

Til  
**Novafos**

Dokumenttype  
**Afreportering**

Dato  
**Februar 2019**

# SERVICENIVEAU FOR REGNVAND PÅ TERRÆN FOR KILDESKOVRENDENS OPLAND



## SERVICENIVEAU FOR REGNVAND PÅ TERRÆN FOR KILDESKOVSRENDENS OPLAND

Revision

Dato **8. februar 2019**

Udarbejdet af **Andreas Henriques Schou (AOH)**  
**Charlotte Bjørn Hansen (CABH)**  
**Gudny Kristin Tryggvadottir Bredtoft (GKTB)**  
**Henrik Thorén (HENT)**  
**Jakob Rosenberg Nielsen (JKRN)**  
**Johanne Fyhn Elgaard (JOHF)**  
**Maria Facchin Asmussen (MFAS)**  
**Michael Fabritius Tegnagel (MFT)**  
**Mie Højmose Dehlsen (MIED)**  
**Thomas Kruse (TMKS)**  
**Trine Stausgaard Munk (TRSV)**

Kontrolleret af **Sonia Sørensen (SON)**

Godkendt af **Thomas Kruse (TMKS)**

Ref.Dokument ID 1100023324-513757299-160

Version 1.00

Rambøll  
Hannemanns Allé 53  
DK-2300 København S  
T +45 5161 1000  
F +45 5161 1001  
[www.ramboll.dk](http://www.ramboll.dk)

## INDHOLD

<b>SAMMENFATNING</b>	<b>1</b>
<b>BEGREBSLISTE</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUKTION</b>	<b>6</b>
<b>2. PROJEKTBEKRIVELSE</b>	<b>9</b>
2.1 Område	9
2.2 Projektets forløb	10
2.3 Skrift 31	11
2.4 Risiko	15
2.5 Udvælgelse af scenarier	15
2.6 Tidshorisont	17
2.7 Opsamling	17
<b>3. SCENARIER</b>	<b>18</b>
3.1 Hovedgreb	18
3.2 Analysekatalog	19
3.3 Potentialeplanen	21
3.4 Typologier	22
3.5 Referenceperson	28
3.6 Resultater	28
3.7 Opsamling	32
<b>4. HYDRAULIK</b>	<b>33</b>
4.1 Dimensioneringskriterium	33
4.2 Metode	35
4.3 Referenceperson	36
4.4 Resultater	37
4.5 Opsamling	40
<b>5. ANLÆG</b>	<b>41</b>
5.1 Anlægsomkostninger	41
5.2 Driftsomkostninger	43
5.3 Levetid og reinvestering	44
5.4 Referenceperson	45
5.5 Resultater	45
5.6 Opsamling	49
<b>6. RISIKOKORTLÆGNING</b>	<b>51</b>
6.1 Metode	51
6.2 Risiko for kritisk infrastruktur	53
6.3 Andre overvejelser	53
6.4 Referenceperson	54
6.5 Resultater	54

6.6 Opsamling	58
<b>7. MERVÆRDI</b>	<b>60</b>
7.1 Effekten af merværdier	60
7.2 Referencepersoner	60
7.3 Resultater	61
7.4 Opsamling	61
<b>8. SAMFUNDSØKONOMISK BEREGNING</b>	<b>62</b>
8.1 Nutidsværdi	62
8.2 Pengestrømsopgørelse	63
8.3 Samfundsøkonomisk optimum og nettogevinstkurve	66
8.4 Referenceperson	68
8.5 Opsamling	69
<b>9. OPTIMALT SERVICENIVEAU</b>	<b>70</b>
9.1 Resultater	70
9.2 Følsomhedsanalyser	71
9.3 Diskussion	84
9.4 Opsamling	89
<b>10. ANBEFALINGER OG KONKLUSION</b>	<b>90</b>
10.1 Anbefaling	90
10.2 Konklusion	91
<b>LITTERATURLISTE</b>	<b>93</b>

## BILAG

<b>BILAG 1</b>	<b>PROJEKTBEKRIVELSE</b>	<b>1</b>
Bilag 1.1	Valg af serviceniveauer, gentagelsesperioder og sikkerhedsfaktorer	1
<b>BILAG 2</b>	<b>SCENARIER</b>	<b>3</b>
Bilag 2.1	Forsinkelse i grønne veje	3
Bilag 2.2	Rensning i grønne veje	3
<b>BILAG 3</b>	<b>HYDRAULIK</b>	<b>4</b>
Bilag 3.1	Regn og sikkerhedsfaktorer	4
Bilag 3.2	Modelparametre i MIKE URBAN	5
Bilag 3.3	Modelparametre i MIKE 21	12
Bilag 3.4	Simplificering af model	13
Bilag 3.5	Kobling mellem MIKE URBAN og MIKE 21	16
Bilag 3.6	Forudsætninger for traditionel separatkloakering	16
Bilag 3.7	Implementering af løsningselementer i MIKE URBAN	17
Bilag 3.8	Resultatbehandling	22
<b>BILAG 4</b>	<b>ANLÆG</b>	<b>25</b>
Bilag 4.1	Grøn vej	25
Bilag 4.2	Central forsinkelse	26
Bilag 4.3	Lokal forsinkelse	27
Bilag 4.4	Skybrudsvej	27
Bilag 4.5	Diverse sikringstiltag	28
Bilag 4.6	Ledninger	29
Bilag 4.7	Brønde	30
Bilag 4.8	Pumper og trykledninger	31
Bilag 4.9	Kassettebassiner	32
Bilag 4.10	Regnbede	33
Bilag 4.11	Prissætning af de opstillede scenarier	33
<b>BILAG 5</b>	<b>RISIKOKORTLÆGNING</b>	<b>39</b>
Bilag 5.1	Risiko for private	39
Bilag 5.2	Risiko for erhverv	55
Bilag 5.3	Risiko for asfalteret vej	59
Bilag 5.4	Risiko for jernbane	66
Bilag 5.5	Resultater	69
<b>BILAG 6</b>	<b>MERVÆRDI</b>	<b>83</b>
Bilag 6.1	Metode for beregning af merværdier	83
Bilag 6.2	Resultater	85
Bilag 6.3	Rekreativ værdi	86
Bilag 6.4	Fysisk sundhed	89
Bilag 6.5	Vandmiljø	93
Bilag 6.6	Urban varmeøeffekt	95
Bilag 6.7	Kulstoflagring og luftkvalitet	98
Bilag 6.8	Reduceret støjniveau	100
Bilag 6.9	Tryghedsfølelse	102
Bilag 6.10	Biodiversitet og økosystemstjenester	105

Bilag 6.11	Branding og turisme	105
Bilag 6.12	Socialt miljø	105
<b>BILAG 7</b>	<b>OPTIMALT SERVICENIVEAU INKL. MERVÆRDIER</b>	<b>107</b>
Bilag 7.1	Merværdier i pengestrømsopgørelse	107
Bilag 7.2	Resultater inkl. merværdier	107
Bilag 7.3	Monte Carlo simulering inkl. merværdier	109
Bilag 7.4	Supplerende følsomhedsanalyse	110
Bilag 7.5	Robusthed inkl. merværdier	113
Bilag 7.6	Anbefaling inkl. merværdier	114

## SAMMENFATNING

Gentofte Kommune har i sin klimatilpasningsplan vedtaget et generelt og langsigtet mål om at sikre kommunen op til en 100-års regn. Det er dog ikke sikkert, at det er samfundsøkonomisk optimalt at sikre til dette niveau alle steder i kommunen. Denne rapport beskriver en metode til at fastlægge et optimalt serviceniveau for regnvand på terræn ud fra et samfundsøkonomisk perspektiv og anvender den på Kildeskovsrendens opland.

Serviceniveauet findes ved at se på, hvad det vil koste at sikre et område til forskellige gentagelsesperioder for oversvømmelser og sammenholde omkostningerne heraf med, hvad man sparer på grund af færre årlige skadesomkostninger.

I Kildeskovsrendens opland udvælges fire scenarier for at fastlægge det optimale serviceniveau: S0 (dimensionering til Skrift 27), S1 (dimensionering til en 20-års regn om 100 år), S2 (dimensionering til en 50-års regn om 100 år) og S3 (dimensionering til en 100-års regn om 100 år). I scenarierne implementeres forskellige løsninger (ty-pologier) til klimatilpasning, som tager udgangspunkt i oplandet.

For hvert scenarie udføres hydrauliske beregninger, omkostninger til anlæg, drift og reinvesteringer estimeres, og en risikokortlægning udføres. Derudover undersøges også relevante merværdier for scenarierne. Disse resultater samles i en samfundsøkonomisk analyse for at finde serviceniveauet, der giver den største samfundsøkonomiske gevinst over tid.

De væsentligste, overordnede forudsætninger for analysen er,

- at Skrift 27 skal efterleves for alle scenarier, dvs. at for både S1, S2 og S3 er sikring til Skrift 27 implementeret som en integreret del af løsningerne.
- at status er udgangspunkt for den samfundsøkonomiske analyse, og den danner dermed grundlag for skadesberegningerne og den opstillede nettonutidsværdikurve.
- at merværdier ikke medtages kvantitativt i analysen. Dels for at afgrænse analysen og dels grundet de usikkerheder, der er ved at inddrage merværdier på så tidligt et stade.
- at der er en række bindinger og hensyn i forhold til anvendelsen af arealerne i oplandet, som medfører, at det ikke er muligt at etablere ret meget forsinkelse i terræn, som er de billige kubikmeter. Dette har betydning for de samlede investeringsomkostninger.
- at der for S1, S2 og S3 arbejdes med blågrønne løsninger. Dvs. at der ved serviceniveauer, som er lig 20 år eller højere, arbejdes med blågrønne løsninger.

Analysen viser, at det optimale serviceniveau findes ved en 8-års regnhændelse i 2117.

Ud fra nettonutidsværdien af de undersøgte scenarier kan der ud over et optimum også fastlægges et spænd, hvori serviceniveauerne giver en positiv gevinst for samfundet uden nødvendigvis at være optimum. Nettonutidsværdien viser altså, at der stadig kan opnås en samfundsøkonomisk gevinst ved at sikre til et højere serviceniveau end optimum. På baggrund af den samfundsøkonomiske analyse og ønsket om en lav risiko for overinvesteringer, anbefales det at fastlægge serviceniveauet mellem

5 og 30 år i 2117, da der inden for dette spænd er stor sandsynlighed for, at tilpasningen vil være en gevinst for samfundet.

Resultaterne af analysen – hovedsageligt beregningen af optimum – understreger og efterviser, at serviceniveauerne fastlagt i Skrift 27 er en god investering, og ved at sikre til disse niveauer reduceres skaderne væsentligt.

På baggrund af følsomhedsanalyserne kan det konkluderes, at optimum kun varierer meget lidt ved ændringer i de væsentligste parametre i analysen, og optimum dermed er meget robust.

Derimod varierer nettonutidsværdierne væsentligt ved ændringer i de væsentligste parametre i analysen, og nettonutidsværdierne er dermed mere følsomme – især i den lave og høje ende.

Den gennemførte Monte Carlo simulering viser, at der kun ved 50% af de 5.000 generede simuleringer er en gevinst ved at sikre til en gentagelsesperiode på 100 år om 100 år. Dette og den beskrevne følsomhed medfører således, at der er en relativ stor sandsynlighed for en dårlig samfundsøkonomisk investering, hvis der sikres til de 100 år, som er angivet i Gentofte Kommunes klimatilpasningsplan. Det kan ud fra analysen og dens forudsætninger konkluderes, at det i Kildeskovsrendens opland ikke vil være samfundsøkonomisk hensigtsmæssigt at sikre til det fastsatte niveau i kommunens klimatilpasningsplan.

## BEGREBSLISTE

Analysekatalog	Katalog, der blev skabt i forbindelse med de indledende undersøgelser til scenarier for Kildeskovsrendens opland. Kataloget samler en række informationer og analyser, som synliggør Kildeskovsrendens oplands funktionelle og landskabsmæssige muligheder og begrænsninger.
Diskonteringsrente	Renten, som fremtidige omkostninger og besparelser forrentes med i udregningen af nutidsværdien. Fastsættes efter Finansministeriets anbefalinger.
EAD	De forventede årlige skadesomkostninger (fra engelsk: Expected Annual Damages) forbundet med oversvømmelser fra regnvand på terræn. Udregnes som arealet under skadesturven som funktion af sandsynligheden.
Enhedspriser	Priser for omkostninger eller gevinster defineret i kr./enhed, som anvendes til at beregne EAD og merværdi. Enhedspriser dækker eksempelvis omkostninger ved at oversvømme et aktiv eller den økonomiske gevinst ved at forbedre vandkvaliteten.
FME	FME (Feature Manipulation Engine) er et softwareprogram, der især kan anvendes til transformering og behandling af GIS-data.
Funktionskrav	Et fastsat krav til dimensioneringspraksis, fx fastsat som 10 cm regnvand på terræn ved en 20-års regnhændelse.
Masterplan	Den endelige løsningsplan, der udarbejdes på baggrund af den samfundsøkonomisk analyse, som det samfundsøkonomisk optimale planlægningsscenarie.
Merværdi	Gevinster, der skabes eller opstår som følge af klimatilpasningstiltag, fx øget tryghed og bedre vandmiljø.
Nettonutidsværdi (NNV)	Gevinsten (eller tabet, hvis negativ) når alle gevinster er fratrukket alle omkostninger til anlæg, drift og reinvestering af et projekt.
Nutidsværdi (NV)	Værdien i dag af en fremtidig pengestrøm (fx drift eller gevinster).
Pengestrøm	En opgørelse over indbetalinger og udbetalinger over en bestemt tidsperiode.
Potentialeplan	Resultatet af en række informationer og analyser, der samlet set udpeger potentielle arealer for forsinkelse og transport af regnvand.

Analysekatalog	Katalog, der blev skabt i forbindelse med de indledende undersøgelser til scenarier for Kildeskovsrendens opland. Kataloget samler en række informationer og analyser, som synliggør Kildeskovsrendens oplands funktionelle og landskabsmæssige muligheder og begrænsninger.
Princip	Refererer til de tre principper for fastlæggelse af serviceniveauet i Skrift 31. Princippet afgør området, hvorpå den samfundsøkonomiske analyse udføres, dvs. for hele kommunen, oplandsvis eller efter arealtype.
Risiko	Resultatet af sandsynligheden for en konkret fare og graden af eksponering samt områdets sårbarhed. Sandsynlighed angiver, hvor ofte faren sker, mens graden af eksponering henviser til udbredelsen af faren. Sårbarhed hentyder til, hvor følsomt et område eller en værdi er. Kan udtrykkes i fx risikokort eller som EAD.
Risikokort	Den samlede risiko over en række gentagelsesperioder vist geografisk, hvor hver pixel har en værdi svarende til EAD for den givne celle.
Scenarie	En plan, der tager udgangspunkt i potentialeplan, men som opfylder et bestemt serviceniveau. Når det optimale scenarie er udvalgt på baggrund af en samfundsøkonomisk analyse, bliver det udvalgte scenarie viderearbejdet til en masterplan for oplandet.
Serviceniveau for regnvand på terræn	Den gentagelsesperiode borgere kan forvente, at forsyningsselskaber og kommuner har til hensigt at sikre til. Der vil dermed ikke ligge skadevoldende regnvand på terræn ved regnhændelser lig eller mindre end dette niveau. Regnvand på terræn er i denne forbindelse defineret som regn- og spildevand, der opstøver til terræn som følge af kraftig regn, og henviser dermed ikke til vand på terræn som følge af oversvømmelser fra kysten.
Skadesfunktion	Omkostning ved at oversvømme et aktiv (fx bygninger, veje, industri) som funktion af vanddybden.
Skadeskort	Skaden vist geografisk ved en enkeltstående regnhændelse med en given gentagelsesperiode, dvs. produktet mellem skader og sandsynligheden for en enkelt gentagelsesperiode.
Skadeskurve	Skader ved oversvømmelse som funktion af sandsynligheden.

Analysekatalog	Katalog, der blev skabt i forbindelse med de indledende undersøgelser til scenarier for Kildeskovsrendens opland. Kataloget samler en række informationer og analyser, som synliggør Kildeskovsrendens oplands funktionelle og landskabsmæssige muligheder og begrænsninger.
Værdikort	Kort, der viser den geografiske information af aktiver og omkostningen ved at oversvømme denne. Det viser dermed ikke hele værdien af et aktiv, men blot potentielle skadesomkostninger.

# 1. INTRODUKTION

Gentofte Kommune har i sin klimatilpasningsplan vedtaget et generelt og langsigtet mål om at sikre kommunen op til en 100-års regn. Det er dog ikke sikkert, at det er samfundsøkonomisk optimalt at sikre til dette niveau alle steder i kommunen. Denne rapport beskriver en metode til at fastlægge et optimalt serviceniveau for regnvand på terræn ud fra et samfundsøkonomisk perspektiv og anvender den på Kildeskovsrendens opland. Metoden er baseret på anbefalinger fra Spildevandskomiteens Skrift 31, som udkom i september 2017 [1]. Indeværende rapport bygger desuden videre på formål, mål og strategier fra Gentofte Kommunes Spildevandsplan 2015-2018 [2], hvor det overordnede formål er "Bæredygtig håndtering af regn- og spildevand" og at gennemføre de nødvendige indsatser på en omkostningseffektiv måde.

Indeværende rapport består af 10 kapitler, der tilsammen beskriver baggrunden for, tilgangen til og resultaterne af den samfundsøkonomiske analyse for serviceniveau for regnvand på terræn for Kildeskovsrendens opland. Nedenfor gives en kort introduktion til de næste ni kapitler:

**Kapitel 2 Projektbeskrivelse** giver en overordnet beskrivelse af projektet og dets organisation og processer; herunder beskrivelse af projektområdet samt nogle indledende valg, der danner grundlag for analysen. Derudover beskrives Skrift 31 samt metoden for analysen, som tager udgangspunkt i Skrift 31.

**Kapitel 3 Scenarier** gennemgår diverse forudsætninger og valg, der er truffet forud for design af scenarier. Herunder beskrives også analysekataloget, der blev udarbejdet som udgangspunkt for potentialeplanen. Potentialeplanen fastlagde mulighederne for håndtering af regnvand i oplandet og ud fra denne blev der designet flere typologier, der fungerede som værktøj for håndtering af regnvand. Typologierne beskrives ligeledes i dette kapitel.

**Kapitel 4 Hydraulik** gennemgår de hydrauliske forudsætninger; herunder implementeringen af typologierne i de hydrauliske beregninger. Desuden præsenteres oversvømmelsesudbredelseskort som et resultat af de hydrauliske beregninger.

**Kapitel 5 Anlæg** fremlægger omkostningerne for tilpasningstiltagene, der er implementeret i scenarierne, herunder priserne for de anvendte typologier. Anlægsomkostninger prissættes såvel som driftsomkostningerne samt eventuelle reinvesteringer.

**Kapitel 6 Risikokortlægning** gennemgår enhedspriserne anvendt i risikomodeleringen, herunder skadesomkostninger, der opstår efter oversvømmelser på terræn, omkostninger til oprydning og genhusning, samfundsøkonomiske omkostninger i forbindelse med forsinkelser etc. Kapitlet fremlægger ligeledes resultatet af risikokortlægningen i form af risikokort og EAD.

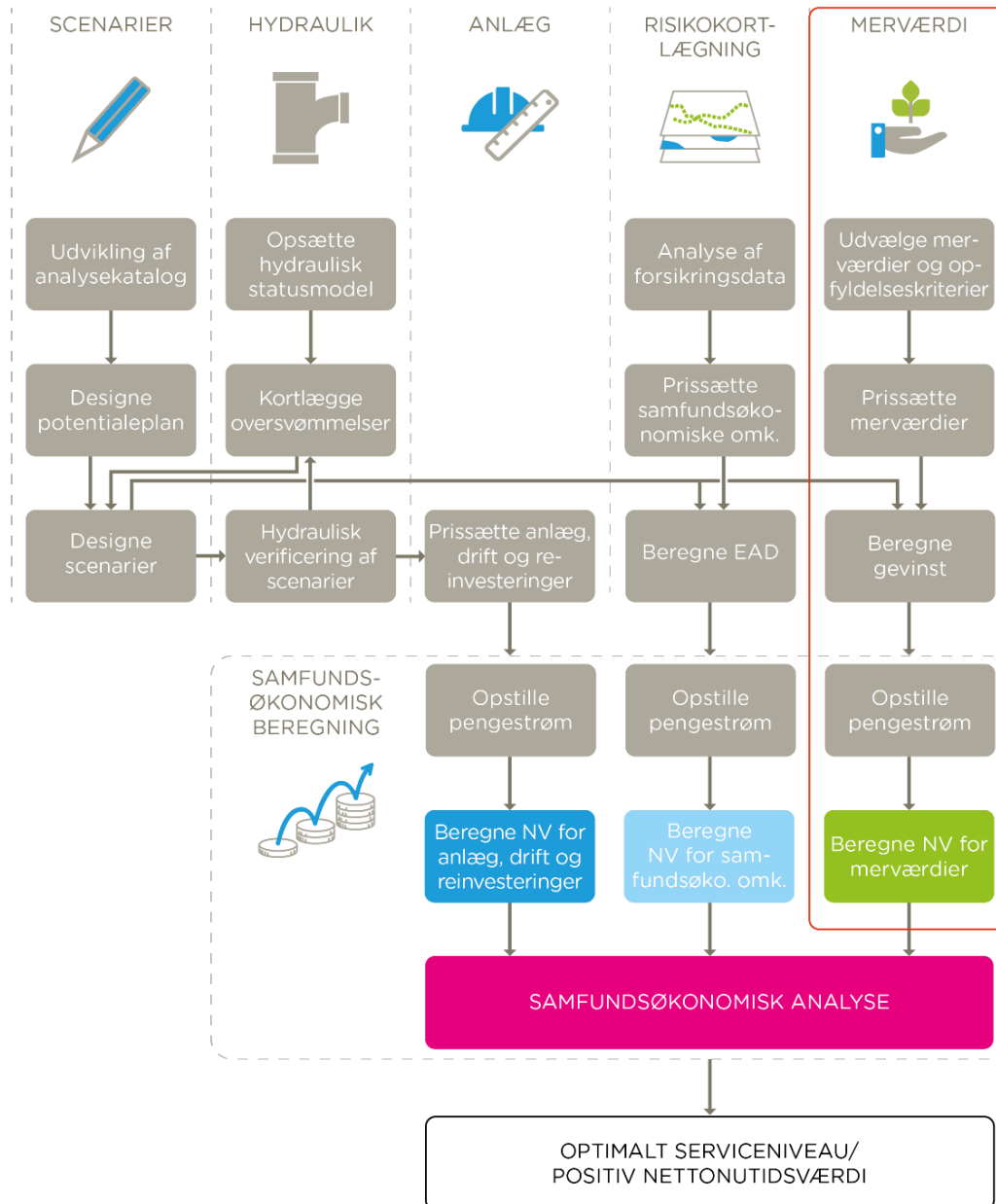
**Kapitel 7 Merværdi** introducerer merværdier og beskriver effekten af at inkludere disse i analysen. Inkluderingen af merværdier i denne analyse har været omdiskuteret. Under projektets forløb blev merværdier beregnet og påvirkningen af resultaterne undersøgt, men beslutningen blev, at resultaterne for merværdier ikke skal indgå i analysen, hvilket begrundes i kapitlet.

**Kapitel 8 Samfundsøkonomisk beregning** samler resultaterne fra kapitel 5, 6 og 7 i pengestrømsopgørelser og beregninger for nutidsværdier af hhv. omkostningerne, EAD og merværdier.

**Kapitel 9 Optimalt serviceniveau** præsenterer resultaterne af den samfundsøkonomiske analyse, en Monte Carlo simulering samt en supplerende følsomhedsanalyse, der undersøger følsomheden og dermed usikkerhederne på resultatet.

**Kapitel 10 anbefalinger og konklusion** konkluderer på hele analysen og opstiller en anbefaling til den videre proces for planlægning af klimatilpasning i Kildeskovsrendens opland.

Den samfundsøkonomiske analyse, de respektive elementer og deres indbyrdes afhængigheder er sammenfattet i Figur 1.



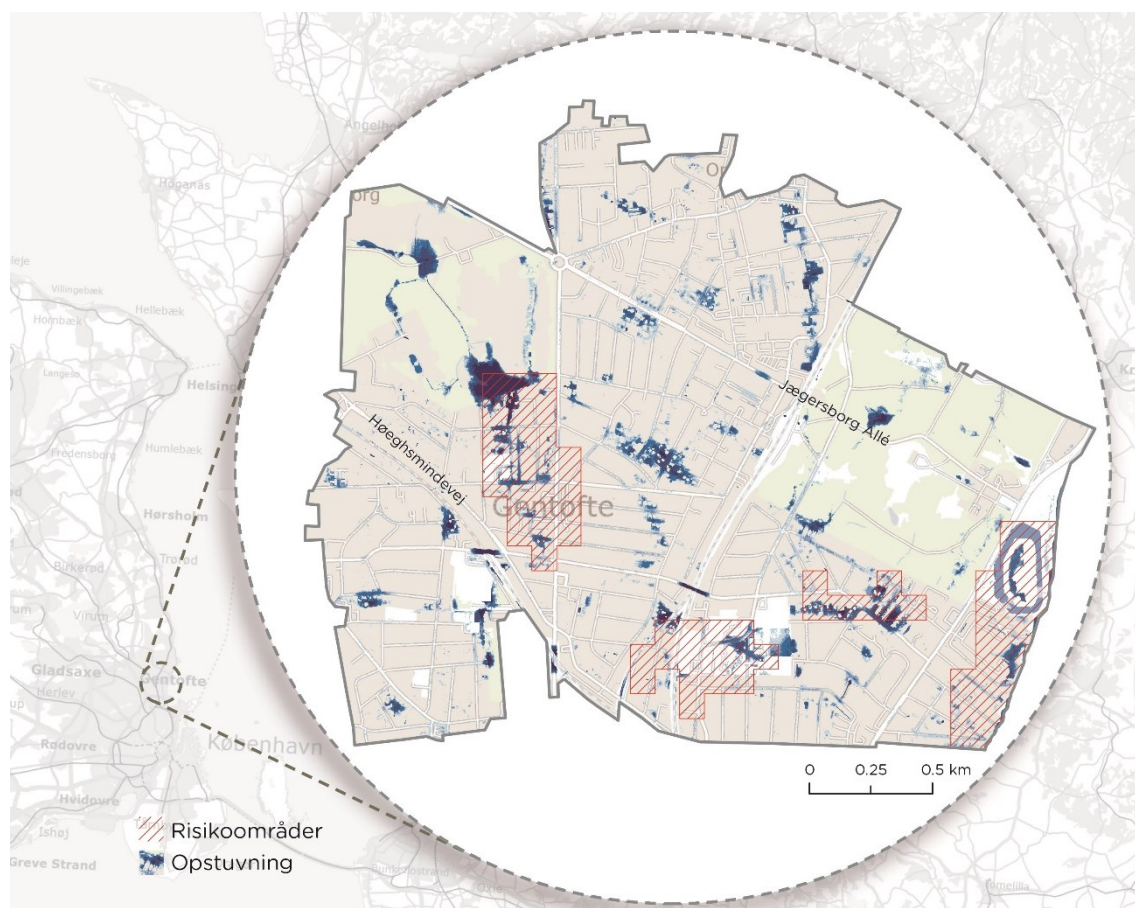
**Figur 1** Oversigt over metoden denne rapport beskriver og anvender for at fastlægge et optimalt serviceniveau for Kildeskovsrendens opland. Søjlen med merværdier er markeret med en rød streg, idet merværdier jf. Skrift 31 er en option, som kan inkluderes i en samfundsøkonomisk analyse, såfremt merværdierne kan prissættes.

