er kun afhængige af klimatilpasningssituationen, og det er kun skadesreduktionen som ændrer sig. Derfor følger CB-faktorerne ikke helt samme mønster som optimum for serviceniveauet, som jo er afhængig af

udviklingen i skader og omkostningerne i skybrudssituationen. CB-faktorerne viser, at for alle oplande, bortset fra Nyborgvej og Tved Fælles, stiger optimum med gentagelsesperioden, hvilket skyldes, at skadesreduktionen stiger. I de to nævnte oplande falder optimum, hvilket skyldes, at den dybdeafhængige skadespris betyder relativt mere i de oplande.

Tabel 5 Beregnet optimum og CB-faktor, når der regnes med en kritisk vandstand på 10 cm og en enhedsskadespris på 800 kr./m². Oplande, hvor optimum er anderledes end i referencescenariet, er fremhævet.

Opland	Hkrit>10cm, drift 3% med NAF		H>20 cm og xtraskade >40cm, drift 3% med NAF	
	Topt	CBA	Topt	CBA
Centrum	20	19%	30	15%
Christiansminde	30	20%	30	5%
Dronningemaen	20	7%	20	5%
Græsholmene	30	179%	20	64%
Høje Bøge	20	50%	20	20%
Hømarken	20	52%	20	33%
Kogtved Fælles	20	29%	20	0%
KogtvedRegnvand	20	148%	20	48%
Nyborgvej	20	19%	100	69%
Svendborg Havn	100	23%	100	3%
Tved Fælles	30	6%	100	17%

Den bedste forståelse for kritisk vandstands betydning for resultatet får man ved at sammenligne kritisk vandstand 10 cm med kritisk vandstand 20 cm uden dybdeafhængighed, da man ellers har to varianter i spil. Derfor er kritisk vandstand for hhv. 10 og 20 cm vist uden dybdeafhængighed i Tabel 6.

Ændringen af den kritiske kote betyder også, at Tved Regnvand og Tvedvej skal medregnes, da en kritisk vandstand på 10 cm giver skader og dermed en skadesreduktion. Tilsvarende er der ingen løsningsomkostninger til skybrudstilpasning i disse oplandene, når der skal sikres til en kritisk vandstand på 20 cm, men det er der for en kritisk vandstand på 10 cm.

Resultaterne viser, at balancen langt hen ad vejen er, at skadesreduktionen stiger relativt meget i forhold til løsningsomkostningerne, når man anvender en kritisk vandstand på 10 cm, dog ikke i Tved Fælles, hvor skaderne ikke er ret store uanset kritisk vandstand. Det ses også på CB-faktoren, som viser, at der er meget lille bygningsskadesreduktion ved klimatilpasning af afløbssystemet.

Tabel 6 Beregnet optimum og CB-faktor, når der regnes med en kritisk vandstand på 10 cm og 20 cm og en enhedsskadespris på 800 kr./m². Oplande, hvor optimum er forskellige, er fremhævet.

Opland	Hkrit>10cm, drift 3% med NAF		Hkrit>20cm, drift 3% med NAF	
	Topt	CBA	Topt	CBA
Centrum	20	19%	20	6%
Christiansminde	30	20%	30	5%
Dronningemaen	20	7%	20	3%
Græsholmene	30	179%	20	21%
Høje Bøge	20	50%	20	9%
Hømarken	20	52%	20	13%
Kogtved Fælles	20	29%	20	0%
KogtvedRegnvand	20	148%	20	33%
Nyborgvej	20	19%	20	13%
Svendborg Havn	100	23%	100	3%
Tved Fælles	30	6%	100	4%
Tved Regnvand	100	52%	NN	NN
Tvedvej	50	10%	NN	NN

7.3 Enhedspriser på skader

Ligesom at NAF, drift, reinvestering og usikkerhed er direkte proportionale med løsningsomkostningerne, er bygningsskaderne direkte proportionale med skadesreduktionen og dermed også med CB-faktorerne. Optimum er også afhængige af skadesstørrelsen, men den er ikke så følsom. Kun oplandene Centrum, Christiansminde og Nyborgvej får et (lidt) større optimum når de tre gange så store skader anvendes.

Sammenligningen her er gennemført uden dybdeafhængig bygningsskade, for at man kan se den direkte effekt af bygningsskaden på resultaterne.

Tabel 7 Beregnet optimum og CB-faktor, når der regnes med en enhedsskadespris på hhv. 2.500 kr./m² og 800 kr./m². Oplande, hvor optimum er forskellige, er fremhævet.