## 2. PROJEKTBEKRIVELSE

Dette kapitel giver en overordnet beskrivelse af projektet og dets organisation og processer; herunder beskrivelse af projektområdet samt nogle indledende valg, der danner grundlag for analysen. Derudover beskrives Skrift 31 samt metoden for analysen, som tager udgangspunkt i Skrift 31.

### 2.1 Område

I Gentofte Kommune er det i samråd med Novafos besluttet, at serviceniveauet for regnvand på terræn skal fastlægges på hovedkloakoplandsniveau i kommunen. Kildeskovsrendens opland er blevet udpeget som første delopland i kommunen til at gennemgå denne analyse, da oplandet har problemer med stuvning til terræn og fire ud af de i alt ni risikoområder, der blev udpeget i kommunens klimatilpasningsplan, ligger i Kildeskovsrendens opland. Desuden er oplandet det næste område, som skal opgraderes iht. investeringsplanen i Spildevandsplan 2015-2018 [2]. Figur 2 viser et oversigtskort over Kildeskovsrendens opland med udpegede risikoområder og områder med oversvømmelsesproblemer.



**Figur 2** Oversigtskort over Kildeskovsrendens opland, som ligger i Gentofte Kommune. Kortet viser udpegede risikoområder samt områder med opstuvning ved en 100-års regnhændelse i dag.

Kildeskovsrendens opland strækker sig fra Bernstorffsparken og Gentofte Skole mod vest til Charlottenlund Fort og Annasvej mod øst. Området er ca. 590 ha med et befæstet areal på ca. 169 reducerede ha. Oplandet indeholder mange funktioner,

heriblandt to store parker, tre togstationer, kommunens rådhus, forskellige sportsklubber samt en håndfuld skoler og institutioner. Området er karakteriseret ved mange villaveje, lejlighedsbebyggelser og rækkehuse.

Oplandet afvander mod Øresund, hvor regn- og spildevand herefter løber mod Skovshoved Pumpestation i nordlig retning. Under kraftige regn er der mulighed for overløb langs Øresunds kyst. Oplandet er i dag fælleskloakeret, men skal i henhold til Spildevandsplan 2015-2018 separatkloakeres i perioden frem til 2055 [2].

Oplandet indeholder et bassin ved HIK samt tre bassinledninger ved henholdsvis Charlottenlund Skov, Bernstorffsrenden og Kildeskovsrenden. Kildeskovsrenden har den største kapacitet med sine 1,4 km og er dimensioneret til en 10-års regnhændelse i år 2100.

## **2.2 Projektets forløb**

### **2.2.1 Tidsperiode**

Projektet med at bestemme "Serviceniveau for regnvand på terræn for Kildeskovsrendens opland" udspringer af projektet "Masterplan for Kildeskovsrendens opland", som startede i maj 2016. Som en del af de indledende analyser skulle det besluttes, hvilket serviceniveau masterplanen skulle sikre til. På baggrund heraf blev opgaven med at bestemme serviceniveau for regnvand på terræn igangsat primo 2017.

Primo 2017 bliver metoden samt overordnede forudsætninger indledningsvis diskuteret og fastlagt primært i et samarbejde mellem Novafos og Rambøll, men også med inddragelse af Gentofte Kommune. Herefter påbegynder Rambøll arbejdet med at udvikle fire forskellige scenarier, herunder design og hydrauliske beregninger, som afsluttes ultimo 2017. På baggrund af scenarierne med dertilhørende oversvømmelsesudbredelseskort beregnes forventede omkostninger til anlæg, drift og reinvesteringer samt årlige skadesomkostninger, som samles i en samfundsøkonomisk analyse primo og medio 2018. Projektet afrapporteres primo 2019.

### **2.2.2 Politisk involvering**

Som en del af projektet har der været nedsat henholdsvis en følgegruppe og en teknisk følgegruppe. Begge grupper har bestået af medarbejdere ved Gentofte Kommune og Novafos, og fælles for grupperne har formålet været at løbende opdatere parterne om udviklingen i projektet samt opfordre til at kvalificere og give input til projektet for at gøre analysen så robust som muligt.

Følgegruppen har hovedsageligt bestået af ledelsen hos Novafos samt fra de forskellige forvaltninger i Gentofte Kommune. Det nærmere formål for følgegruppen har været at få deres hjælp til at løfte projektet videre i organisationerne, således at projektet forankres og kan godkendes politisk.

Den tekniske følgegruppe har bestået af relevante fagpersoner fra Novafos og Gentofte Kommune, som samlet set har repræsenteret alle relevante forvaltninger. Deres opgaver har hovedsageligt været at komme med faglige input, herunder bidrage med deres kendskab til området samt diverse politiske og geografiske rammer, som scenarierne skal overholde. Derudover har de også haft en væsentlig rolle i at sikre forankringen i Gentofte Kommune ved at bære konkrete emner og udfordringer videre i egen organisation.

Fra projektets start frem til bestemmelse af serviceniveau er der afholdt orienteringsmøder ca. hver 3. måned, hvor begge grupper er blevet opdateret på projektets forløb og inddraget i kritiske beslutninger. I starten af projektforløbet blev der eksempelvis afholdt en workshop, hvor Rambøll præsenterede en screening af Kildeskovsrendens opland med potentielle områder velegnet til implementering af skybrudstiltag (blågrønne løsninger). På workshoppen deltog den tekniske følgegruppe, hvis rolle var at kvalificere og kommentere planen ud fra viden om området samt udpege eventuelle barrierer. På det efterfølgende orienteringsmøde med følgegruppen og den tekniske følgegruppe blev de væsentligste konklusioner fra workshoppen opsummeret, og alle parter fik mulighed for at kommentere eller komme med andre gode ideer. Dette kommenterede udkast blev efterfølgende til en potentialeplan, som lå til grund for de efterfølgende scenarier (se Afsnit 3).

Formålet med denne proces har været at gøre scenarierne mere valide og dermed mere berettigede hos både Novafos og Gentofte Kommune.

### 2.2.3 Referencepersoner

Som en del af projektet har der været tilkøbt fire uvildige referencepersoner. Formålet med at tilknytte referencepersoner var, at projektet i et vist omfang præges og gennemgås af uvildige parter, hvilket gør projektet mere robust og afsætteligt.

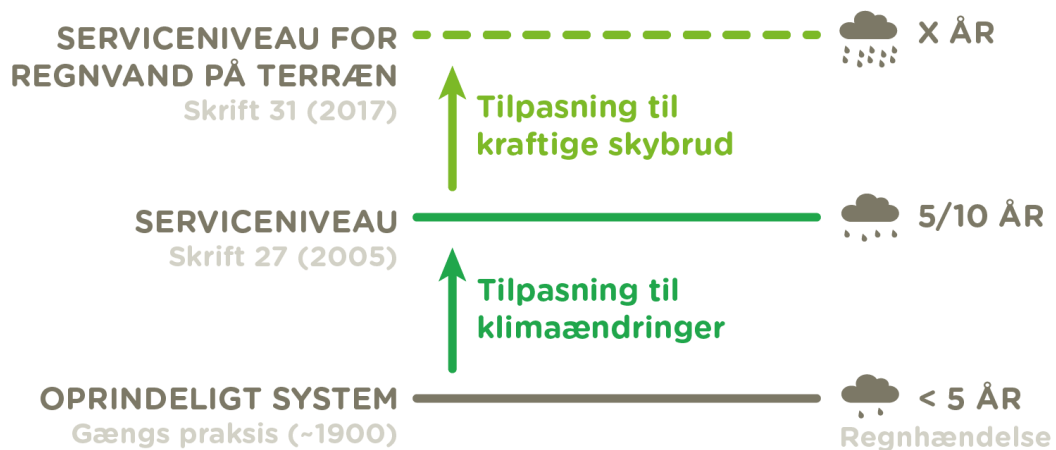
Referencepersoner er udvalgt og sammensat ud fra de fagområder, som indgår i beregningen af serviceniveau, således at de udvalgte referencepersoner alle er fagligt stærkt forankret i deres respektive fagområde.

- Masterplanlægning: Jes Clauson-Kaas, Chefkonsulent, HOFOR
- Anlægsomkostninger: Rasmus Rasmussen, Afdelingsleder, NCC
- Risikokortlægning: Karsten Arnbjerg-Nielsen, Professor, DTU
- Økonomiske analyser: Jan Bentzen, Forsker, Århus Universitet og Karsten Arnbjerg-Nielsen, Professor, DTU

I projektets opstartsfasen blev der afholdt et opstartsmøde med referencepersonerne, hvor de blev introduceret til opgaven og deres rolle, og de fik mulighed for at komme med input til processen. Efterfølgende har der løbende været dialog mellem Rambøll og referencepersoner, og møder har været afholdt efter behov. Under de respektive afsnit afdækkes det, hvormed referencepersonerne har bidraget til udviklingen af projektet. Udover at bidrage med input til særlige fagområder har Karsten Arnbjerg-Nielsen også deltaget i den generelle kvalitetssikring af projektet og har bidraget med kommentarer på flere udkast af denne rapport.

## 2.3 Skrift 31

Skrift 31 "Metoder til bestemmelse af serviceniveau for regnvand på terræn" blev udgivet af Spildevandskomiteen i september 2017. Skriftet fastholder anbefalingerne i Skrift 27 omkring opstuvning i ledningssystemerne, men supplerer med metoder til fastlæggelse af serviceniveau for regnvand på terræn. Serviceniveau for regnvand på terræn er et mål for, hvor ofte der må stå skadevoldende vand på terræn under kraftige regnskyl, og er dermed et udtryk for den service, borgere kan forvente, at forsyningsselskaber og kommuner sikrer kommunen til. Det er en form for ekstra lag til serviceniveauet for afløbssystemer, som mange kommuner og forsyningsselskaber allerede arbejder på at opfylde jf. Skrift 27 (se Figur 3).



**Figur 3** Skrift 31 tilføjer et ekstra lag til den service, som kommuner og forsyningselskaber allerede sigter mod at yde jf. Skrift 27.

Regnvand på terræn er i denne forbindelse defineret som regn- og spildevand, der opstøver til terræn som følge af kraftig regn og henviser dermed ikke til vand på terræn som følge af oversvømmelser fra kyst eller vandløb. I denne rapport vil begrebet serviceniveau altid henvise til serviceniveauet for regnvand på terræn, med mindre andet er angivet.

Det er værd at bemærke at opjusteringen til Skrift 31 ikke forudsætter, at Skrift 27 er implementeret. Tværtimod kan der være ressourcer at spare, såfremt tilpasningen sker i ét skridt frem for to.

Serviceniveauet findes ved at se på, hvad det vil koste at sikre et område til forskellige niveauer, som er direkte relaterede til forskellige gentagelsesperioder og sammenholde omkostningerne heraf med, hvad man sparer på grund af færre årlige skadesomkostninger og eventuelle opståede merværdier som følge af blågrøn klimatilpasning i en samfundsøkonomisk analyse.

En samfundsøkonomisk analyse har fokus på samfundet som helhed. I analysen er der således ikke fokus på, hvem der skal betale anlægsomkostninger og de løbende driftsudgifter, samt hvem gevinsterne ved en klimatilpasning tilfalder.

I Gentofte Kommune er det blevet besluttet, at serviceniveauet skal fastlægges på deloplandsniveau, som i denne sammenhæng defineres som et hovedkloakopland, der hydraulisk set hænger sammen. Det betyder, at den samfundsøkonomiske analyse inkluderer alle omkostninger og gevinster inden for et delopland.

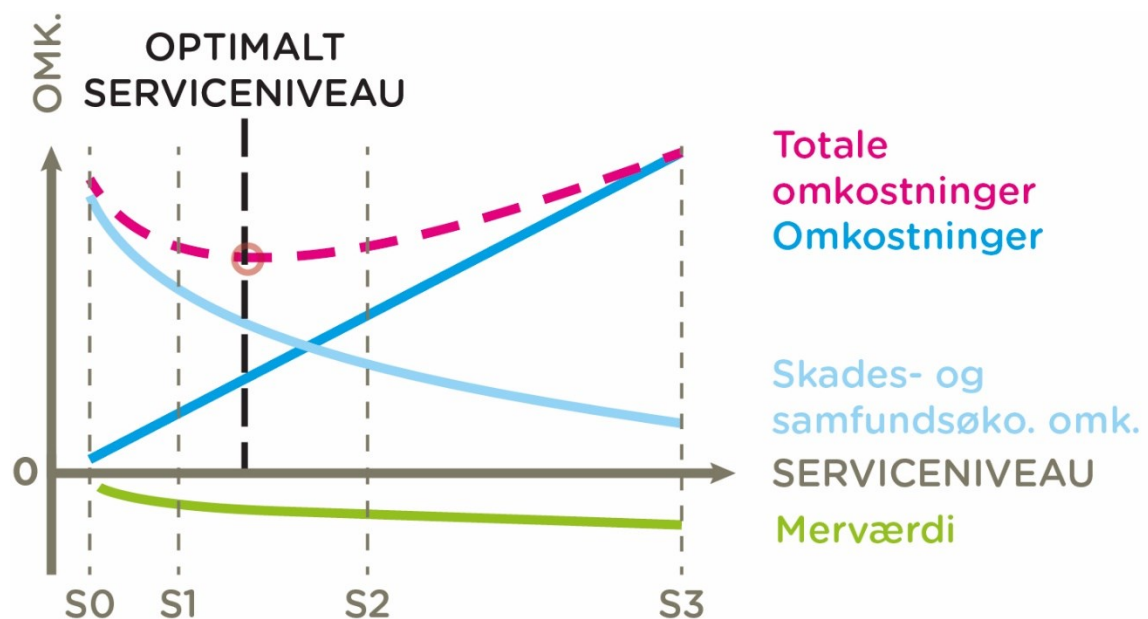
Optimalt set bør der testes for så mange niveauer som muligt, men da det er en meget tidskrævende proces at designe scenarier, teste dem via hydrauliske modeller, udregne forventede årlige skadesomkostninger etc., er det ikke finansierbart at teste for utallige niveauer.

For at bestemme det optimale serviceniveau for Kildeskovsrendens opland udarbejdes fire overordnede scenarier med løsninger (S0, S1, S2 og S3), der sikrer til fire forskellige gentagelsesperioder, som er fremskrevet til forventede klimaforhold om 100 år (år 2117). De fire scenarier kvantificeres i form af omkostninger til tiltag (som

dækker anlægs-, driftsomkostninger og reinvesteringer) og forventede årlige skadesomkostninger og samfundsøkonomiske tab (fx bygningsskader og omkostninger til genhusning og trafikforsinkelser).

Merværdierne, der opstår ved blågrøn klimatilpasning (fx øget tryghed, mindre sygdom, flere rekreative muligheder etc.), kan i henhold til Skrift 31 medtages i analysen, såfremt de kan prissættes. Jf. Skrift 31 er det derfor ikke et krav for analysen, at merværdier medtages, men en mulighed (fremgår af Figur 1 og beskrives nærmere i Afsnit 7). Til denne analyse er der foretaget en prissætning af merværdier, men som allerede beskrevet i Afsnit 1, indeholder resultaterne i rapporten ikke merværdier (resultater med merværdier kan i stedet findes i bilag).

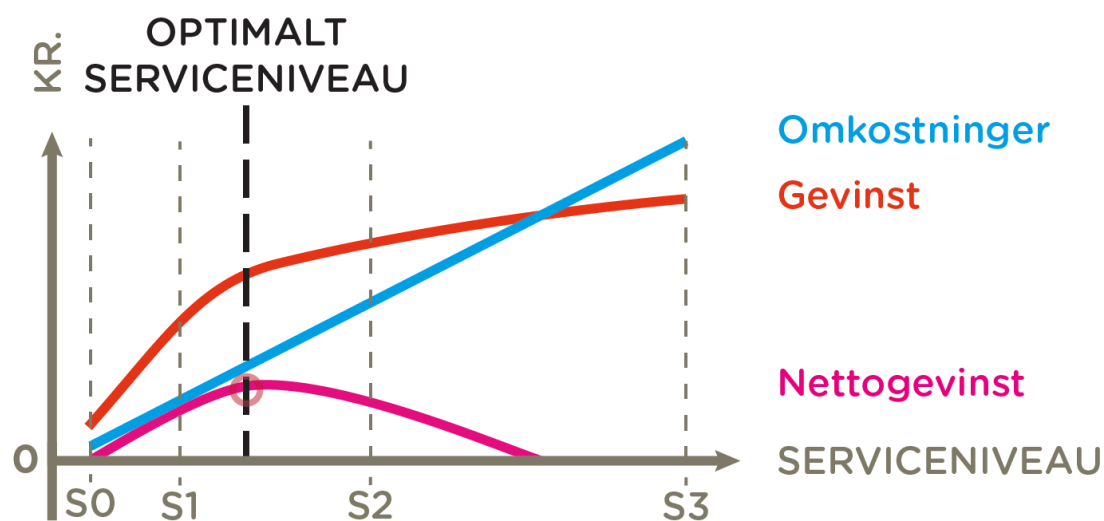
Omkostninger til tiltag vil typisk stige ved højere serviceniveauer, da højere service kræver flere og muligvis også større tiltag. Skades- og samfundsøkonomiske omkostninger vil derimod falde, da et højere serviceniveau vil mindske risikoen for skader. Det forventes, at skades- og samfundsøkonomiske omkostninger vil aftage eksponentielt og aldrig gå i nul, da der altid vil være en risiko for skader uanset serviceniveau. Merværdier forventes at følge en logaritmisk udvikling, idet merværdier typisk afhænger af borgeres personlige oplevelse, og borgere vil opleve en større værdi i, at servicen øges fra fx en 5-års regnhændelse til en 20-års regnhændelse, end at øge servicen fra en 85-års regnhændelse til en 100-års regnhændelse. Alle poster kan samles i en graf over omkostninger, hvor merværdier betragtes som en negativ omkostning. Der, hvor de totale omkostninger er lavest, findes det optimale serviceniveau jf. Skrift 31 (se teoretisk eksempel i Figur 4).



**Figur 4** Det optimale serviceniveau findes, hvor de totale omkostninger, bestående af omkostninger til anlæg, drift og reinvesteringer samt skades- og samfundsøkonomiske omkostninger, er på et minimum. Merværdier er en option, der kan inkluderes, såfremt de kan prissættes.

Alternativt til ovenstående graf kan det være fordelagtigt at undersøge spændet, hvori gevinsterne ved et scenarie er større end omkostningerne. Forskellen mellem gevinster og omkostninger benævnes nettogevinst og ved at undersøge nettogevinstkurven, kan man udover at vise det optimale serviceniveau for regnvand på terræn i

kurvens toppunkt også vise spændet af serviceniveauer, hvori klimatilpasning giver en positiv gevinst for samfundet (se Figur 5).



**Figur 5** Ved at undersøge de sparede, årlige skades- og samfundsøkonomiske omkostninger samt evt. merværdier ved klimatilpasning kan gevinsterne udregnes. Ved at sammenligne disse med omkostninger til tiltag kan nettogevinstkurven vise ved hvilke niveauer et projekt giver gevinst for samfundet.

Nettogevinstkurven genereres ved at undersøge nettogevinsten ved flere scenarier og interpolere imellem scenarierne. Ved denne analyse er det udover omkostninger til anlæg og skades- og samfundsøkonomiske omkostninger derfor også nødvendigt at udregne de sparede, årlige skades- og samfundsøkonomiske omkostninger i forhold til basisscenariet, idet sparede skades- og samfundsøkonomiske omkostninger i denne analyse ansues som en gevinst ved klimatilpasning, som stiger ved højere serviceniveauer, og ikke en omkostning, som falder ved højere serviceniveauer. Ved at trække skades- og samfundsøkonomiske omkostninger for henholdsvis S0, S1, S2 og S3 fra skades- og samfundsøkonomiske omkostninger for status kan man udregne gevinsten ved klimatilpasning.

Nettogevinstkurven giver som beskrevet samme information som Figur 4, men den viser udover det optimale serviceniveau også, ved hvilke serviceniveauer et projekt giver en gevinst for samfundet. Grafen kan fx vise, at man for lidt ekstra investeringer muligvis kan berettige at klimatilpasse til et serviceniveau, der ligger flere år over optimum og dermed yde en højere service for borgerne uden en markant større økonomisk udgift.

## 2.4 Risiko

Risiko kan illustreres og tolkes på mange måder, men defineres som resultatet af sandsynligheden for en konkret fare og graden af eksponering samt områdets sårbarhed. Sandsynlighed angiver, hvor ofte faren (her: oversvømmelse) sker, mens graden af eksponering henviser til udbredelsen af faren. Sårbarhed hentyder til, hvor følsomt et område eller en værdi er. Fx vil et gammelt træhus, alt andet lige, være mere sårbart end en helt ny murstensbygning i samme lokation.

Risiko kan bl.a. udtrykkes ved et enkelt tal som den forventede årlige skadesomkostning (forkortet EAD fra engelsk: Expected Annual Damages). Det kan dog også illustreres geografisk ved en risikokortlægning, der viser den geografiske fordeling af forventede årlige skadesomkostninger i oplandet og identificerer områder med stor indflydelse på EAD (dvs. høj risiko). Risikokortlægning er baseret på værdikort samt flere hydrauliske oversvømmelsesudbredelseskort (se Figur 6).

Det er vigtigt at bemærke, at omkostninger til anlæg og drift af tilpasningstiltag ikke er en del af EAD-beregningen, der alene beskriver skadesomkostninger.

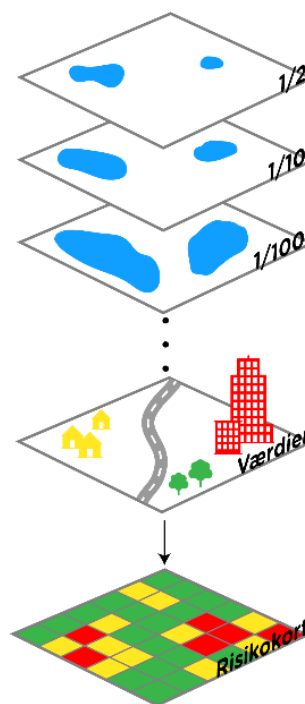
Beregningen af EAD foretages i praksis ved, at man for en række sandsynligheder (gentagelsesperioder) udregner skadernes udbredelse i oplandet ( $D$ ) og dernæst integrerer op over både oplandets areal ( $A$ ) og alle sandsynligheder ( $p$ ):

$$EAD = \int_A \int_p D(p) dp dA$$

## 2.5 Udvalgelse af scenarier

I Gentofte Kommune udvælges fire scenarier for at fastlægge det optimale serviceniveau. Da der i Tillæg 2 til Kommuneplan 2013 [3] er defineret et langsigtet mål om at sikre til en 100-års regn, er en 100-års regnhændelse valgt som et øvre loft for klimatilpasning.

Udover 100-års regnhændelsen, vælges yderligere to punkter, hvori der skal beregnes omkostninger over tid. Det besluttedes at undersøge omkostningerne ved en 20-års regnhændelse samt en 50-års regnhændelse i 2117. Idet denne øvelse er baseret på forholdsvis ny praksis, har der ved projektets start ikke været en klar indikation af, hvor det optimale serviceniveau vil lande. Af denne årsag er udvælgelsen først og fremmest udført ud fra at få spredt gentagelsesperioderne nogenlunde ligeligt. Dog har indledende betragtninger samt enkelte erfaringer fra andre projekter givet en indikation af, at det optimale serviceniveau i højere grad vil lande under 50 år frem for



Figur 6 Risiko er resultatet af sandsynligheden og eksponeringen af en hændelse samt områdets sårbarhed.

over. Af denne årsag er der udvalgt flere hændelser under 50 år end over. Som analysen har skredet frem og de første resultater har foreligget, var der en indikation af, at det samfundsøkonomiske optimum ville ligge lige omkring eller under 20 år. På baggrund af dette blev der tilføjet et nyt niveau, nemlig dimensionering til skrift 27.

Punkterne benævnes S0 (dimensionering til Skrift 27), S1 (dimensionering til en 20-års regn), S2 (dimensionering til en 50-års regn) og S3 (dimensionering til en 100-års regn).

Fra projektets start forventes det, at regnvandsledningerne under terræn vil øges i diameter fra S1 til S3 (S0 vil være lidt større end S1, idet regnvandet ikke håndteres på terræn i S0), men at dimensionen ikke øges lineært, da det forventes, at de øgede vandmængder kan håndteres i terræn eller ved terrænnære forsinkelselementer, og at det hovedsageligt vil være disse som øges ved at gå fra S1 til S3. Figur 7 angiver et forsimplet overblik over scenariernes forventede udtryk.



**Figur 7** I analysen undersøges omkostninger og gevinster for fire scenarier: S0, S1, S2 og S3. I takt med et højere serviceniveau vil det underjordiske system blive udvidet, og der vil sandsynligvis være behov for flere grønne forsinkelsesarealer.

## **2.6 Tidshorisont**

I denne analyse udregnes flere økonomiske poster, som vil variere over tid, bl.a. anlægs- og driftsudgifter samt reinvesteringer af infrastruktur. Forventede årlige skadesomkostninger (EAD) vil også variere, da sandsynlighederne for regnhændelser ændres over tid grundet fremtidig regnudvikling (udtrykt ved klimafaktorer). For at tage højde for disse variationer fastlægges der en tidshorisont for den samfundsøkonomiske analyse i dette projekt. Tidshorisonten sættes til 100 år, da nogle af scenariernes traditionelle kloakprojekter forventes at have en levetid på op til 100 år. Således omsættes de totale omkostninger for hvert scenarie til årlige omkostninger, som summeres over de kommende 100 år.

Da anlægsfasen forventes at være kortere (ca. 15 år), vil der være en længere periode, hvor borgere i Kildeskovsrendens opland vil være sikret til et højere niveau, der gradvist vil falde med årene indtil 2117. Eksempelvis svarer en 50-års regn i 2117 nogenlunde til en 90-års regn i 2067 og en 220-års regn i dag (2017). Dette er yderligere beskrevet i Bilag 1.1.

## **2.7 Opsamling**

I dette kapitel er udvælgelsen af scenarier beskrevet samt tidshorisonten, som skal anvendes i analysen. Der er udvalgt fire scenarier (S0, S1, S2 og S3), som alle skal designes til klimatiske forhold i 2117 (se Kapitel 3 for mere information om scenarierne). Det er yderligere fastlagt, at de samfundsøkonomiske beregninger skal løbe fra 2017 til 2117 (se Kapitel 8 for mere information om disse).

## 3. SCENARIER



Dette kapitel gennemgår diverse forudsætninger og valg, der er truffet forud for design af scenarierne. Herunder beskrives også analysekataloget, der blev udarbejdet som udgangspunkt for potentialeplanen. Potentialeplanen fastlagde mulighederne for håndtering af regnvand i oplandet og i forbindelse med denne blev der designet flere typologier, der fungerer som værktøj for håndtering af regnvand. Typologierne beskrives ligeledes i dette kapitel.

S0 er en traditionel separatkloakering i rør jf. Skrift 27 med hensyn til vejvand, som ikke kræver transport eller forsinkelse af regnvand i terræn, derfor vil dette scenarie ikke blive beskrevet i dette afsnit. Kun S1, S2 og S3, som tager udgangspunkt i potentialeplanen, beskrives nærmere.

### 3.1 Hovedgreb

Som beskrevet i Afsnit 2.2.2 har der været nedsat en følgegruppe og teknisk følgegruppe til blandt andet at kvalificere, hvilket løsningsråderrum projektet kan bevæge sig under, hvilket også er gældende for de nedenstående afsnit.

#### 3.1.1 Arealanvendelse

Det generelle udgangspunkt har været, at alle offentlige veje og offentlige arealer såsom parker, parkeringspladser, skoler med mere kan anvendes til forsinkelse eller transport af regnvand. Dog har oplandets karakter (høj bebyggelsesgrad, kuperet terræn og infrastrukturelle barrierer) begrænset etableringen af overfladebaserede løsninger.

Desuden har der været yderligere restriktioner i forhold til arealanvendelse for scenarierne. Det har blandt andet ikke været en mulighed at anvende ekspropriering eller andre metoder til at ændre anvendelsen af sårbare områder som værktøj for at mindske skadesomfanget. Ligeledes har der været ønske om, at antallet af parkeringspladser bibeholdes eller kun i nogen grad nedskaleres.

Desuden har der været ønske om, at byrummet og funktionen af byrummet ikke må ændre for meget udtryk, hvilket vil sige, at der ikke i samme grad kan arbejdes meget med løsninger i terræn, men i højere grad kræves mere terrænnære løsninger under terræn. Et eksempel på dette er de grønne veje, hvor der arbejdes med at placere mest muligt regnvand i underjordiske kassettebassiner i stedet for åbne render, eller at en parkeringsplads ikke kan sænkes til større dybde, men at volumen i stedet skabes lige under parkeringspladsen.

Arealernes rådighedsrum har derfor ikke været helt frit i forbindelse med øvelsen. Dette har været en udfordring, da det inden for oplandets grænser har været vanskeligt at finde arealer, grønne eller grå, hvor regnvand kan forsinkes.

#### 3.1.2 Koncept og strategi

Det overordnede koncept i løsningerne for Kildeskovsrendens opland er, at så meget regnvand som muligt forsinkes opstrøms, således at man undgår oversvømmelser nedstrøms. Strategien for udarbejdelse af løsningerne til håndtering af regnvand bygger i høj grad på at respektere og bruge det eksisterende terræn og de naturlige

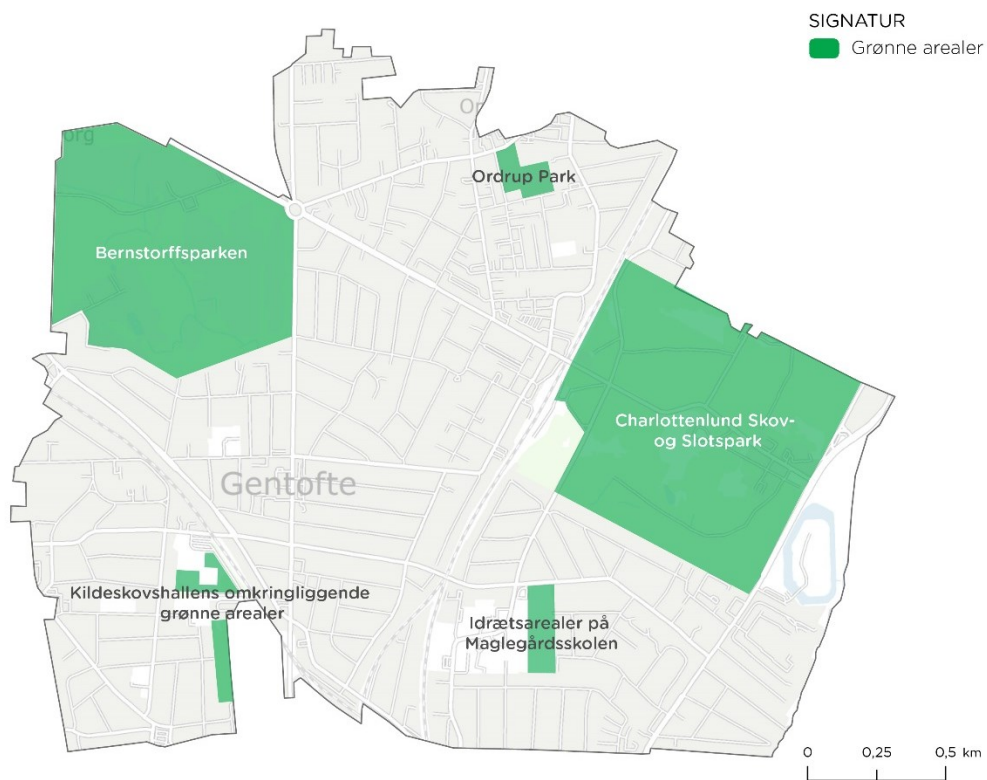
vandveje. Således vil afstrømmende vand ofte løbe og samles i områder, som tidligere har været vandløb eller eksempelvis vådområder. Hvor det naturlige terræn er en hindring, suppleres terrænløsningerne med et underjordisk regnvandssystem. Det er desuden højt prioriteret at skabe forbindelser fra de lavtliggende områder til recipienten Øresund, så der ved skybrudshændelser ikke forekommer oversvømmelser i oplandet. Således højnes også badevandskvaliteten i Øresund, fordi risikoen for overløb mindskes, når regnvandet tilbageholdes og adskilles fra kloaksystemet. Derudover bemærkes:

- Løsningerne skal bestå af et netværk af primært (men ikke udelukkende) blå-grønne løsninger, som forsinker og transporterer regnvand på samme vis som et traditionelt kloaksystem.
- Netværket er en integreret del af og et supplement til det eksisterende kloaksystem.
- Løsningerne skal designes ud fra en holistisk tankegang. De skal leve op til kravene om håndtering af regnvand, men skal også give byen multifunktionelle løsninger, således at der også skabes værdi i perioder uden regn.
- Tiltag skal være bygbare med begrænsede driftsomkostninger.
- Løsningerne skal designes således, at anbefalingerne fra Skrift 27 følges med hensyn til stuvning til terræn for fælles- og separate systemer samt overholdelse af strategien fra Gentoftes Spildevandsplan med hensyn til separering af vejvand.

### 3.2 Analyse-katalog

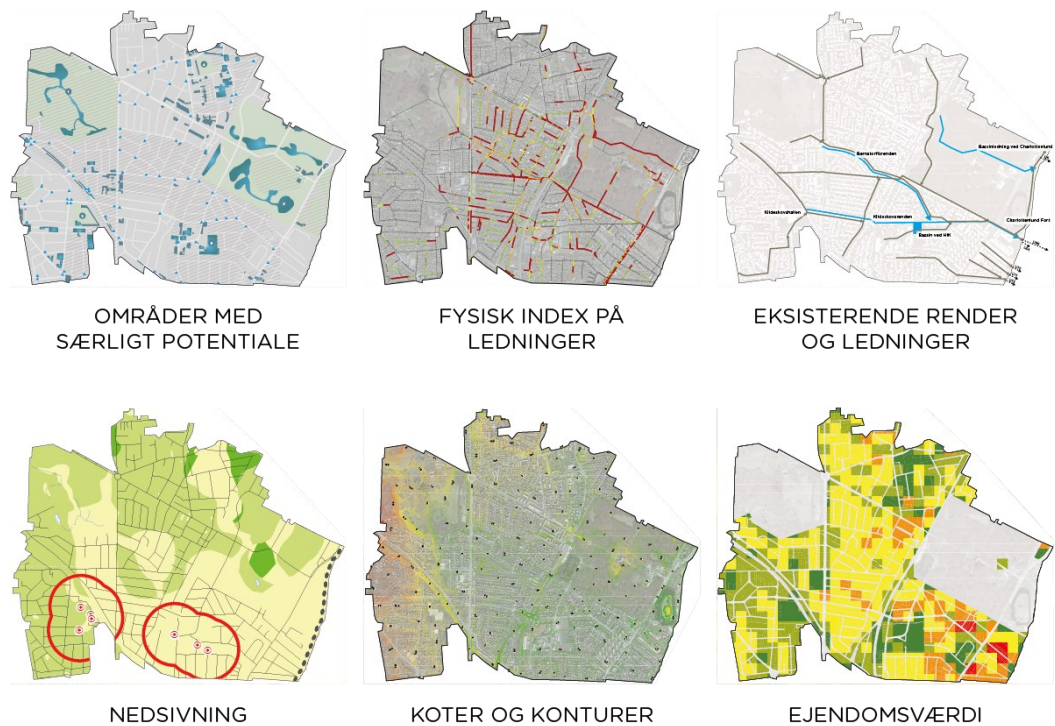
Som indledning til projektet "Masterplan for Kildeskovsrendens opland" blev der opstillet et analysekatalog, der har samlet en række informationer og analyser, som efterfølgende også har været udgangspunkt for udarbejdelse af scenarierne for service-niveau på regnvand på terræn [4]. I kataloget kortlægges oplandets landskab- og funktionelle muligheder og begrænsninger. Nedenstående er de vigtigste fund og forudsætninger:

- Nedsivning er generelt udelukket grundet højtstående grundvand. Underjordiske kassettebassiner skal derfor forsegles med membraner, således at forsinkelsesvolumenet ikke er i kontakt med grundvand.
- Terrænanalysen viser tre større terrænbarrierer i form af to banespor (en nord-vestgående og en nordsydgående) og en højderyg inden kysten (Strandvejen), der naturligt forhindrer vandet i at afstrømme til Øresund.
- De største grønne arealer er kortlagt, herunder Bernstorffsparken, Kildeskovshal-lens omkringliggende grønne arealer, Charlottenlund Skov- og Slotspark, Ordrup Park og Idrætsarealerne på Maglegårdsskolen (se Figur 8). Disse er arealer med særligt tilbageholdelsepotentiale, grundet placering, udformning og størrelse.
- Vejtyper, herunder information om bredde, udformning, terræn og trafikbelastning danner ramme for den videre udvikling af løsninger til oplandet.



**Figur 8** Oversigt over grønne arealer med tilbageholdelsespotentiale i Kildeskovsrendens opland

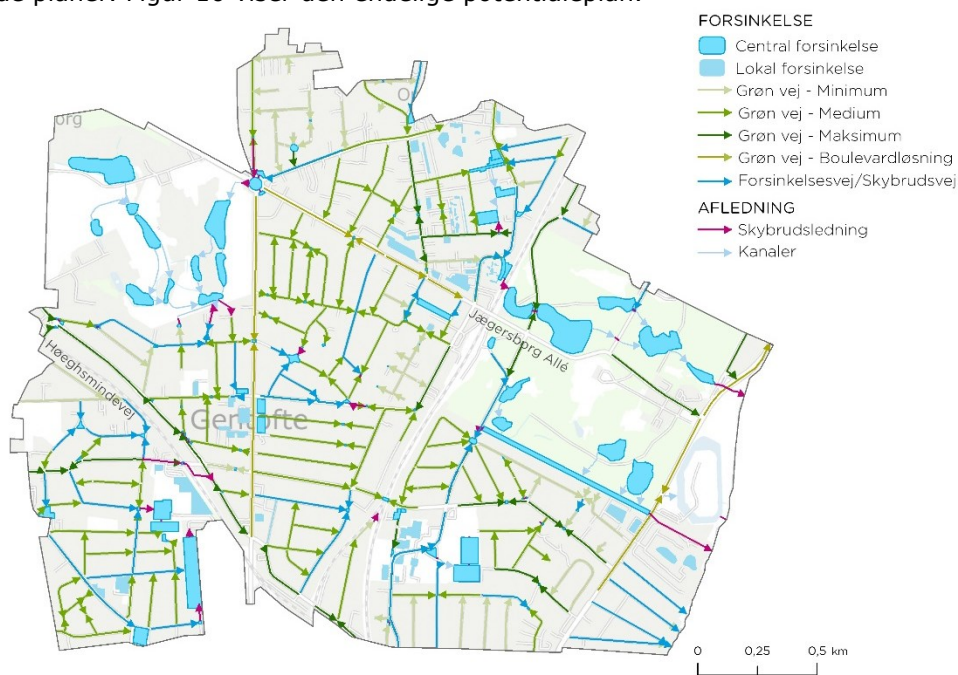
Figur 9 viser eksempler på GIS-analyser, der blev udført i forbindelse med analysekataloget.



**Figur 9** Eksempler på analyser, der blev udarbejdet i forbindelse med analysekataloget

### 3.3 Potentialeplanen

Potentialeplanen er grundlaget for de tre scenarier S1, S2 og S3 (S0 er en traditionel separatkloakering). Planen er resultat af en række informationer (se input nedenfor), der samlet set udpeger potentielle arealer til transport og forsinkelse af regnvand i overfladen. Efterfølgende er hydrauliske beregninger benyttet til at verificere de opstillede planer. Figur 10 viser den endelige potentialeplan.

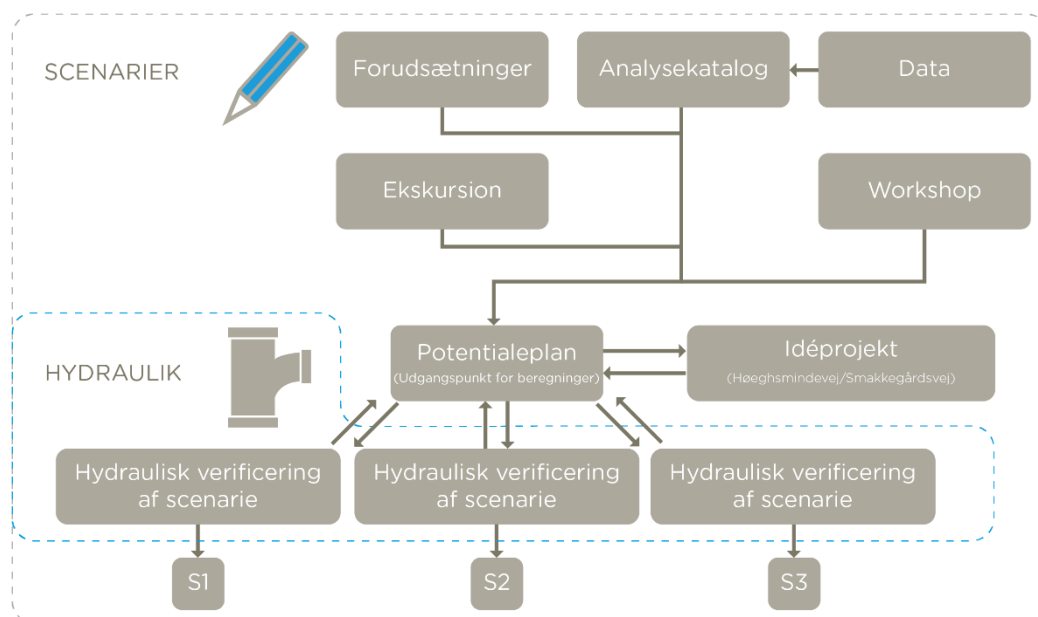


**Figur 10** Oversigtskort over den endelige potentialeplan. Forklaring af typologierne anvendt i potentialeplanen kan læses i Afsnit 3.4.

Input til potentialeplanen har været:

- Analyse-kataloget, indeholdende analyser af bl.a. terræn, byrum, trafik og landskab (se Figur 9)
- En workshop med følgegruppen og den tekniske følgegruppe (se Afsnit 2.2.2), der gav konkret og stedspecifik viden, samt feedback på potentialeplanen, mens den stadig var under udvikling
- En teknisk ekskursion med nøglepersoner, der blev grundlag for vidensdeling og diskussion om konkrete blågrønne løsninger.

Processen i udviklingen af den endelige potentialeplan kan ses i Figur 11.



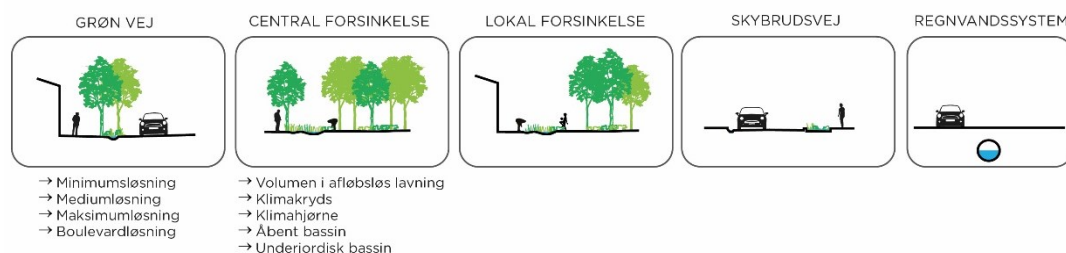
Figur 11 Skematisk oversigt over udviklingen af scenarierne S1, S2 og S3

Potentialeplanen har været basis for opsætning af de hydrauliske modeller. De hydrauliske modeller har efterfølgende verificeret i en iterativ proces, at de foreslåede tiltag i potentialeplanen hydraulisk kan lade sig gøre. Således har det været nødvendigt at sikre, at justeringer til både hydraulisk model og potentialeplan er blevet opdateret i begge værktøjer. Som resultat af potentialeplan og den efterfølgende hydrauliske verificering ses tre scenarier (S1, S2 og S3) for Kildeskovsrendens opland. Da S0 er en traditionel separatkloakering, er det ikke omfattet af samme proces, som illustreret i Figur 11.

Imens denne iterative proces har pågået, er der sideløbende udviklet et pilotprojekt for Smakkegårdsvej og Høeghsmindevej, to større veje i Kildeskovsrendens opland. Pilotprojektets formål er at skabe et idéprojekt for skybrudssikring på en større trafikvej, hvor trafiksikkerhed integreres med regnvandshåndtering [5]. Idéprojektet har på skitseniveau opstillet og afprøvet forskellige koncepter og idéer, som efterfølgende er indtænkt og indarbejdet i scenarierne (se Figur 11).

### 3.4 Typologier

For at kategorisere tiltag i Kildeskovsrendens opland er tiltagene blevet inddelt i fem typologier, nogle med hertil hørende underkategorier (se Figur 12).



Figur 12 Oversigt over typologier med tilhørende underkategorier

Typologierne tager udgangspunkt i oplandet, som bærer præg af mange og oftest brede villaveje med gode muligheder for begrønning og forsinkelse samt større grønne arealer med mulighed for underjordisk eller åben forsinkelse. Som tidligere nævnt har der været restriktioner i forhold til arealanvendelse (se Afsnit 3.1.1). Derfor har det kun været muligt at etablere nok volumen ved at kombinere overfladeløsninger med underjordiske løsninger. For at udnytte pladsen underjordisk bedst muligt etableres kassettebassiner (se beskrivelse i Bilag 2.1). Ved kassettebassiner fås det billigste forsinkelsesvolumen pr. m<sup>3</sup>, når det ikke er muligt at etablere større volumen i terræn.

Det er muligt at kombinere en eller flere af ovenstående løsninger. Beskrivelser af typologierne kan læses i Afsnit 3.4.1 til 3.4.5.

#### 3.4.1 Grøn vej

Grønne veje fungerer som forsinkelsesveje til regnvand og kan i samme proces også filtrere og rense regnvandet. Ofte ligger de opstrøms i oplandet, så vandet forsinkes, inden det når lokale dybdepunkter. Herfra ledes vejvandet fra overfladen til underliggende kassettebassiner.

Grønne veje er opdelt i følgende underkategorier:

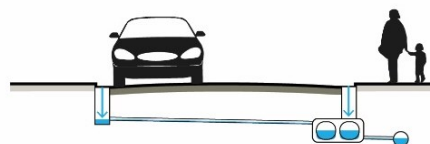
- Minimumsløsning
- Mediumløsning
- Maksimumløsning
- Boulevardløsning

Dette er baseret på vejens karakter, bredde og trafikbelastning og har betydning for omfanget af elementer og volumen, der kan etableres, som er nærmere beskrevet for de enkelte underkategorier i de følgende afsnit. I Bilag 2.2 kan der læses mere om rensning og forsinkelse i grønne veje.

##### 3.4.1.1 Minimumsløsning

Denne løsning foreslås på smalle veje, hvis fulde bredde er højst 10 m, og vejbredden samtidig er mindre end 6 m. Af trafikmæssige hensyn er det derfor ikke muligt at etablere regnbede. Visuelt forbliver vejen som ved de eksisterende forhold, og der etableres udelukkende en enkelt række kassetter under overfladen i den ene side af vejen til forsinkelse og transport af overfladevand. Selvom vejene ikke bliver synligt grønne, er underkategorien for enkelthedens skyld blevet placeret sammen med de andre vejtyper.

##### Minimumsløsning



Figur 13 Illustration af minimumsløsning

#### 3.4.1.2 Mediumløsning

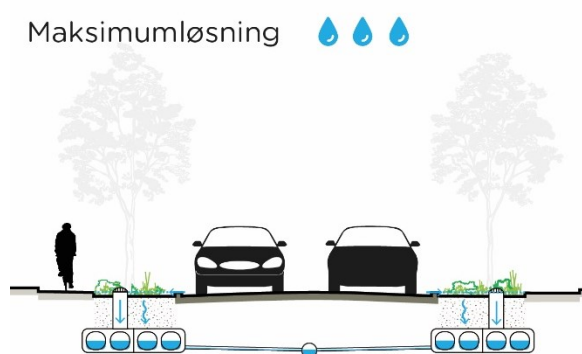
Disse veje er 10-13 m i fuld bredde, har en vejbredde på 7-8 m og er oftest villaveje. Grundet vejens bredde etableres kun regnbede i én side af vejen. Underjordisk anlægges der to rækker kassetter.



Figur 14 Illustration af mediumløsning

#### 3.4.1.3 Maksimumløsning

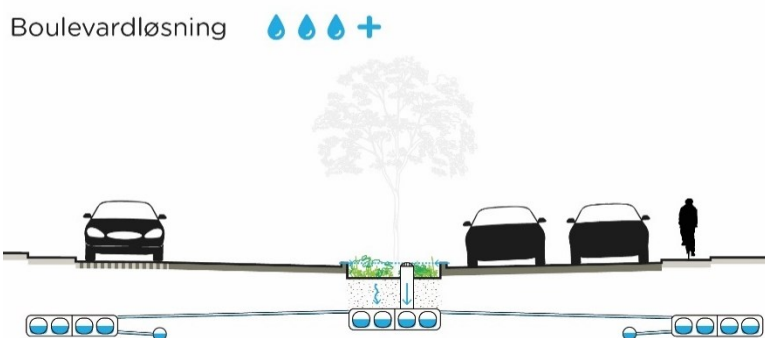
Etableres på veje, hvor den fulde bredde er 13-19 m, og vejbredden er 9-15 m. Der er her enten tale om brede villaveje eller hovedveje. Her er der plads til regnbede i begge sider af vejen samt underliggende kassetter, således at der kan indlægges to rækker kassetter i hver side af vejen.



Figur 15 Illustration af maksimumløsning

#### 3.4.1.4 Boulevardløsning

Vejens fulde bredde er her mindst 19 m, og vejbredden er 9-15 m, dette giver plads til seks rækker kassettebassiner. Derudover vil et sænket græsbælte (0,3 m x 2 m) samt træ-rækker, der understøtter de eksisterende smukke vejforløb, som findes i Gentofte Kommune, kunne etableres.



Figur 16 Illustration af boulevardløsning

#### 3.4.2 Central forsinkelse

Denne typologi dækker arealer, hvor der kan etableres volumen enten overjordisk ved terrænændringer eller underjordisk ved at anvende kassetter. Disse arealer er

typisk pladser eller parker, hvor der er plads til at etablere volumen, således at regnvandet kan forsinkes, inden det ledes til afløb. På de fleste af disse arealer vil det være nødvendigt at regulere terræn og befæstelsesgrad, som kan kombineres med et løft af stedernes rekreative potentiale.

Centrale forsinkelsesarealer er opdelt i følgende underkategorier:

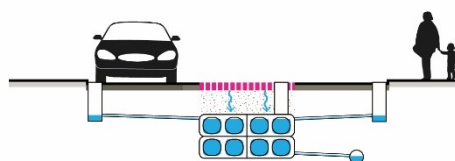
- Volumen i afløbsløs lavning
- Klimakryds
- Klimahjørne
- Åbnet bassin
- Underjordisk bassin

Arealerne er opdelt afhængig af lokation og pladsmuligheder, da dette har betydning for omfanget af elementer og volumen, der kan etableres. Underkategorierne er nærmere beskrevet i de følgende afsnit.

#### 3.4.2.1 Volumen i afløbsløs lavning

Anlægges i lokale dybdepunkter, hvor vandet af terrænmæssige årsager ikke har mulighed for at blive bortledt. Der anlægges en rist, der leder vandet fra vejoverfladen til kassetter. Risten kan være kreativt udformet, så der kan skabes identitet og oplysning om klimatilpasning i Gentofte Kommune.

Volumen i afløbsløs lavning 

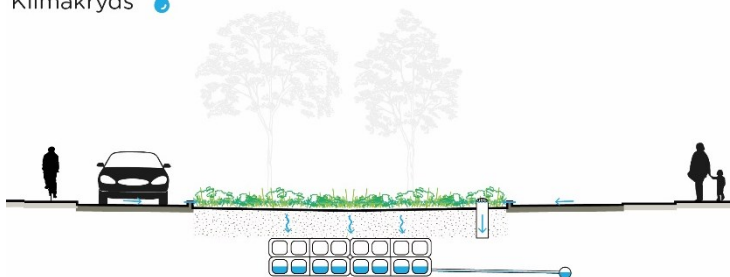


Figur 17 Illustration af volumen i afløbsløs lavning

#### 3.4.2.2 Klimakryds

Klimakryds anlægges i mindre vej-kryds uden lyssignal, hvor der er overskydende plads til en mindre trafikale omlægning; enten en rundkørsel eller indsnævring af de eksisterende veje. Således er det muligt at forbedre trafikikkerheden, samt etablere volumen. Arealet beplantes og der etableres underliggende kassettebassiner i

Klimakryds 

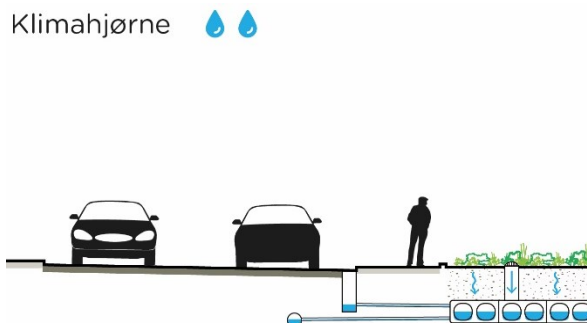


Figur 18 Illustration af klimakryds

to lag på 40% af klimakrydsets overfladeareal.