Opland	Hkrit>20cm, drift 3% med NAF, 2500 kr/m ²		Hkrit>20cm, drift 3% med NAF 800 kr/m ²	
	Topt	CBA	Topt	CBA
Centrum	35	18%	20	6%
Christiansminde	100	14%	30	5%
Dronningemaen	20	9%	20	3%
Græsholmene	20	66%	20	21%
Høje Bøge	20	29%	20	9%
Hømarken	20	40%	20	13%
Kogtved Fælles	20	0%	20	0%
KogtvedRegnvand	20	103%	20	33%
Nyborgvej	30	40%	20	13%
Svendborg Havn	100	10%	100	3%
Tved Fælles	100	14%	100	4%

I forhold til referencesituationen er det kun optimum for Christiansminde og Nyborgvej, som ændrer sig markant. Nyborgvej reduceres til T = 30 år fra 100 år, fordi dybdeafhængigheden betyder meget for Nyborgvej (der er relativt dybe vandstande under oversvømmelserne). For Christiansminde stiger

gentagelsesperioden, fordi dybdeafhængigheden er lille, og skaderne betyder relativt meget, men det skal pointeres, at analysen for dette opland er relativt usikker pga. de meget lave skader og omkostninger generelt.

7.4 NAF og drifts- og reinvesteringsfaktor samt effekt af sikkerhedsfaktor

Vand og affald har undersøgt hvor meget drift og reinvestering udgør af den samlede anlægssum. Resultatet for 2010 var 3% og andre steder har det vist sig at være 2-2.5% årligt af den samlede anlægssum. Parametrene har kun betydning for løsningsomkostningerne, hvilket betyder at CB-faktorerne alt andet lige vil stige, når løsningsomkostningerne falder. Tilsvarende vil optimum alt andet lige stige, når omkostningerne falder.

Det samme gør sig gældende for indførelse af en sikkerhedsfaktor på dimensioneringen af afløbssystemet og evt. skybrudstilpasningsanlæggene. I screeningen, som er gennemført her, vil sikkerhedsfaktoren være direkte proportional med skadesomkostningen, da det blot er en faktor som ganges på voluminerne. Hvis der gennemføres hydrauliske beregninger, vil dimensioneringen med en sikkerhedsfaktor give en større skadesreduktion ved klimatilpasning af afløbssystemet, og dermed et lavere skadesniveau efter klimatilpasning. Sagt på en anden måde, så får man relativt mere skybrudstilpasning for klimatilpasningspengene. Det vil som sagt ikke fremgå af en beregning her, hvorfor sikkerhedsfaktoren ikke er behandlet videre her.

Det er beregnet, hvor meget drift og reinvesteringsfaktoren betyder for resultaterne i de forskellige oplande. Resultatet ses i Tabel 8.

Resultaterne viser, at parametrene ikke betyder meget for optimum men naturligvis relativt meget for CB-faktorerne, som er (direkte) omvendt proportionale med parametrene.

Tabel 8 Beregnet optimum og CB-faktor når NAF, drift og reinvestering ændres. Oplande, hvor optimum er forskellige, er fremhævet.

Opland	H>20 cm og xtraskade >40cm, drift 2% uden NAF		H>20 cm og xtraskade >40cm, drift 3% med NAF	
	Topt (år)	CBA	Topt	CBA
Centrum	35	21%	30	15%
Christiansminde	35	6%	30	5%
Dronningemaen	20	7%	20	5%
Græsholmene	20	89%	20	64%
Høje Bøge	20	27%	20	20%
Hømarken	20	46%	20	33%
Kogtved Fælles	20	0%	20	0%
KogtvedRegnvand	20	67%	20	48%
Nyborgvej	100	97%	100	69%
Svendborg Havn	100	5%	100	3%
Tved Fælles	100	24%	100	17%