#### 3.4.2.3 Klimahjørne

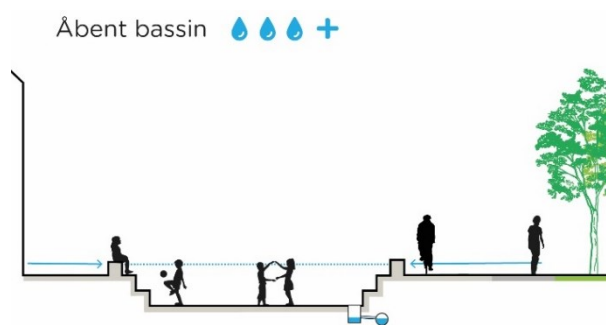
Klimahjørner vil typisk ligne regnbede, men er større og etableres på større befæstede oversigtsarealer, som er friholdte arealer, der ligger ved overkørsler og mindre villavejskryds, der skal sikre overblik ved udkørsel. Klimahjørnerne anlægges med underjordiske kassetter, og der etableres kun lav beplantning grundet trafik-sikkerhed. Klimahjørnerne fungerer som lokal forsinkelse til regnvand, inden vandet ledes videre til regnvandssystemet.



Figur 19 Illustration af Klimahjørne

#### 3.4.2.4 Åbent bassin

Åbne bassiner anlægges, hvor der foreligger potentiale til at forsinke større vandvolumener. Vandet er afstrømmende regnvand fra fx skybrudsveje. Generelt kan det typisk implementeres ved at sænke eller på anden vis omprofilere områder som parkeringspladser, parker, legepladser samt andre åbne områder.

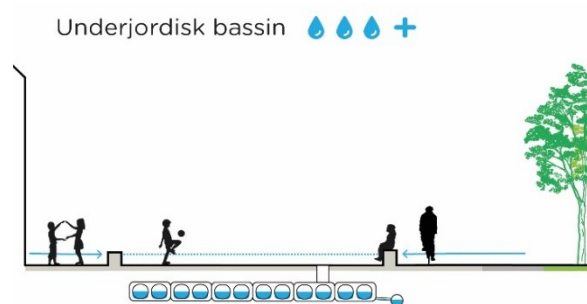


Figur 20 Illustration af åbent bassin

På denne måde kan der skabes multifunktionelle byrum, der både giver rekreativ værdi og håndterer regnvand. Ofte vil fokus være på opstrøms arealer i oplandet for at afhjælpe eventuelle flaskehalse i områder nedstrøms.

#### 3.4.2.5 Underjordisk bassin

Bassinerne ændrer ikke bybilledet, men skaber underjordisk plads til regnvand i kassetter. Det kan fx være under parkeringspladser, i parker eller andre ikke trafikalt belastede områder. Bassinerne fungerer som lokal forsinkelse af regnvand, inden det ledes videre til regnvandssystemet.



Figur 21 Illustration af underjordisk bassin

### 3.4.3 Lokal forsinkelse

Lokal forsinkelse er udpegede arealer, hvor det vurderes, at det som udgangspunkt er muligt at forsinke en hverdagsregn inden for matrikelgrænsen, typisk meget lokalt. Typologien er primært benyttet til større private, semiprivate eller offentlige arealer (herunder fx Gentofte Rådhus), hvor der kun er én grundejer, og hvor der plads- og terrænmæssigt er mulighed for forsinkelse af regnvand evt. i forbindelse med forskønnelse.

### LOKAL FORSINKELSE



Figur 22 Illustration af lokal forsinkelse

### 3.4.4 Skybrudsvej

Skybrudsvejes primære funktion er at transportere skybrudsvand på overfladen til centrale forsinkelsesarealer. En skybrudsvej er som udgangspunkt også en grøn vej. Dog udpeges der skybrudsveje på vejarealer med stor hældning, som bevirker, at det underjordiske volumen ikke kan udnyttes 100%. Der etableres derfor regnbede uden underjordisk volumen, der kan forsinke og rense en hverdagsregn, hvorefter vandet ledes til regnvandsystemet. Overstiger hændelsen en hverdagsregn, løber vandet på vejoverfladen.

### SKYBRUDSVEJ



Figur 23 Illustration af skybrudsvej

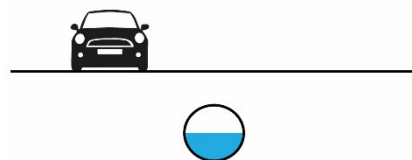
Skybrudsvejene udpeges også grundet en umiddelbar nærhed til centrale forsinkelsesarealer, hvor den overskydende mængde vand afledes til.

Skybrudsveje er kun i brug ved regn, der overstiger en 5-års regnhændelse.

### 3.4.5 Regnvandssystem

Der bliver etableret et separat regnvandssystem til at afvande de grønne elementer, regnbede, kassettebassiner samt andre skybrudstiltag. Dette opfylder samtidigt kommunens krav om et separat regnvandssystem, som overholder kravene til serviceniveau iht. Skrift 27.

### REGNVANDSSYSTEM



Figur 24 Illustration af regnvandssystem

Ledningerne bliver så vidt muligt dimensioneret så små som muligt ved at benytte de etablerede forsinkelsesvolumener maksimalt. Længst opstrøms i oplandet forventes det, at et separat ledningssystem kan udelades, da regnvandet kan forsinkes og transporteres i kassettebassinerne.

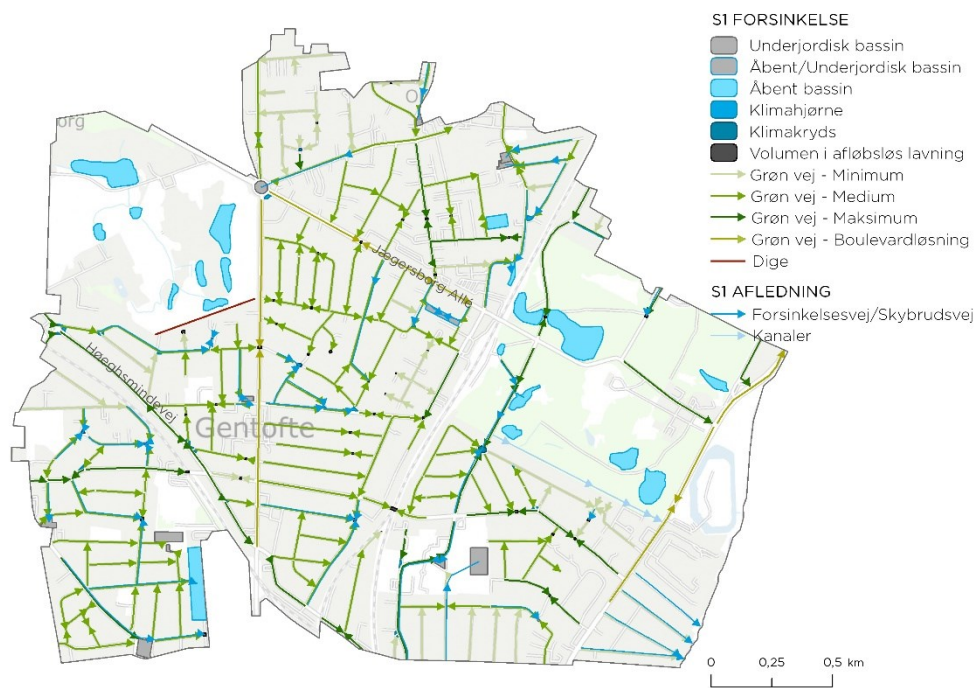
## 3.5 Referenceperson

I forhold til opstilling af scenarierne i projektet har Jes Clauson-Kaas, chefkonsulent for HOFOR, været benyttet som referenceperson, som beskrevet i Afsnit 2.2.3. Succeskriterier, metodik, problemstillinger og hydrauliske beregninger er blevet diskuteret med ham. Overordnet set var det Jes' holdning, at metodik og fremgangsmåde i forhold til opbygning af scenarierne var valid.

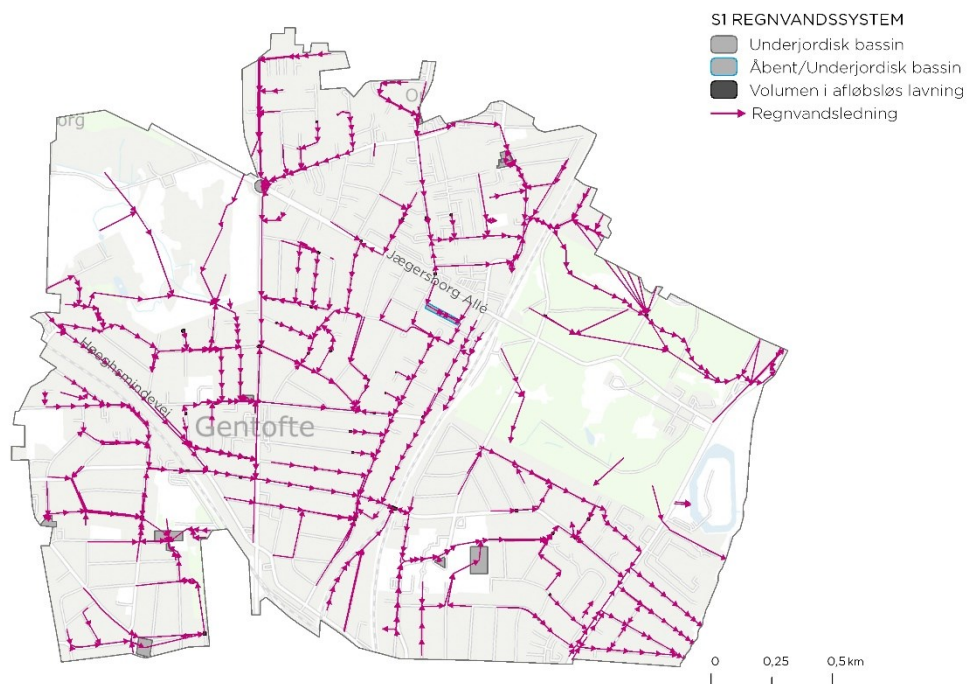
Jes foreslog, at oversvømmelse af enkelte bygninger i lokale afløbsløse lavninger blev håndteret separat som en lokal sikring af ejendommene frem for at tilpasse hele oplandets hydraulik til at sikre samtlige bygninger. Dette forslag er indarbejdet i analysen ved, at der for de mest kritiske ejendomme i anlægsøkonomien er tillagt en sum til at håndtere den lokale sikring som nærmere beskrevet i Bilag 4.5. Det er for hvert scenarie specificeret hvor mange bygninger, der er håndteret på denne måde.

## 3.6 Resultater

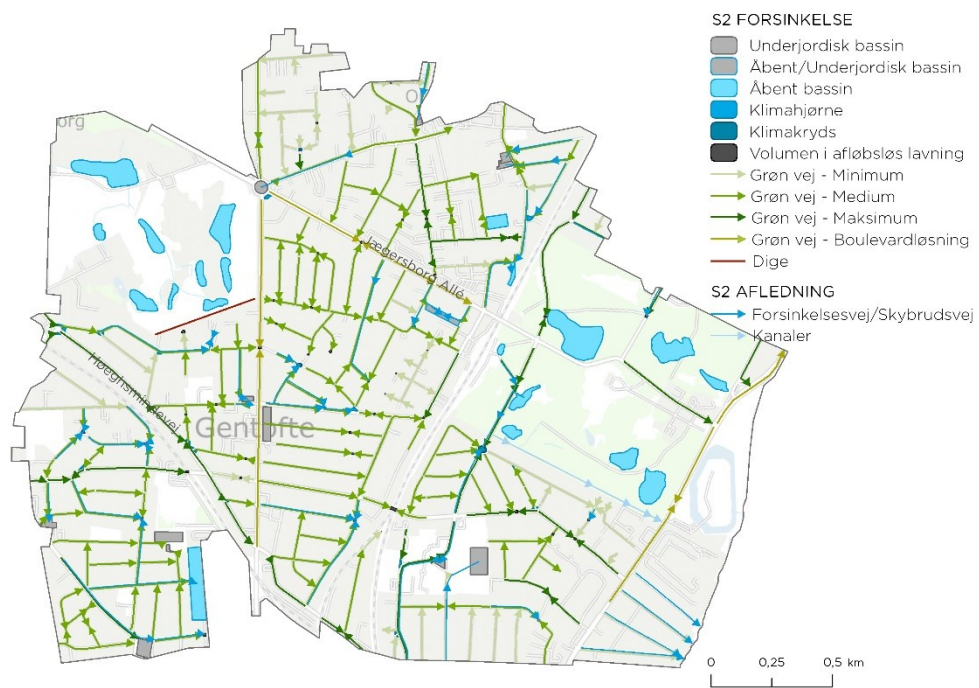
I Figur 25 til Figur 30 ses planerne for henholdsvis scenarierne S1, S2 og S3. S0 er ikke medtaget her, da dette er en traditionel separatkloakering med sikring jf. Skrift 27. Alle arealer er generelt medtaget i alle scenarier, og på planerne ses umiddelbart ikke den store forskel mellem de tre scenarier. Undtagelsen er p-pladsen ved Bernstorffsvej, som først er relevant ved S2 og S3. Forskellen kommer til udtryk i pris-sætningen af det anlægstekniske. Fx er antallet af grønne veje stort set uændret, men rør udvides og mængden af underjordiske kassettebassiner øges og forhøjer anlægsbudgettet.



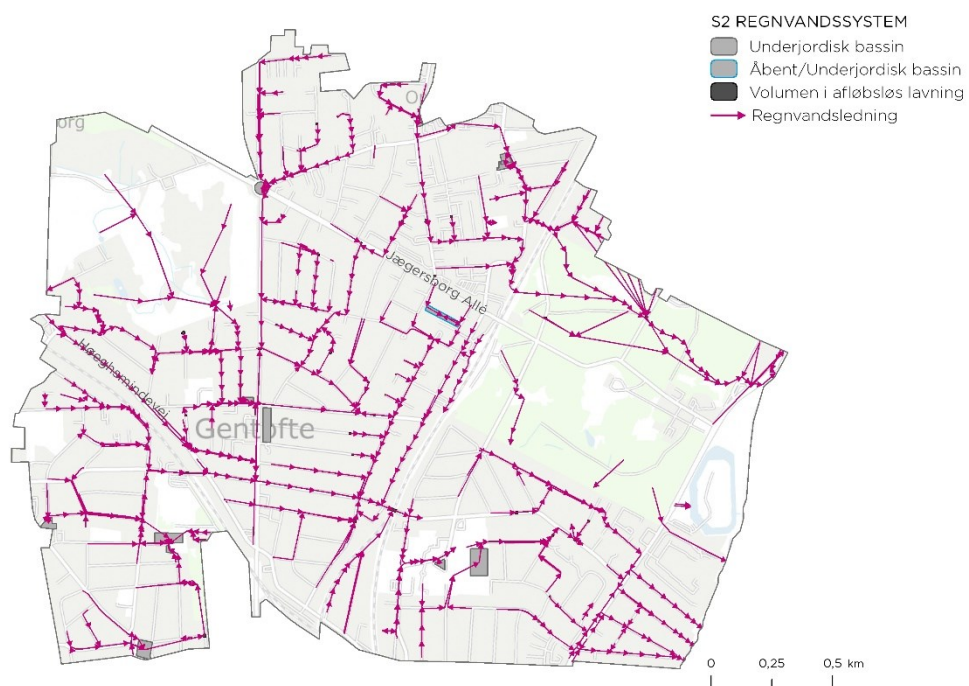
**Figur 25** Plan for overfladesystem for scenarie S1 samt dele af det underjordiske system



**Figur 26** Plan for det underjordiske system for scenarie S1



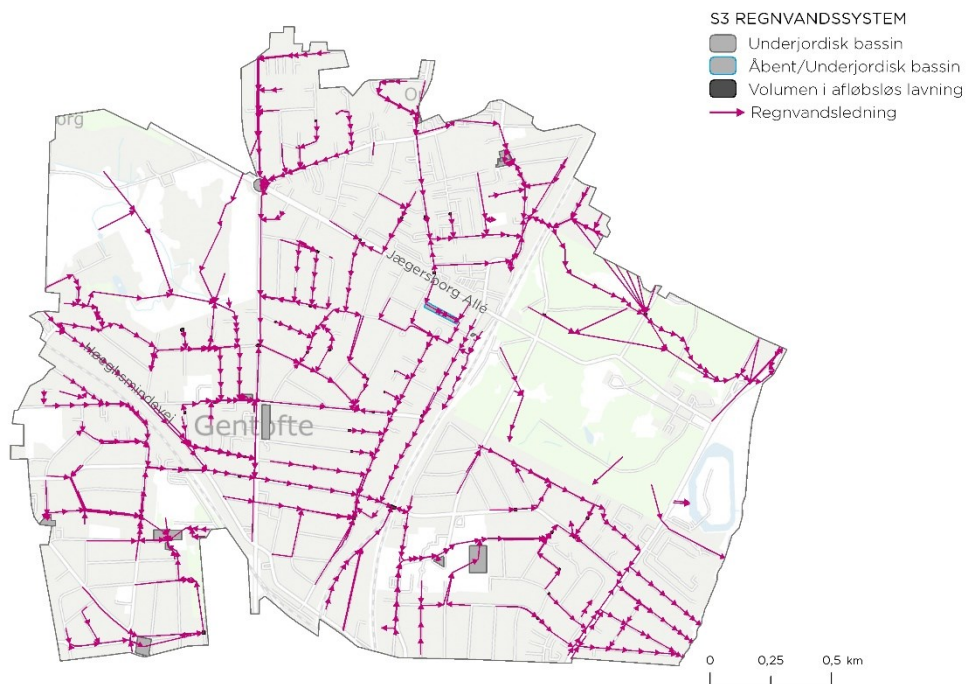
**Figur 27** Plan for overfladesystem for scenarie S2 samt dele af det underjordiske system



**Figur 28** Plan for det underjordiske system for scenarie S2



**Figur 29** Plan for overfladesystem for scenarie S3, samt dele af det underjordiske system



**Figur 30** Plan for det underjordiske system for scenarie S3

### **3.7 Opsamling**

I dette kapitel er forudsætningerne for scenarierne beskrevet samt mulige typologier, der kan anvendes til håndtering af regnvand på terræn. Alle scenarierne indlægges i hydrauliske modeller og verificeres (se Kapitel 4 for mere information om de hydrauliske beregninger). Typologierne, der anvendes i scenarierne, prissættes, således at de indgår i den samfundsøkonomiske analyse (se Kapitel 5 for mere information om omkostningerne til anlæg, drift og eventuelle reinvesteringer af tiltag). Typologierne anvendes ligeledes til at identificere potentielle merværdier i scenarierne (se Kapitel 7 for mere information om merværdier).

## 4. HYDRAULIK



Dette kapitel gennemgår de hydrauliske forudsætninger; herunder implementeringen af typologierne i de hydrauliske beregninger. Desuden præsenteres oversvømmelsesudbredelseskort som et resultat af de hydrauliske beregninger.

Som beskrevet indeholder projektet fire scenarier, hvoraf tre af disse (S1, S2 og S3) dimensioneres ud fra et defineret acceptkriterie i forhold til vand på terræn til en given gentagelsesperiode (se mere i Afsnit 4.1). Dette kontrolleres ved hydrauliske beregninger i MIKE FLOOD, der kombinerer en 1D afløbsmodel i MIKE URBAN med en 2D terrænmodel i MIKE 21. Beregningsforudsætninger er beskrevet i Bilag 3.1 til Bilag 3.4, mens Bilag 3.5 beskriver koblingen modellerne imellem. Det er yderligere undersøgt, at scenarierne overholder serviceniveau i forhold til stuvning til terræn jf. Skrift 27, og det er dermed en integreret del af scenarierne.

Udover S1, S2 og S3 er der dimensioneret en traditionel separatkloakering i rør (S0), hvor der etableres et supplerende regnvandssystem til afvanding af vejvand. Denne dimensioneres ud fra, at der ikke må forekomme stuvning til terræn for en given gentagelsesperiode (læs mere herom i Afsnit 4.1.2). Dette kontrolleres ved hydrauliske beregninger i MIKE URBAN. En mere detaljeret beskrivelse af forudsætningerne for den traditionelle separatkloakering kan ses i Bilag 3.6.

Udover de fire planlægningsscenarier foretages der også hydrauliske beregninger på endnu et scenarie "status", der afbilleder systemet, som det er i dag. Dette gøres for at kunne beregne nettogevinsten for de fire planlægningsscenarier.

For alle fire scenarier samt status er der udført flere hydrauliske beregninger i MIKE FLOOD for forskellige gentagelsesperioder med henblik på at fastlægge skadesbilledet ved en given gentagelsesperiode.

### 4.1 Dimensioneringskriterium

#### 4.1.1 Vand på terræn

Acceptkriteriet anses som værende overskredet, såfremt der opstår mere end 10 cm oversvømmelse langs bygninger. Det samme gælder i offentlig vej, med mindre vejen er udpeget som skybrudsvej eller forsinkelsesvej. Såfremt bygningerne ligger lavere end vejen, kan der opstå situationer, hvor acceptkriteriet er opfyldt i vej, men ikke inde langs én eller flere bygninger. Oversvømmelsen fra vejen medvirker derfor til en skadevoldende oversvømmelse. I dette tilfælde vil acceptkriteriet anses som værende overskredet i området. Figur 31 giver et eksempel på bygninger, der anses som oversvømmede, baseret på dimensioneringskriteriet 10 cm.



**Figur 31** Eksempel på bygninger, der anses som værende oversvømmet (markeret med X).

#### 4.1.2 Stuvning til terræn

En forudsætning for alle planlægningsscenarier (S0, S1, S2 og S3) er, at der ikke må opstå stuvning til terræn for en 5-års regnhændelse for det separate regnvandssystem og 10-års regnhændelse for fællesystemet i henhold til anbefalingerne fra Skrift 27. Dette er yderligere krav fra Gentofte Spildevandsplan [2].

#### 4.1.3 Sikkerhedsfaktorer

Sikkerhedsfaktoren svarer til det tillæg, der indarbejdes for at tage højde for modelusikkerhed, fortætning samt øget nedbør som følge af klimaforandringer. Skrift 31 angiver, at der på skaderne ikke bør indarbejdes modelusikkerhed, da det skal repræsentere bedste bud på en risiko. Det fremgår ikke, om der bør indarbejdes modelusikkerhed ved dimensionering. For at holde analysen så ensrettet som muligt samt ikke udføre væsentligt flere hydrauliske beregninger, er der ikke indarbejdet modelusikkerhed på hverken dimensionering eller ved skadesberegningerne. Det er dermed kun klimafaktoren, som er medregnet som sikkerhedsfaktor i alle de hydrauliske beregninger. Dette indebærer derfor også, at der ikke er indarbejdet modelusikkerhed ved undersøgelse af om regn- og fællesystemerne kan overholde henholdsvis en 5- og 10-års regn.

Tabel 1 viser hvilke regnhændelser, der blev brugt i udarbejdelsen og verificeringen af scenarier samt den senere risikomodellering for at udregne skadesomkostninger. Den laveste regnhændelse i et scenarie er serviceniveauet for scenariet, hvortil der derfor ikke vil være nogle skader. I forbindelse med risikomodelleringen er der for S3 tilføjet en regn på 150 år, idet en 100-års regn ikke vil give skader, og det er ikke realistisk, at skader reduceres 100%. For status viste beregninger, at de første skader i

oplandet registreres ved en regnhændelse på ca. 1,5 år i 2017. Derfor blev denne hændelse valgt som laveste regnhændelse. En 1,5-års regnhændelse i 2017 svarer til en 0,9-års regnhændelse i 2117.

**Tabel 1** Regnhændelser, der blev anvendt, i verificeringen af scenarier samt den senere risikomodelle- ring. Denne tabel viser kun regn for 2117. Den fulde tabel, der også viser 2017 og 2067, kan ses i Bi- lag 1.1, Tabel 32.

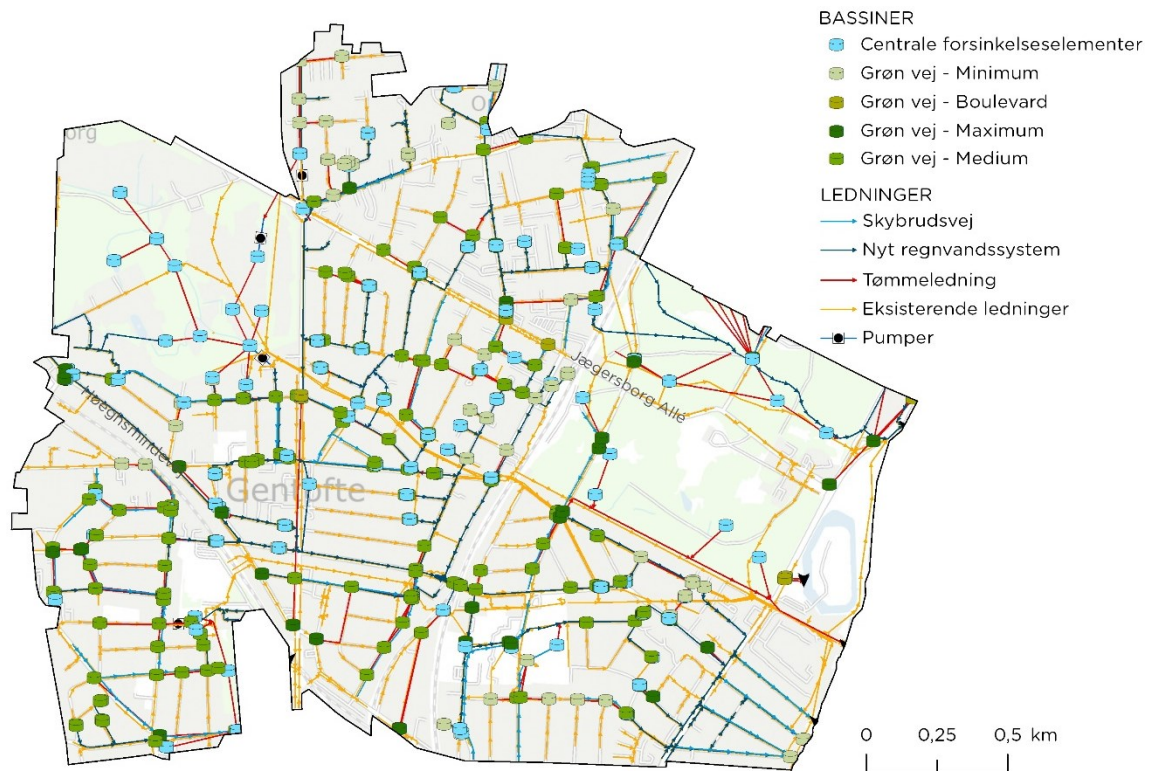
Serviceniveau	Regnhændelse	Sikkerhedsfaktor
Status	0,9	1,17
	20	1,32
	50	1,37
	100	1,40
S0	5	1,25
	7	1,27
	10	1,29
	16	1,31
	20	1,32
	27	1,36
	50	1,37
	100	1,40
S1	20	1,32
	25	1,34
	27	1,34
	35	1,35
	50	1,37
S2	100	1,40
	50	1,37
S3	100	1,40
	150	1,43

## 4.2 Metode

### 4.2.1 Implementering af tiltag i MIKE URBAN

Potentialeplanen implementeres i MIKE URBAN baseret på GIS-lag fra de indledende analyser. De centrale elementer af planen indsættes automatisk ved hjælp af FME. FME (Feature Manipulation Engine) er et softwareprogram, der især kan anvendes til transformering og behandling af GIS-data. De elementer, der implementeres med FME, er grønne veje, skybrudsveje og centrale forsinkelsesarealer. Ledningskoblinger og overløb mellem elementerne indarbejdes manuelt, så det sikres at systemet også tømmes i hverdagshændelser. Dernæst gennemgås terræn- og bundkoter, så det sikres, at der er tilstrækkeligt med fald mellem serieforbundne elementer.

For nærmere detaljer, omkring hvordan de enkelte løsningselementer er implementeret, henvises til Bilag 3.7. Figur 32 viser eksempel for S2, når alle løsningselementer til scenariet er implementeret i modellen.



Figur 32 Eksempel på scenarie i MIKE URBAN (S2)

#### 4.2.2 Dimensionerings- og prioriteringsproces

Efter implementeringen af potentialeplanen i MIKE URBAN dimensioneres systemet til de tre scenarier, S1, S2 og S3. Dette gøres gennem en iterativ proces, hvor der justeres på volumener, ledningsdimensioner, overløbskanter og pumpekapaciteter. For at lette denne proces er den første dimensionering baseret på en 1D beregning i MIKE URBAN. Ved disse beregninger optimeres udnyttelsen af bassiner og ledninger. Der udarbejdes løbende kvalitetssikring blandt andet i form af massebalancer for de enkelte bassiner. I områder hvor volumenpotentialet er større end behovet, fjernes overflødige bassiner.

Da der gerne må forekomme vand på terræn i dybder under 10 cm, kan den endelige dimensionering ikke baseres alene på MIKE URBAN. Når resultater fra MIKE URBAN viser en tilstrækkelig udnyttelse af systemet uden betydelig stuvning over terræn, udføres der efterfølgende oversvømmelsesberegninger i MIKE FLOOD. I områder hvor acceptkriteriet overskrides, dvs. i områder med mere end 10 cm vand ved bygning eller på vej, foretages der justeringer på modellen. Baseret på en vurdering af de enkelte områders hydrauliske og terrænmæssige forhold, implementeres disse ændringer i MIKE URBAN eller som en hævet kantsten (+ 10 cm) i terrænmodellen for at styre vandet på overfladen.

#### 4.3 Referenceperson

Inden for hydraulik har Karsten Arnbjerg-Nielsen (DTU) været inddraget særligt i den indledende fase som sparring til hvilke faktorer, der skal tages højde for ved de hydrauliske beregninger ud fra metoden i Skrift 31. Emnerne nedenfor har været drøftet på forskellige møder i perioden maj-september 2017.

Karsten bidrog med sparring og input i forhold til fastlæggelse af acceptkriterie for regnvand på terræn (omtalt i Afsnit 4.1.1), dvs. hvor og til hvilket niveau et kriterie ses som værende overskredet. Acceptkriteriet for regnvand på terræn for denne øvelse blev efterfølgende besluttet på et møde mellem Rambøll og Novafos.

Karsten orienterede desuden om, at modelusikkerhed på skaderne opgøres uden brug af modelusikkerhed i henhold til Skrift 31.

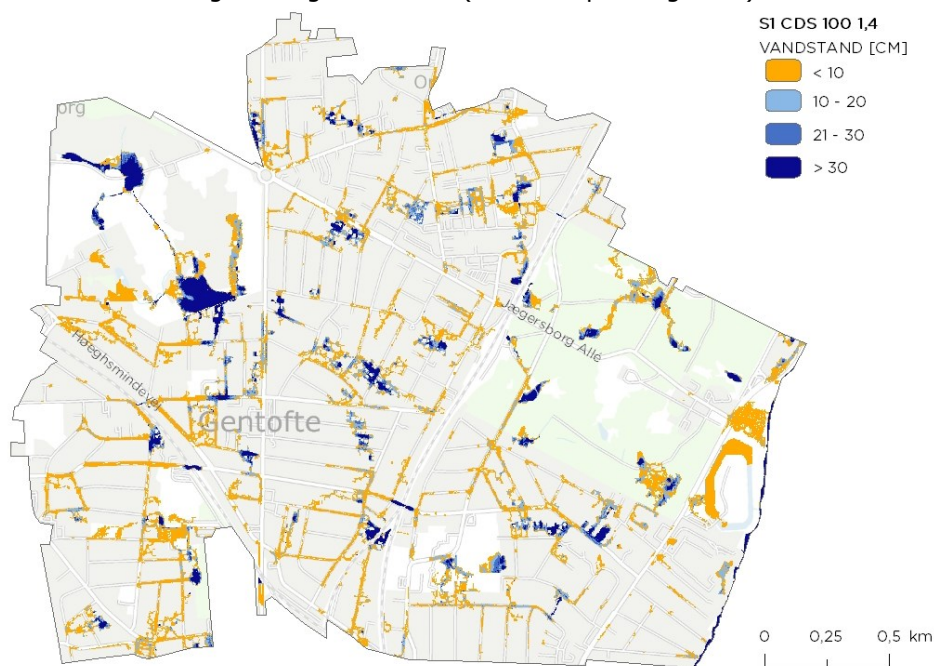
Karsten bidrog med verificering af metoden med at sammenligne regnhændelsernes gentagelsesperiode ud fra klimafremskrivningen, da en gentagelsesperiode vil ændre sig over tid. Desuden bidrog Karsten med input til, hvordan dette kunne kommunikeres (læs nærmere i Bilag 1.1).

Karsten bidrog med input til hydrauliske beregninger for S3, der sikres til en høj gentagelsesperiode, og at det hermed ville være hensigtsmæssigt at introducere beregninger for højere gentagelsesperioder end 100 år for at kunne beregne EAD mere præcist. På baggrund af dette blev der også udført beregninger for en 150-års regn for S3.

#### 4.4 Resultater

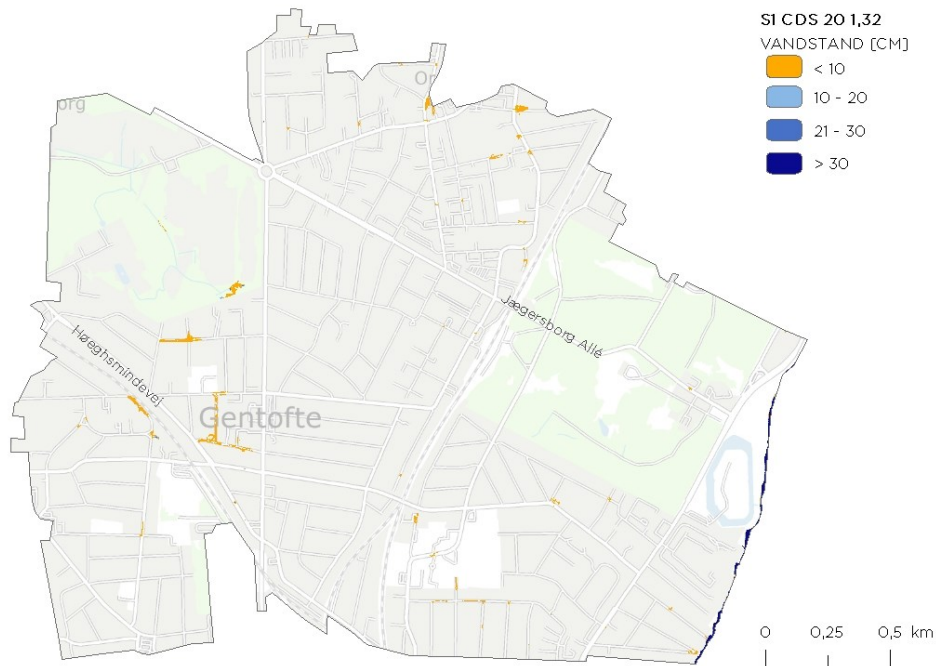
For generel beskrivelse af resultatbehandlingen herunder vandbalancen i beregningerne henvises til Bilag 3.8.

Resultaterne af MIKE FLOOD-beregningerne er kort, der viser den maksimale vandudbredelse ved den givne regnhændelse (se eksempel i Figur 33).

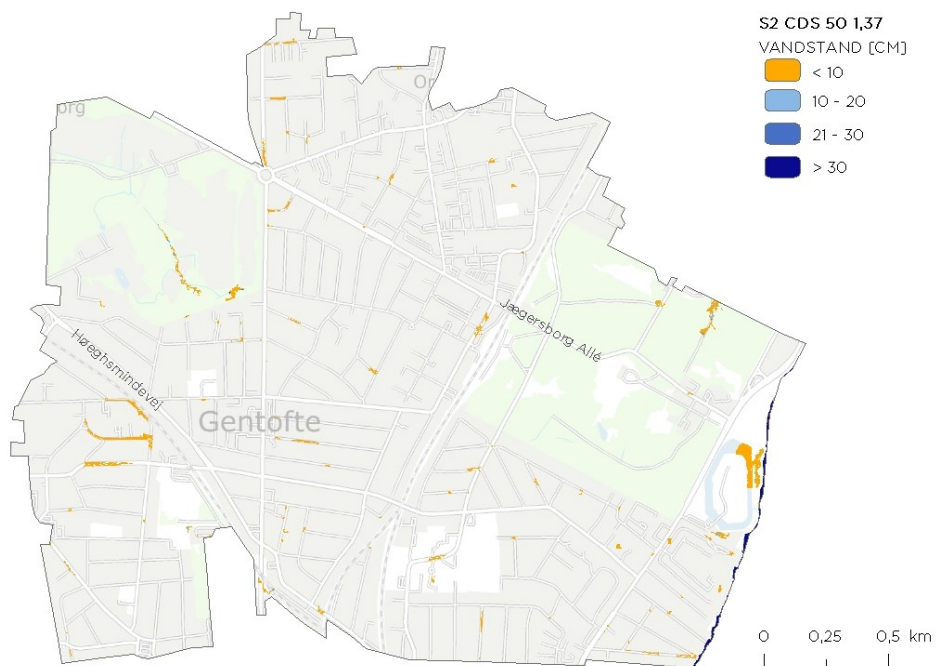


**Figur 33** Eksempel på oversvømmelsesudbredelseskort i 2117. S1 er dimensioneret til en 20-års regnhændelse, og der forekommer derfor større volumener vand på terræn ved en 100-årshændelse i S1.

For S1 og S2 ses der ved de dimensionsgivende regnhændelser mindre områder med vand på terræn, dog forekommer der ikke skadevoldende oversvømmelser (se Figur 34 og Figur 35).

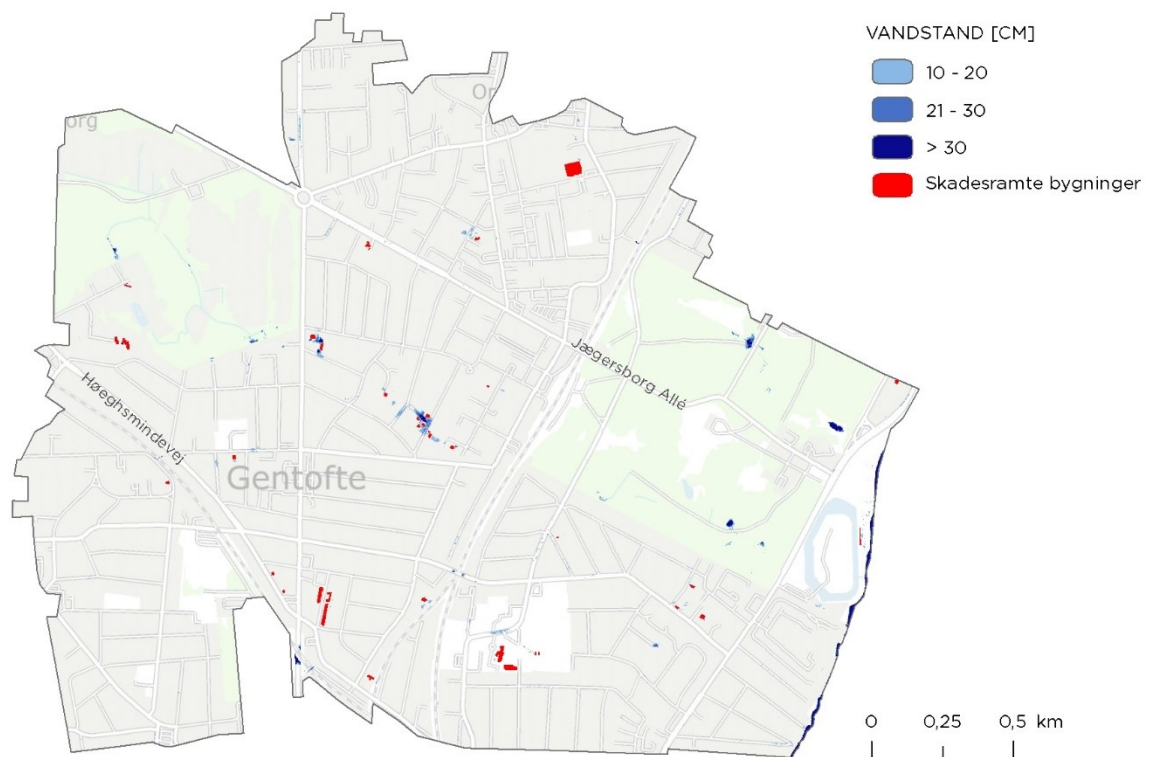


**Figur 34** Oversvømmelser i S1 ved en 20-års regnhændelse i 2117



**Figur 35** Oversvømmelser i S2 ved en 50-års regnhændelse i 2117

I S3 forekommer der enkelte steder skadevoldende oversvømmelser ved beregninger med den dimensionsgivende regnhændelse (100-års regn i 2117) (se Figur 36). Det blev vurderet, at sikring af disse bygninger i det større netværk krævede unødvendigt omfattende løsninger, og disse bygninger antages derfor at kunne sikres lokalt og tages med i prissætningen som lokale skybrudsforanstaltninger.



**Figur 36** Oversvømmelser i S3 ved en 100-års regnhændelse i 2117. Bygninger ramt af oversvømmelser med mere end 10 cm vanddybde er markeret med rødt.

For S0, såvel som S1, S2 og S3, er det eftervist, at systemet lever op til serviceniveau, dvs. at der ikke forekommer stuvning til terræn fra regnvandssystemet ved en 5-års regnhændelse i 2117, og at der i fællessystemet ikke forekommer stuvning til terræn ved en 10-års regnhændelse i 2117. For S0 er dette illustreret på Figur 37 for regnvandssystemet.



**Figur 37** Stuvning i vejvandssystemet i S0 ved en 5-års regnhændelse i 2117

Da S0 ikke er dimensioneret på samme vis som S1, S2 og S3, er det ikke direkte undersøgt, ved hvilken regnhændelse S0 ikke overholder dimensioneringskriteriet for regnvand på terræn. Dog er der udført beregninger svarende til en 7-års regnhændelse i 2117, der gav skader på to bygninger og i enkelte områder i vej, hvor vandstanden var højere end 10 cm. Derfor kan det sluttet, at S0 vil kunne overholde en regnhændelse med en gentagelsesperiode svarende til et sted mellem 5-7 år i 2117.

#### 4.5 Opsamling

I dette kapitel er forudsætningerne for samt resultaterne af de hydrauliske beregninger beskrevet. Resultaterne af de hydrauliske beregninger anvendes i risikokortlægningen (se Kapitel 6 for mere information om risikokortlægningen).

## 5. ANLÆG



Dette kapitel fremlægger omkostningerne for tilpasningstiltagene, der er implementeret i scenarierne, herunder priserne for de anvendte typologier. Anlægsomkostninger prissættes såvel som driftsomkostningerne samt eventuelle reinvesteringer.

I de følgende afsnit præsenteres priserne og de samlede resultater for omkostninger til anlæg, drift og reinvesteringer anvendt i den samfundsøkonomiske analyse. Prissætningen af alle tiltag kan læses i Bilag 4.1 til Bilag 4.10. Generelt er priserne for anlæg, drift og reinvesteringer baseret på følgende kilder:

- Den primære del af priserne relateret til enkelte anlægsdele som brønde, ledninger, pumper og lignende stammer som udgangspunkt fra Rasmus Rasmussen fra NCCs tilbudsafdeling, der som nævnt i Afsnit 2.2.3 har været referenceperson.
- Priser på forsinkelsesvolumen og visse andre delelementer stammer fra sammenlignelige Rambøllprojekter, der har været i udbud.
- S sammensatte priser (fx regnbede og grønne veje) er i nogle tilfælde udarbejdet i fællesskab med NCCs tilbudsafdeling og i andre tilfælde er de udregnet af Rambøll ved at indarbejde de relevante enhedspriser i de nødvendige mængder.

### 5.1 Anlægsomkostninger

Enhedspriserne anvendt til anlægsomkostninger ses i Tabel 2.

**Table 2** Opsummering af enhedspriserne anvendt til anlægsomkostninger

Typologi	Værdi	Enhed	Note
Minimumsløsning	5.696	kr./m	
Mediumløsning	8.601	kr./m	
Maksimumløsning	10.934	kr./m	
Boulevardløsning	14.702	kr./m	
Klimakryds	3.295	kr./m <sup>2</sup>	
Klimahjørne	6.973	kr./m <sup>2</sup>	
Lokal forsinkelse	2.577	kr./m <sup>2</sup>	
Åbent rekreativt bassin	710	kr./m <sup>3</sup>	
Øvrig central forsinkelse (fx fodboldbane og skolegård)	710	kr./m <sup>3</sup>	
Skybrudsvej (eksempel: 10 m bred)	4.760	kr./m <sup>3</sup>	Varierer med bredde. Se Bilag 4.4, Tabel 43.
Kanal	1.800	kr./m	
Dige	1.400	kr./m	
Kantsten	14.000	kr./m	
Lokale sikringstiltag	120.000	kr./bygning	Anvendes ved særligt udsatte bygninger.
Ledning (eksempel: ø500 i 5 m dybde)	11.247	kr./m	Varierer med dybde og diameter. Se Bilag 4.6, Tabel 44.
Brønd (eksempel: ø1500 i 5 m dybde, tilkoblet ø1200 ledning)	95.000	kr./stk.	Varierer med dybde og diameter. Se Bilag 4.7, Tabel 45.
Pumpe (eksempel: 100 l/s)	410.000	kr./stk.	Varierer med pumpeydelse. Se Bilag 4.8, Tabel 46.
Trykledning til pumpe (eksempel: 100 l/s)	1.910	kr./m	Varierer med pumpeydelse. Se Bilag 4.8, Tabel 46.
Kassettebassin under grøn vej	2.700	kr./m <sup>3</sup>	
Kassettebassin under åbent bassin	2.300	kr./m <sup>3</sup>	
Kassettebassin under klimakryds	2.700	kr./m <sup>3</sup>	
Kassettebassin under klimahjørne	2.700	kr./m <sup>3</sup>	
Afløbsløs lavning	2.300	kr./m <sup>3</sup>	
Parkeringsplads	2.300	kr./m <sup>3</sup>	
Regnbed (eksempel: 20 m <sup>2</sup> )	3.630	kr./m <sup>2</sup>	Varierer med størrelse af regnbed. Se Bilag 4.10, Tabel 47.

#### 5.1.1 Prissætning af de opstillede scenarier

Til at beregne de samlede anlægsomkostninger for de forskellige scenarier tages der udgangspunkt i de hydrauliske modeller, der er anvendt til at verificere, om de lever op til deres respektive serviceniveauer.

Ved hjælp af FME opstilles en metode til at foretage et automatiseret udtræk af de forskellige bygningsdele med detaljerede oplysninger om fx antal, længder, dimensioner og volumener (læs mere i Bilag 4.11). Dette er efterfølgende blevet benyttet til at beregne de samlede anlægsomkostninger for hvert scenarie, som præsenteres i Afsnit 5.4.

For S0, S1, S2 og S3 er der foretaget opgradering af de ledninger i det eksisterende fællessystem, der ikke lever op til serviceniveauet om stuvning til terræn ved en 10-års regnhændelse. Denne opgradering er ens for scenarierne og indgår i deres anlægsomkostninger.

## **5.2 Driftsomkostninger**

Til at vurdere de årlige driftsomkostninger forbundet med de enkelte bygningsdele og typologier, er der blevet foretaget en vurdering baseret på den forventede kompleksitet forbundet med at drifte hver bygningsdel. Det har ikke været muligt at fremskaffe faktiske erfaringstal, da især etablerede grønne skybrudsløsninger ikke har stået færdige længe nok til at have genereret konstante driftstal, og traditionelle løsninger ikke har været til at udspecificere på de enkelte bygningsdele.

De vurderede driftstal og deres tilhørende bygningsdele er vist i Tabel 3.

**Table 3** Opsummering af de forskellige årlige driftsprocentsatser for hver bygningsdel

Bygningsdel	Drift [årlig % af anlægsomk.]	Bemærkning til drift
Regnbede	2,0	Spuling af dræn og tømning af sandfang årligt
Kassettebassiner	1,0	Spuling af kassetter årligt
Åbne rekreative bassiner	1,0	Løbende rensning efter skybrudshændelser og afspærring af område, mens det er oversvømmet.
Øvrige centrale forsinkelser (boldbaner, skaterparker, skolegårde osv.)	1,5	Drift af bassinet Disse forsinkelsesløsninger er kendetegnet ved at være placeret i områder, der i hverdagsituationer tjener et rekreativt formål. Derfor er driften sat lidt over de 1%, der er tænkt som værende standarddriften.
Ledninger op til ø800	1,0	Driften er ens for ledninger og brønde
Ledninger ø800-ø1200	1,0	Driften er ens for ledninger og brønde
Ledninger over ø1200	1,0	Driften er ens for ledninger og brønde
Brønde	1,0	Driften er ens for ledninger og brønde
Render og overkørsler i grønne veje	1,0	Drift og vedligehold af render og overkørsler
Skybrudsvej	0,1	Indgår i den kommunale drift
Lokal sikring af oversvømmede bygninger	2,0	Drift og vedligehold af løsninger til sikring af bygninger beliggende ved de afløbsløse områder
Diger og kanaler i grønne områder	1,5	Disse forsinkelsesløsninger er kendetegnet ved at være placeret i områder, der i hverdagsituationer tjener et rekreativt formål. Derfor er driften sat lidt over de 1%, der er tænkt som værende standarddriften.
Pumper	2,0	Drift omfatter regulære check og smøring af pumper samt gennemgang af elektronik og styring

Drift (og reinvesteringer) fra den uberørte del af det bibeholdte fællessystem er ens for alle scenarier og er derfor ikke medtaget. Der er en del ledninger, der skal dimensioneres til at kunne håndtere serviceniveauet. Disse indgår i prissætningen for drift og reinvestering for scenarie S0 – S3, og derfor er disse specifikke ledninger også indeholdt i den økonomiske vurdering. For status prissættes de dog ud fra deres oprindelige dimension.

### 5.3 Levetid og reinvestering

De forskellige anlægsdeles levetid og reinvesteringsfrekvens er vurderet gennem løbende kontakt til dels lednings-, brønd- og kassetteproducenter, dels entreprenører og landskabsarkitekter. Da det ikke er hele anlægget, der skal reinvesteres, er det også nødvendigt med en direkte sammenhæng mellem frekvens og reinvesteringssprocentsatsen. De vurderede frekvenser i år og procenter af anlægsudgifterne er vist i Tabel 4.

**Table 4** Reinvesteringsprocenter og frekvens for de forskellige bygningsdele

Bygningsdel	Reinvestering [% af anlægsomk.]	Reinvestering [frekvens år]	Bemærkninger til reinvestering
Regnbed	15	10	Udskiftning af filtermuld og planter hvert 10. år
Kassettebassin	35	50	Der er kun kassetter der skal udskiftes, der skal ikke køres mere jord væk eller laves nye ledningsomlægninger
Åbent rekreativt bassin	20	30	Udskiftning af beplantning ca. hvert 30. år
Øvrige centrale forsinkelser (boldbaner, skaterparker, skolegårde osv.)	25	40	Udskiftning af beplantning og legeudstyr ca. hvert 40. år
Ledninger op til ø800	10	50	Reinvesteringen varierer med ledningsdimensionen
Ledninger fra ø800-ø1200	15	50	Reinvesteringen varierer med ledningsdimensionen
Ledninger over ø1200	20	50	Reinvesteringen varierer med ledningsdimensionen
Brønde	10	50	
Render og overkørsler i grønne veje	20	50	Renderne forventes at skulle udskiftes hvert 50. år.
Skybrudsvej	0	0	
Lokal sikring af oversvømmede bygninger	20	10	Løbende udskiftning af eventuelle elementer i den valgte løsning
Diger og kanaler i grønne områder	25	40	Udskiftning af beplantning og bundsikring mv. ca. hvert 40. år
Pumper	50	30	Udskiftning af pumper ca. hvert 30. år, pumpebrønden forventes at have en levetid på 100 år.

Ligesom drift vil der være reinvesteringer fra den uberørte del af det bibeholdte fællessystem. Disse er ens for alle scenarier og er derfor ikke medtaget.

#### 5.4 Referenceperson

Som reference person på anlægsøkonomi har Rasmus Rasmussen, Afdelingsleder hos NCC, bidraget til at prissætte de valgte løsninger.

Igennem Rasmus Rasmussen har Rambøll fået hjælp til at prissætte de valgte løsninger, idet Rasmus' team har været den primære kilde til enhedspriser på delelementer af scenarierne som rør, brønde og tunnelerede løsninger. NCC har også bidraget til prissætningen på sammensatte projektelementer som grønne veje, skybrudsveje og regnbede, hvor elementerne blev splittet op og sammensat til samlede priser. Fx er "Skybrudsvej" sammensat af priser på affræsning af asfalt, sænkning af brønde ved kegleudskiftning, maskinudlægning af ny asfalt mv.