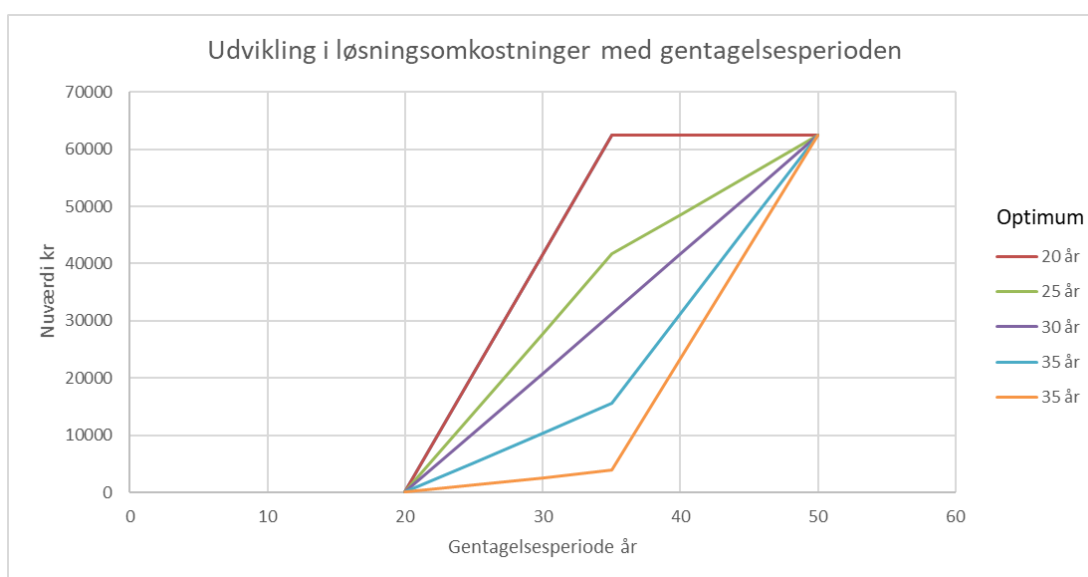
7.5 Effekt af udviklingen i løsningsomkostningerne

I analysen er det antaget, at der er en lineær udvikling i løsningsomkostninger mellem beregningspunkterne 10, 20, 50 og 100 år. Det er ved projektmøder diskuteret hvilken effekt det vil have, hvis der er en væsentlig anderledes udvikling mellem punkterne.

Christiansminde er et af de oplande, hvor det har vist sig, at skadesreduktion og løsningsomkostninger ligger tæt, og derfor er det opland mere følsomt for ændringer i forudsætninger. Dette opland er derfor anvendt til at vise effekten af forskellige løsningsudviklinger. Andre oplande er også gennemregnet, og viser ringere følsomhed for løsningsudviklingen (fordi løsningsomkostningerne er så relativt store).

For samtlige oplande er udviklingen i løsningsomkostninger størst mellem T=20 og 50 år. Fra 50 til 100 år er der ikke så stor forskel i løsningsomkostninger, hvorfor følsomheden mellem 20 og 50 er mest interessant.

Figur 39 viser forskellige hypotetiske udviklinger i løsningsomkostninger mellem 20 og 50 år i Christiansminde, hvis man regner med en hurtig udvikling fra T = 20 år frem til T = 35 år, som derefter aftager mod T= 50 år og omvendt. Det heraf følgende optimum er vist til højre under "Optimum". Det ses, at en relativ stor omkostning i starten giver et mindre optimum end en lav omkostning i starten, som derefter stiger relativt meget.



Figur 39 Optimum for forskellige udviklinger i løsningsomkostninger i Christiansminde. Optimalt serviceniveau for vand på terræn med de forskellige udviklinger er vist til højre under "Optimum"

Antagelsen om en lineær udvikling i løsningsomkostningerne mellem gentagelsesperioderne giver stor usikkerhed på optimum i spændet mellem de gentagelsesperioder, hvor løsningsomkostningerne stiger markant. Følsomheden er lille i de fleste oplande i Svendborg, da løsningsomkostningerne generelt set er meget store i forhold til skadesreduktionen.

7.6 *Sammenfatning af robusthedsanalysen*

Analysen er naturligvis også følsom for hvor langt ud i fremtiden man medregner skadesreduktionen. Det er derfor vigtigt, at der vælges en realistisk beregningshorisont. Da levetiderne på såvel bygninger som kloakanlæg og afstrømningsanlæg ligger i størrelsesordenen 100 år synes det rimeligt at anvende et 100 års perspektiv for den økonomiske analyse.

Som tidligere nævnt, overestimeres skadesreduktionen, da der ikke er taget højde for at der ikke kan klimatilpasses og skybrudstilpasses på få år i hele Svendborg Kommune. Skadesreduktionerne vil samlet set blive mindre afhængigt af investeringsstrategien, fordi der ikke er tale om straks-investeringer. På den anden side ville anlægs- og driftsomkostningerne også blive reduceret. Effekten af investeringstakten afhænger af hvilken strategi for klimatilpasning og skybrudstilpasning, som vælges.

Metoden til beregning af restskader efter skybrudstilpasning er ikke valideret. Det vurderes, at med metoden som anvendes her, vil man få resultater, der viser mindre skadesreduktioner end i virkeligheden, med mindre der fokuseres på at få vandet ud af kommunen. Det skyldes bl.a. antagelsen om, at man kan parallelforskyde skadeskurverne, som vi ved kan bruges ved klimatilpasning med traditionelle løsninger, men hvorvidt det kan overføres til skybruds- og overfladeløsninger, er uvist. En analyse i Helsingør har vist, at skybrudsrender og bassiner på overfladen giver en tilsvarende parallelforskydning af skadesprofilerne ved skybrudssikring.

Analysens resultater er baseret på, at der etableres traditionelle klimatilpasningsløsninger, dvs. at vand på terræn håndteres ved en kombination af bassiner og transport ud ad områderne. Andre løsninger, som tilbageholdelse og LAR, vil kunne give markant andre resultater.

CB-faktorerne ændrer sig proportionalt med ændringerne i løsningsomkostningerne, og er meget følsomme for variationer. Da CB-faktorerne primært skal anvendes til at sammenligne oplandene, har variationer, som gennemføres for alle oplande samtidigt, ikke nogen betydning for prioriteringen.

Testen af robustheden af resultatet viser, at pga. de relativt små skader og dermed skadesreduktioner i de fleste oplande, så skal der meget til at ændre på optimum for servieniveau for vand på terræn.

Nyborgvej er følsom for den dybdeafhængige skade pga. de relativt store vanddybder ved oversvømmelserne omkring Ørkildsgade.

Christiansminde er mere følsom for enhedsskadesprisen end de øvrige oplande, hvilket skyldes en meget tættere balance mellem skadesreduktion og løsningsomkostninger, som dog begge er lave.

Tvedvej og Tved Regnvand har meget lille skadesrisiko. Hvis der regnes med en kritisk kote på 10 cm i stedet for 20 cm, optræder der skader i de to oplande.

8 Referencer

1. Svendborg Kommunes klimatilpasningsplan 2014
2. Masterplaner Vand og Affald 2015
3. Skrift 27 Spildevandskomiteen under IDA, KL og DANVA 2005
4. Skrift 28 Spildevandskomiteen under IDA, 2006
5. Skrift 30 Spildevandskomiteen under IDA, KL og DANVA 2014. Opdaterede klimafaktorer og dimensionsgivende regnintensiteter. Spildevandskomiteen august 2014.
6. Skrift 31 Spildevandskomiteen under IDA, KL og DANVA 2017
7. PLASK (klimatilpasning.dk)
8. Lauesen L.M. (2019) The Sustainability of Post-crisis Management on Flooding Prevention. In: Crowther D., Seifi S., Wond T. (eds) Responsibility and Governance. Approaches to Global Sustainability, Markets, and Governance. Springer, Singapore.

9 BILAG 1 Anbefalingen fra Skrift 31

Spildevandskomiteen under Ingeniørforeningen har i 2017 udgivet et skrift som giver anbefalinger til, hvilke metoder, som skal anvendes når der skal træffes beslutning om serviceniveau for vand på terræn – kaldet Skrift 31:

Dette skrift anvender risikobaseret dimensionering, hvilket nødvendiggør en sammenlignelig og entydig definition af begrebet risiko. Det er valgt at benytte den forventede årlige omkostning af skader (Eng: Expected Annual Damage) forårsaget af ekstreme regnhændelser som mål for risikoen. EAD opgøres som summen af skadesomkostninger forårsaget af årlige maksimale regnhændelser vægtet med sandsynligheden for deres forekomst.

Baseret på samfundsøkonomisk optimering fastlægges funktionskrav for regnvand på terræn med udgangspunkt i et af de følgende tre principper:

- 1. Funktionskrav fastsættes for kommunen som helhed som en maksimal skadevoldende vanddybde på terræn, der kun må overskrides med en generel fastsat gentagelsesperiode. Herved bliver der afhængig af bygningers og delområders værdi forskel på den risiko, der optræder forskellige steder i kommunen.*
- 2. Funktionskrav fastsættes, differentieret på arealanvendelsen i kommunen, som maksimale skadevoldende vanddybder på terræn, der kun må overskrides med fastsatte gentagelsesperioder.*
- 3. Funktionskrav fastsættes i hvert delområde for sig i kommunen som maksimale skadevoldende vanddybder på terræn, der kun må overskrides med en lokalt fastsat gentagelsesperiode.*

Som baggrund for den risikobaserede analyse udarbejdes et oversvømmelseskort og et værdikort for området.

Til brug for udarbejdelse af oversvømmelseskortet skal der gennemføres en hydraulisk beregning. Valg af model til denne beregning bør bero på dels områdets kompleksitet og dels analysens omfang.

Værdikortet kan ligeledes udarbejdes med forskellige detaljeringsgrader. Inden analysen skal det besluttes, hvilke typer af skader der skal indgå i analysen. Der skelnes mellem direkte og indirekte skader og mellem markedsomsatte skader og ikke markedsomsatte skader (immaterielle aktiver).