#### 5.5 Resultater

##### 5.5.1 Samlede anlægsomkostninger

I Tabel 5 er både de samlede anlægsomkostninger for hvert scenarier bygningsdele og de individuelle priser på bygningsdelene vist.

Det bemærkes, at for scenarie S1, S2 og S3 er den primære fordyrende faktor ikke forsinkelsesvolumen, men ledninger og brønde. Omkostningerne for disse stiger med ca. 160 mio. kr. mellem hvert scenarie. Dette skyldes primært begrænsninger i overfladebaserede løsninger. Ekspropriering af lavtliggende områder og afløbsløse lavninger har for eksempel ikke været en mulighed.

Ydermere har oplandets karakter i sig selv, som nævnt i Afsnit 3.1.1, givet en lang række begrænsninger i mulighederne for etablering af overfladebaserede løsninger. Disse inkluderer bl.a. en høj bebyggelsesgrad, meget kuperet terræn, infrastrukturelle barrierer som banestrækninger og veje. Der er derfor tale om store vandmængder, der til trods for stort fokus på forsinkelse, ender med at skulle transporteres væk, hvilket medfører høje udgifter til ledningssystemer.

Ligeledes kan det konstateres, at prisen for at sikre fra en 5-års regnhændelse til en 20-års regnhændelse medfører en merudgift på omtrent 400 mio. kroner. Det er en ekstra omkostning på ca. 35%.

Anlægspriserne er tilføjet tre procentuelle faktorer. Disse er følgende:

- Uforudseelige udgifter: 20%
  - Posten omfatter ekstraomkostninger der typisk kommer under udførelsesfasen. Dette kunne være ukendte ledninger, mangelfulde ledningsoplysninger, ukendt jordforurening m.fl. Dette er en forholdsvis lav procentsats til uforudseelige udgifter på så tidligt et stade, men det er valgt for ikke at skævvride analysen og få et så repræsentativt billede som muligt, da der fx heller ikke tillægges en faktor på skadesomkostningerne, som det beskrives nærmere i forbindelse med følsomhedsanalysen i Afsnit 9.2.2.5.
- Vinter og Byggeplads: 5%
  - Posten omfatter typiske udgifter forbundet med udførelsen af et projekt, såsom opstilling og drift af byggeplads og vinterforanstaltninger i udførelsesfasen (frostsikringsmåtter mv.).
- Projektering og styring: 15%
  - Posten indeholder udgifterne til projektering af anlæggende ved rådgiver samt byggestyring.

**Tabel 5** Oversigt over de samlede anlægsomkostninger for hvert scenarie afrundet til nærmeste titusinder

Bygningsdel	Anlægsomkostninger [tkr.]			
	S0	S1	S2	S3
Regnbede	-	136.030	136.220	136.220
Kassettebassiner	-	217.480	289.950	359.760
Åbent rekreativt bassin	-	3.260	7.810	15.230
Øvrige centrale forsinkelser (boldbaner, skolegårde osv.)	-	20.490	46.360	100.210
Brønde	138.950	54.530	66.690	67.850
Ledninger	691.750	319.090	495.480	643.670
Grundvandssænkning	74.400	43.530	72.470	90.950
Vej og kryds, etableringsomkostninger ekskl. Regnbede og kassettebassiner	-	363.620	366.900	369.310
Skybrudsveje	-	75.680	75.680	75.680
Sikring af enkelte bygninger	-	360	480	7.200
Pumper	-	1.900	2.970	3.370
Diger og kanaler i grønne områder	-	2.020	2.020	2.020
<b>I alt</b>	<b>905.100</b>	<b>1.237.990</b>	<b>1.563.030</b>	<b>1.871.470</b>
<b>I alt med procentuelle tillæg</b>	<b>1.267.130</b>	<b>1.733.190</b>	<b>2.183.650</b>	<b>2.620.050</b>

Da der ikke i status foretages nyanlæg er det ikke medtaget i tabellen for anlægsøkonomi.

Angående priserne for anlægsomkostningerne er det vigtigt at være opmærksom på, at modellerne, der ligger til grund for anlægsomkostningerne, er kørt uden modelusikkerhedsfaktor, og at det procentuelle tillæg for uforudseelige udgifter kun er sat til 20%, hvilket er en meget lav sats i forhold til, hvor overordnede scenarierne nødvendigvis opstilles. Ved overslag til fx budgetplanlægning anvendes normalt procentsatser på mellem 50% og 100% i de helt indledende faser som denne.

#### 5.5.2 Samlede driftsomkostninger

Tabel 6 viser de samlede årlige driftsomkostninger for alle scenarier.

Driftsomkostninger for regnbede og kassettebassiner er relativt høje. Dette beror på en vurdering, da denne form for anlæg er så nye, at der ikke findes erfaringstal.

Som nævnt er der for S0, S1, S2 og S3 foretaget en nødvendig opgradering af de ledninger i det eksisterende fællessystem, der ikke lever op til serviceniveauet om stuvning til terræn ved en 10-års regnhændelse. Denne opgradering er ens for samtlige scenarier og indgår i deres anlægsomkostninger og derfor også i driftsomkostningerne.

For ikke at skævvride sammenligningsgrundlaget mellem de opstillede scenarier og statusscenariet er der for statusscenariet inkluderet en prissætning af de eksiste-

rende ledninger, der for scenarie S0, S1, S2 og S3 er blevet opgraderet. Denne prissætning er lavet på baggrund af ledningernes dybde og dimension efter samme prisetabel, som er benyttet i resten af projektet. Baseret på denne prissætning, er de nødvendige tilhørende driftsomkostninger for statusscenariet identificeret.

Dette betyder, at omkostninger til anlæg, drift og reinvestering for alle de øvrige eksisterende ledninger ikke er medregnet, da de vil være konstante for både status, S0, S1, S2 og S3, og derfor har de ikke betydning for udfaldet af analysen. Det betyder også, at omkostningerne udelukkende er opstillet for sammenligningens skyld og ikke må betragtes som dækkende for scenarierne.

**Table 6** Oversigt over de samlede årlige driftsomkostninger for hvert scenarie afrundet til nærmeste titusinder

Bygningsdel	Årlige driftsomkostninger [tkr.]				
	Status	S0	S1	S2	S3
Regnbede		-	2.720	2.720	2.720
Kassettebassiner		-	2.180	2.900	3.600
Åbne rekreative bassiner		-	50	120	230
Øvrige centrale forsinkelser (boldbaner, skaterparker, skolegårde osv.)		-	310	700	1.500
Ledninger op til ø800	480	3.210	2.460	2.420	2.100
Ledninger fra ø800-ø1200	30	2.200	280	840	1.650
Ledninger over ø1200		2.070	780	2.240	3.380
Brønde	140	1.580	650	850	910
Render og overkørsler i grønne veje		-	3.640	3.640	3.690
Skybrudsvej		-	80	80	80
Lokal sikring af oversvømmede huse		-	10	10	140
Diger og kanaler i grønne områder		-	30	30	30
Pumper		-	40	60	70
<b>I alt</b>	<b>640</b>	<b>9.050</b>	<b>13.210</b>	<b>16.590</b>	<b>20.090</b>

### 5.5.3 Samlede årlige reinvesteringsomkostninger

Table 7 viser de samlede årlige reinvesteringsomkostninger for alle scenarier. De procentuelle satser er blevet gennemgået tidligere, men det ses, at især de grønne løsninger og kassettebassinerne er dyre i reinvesteringsomkostninger. Dette skyldes muligvis, at de er mere konservativt estimeret, idet de er relativt "nye" elementer i skybrudshåndtering, og derfor er erfaringstallene mere sparsomme.

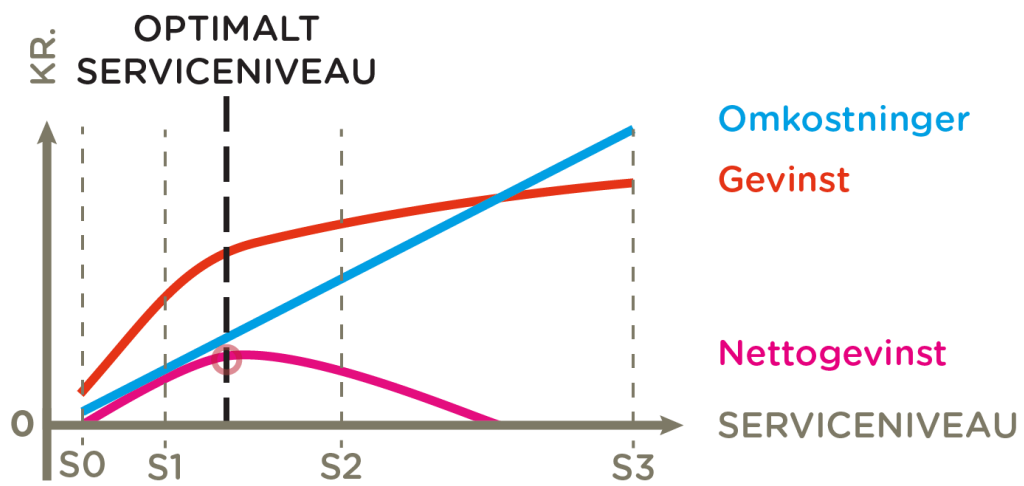
Igen inkluderes opgraderingen af ledninger i fællessystemet, der ikke lever op til kravene om stuvning til terræn for en 10-års regnhændelse.

**Tabel 7** Oversigt over de samlede årlige reinvesteringsomkostninger for hvert scenarie afrundet til nærmeste titusinder

Bygningsdel	Årlige reinvesteringsomkostninger [tkr.]				
	Status	S0	S1	S2	S3
Regnbede		-	2.040	2.040	2.040
Kassettebassiner		-	1.520	2.030	2.520
Åbne rekreative bassiner		-	20	50	100
Øvrige centrale forsinkelser (boldbaner, skaterparker, skolegårde osv.)		-	130	290	630
Ledninger op til ø800	100	640	490	480	420
Ledninger fra ø800-ø1200	10	660	80	250	490
Ledninger over ø1200		830	310	900	1.350
Brønde	30	320	130	170	180
Render og overkørsler i grønne veje		-	1.450	1.450	1.480
Skybrudsvej		-	-	-	-
Lokal sikring af oversvøm- mede huse		-	10	10	140
Diger og kanaler i grønne områder		-	10	10	10
Pumper		-	30	50	60
<b>I alt</b>	<b>130</b>	<b>2.440</b>	<b>6.240</b>	<b>7.740</b>	<b>9.430</b>

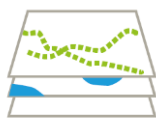
## 5.6 Opsamling

I dette kapitel er omkostningerne til anlæg, drift og reinvesteringer af tiltag beskrevet. Resultaterne heraf opstilles i en pengestrømsopgørelse, således at de indgår i den blå kurve i grafen for nettogevinstkurven i de samfundsøkonomiske beregninger (se mere i Kapitel 8). Omkostningerne stiger som forventet ved højere serviceniveau jf. Figur 5, som er gengivet her i Figur 38. Det er dog værd at bemærke, at de ikke stiger lineært mellem scenarierne, som denne teoretiske figur indikerer.



**Figur 38** Omkostninger til anlæg, drift og reinvesterings samles i den blå kurve for Omkostninger i grafen for nettogevinstkurven.

## 6. RISIKOKORTLÆGNING



Dette kapitel gennemgår enhedspriserne anvendt i risikomodelleren, herunder skadesomkostninger, der opstår efter oversvømmelser på terræn, omkostninger til oprydning og genhusning, samfundsøkonomiske omkostninger i forbindelse med forsinkelser etc. Kapitlet fremlægger ligeledes resultatet af risikokortlægningen i form af risikokort og EAD.

Tilgangen til beregning af EAD for Kildeskovsrendens opland er baseret på DHIs værktøj City Adaptation Decision Support System (CADSS). CADSS er et GIS-baseret softwareprogram, som udregner skadesomkostninger (fysiske og samfundsøkonomiske omkostninger) fra oversvømmelser i et område på baggrund af udvalgte infrastruktur kategorier, og hydrauliske resultater givet i GIS-format. Output fra CADSS inkluderer oversigtskort over den geografiske risiko for hvert scenarie (risikokort) samt de samlede, forventede årlige skadesomkostninger for hvert scenarie (EAD).

### 6.1 Metode

For at identificere hvilke kategorier, der er relevante i risikokortlægningen, er diverse studier i skadesomkostninger ved oversvømmelser ([6], [7], [8], [9], [10]) blevet undersøgt. Derudover har samtaler med Novafos afgrænset kategorierne, således at det kun er kategorier, der er relevante for Kildeskovsrendens opland, som er inkluderet. Fx er elsvigt ikke inkluderet, idet Novafos hidtil ikke har oplevet strømsvigt i forbindelse med oversvømmelser fra skybrud og derfor antager, at elsvigt ikke er en sandsynlig risiko. Et andet eksempel på afgrænsning er, at forsinkelse på banelegemer er specificeret i forhold til Kystbanen og S-togslinjerne B, C og E, da disse er de eneste strækninger i oplandet. Afsnit 6.3 afdækker andre kategorier og overvejelser, der har været i betragtning i processen.

I forbindelse med risikokortlægningen indhentes relevant GIS-data for oplandet fra Kortforsyningen [11]; herunder bygningspolygoner, vejpolygoner samt -centerlinjer og jernbanelinjer. Da alle bygningerne er hævet i Kortforsyningens terrænmodel, der anvendes til de hydrauliske beregninger, således at der ikke ligger vand oven på bygninger, pålægges alle bygninger en buffer i omkredsen på 1,6 m (svarende til opløsningen for de hydrauliske resultater). En bygning antages oversvømmet, når der ligger vand i minimum 1% af cellerne i denne omkreds (læs evt. mere om dimensioneringskriterium i Afsnit 4.1). Veje og banelegemer pålægges ikke nogen buffer, da disse ikke hæves i terrænmodellen, og veje og banelegemer vurderes derfor som oversvømmet, når der ligger vand på minimum 1% af polygonens areal, dvs. vejarealet eller banelegemets areal.

Alle fysiske skader og samfundsøkonomiske omkostninger, som medtages i risikomodelleren, er opsamlet og præsenteret i Tabel 8. De skadesudløsende tærskler, for hvor dybt vandet kan ligge om eller på en polygon, før skaden indtræffer, er forskellige afhængig af kategorien. I Danmark er der ikke påvist nogen sammenhæng mellem vanddybde og skadesbeløb ([10], [7], [8]). Derfor er alle enhedsomkostningerne uafhængige af vanddybden. Undersøgelser og antagelser, der er gjort i fastlæggelsen af enhedsomkostningerne ved oversvømmelser, gennemgås for hver kategori i Bilag 5.1 til Bilag 5.4.

**Tabel 8** Enhedsomkostninger til risikokortlægningen. Det antages, at både kælder- og stueareal har samme størrelse som grundplanen i polygonerne, der trækkes fra kortforsyningen. Ved "kælder" henvises der kun til boliger med kælder; ved "stue" henvises der kun til boliger uden kælder, mens "bolig" dækker alle former for private boliger både med og uden kælder.

Kategori	Dybde	Værdi	Enhed	Kilde
<b>Privat</b>				
Skade parcelhus med kælder	10 cm	804	kr./m <sup>2</sup> kælder	Rambøll [10]
Skade rækkehus med kælder	10 cm	919	kr./ m <sup>2</sup> kælder	
Skade lejlighed med kælder	10 cm	1.103	kr./ m <sup>2</sup> kælder	
Skade andet privat med kælder	10 cm	840	kr./ m <sup>2</sup> kælder	
Skade privat uden kælder	10 cm	1.167	kr./m <sup>2</sup> stue	
				PLASK [12]
Oprydning	10 cm	4.800	kr./bolig	PLASK [12], Arnbjerg-Nielsen et al. [13], Dansk Bygningskontrol [14], Bolius [15]
Genhusning	40 cm	148.000	kr./bolig	Arnbjerg-Nielsen et al. [13]
Sygdomme – novovirus	10 cm	2.600	kr./kælder	Sundhedsdatastyrelsen [16], Lægemiddelstyrelsen [17], Sundheds- og Ældreministeriet [18], Netdoktor [19], Danmarks Statistik [20]
Sygdomme - andre	10 cm	700	kr./bolig	
Mental stress og angst	40 cm	18.700	kr./bolig	FEMA [21], Levinson et al. [22], Danmarks Statistik [20]
<b>Erhverv</b>				
Skade bygning	10 cm	1.218	kr./m <sup>2</sup> erhverv	Rambøll [10]
Tab af løssøre	10 cm	70.300	kr./erhverv	PLASK [12], Forsikring & Pension [7]
Tabt produktion	10 cm	8.300	kr./erhverv	
Oprydning	10 cm	10.300	kr./erhverv	Dansk Bygningskontrol [14], Bolius [15]
<b>Asfalterede veje</b>				
Oprydning	10 cm	3	kr./m <sup>2</sup>	PLASK [12]
Forsinkelse – bilisme (motorvej)	20 cm	35.300	kr./motorvej	TERESA [23]
Forsinkelse – bilisme (vej over 6 m)	20 cm	19.600	kr./vej over 6 m	
Forsinkelse – bilisme (vej 3-6 m)	20 cm	12.900	kr./vej 3-6 m	
Forsinkelse – bilisme (anden vej)	20 cm	3.700	kr./anden vej	
Forsinkelse – kollektiv trafik (under 100 busser)	25 cm	12.300	kr./vej med under 100 busser	TERESA [23], DOT [24]
Forsinkelse – kollektiv trafik (100-149 busser)	25 cm	20.600	kr./vej med 100-149 busser	
Forsinkelse – kollektiv trafik (150 busser og over)	25 cm	28.800	kr./vej med 150 busser og over	
<b>Jernbane</b>				
Skade	10 cm	3.000	kr./m <sup>2</sup>	Infrastrukturkommissionen [25]
Forsinkelse (S-tog B)	10 cm	29.700.000	kr./strækning	DSB [26] [27], Rejseplanen [28], TERESA [23], Beredskabsstyrelsen [6], TV2 [29], COWI [30]
Forsinkelse (S-tog C)	10 cm	10.300.000	kr./strækning	
Forsinkelse (S-tog E)	10 cm	29.700.000	kr./strækning	
Forsinkelse (Kystbanen)	10 cm	19.300.000	kr./strækning	

Alle priser er angivet i 2017-priser.

## 6.2 Risiko for kritisk infrastruktur

I forbindelse med risikomodelleringen er det blevet undersøgt om Kildeskovsrendens opland afgrænser særlig kritisk infrastruktur. Kritisk infrastruktur er bygninger eller arealer med særlig kulturel eller samfundsøkonomisk værdi såsom hospitaler, dag-pleje- og forskningsinstitutioner eller kirker. Oversvømmes et område med kritisk infrastruktur, kan det resultere i både markant større fysiske skader og samfundsøkonomiske omkostninger i form af evakueringer blandt især ældre borgere og hospitalpatienter eller tab af kulturel værdi.

I Kildeskovsrendens opland er der ved hjælp af BBR-data identificeret i alt 78 bygninger som kritisk infrastruktur; herunder dag- og døgninstitutioner, bygninger til forskning og undervisning samt pumpestationer. Af disse er det kun seks bygninger, der oversvømmes ved en 100-års regnhændelse i S1. Der findes desværre ikke enhedsomkostninger for oversvømmelse af skole og lignende i national eller international litteratur, hvorfor disse seks bygninger indgår under kategorien "erhverv".

## 6.3 Andre overvejelser

Personskader og dødsfald kan forekomme som en direkte eller indirekte konsekvens af oversvømmelser. Værdisætning af personskader er udeladt i analysen, idet der ikke foreligger data dertil. Det antages, at folk generelt agerer agtsomt, når de færdes i det offentlige rum, og at de skader, der kunne tænkes at opstå såsom rifter eller skrammer er af så ubetydelig grad, at der ikke søges lægehjælp. Dødsfald er ligeledes udeladt af analysen, da en sådan værdisætning indirekte involverer en række etiske betragtninger og antagelser, der ikke er inden for denne analyses omfang.

Som nævnt kan ekstreme klimahændelser til tider påkræve evakueringer og redningsaktioner, især blandt ældre borgere og patienter såfremt hospitaler rammes. I analysen af kritisk infrastruktur blev der ikke identificeret oversvømmelse af plejehjem (se Afsnit 6.2). Ligeledes ligger der heller ikke hospitaler inden for Kildeskovsrendens opland. Derfor vurderes det i indeværende analyse, at evakuering fra plejehjem eller hospitaler i så sjælden en grad ville finde sted, at den ikke medtages i analysen.

Omkostninger til beredskab ved skybrud er ikke yderligere prissat. Dette begrundes, i at man generelt kan opdele disse omkostninger til hhv. en præventiv og en reaktiv indsats. Det er vurderet, at der for skybrud ikke foretages markante præventive indsatser, som det eksempelvis er tilfældet ved stormflod, hvor der lægges sandsække til opdæmning etc. forud for en regnhændelse. Omkostningerne fra den reaktive indsats vil i tilfælde med skybrud hovedsageligt være relateret til bortpumpning af vand fra større veje. Det antages derfor, at de reaktive indsatsomkostninger allerede er dækket i værdisætningen for oprydning af veje (se Bilag 5.3.1).

Udover ovenstående parametre overvejedes det også, om elektriske foranstaltninger og elsvigt skulle inddrages. Eventuelle skader på netstationer og transformatorstationer kan føre til elsvigt og forstyrrelser for borgerne. Men som nævnt har Novafos hidtil ikke oplevet elsvigt under skybrud. I enkelte tilfælde har man oplevet elsvigt grundet lynnedslag under et skybrud, men det er ikke oversvømmelserne, der har medført skader på stationerne (og dermed elsvigt). Det blev derfor aftalt, at skader på

netstationer og/eller transformatorstationer samt elsvigt ikke inkluderes i risikokortlægningen.

PLASK prissætter også skader på veje. Det forventes dog ikke, at der sker skader på veje under skybrud, idet vandet ikke nedsives, men afstrømmer relativt hurtigt.

Forsinkelse på fragt kan overvejes at inkluderes. Der foreligger dog på nuværende tidspunkt ingen opgørelser over, hvor ofte og hvor meget gods, der fragtes på hvilke veje, og det er derfor ikke muligt at inkludere forsinkelse på fragt i risikomodelleringen.

#### **6.4 Referenceperson**

I forbindelse med risikokortlægningen har Karsten Arnbjerg-Nielsen (DTU), som er en af forfatterne bag Skrift 31, været tilknyttet som referenceperson, som allerede nævnt i 2.2.3. Nedenstående emner er drøftet med Karsten.

I forbindelse med udarbejdelsen af risikomodellen blev studier i skader forårsaget af oversvømmelser undersøgt. Langt de fleste studier fokuserer på prissætningen af direkte, markedsomsatte skader, mens få berører indirekte, markedsomsatte skader og endnu færre prissætter ikke-markedsomsatte skader. Ovenfor nævnes det også, hvorledes denne model udelader kategorier som dødsfald, skader, evakueringer osv. Karsten påpegede at grundet disse udeladelser samt mørketal fra forsikringselskaber, der opstår, fordi ikke alle ejendele er forsikrede samt differentierede selvrisci, vil en risikokortlægning oftest underestimere de forventede årlige skadesomkostninger. Denne underestimering af indirekte skader var af nogle studier estimeret til at være fra 30% op til 100% af de markedsomsatte skader, oplyste Karsten. Han anbefalede, at der foretages en følsomhedsanalyse af risikomodellen for at undersøge betydningen af en mulig under- (og over-) estimering af værdier, som ikke prissættes i modellen. Følsomhedsanalysen af risikokortlægningen foretages i Afsnit 9.

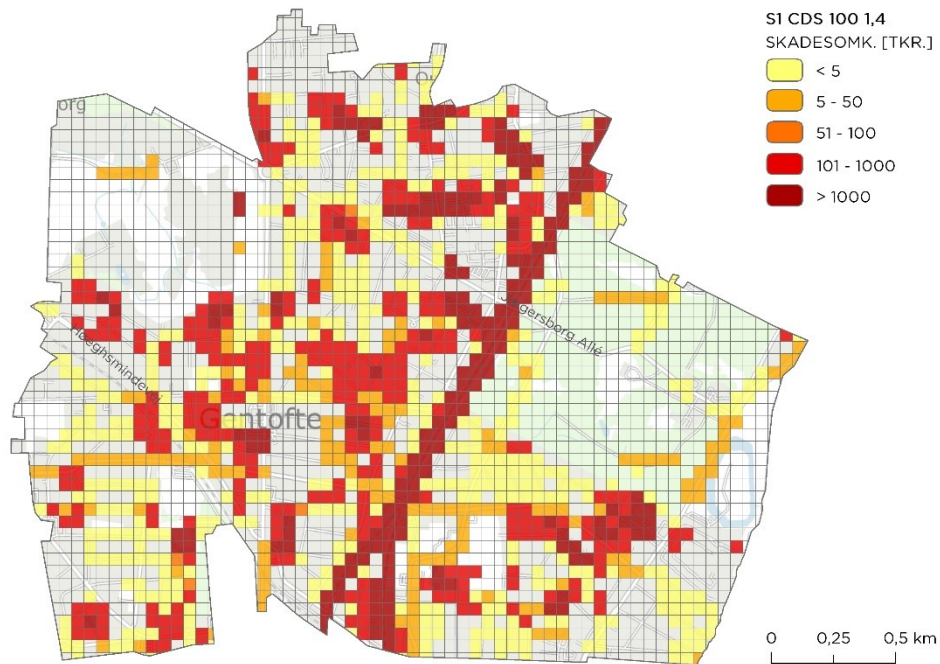
Et andet vigtigt aspekt i risikokortlægningen er definitionen af en oversvømmelse. Rambøll såvel som DTU har haft svært ved at finde andre studier, der definerer, hvornår noget er oversvømmet pga. skybrud. Der foreligger dog data for kyst- og flodoversvømmelser, og DTU har udarbejdet et oversvømmelsesværktøj ud fra disse. I dette værktøj antages det, at hvis én del af huset er oversvømmet, så er hele huset oversvømmet. Denne definition er derfor også anvendt for Kildeskovsrendens opland.

Det var desuden Karsten, der gjorde Rambøll opmærksom på CADSS, som på tidspunktet var et nyt program udviklet af DHI gennem et Vand i Byer-projekt, idet der i branchen forelå et ønske om en branchestandard for risikokortlægning. På baggrund af denne oplysning kontaktede Rambøll DHI for at høre om muligheden for at anvende CADSS, som efterfølgende blev indkøbt og anvendt på Kildeskovsrendens opland.

Derudover kvalitetssikrede Karsten enhedspriserne, der blev anvendt i risikomodellen

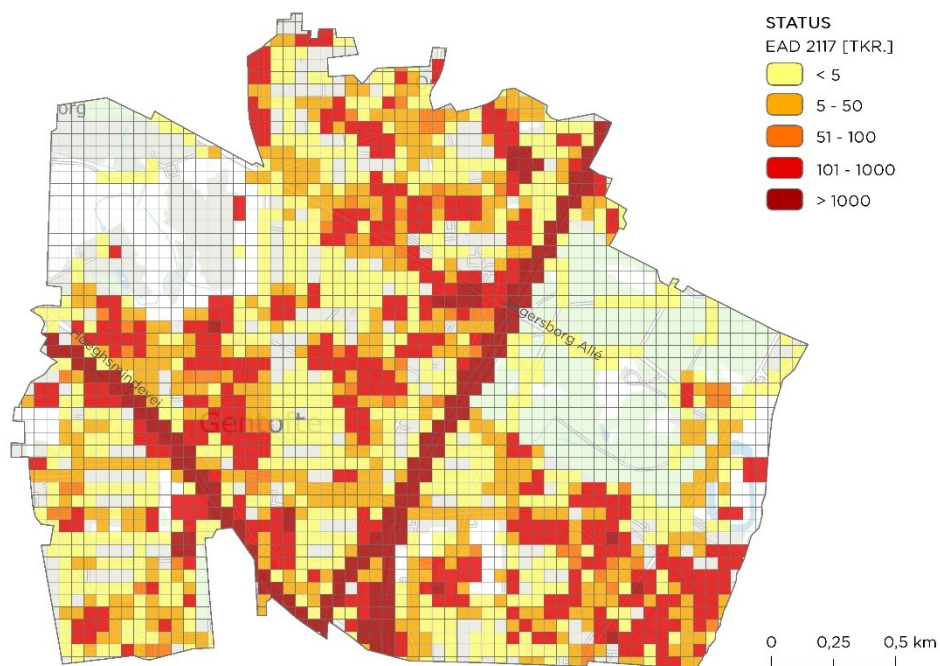
#### **6.5 Resultater**

Ved at sammenholde identificerede enhedsomkostninger med GIS-data og oversvømmelsesudbredelseskort kan der skabes skadeskort og risikokort for oplandet (se Afsnit 2.4). Et eksempel ses i Figur 39, som viser skadesomkostningerne ved en 100-års regnhændelse for S1 i 2117.

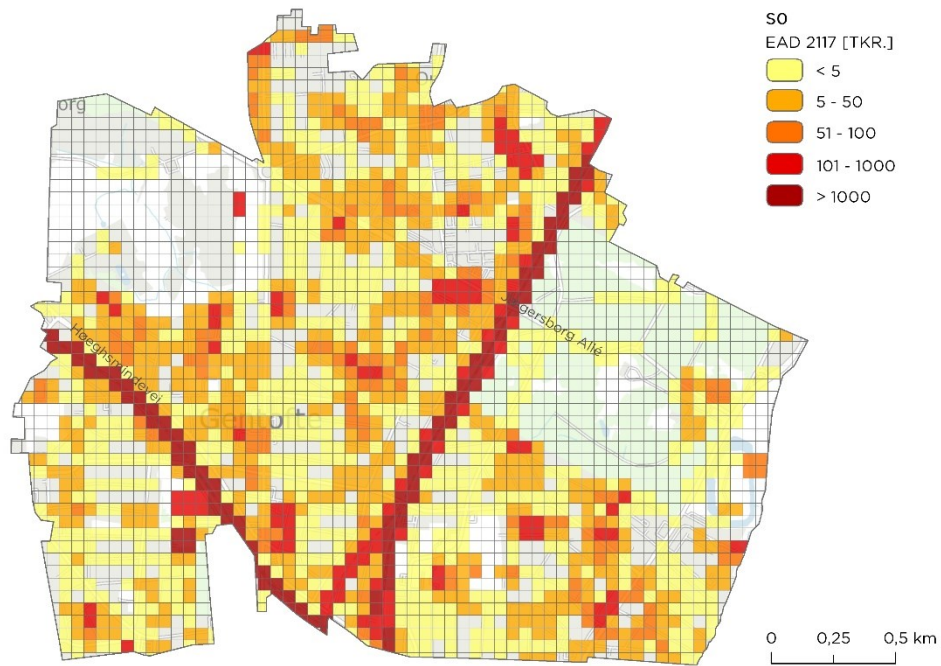


**Figur 39** Skadeskortet viser skadesomkostningerne ved en 100-års regnhændelse i S1 i 2117 aggreget i celler á (50 × 50) m.

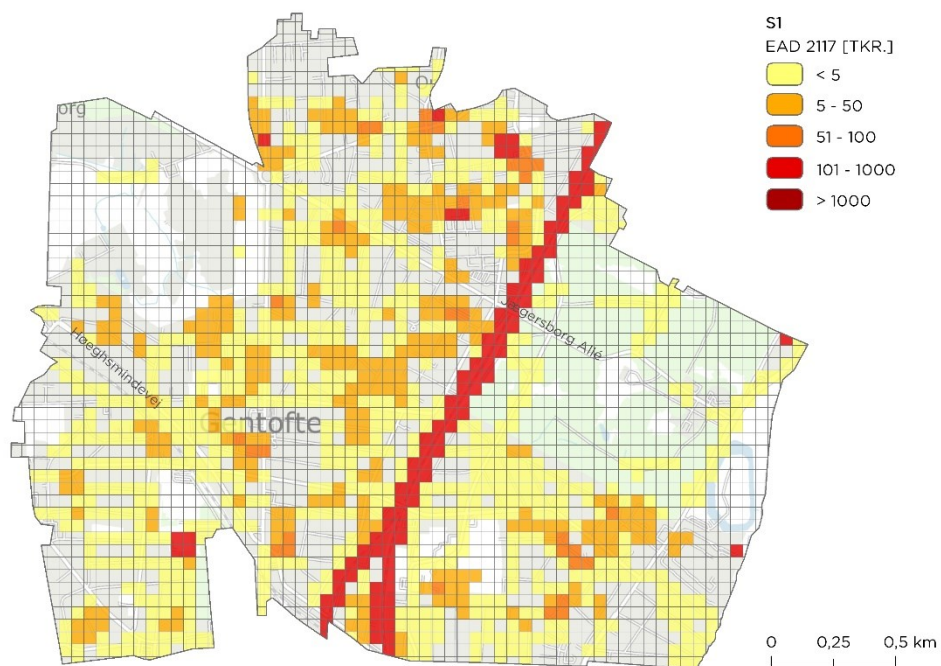
Ved at sammenholde alle sandsynlighederne i et givent år for hvert scenarie, kan de forventede årlige skadesomkostninger udregnes og vises i et risikokort. Figur 40 til Figur 44 viser risikokort i 2117 for de fire scenarier samt status.



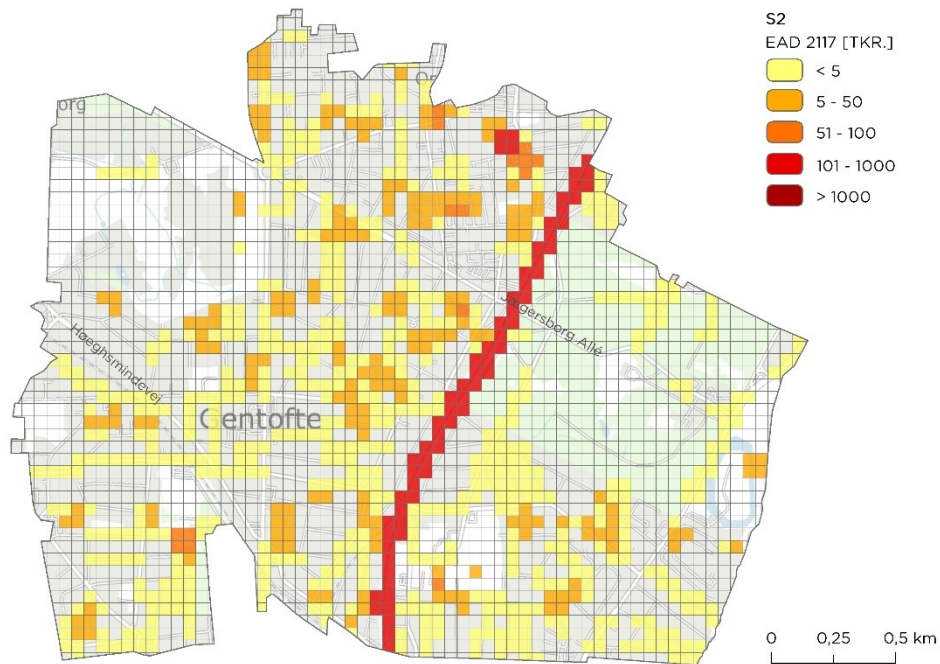
**Figur 40** Risikokort for statusscenariet i år 2117



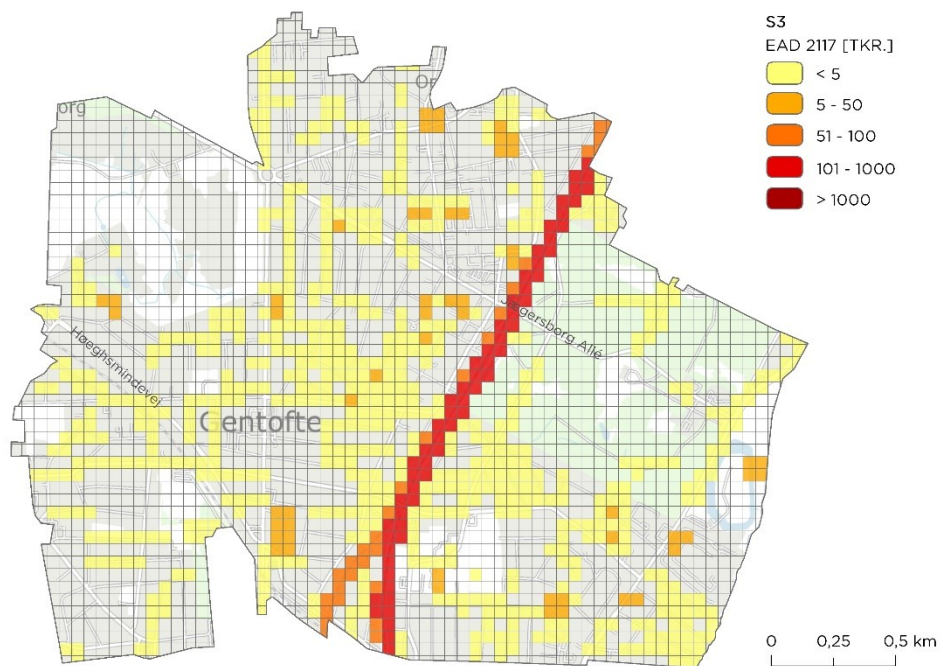
Figur 41 Risikokort for SO i år 2117



Figur 42 Risikokort for S1 i år 2117



**Figur 43** Risikokort for S2 i år 2117



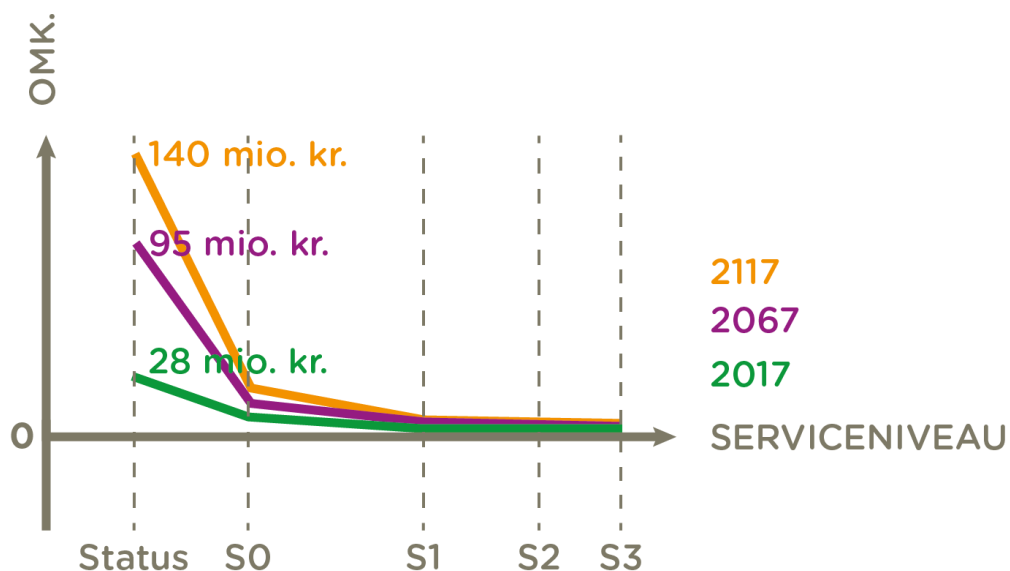
**Figur 44** Risikokort for S3 i år 2117. I disse beregninger er der som nævnt inkluderet en 150-års regnhændelse. Ellers vil der ikke være nogen skader ved en 100-års regnhændelse i S3, og det er urealistisk, at skader reduceres 100%.

Ved at integrere op over arealet for oplandet, kan EAD for hele oplandet angives ved et enkelt tal i et givent år. Tabel 9 viser EAD for hvert scenarie for 2017, 2067 og

2117. Som forventet falder de årlige skadesomkostninger jo højere serviceniveau, der sikres til. Det ses ligeledes, at en sikring til S0 mindsker EAD betydeligt i forhold til statusscenariet. Der er umiddelbart også en relativ stor gevinst at hente i mindskede årlige skadesomkostninger ved S1 fra status, hvorimod der ikke er stor forskel i at sikre mellem S2 og S3 (se Figur 45).

**Tabel 9** EAD i et givent år for hvert scenarie afrundet til nærmeste titusinder

Scenarie	År	EAD [tkr.]
Status	2017	27.980
	2067	94.630
	2117	139.870
S0	2017	9.700
	2067	15.480
	2117	23.040
S1	2017	1.530
	2067	2.860
	2117	4.710
S2	2017	280
	2067	710
	2117	1.310
S3	2017	120
	2067	340
	2117	670



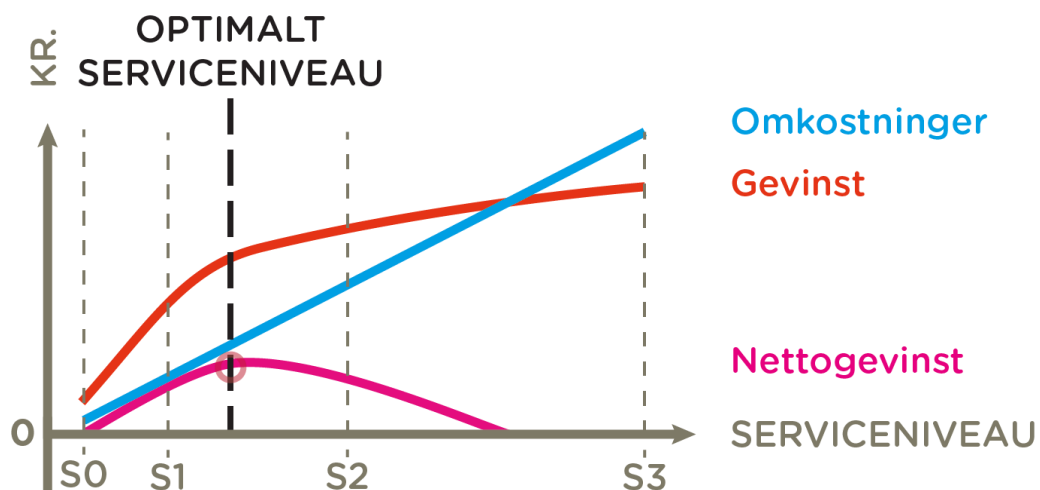
**Figur 45** De forventede årlige skadesomkostninger for hvert scenarie

I Bilag 5.5 ses flere resultater fra risikokortlægningen.

## 6.6 Opsamling

I dette kapitel er enhedsomkostningerne for oversvømmelser og skadesomkostningerne ved flere sandsynligheder beskrevet. De årlige skadesomkostninger (EAD) op-

stilles i en pengestrømsopgørelse således, at en samlet nutidsværdi af skadesomkostninger for hvert scenarie kan udregnes (se Kapitel 8). Ved at trække NV for de årlige skadesomkostninger for henholdsvis S0, S1, S2 og S3 fra NV for de årlige skadesomkostninger for status kan man udregne gevinsterne ved klimatilpasning, således at disse indgår i den røde kurve i grafen for nettogevinstkurven i de samfundsøkonomiske beregninger. Idet skadesomkostningerne falder ved højere serviceniveauer, vil gevinsten øges ved højere serviceniveauer jf. Figur 5, som er gengivet her i Figur 46.



**Figur 46** EAD indgår i den økonomiske analyse som de sparede EAD i forhold til status og bliver derved målt som en gevinst. De sparede EAD er derfor en del af den røde kurve, hvori merværdier også kan indgå. Bemærk at denne figur kun afspejler kurverne teoretisk og ikke faktiske resultater af denne analyse.

## 7. MERVÆRDI



Dette kapitel introducerer merværdier og beskriver effekten af at inkludere disse i analysen. Inkluderingen af merværdier i denne analyse har været omdiskuteret. Under projektets forløb blev merværdier beregnet og påvirkningen af resultaterne undersøgt, men beslutningen blev, at resultaterne for merværdier ikke skal indgå i analysen, hvilket begrundes i de følgende afsnit.

Det primære formål med klimatilpasningsløsninger er at reducere risikoen for oversvømmelser. Klimatilpasningsløsninger kan dog potentielt medføre andre samfundsmæssige sociale og miljømæssige gevinster, såkaldte "merværdier", enten via deres funktion eller via deres design, især hvis der arbejdes med andre anlægstekniske løsninger end traditionelle rør løsninger.

Jf. Skrift 31 kan merværdier inkluderes i en samfundsøkonomisk analyse, såfremt de kan prissættes. I forbindelse med analysen af Kildeskovsrendens opland blev følgende seks merværdier identificeret som værende relevante og kvantificerbare: Rekreative værdier, fysisk sundhed, kulstoflagring og luftkvalitet, varmeøffekt, tryghedsfølelse og vandmiljø. Merværdier af klimatilpasningstiltag er dog et relativt nyt studie, og der foreligger derfor mange usikkerheder omkring både værdisætningen samt identificeringen af relevante merværdier.

### 7.1 Effekten af merværdier

Ved at inkludere merværdier i en samfundsøkonomisk analyse vil analysen bedre afspejle de egentlige forhold, der opstår i forbindelse med klimatilpasningsløsninger, idet der tages højde for de samfundsmæssige gevinster, der muligvis ville kunne opnås, ud over reducerede skadesomkostninger. Effekten af at inkludere merværdier i analysen kan også ses i resultaterne, da det optimale serviceniveau vil øges jo flere værdier, der inkluderes i analysen og jo mere, de kommer til udtryk. Det vil fx sige, at jo mere et areal begrønnes, jo flere rekreative værdier vil der eksempelvis opstå, og desto bedre kan højere investeringer i klimatilpasning betale sig.

Ulempen ved at inkludere merværdier er de førnævnte store usikkerheder, der foreligger. Dels i værdisætningen, hvor der endnu ikke er foretaget mange studier, som man kan læne sig op ad og sammenligne eventuelle egne beregninger med, og dels i identificeringen af relevante parametre. Nogle parametre vil være relativt ens for flere kommuner, mens andre merværdier vil prioriteres højt i en kommune og slet ikke findes relevante i andre kommuner. Tryghed og rekreative værdier vil generelt vægtes højt for alle, men fx brandingværdi og turisme kan være meget subjektive parametre, som vægtes højere i nogle kommuner end andre. Vægtningen og prioriteringen af merværdier for et område kan forsøges afgrænset i et tværfagligt samarbejde interessenter imellem, men der vil stadig foreligge store usikkerheder omkring værdisætningen.

### 7.2 Referencepersoner

I den overordnede tilgang til værdisætningen af merværdierne har Jan Bentzen (AU) og Karsten Arnbjerg-Nielsen (DTU) været involveret i forbindelse med, at de har været tilknyttet som referencepersoner på henholdsvis risikokortlægningen og økonomiske analyser, som beskrevet i Afsnit 2.2.3. Endvidere har Karsten bidraget til den

konkrete værdisætning af de enkelte merværdier igennem løbende sparring og kvalitetssikring af tilgang og resultat.

Udover referencepersonernes involvering blev der indledningsvist afholdt en workshop, hvor en række forskellige fagpersoner bidrog til identifikationen af merværdier. Workshoppen blev afholdt i oktober 2017 med deltagelse af – udover Rambøll eksperter – Karsten Arnbjerg-Nielsen (DTU), Jakob Dyrby Petersen (Novafos), Mads Høhne Kromann (Gentofte kommune), Jakob Carlé Zabel (Gentofte Kommune) samt Eva Christensen (Københavns kommune). Formålet med workshoppen var at identificere en bruttoliste med merværdier, som skulle inkluderes i analysen. Denne bruttoliste dannede udgangspunkt for det efterfølgende arbejde med merværdierne i analysen.

### **7.3 Resultater**

Inkluderingen af merværdier i denne analyse har været et omdiskuteret emne, dels grundet førnævnte usikkerheder og de uafklarede retningslinjer for denne type optimeringsanalyse i så tidlig en fase, men også fordi der har været et ønske om at afgrænse analysen. De relevante merværdier blev som nævnt afgrænset og prissat, og metoden og forudsætningerne herfor kan læses i henholdsvis Bilag 6.1 samt Bilag 6.3 til Bilag 6.12. Novafos besluttede efterfølgende, at merværdier vil indgå som understøttende resultater til analysen, men at rapportens hovedresultater vil fokusere på skades- og samfundsøkonomiske omkostninger samt investeringer. Novafos understregede i forbindelse med beslutningen, at det stadig er vigtigt for dem, at merværdier indtænkes i design og projekteringen af løsninger i de kommende faser. Resultaterne for beregning af merværdier kan derfor læses i Bilag 6.2.

### **7.4 Opsamling**

I dette kapitel er merværdier og effekten af at inkludere dem i en samfundsøkonomisk analyse beskrevet. Det forklares ligeledes, hvorfor det blev besluttet, at merværdier ikke skal indgå i resultaterne i analysen.

For at bibeholde det generelle overblik over en samfundsøkonomisk analyse, vil metodebeskrivelsen heraf stadig omfatte merværdier, hvilket fx begrundes, at metoden for at inkludere merværdier stadig beskrives i Kapitel 8. Men udregninger og resultater, der præsenteres i resten af denne rapport, er eksklusiv merværdier. Resultaterne af den samfundsøkonomiske analyse inklusiv merværdier, kan læses i Bilag 7.

## 8. SAMFUNDSØKONOMISK BEREGNING



Dette kapitel samler resultaterne fra Kapitel 5, 6 og 7 i pengestrømsopgørelser og beregninger for nutidsværdier af hhv. omkostningerne, EAD og merværdier.

I analysen opstilles en Excelbaseret beregningsmodel, der sammenholder de fremtidige gevinster ved at klimatilpasse til forskellige serviceniveauer (S0, S1, S2 og S3) med omkostningerne til de nødvendige tilpasningstiltag.

I Afsnit 8.1 beskrives pengestrømsopgørelsen og dets opbygning. Afsnit 8.2 gennemgår metoden og antagelserne for den endelige interpolering af nutidsværdier, samt optimum og nettogevinstkurven.

### 8.1 Nutidsværdi

Klimatilpasningstiltag er som mange andre infrastrukturprojekter kendetegnet ved at have store initiale omkostninger i forbindelse med investeringen i projektet, mens gevinsterne ved sparede skadesomkostninger og evt. merværdier er spredt over en længere, fremtidig periode.

Pengestrømme, der er tidsmæssigt adskilt, kan ikke umiddelbart lægges sammen. Derfor tilbagediskonteres fremtidige omkostninger og gevinster, hvorved værdien af disse i dag kan opgøres. Diskonteringen anvendes til at opgøre fremtidige omkostninger og gevinster i nutidskroner og er dermed bestemmende for, hvordan fremtiden vægtes i forhold til nutiden.

Finansministeriet [31] har udgivet en vejledning, hvori de anbefaler en faldende realdiskonteringsrente for projekter i Danmark fra 4% for år 0-35, 3% for år 36-70 og 2% for år 71 og over.

Nutidsværdier (NV) beregnes for at kunne sammenligne serviceniveauernes omkostninger og gevinster på et fælles grundlag, dvs. de samlede værdier ved et givent år (fx anlægsåret).

NV for omkostningskategori  $i$  beregnes ved følgende formel:

$$NV_i = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

Hvor  $CF_t$  er pengestrømmen af fx sparede skadesomkostninger i år  $t$ , og  $r$  er diskonteringsrenten. Som det ses af formlen, afhænger nutidsværdien udover størrelsen af periodens pengestrøm også af de(n) diskonteringsrente(r), der vælges.

Ved beregning af nettonutidsværdi (NNV) sammenholdes omkostninger til tiltag med gevinsterne ved klimatilpasning:

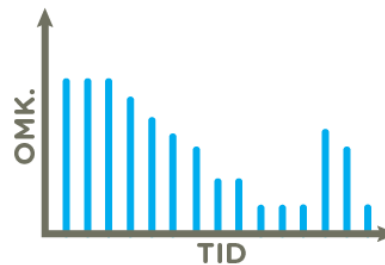
$$NNV_{projekt} = NV_{gevinster} - NV_{vedligehold og drift} - CF_{omkostninger}$$

hvor  $CF_{omkostninger}$  er den initiale investeringssum samt de nødvendige løbende reinvesteringer.

## 8.2 Pengestrømsopgørelse

Pengestrømsopgørelsen sammenholder summen af de tilbagediskonterede årlige samfundsøkonomiske gevinster ved de forskellige serviceniveauer med omkostningerne til at klimatilpasse til de enkelte serviceniveauer.

Figur 47 viser et eksempel på en pengestrøm, hvor der i starten implementeres mange nye tiltag. Efter et par år implementeres der stadig nye tiltag, men ikke lige så mange som i starten og efter yderligere nogle år, er der kun en fast drift. I de sidste par år (i figuren) er der behov for reinvesteringer, hvorfor omkostningerne stiger endnu engang for en kortere periode.



**Figur 47** Eksempel på en pengestrøm over omkostninger til tiltag (anlægs- og driftsomkostninger inklusiv reinvesteringer)

For at have et sammenligneligt vurderingsgrundlag af serviceniveauernes årlige gevinster og omkostninger, beregnes nutidsværdien (NV) ud fra pengestrømsopgørelsen for hvert serviceniveau. Dette gøres indledende for de fire kendte serviceniveauer (S0, S1, S2 og S3) samt statusscenariet, hvorefter nutidsværdikurven for de mellem-liggende serviceniveauer findes ved interpolation mellem de kendte scenarier.

Pengestrømsopgørelsen er opdelt i følgende to (eller tre) kategorier:

- Anlægs- og driftsomkostninger samt reinvesteringer
- Risiko
- Evt. merværdier

Diskonteringen foretages ved brug af den variable diskonteringsrente som defineret af Finansministeriet [31] vist i Tabel 10.

**Tabel 10** Diskonteringsrenten

Projektets periode [år]	Diskonteringsrente [%]	Kilde
0-35	4	
36-70	3	[31]
70+	2	

NV for hhv. anlægs-, driftsomkostninger samt reinvesteringer, risiko og evt. merværdier for de øvrige serviceniveauer, dvs. ud over 5, 20, 50 og 100 beregnes ud fra antagelsen om en given udvikling mellem de kendte serviceniveauer. Af interpoleringen fremkommer et sammenhængende datasæt for serviceniveauernes samfundsøkonomiske konsekvenser.

Antagelserne om udviklingen mellem serviceniveauer er opstillet i Tabel 11.

**Tabel 11** Procentuel udvikling i interpolerede værdier

Kategori	Antaget udvikling imellem serviceniveauerne
Investerings- og driftsomkostninger	Eksponentiel stigende, med konstant vækstrate
Risiko	Eksponentiel faldende, med aftagende vækstrate
Merværdier	Lineært stigende

#### 8.2.1 Anlægs-, driftsomkostninger samt reinvesteringer

De årlige omkostninger til anlæg, drift og reinvestering er opgjort som summen af de årligt fordelte initiale anlægsomkostninger, reinvesteringer, drift af anlæggene, samt deres finansieringsomkostning.

Den initiale anlægsomkostning er den investering, der lægges i selve etableringen af klimatilpasningsløsningen, mens reinvesteringer er de anlægsomkostninger, der skal foretages efter etableringen, for at holde anlæggene ved lige. Hvor ofte disse reinvesteringer skal foretages, afhænger af anlægstypen. Som for anlægsomkostningen er reinvesteringssomkostninger fordelt ligeligt over perioden, hvor reinvesteringen finder sted. Det betyder fx, at reinvesteringen for anlæg med en levetid på 10 år sker 10 år efter etableringsåret.

Det antages, at investeringsbeløbet optages som annuitetslån over den 15-årige etableringsperiode. Det antages desuden, at afbetalingen sker løbende fra året, hvor det første lån tages og frem til 40 år efter sidste lån optages. Den årlige investeringsomkostning udgøres således af de årlige ydelsesomkostninger, dvs. afdrag og rentebetalinger samt garantiprovision.

Det er værd at bemærke, at finansieringsomkostninger som udgangspunkt ikke medtages i en traditionel samfundsøkonomisk analyse. Dette skyldes, at disse oftest er ukendt, da en samfundsøkonomisk analyse gennemføres på et meget tidligt projektstadium. Ved offentlige investeringer lægges derfor normalt 20 pct. til investering- og driftsomkostninger i form af skatteforvridningstab. I indeværende analyse behandles Novafos som en privat aktør, hvorfor skatteforvridningen ikke medtages. Endvidere antages det i analysen, at Novafos står for finansieringen af alle anlæg. Der er således ikke taget højde for en eventuel medfinansiering fra fx kommunen, hvilket dog ikke vurderes at have betydning for analysens resultater. For at tage højde for finansieringen af projektet er finansieringsomkostningerne medtaget i analysen baseret på oplysninger fra Novafos om forventede finansieringsforhold.

Samme fremgangsmåde er benyttet i beregningen af de årlige omkostninger til reinvesteringer. Her starter lånet fra det år, hvor reinvesteringen sker og optages over de efterfølgende 15 år. Den årlige omkostning til reinvesteringer består ligeledes af den årlige ydelse og garantiprovision med en tilbagebetalingsperiode på 40 år efter året, hvor det sidste lån blev taget.

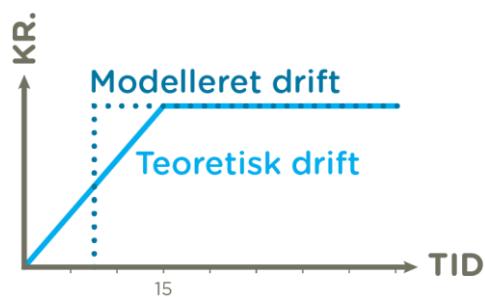
I beregningen af de årlige investeringsomkostninger er der gjort en række antagelser, som er vist i Tabel 12.

**Tabel 12** Antagelser gjort i beregningen af de årlige investeringsomkostninger

Kategori	Antagelse
Investeringer og reinvesteringer	
Startår for investeringer	2017
Investeringsperiode (initial og reinvesteringer)	15 år
Investerings- og reinvesteringsbeløb	Fordeles ligeligt over investeringsperioden
Reinvesteringernes levetid begynder fra	Startåret for investeringerne
Afbetaling	Løbende fra lånets startår

Service-niveauets årlige drift afhænger af hvilke anlæg, der etableres og deres volumen. Den årlige driftsomkostning for de fire service-niveauer beregnes som summen af hvert af anlæggenes årlige driftsomkostning. Driftsomkostningerne for anlæg-gene fremgår af Afsnit 5.5.2.

Det er antaget, at driftsomkostningerne starter fra midten af etableringsperioden. Driftsomkostningerne vil i etableringsperioden være stigende i forhold til status i takt med at anlæg etableres og dermed skal driftes. Efter etableringen vil driftsomkostninger være konstante. Ved at starte driftsomkostningerne i midten af etableringsperioden, balanceres underestimeringen i driftsomkostningerne i den første halvdel af perioden med overestimeringen i den sidste halvdel.



**Figur 48** Illustration af, hvordan drift modelleres i Excel-modellen

I beregningen af de årlige driftsomkostninger er der gjort antagelser, som er vist i Tabel 13.

**Tabel 13** Antagelser gjort i beregningen af de årlige driftsomkostninger

Kategori	Antagelse
Drift	
Beløb	Fast årligt beløb
Startår	Starter i midten af etableringsperioden

### 8.2.2 Risiko

Risiko angives som summen af de forventede årlige skader og samfundsøkonomiske omkostninger (EAD), der fortsat vil være til stede ved sikringen til det givne service-niveau.

Risikoen for hvert af de fire service-niveauer samt status er beregnet for 2017, 2067 samt 2117, som beskrevet i Kapitel 6. Udviklingen i risiko foretages herefter under en række antagelser som vist i Tabel 14.

**Tabel 14** Antagelser i udviklingen af den årlige risiko

Udvikling i årlig risiko	Antagelse
Under etableringsperioden (15 år), 2017-2032	Eksponentielt faldende
Efter etableringsperioden, 2032-2117	Lineært stigende

Det antages, at de mest effektfulde dele af klimatilpasningsløsningen etableres først. Det antages derfor, at der i etableringsperioden sker en eksponentiel reduktion i risiko (skader og samfundsøkonomiske omkostninger). Efter etableringsperioden antages udviklingen at være lineært stigende frem til slutningen af analyseperioden i 2117. Når udviklingen i risiko er fastlagt, og risikoen dermed kan opstilles i en pengestrømsopgørelse, kan nutidsværdien for hvert scenarie udregnes.

### 8.2.3 Merværdier

Som beskrevet i Afsnit 7.3 er det valgt, at merværdier ikke skal indgå i analysen, og resultaterne fremgår dermed heller ikke i hovedrapporten. For overblikkets skyld og da der stadig er regnet på resultaterne med merværdier, er nedenstående beskrivelse stadig omfattet af hovedrapporten, men uddybes yderligere i Bilag 7.1.

Hvert scenarie medfører i varierende grad en række merværdier. Disse merværdier består både af engangsgevinster for samfundet og en række løbende årlige gevinster. I analysen indgår de som en samlet årlig værdi for hvert år over projektperioden (se Bilag 7.1).

Det antages, at de årlige merværdier starter i samme år som etableringen påbegyndes. Samtidig antages de årlige merværdier at udvikle sig eksponentielt over etableringsperioden i takt med, at klimatilpasningsløsninger etableres, og borgerne får gavn heraf. Efter etableringsperioden antages klimatilpasningsløsningens bidrag til merværdierne at være konstant.

I beregningen af de årlige merværdier anvendes der en række antagelser og beregningsmetoder, som er beskrevet i Tabel 15.

**Tabel 15** Antagelser for hhv. løbende og engangsgevinster

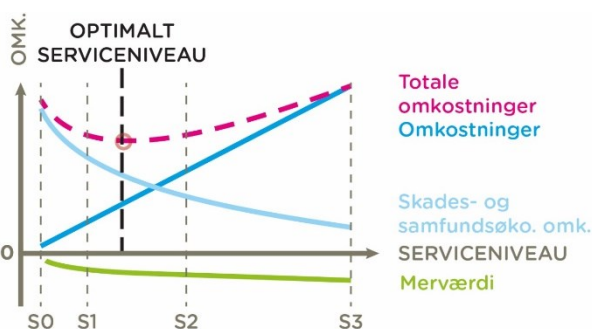
Kategori	Antagelse
<b>Løbende gevinster: Merværdier, eksklusiv tryghed</b>	
Startåret for merværdierne	Samme år som etableringen, 2017
Udvikling over etableringsperioden (2017-2031)	Eksponentielt stigende
Udvikling efter etableringsperioden (2032-2117)	Lineær*
<b>Engangsgevinster: Merværdi fra tryghed</b>	
Startåret for merværdierne	Midten af etableringsperioden
Udvikling i antal sikrede boliger	
- Over årene	Lineær
- Over serviceniveauer	Lineær

\*Merværdierne vokser herefter kun med befolkningstilvæksten i Gentofte Kommune

## 8.3 Samfundsøkonomisk optimum og nettogevinstkurve

Beregningsmodellen har til formål at beregne de samfundsøkonomiske konsekvenser ved samtlige serviceniveauer fra 1-100 år. Dette gør det muligt efterfølgende at beregne det serviceniveau, som det er samfundsøkonomisk optimalt at sikre til.

Idet omkostningerne i modellen er beregnet som positive værdier, indgår gevinsterne som negative værdier. Det samfundsøkonomiske optimum findes i det serviceniveau, der har de laveste totale omkostninger (lyserød kurve i Figur 4, som er gengivet her i Figur 49).

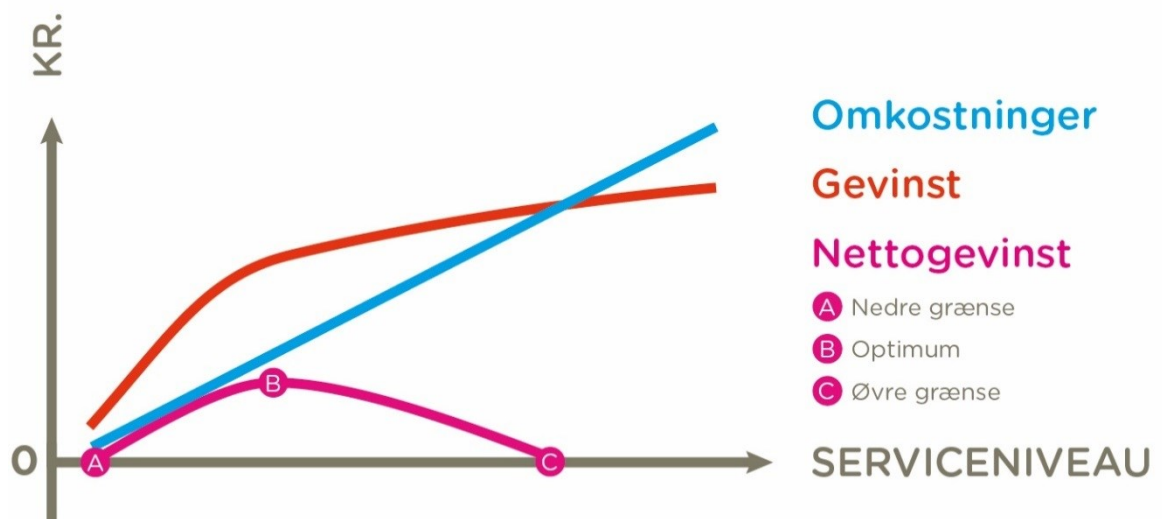


**Figur 49** Gengivelse af Figur 4, der viser, at det optimale serviceniveau findes, hvor de totale omkostninger er på et minimum.

Som supplement til det samfundsøkonomiske optimum beregnes også det enkelte serviceniveaus samfundsøkonomiske nettogevinst. Nettogevinsten betegner gevinsterne, der skabes gennem reducerede skades- og samfundsøkonomiske omkostninger relativt til basisscenarioet samt evt. skabte merværdier fratrukket omkostninger til investering og drift af klimatilpasningen. En positiv nettogevinst betyder således, at der er en gevinst for samfundet ved at sikre til dette serviceniveau. Hvor nettogevinsten er negativ, er der derimod en samfundsøkonomisk omkostning ved at sikre til serviceniveauet.

Nettogevinstkurven vurderes ift. et basisscenarie jf. Finansministeriets vejledning. Basisscenarioet beskrives som situationen "at fortsætte som hidtil", der enten kan være at undlade at gennemføre tiltag eller at fortsætte med at opfylde målsætningen som hidtil [31]. Der er derfor mulighed for, at et basisscenarie er situationen, som den er i dag (status), men S0 kan i denne sammenhæng også anses som værende basisscenarie, eftersom der i Gentofte Spildevandsplan er et servicemål om overholdelse af serviceniveau til Skrift 27. Der er til opgaven valgt, at basisscenarioet er situationen som i dag (statusscenarie). Valget samt betydningen for resultaterne beskrives i Afsnit 0.

Figur 50 udbygger Figur 5 og illustrerer serviceniveauernes nettogevinst, optimum samt et spænd af optima.



**Figur 50** Nettogevinstkurven er positiv imellem A og C, og serviceniveauer herimellem vil give en positiv samfundsøkonomisk gevinst, mens optimum ligger i kurvens toppunkt, B. Bemærk at denne figur er teoretisk og ikke afspejler analysens faktiske resultater.

Det samfundsøkonomisk optimale serviceniveau kan i figuren aflæses som toppunktet på nettogevinstkurven (B). Hældningen af hhv. omkostnings- og gevinstkurverne, dvs. hvor hurtigt omkostningerne falder, eller gevinsterne indtræffer, når serviceniveauet øges, har betydning for, hvor det samfundsøkonomiske optimum findes. Optimum beskriver således det serviceniveau, hvor gevinsten i reducerede skader og evt. merværdier er størst per investeret krone.

I figuren er det ligeledes illustreret, hvordan et spænd af mulige optima (A)-(C) kan være placeret omkring det beregnede optimum (B). Hvor omkostningerne ved tiltaget overstiger de gevinster, der skabes (vist i figuren ved skæringen af omkostnings- og gevinstkurverne) er nettogevinsten negativ. Nettogevinstkurven illustrerer således både det samfundsøkonomiske optimum (B), og for hvilke serviceniveauer det vil, og ikke vil, være samfundsøkonomisk rentabelt at klimatilpasse til.

#### 8.4 Referenceperson

Jan Bentzen (AU) og Karsten Arnbjerg-Nielsen (DTU) har bidraget med sparring ift. at sikre, at den gennemførte analyse lever op til kravene for en samfundsøkonomisk analyse samt den geografiske afgrænsning. Endvidere har de bidraget med sparring til, hvilke gevinster og omkostninger, der er relevante at inkludere i analysen samt metode og tilgang til estimering af disse. Det drejer sig fx om merværdien for tryghedsfølelse, herunder størrelsen ved forskellige sikringsniveauer. Referencepersonerne har således bidraget til at sikre, at analysen er gennemført på en korrekt metodisk måde.

Endvidere har Karsten Arnbjerg-Nielsen været involveret i en række drøftelser omkring anvendelsen af samfundsøkonomisk optimum kontra nettonutidsværdikurven samt antagelserne omkring udviklingen af de forskellige kurver mellem de estimerede punkter. Dette har fx resulteret i, at nettonutidsværdikurven blev indarbejdet i analysen og ikke kun det samfundsøkonomiske optimum, da det i samråd med referencepersonerne er vurderet, at dette giver det mest fyldestgørende billede af analysens

resultater, eftersom det både viser et optimum, men også i hvor lang en periode, der opnås en positiv NNV.

### **8.5 Opsamling**

I dette kapitel er det beskrevet, hvordan omkostninger til anlæg, drift og reinvesteringer samt de forventede, årlige skadesomkostninger og merværdier opstilles i hver deres pengestrømsopgørelse, således at de kan samles i en samfundsøkonomiske analyse. Resultaterne heraf præsenteres i Kapitel 9.

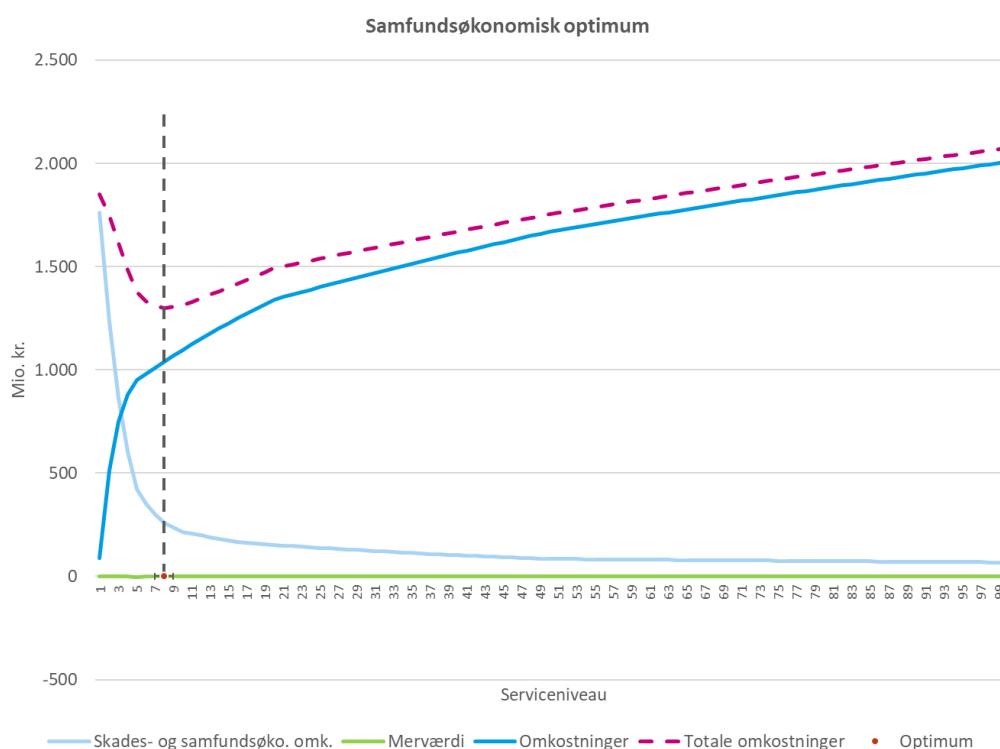
## 9. OPTIMALT SERVICENIVEAU

Dette kapitel præsenterer resultaterne af den samfundsøkonomiske analyse, en Monte Carlo simulering samt en supplerende følsomhedsanalyse, der undersøger følsomheden og dermed usikkerhederne på resultatet.

### 9.1 Resultater

Af dette afsnit fremgår resultaterne af den samfundsøkonomiske analyse eksklusiv merværdier.

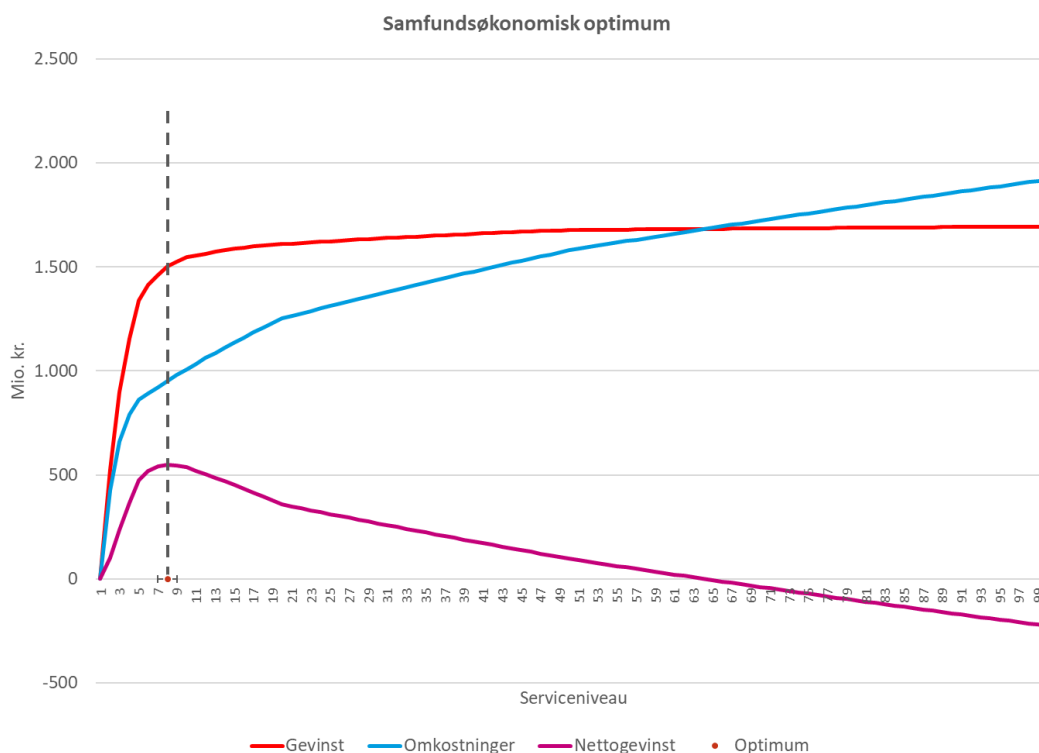
Figur 51 viser resultaterne for det samfundsøkonomiske optimum. Overordnet set viser figuren, at det vil være samfundsøkonomisk optimalt at sikre til et serviceniveau på 8 år.



**Figur 51** Grafen afbilder skadesomkostningerne, investeringsomkostninger samt optimumkurven, som viser, at det optimale serviceniveau for regnvand på terræn er 8 år.

Et nærmere blik på figuren viser, at omkostningerne forventes at være kraftigt stigende frem til et serviceniveau på 6-7 år, hvorefter stigningstakten aftager. På samme måde er skadesomkostningerne kraftigt faldende frem til et serviceniveau på 6-7 år og falder herefter med en lavere takt.

Som beskrevet i Afsnit 8.3 er der som supplement til analysen af det samfundsøkonomiske optimum også afdækket nettogevinsten ved de forskellige serviceniveauer. Dette er gjort for at illustrere ved hvilke serviceniveauer, der er en positiv gevinst for samfundet ved at klimatilpasse. Figur 52 viser resultaterne for nettogevinstkurven.



**Figur 52** Graferne viser henholdsvis gevinster (reduktion af skader) og omkostninger holdt op imod status, som svarer til afløbssystemet, som det ser ud i dag. På baggrund af gevinsterne og omkostningerne er nettogevinsten beregnet.

Figuren viser omkostningerne ved tiltag (anlæg, drift og reinvestering) samt gevinsterne (reduktion af skadesomkostninger). Nettogevinstkurven er estimeret som forskellen mellem disse kurver og viser således, om der er en positiv eller negativ gevinst for samfundet ved at klimatilpasse til de forskellige serviceniveauer.

Som i Figur 51 kan det samfundsøkonomiske optimum findes i ekstremum, her hvor nettogevinstkurven topper - dvs. ved et serviceniveau på 8 år. Fra optimum falder nettogevinsten og bliver negativ ved et serviceniveau på 64 år. Det betyder med andre ord, at det vil give en samfundsøkonomisk gevinst at sikre til et serviceniveau på op til 64 år.

## 9.2 Følsomhedsanalyser

Der er udført en Monte Carlo simulering på de overordnede parametre i analysen, som er nærmere beskrevet i Afsnit 9.2.1. Derudover er der udført en supplerende følsomhedsanalyse, som fokuserer på nogle af de parametre, som har været særligt diskuteret undervejs i processen. Denne gennemgås i Afsnit 9.2.2.

Både Monte Carlo simuleringen og den supplerende følsomhedsanalyse tager udgangspunkt i resultaterne, som er beskrevet i Afsnit 9.1. I følsomhedsanalyserne undersøges således både optimum og nettogevinstkurven. Der er gennemført følsomhedsanalyser både for situationen med og uden merværdier. I dette kapitel præsenteres resultaterne for analyserne uden merværdier. Resultaterne inklusiv merværdier findes i Bilag 7.3.

### 9.2.1 Monte Carlo simulering

Fastlæggelsen af det optimale serviceniveau og deres nettonutidsværdier omfatter usikkerheder, da parametrene i analysen er vanskelige af fastlægge. For at undersøge usikkerheden af det optimale serviceniveau og spændet for positive serviceniveauer, gennemføres en Monte Carlo simulering. En Monte Carlo simulering er en statistisk følsomhedsanalyse, hvor det er muligt at observere sandsynligheden for udfaldene af det optimale serviceniveau og skæringsår givet af parametrenes udfaldsrum.

Konkret laves analysen i fire trin:

1. For hver usikker parameter vurderes den forventede værdi samt minimums- og maksimumværdi.
2. For hver parameter vurderes, hvilken fordeling parameterens værdier har (dvs. er alle værdier mellem minimum og maksimum lige sandsynlige, eller er der værdier af parameteren, der er mere sandsynlige end andre).
3. Det optimale serviceniveau og skæringsår beregnes et stort antal gange (i dette tilfælde 5.000 gange), hvor der for hver gang bliver trukket et nyt sæt af værdier fra de usikre parametre inden for de definerede fordelinger.
4. De 5.000 beregninger opsamles ved at vise fordelingen af deres udfald på det optimale serviceniveau og skæringsår samt undersøge 95% og 50% konfidensintervallet.

Tabel 16 viser en oversigt over parametrene medtaget i Monte Carlo simuleringen samt deres forventede værdi, minimums- og maksimumværdi.

**Tabel 16** Antagelser om forventede værdi, minimum og maksimum i Monte Carlo simuleringen

Parametre i Simuleringen	Forventet værdi	Minimum	Maksimum
Driftsomkostninger	100%	50%	200%
Levetid for anlæg	100%	50%	200%
Uforudseelige udgifter	20%	0%	40%
Løbetid for de finansielle omk.	40 år	20 år	80 år
Ændringer i anlægsomk.	0%	-50%	100%
Risiko	100%	50%	200%
Merværdier*	100%	50%	200%

\*Bemærk, der laves både en simulering med og uden merværdier. For resultaterne med merværdier henvises til Bilag 7.3.

Den forventede værdi af fx driftsomkostningerne er 100%. Det betyder, at for scenarie S0, S1, S2, S3 og status anvendes den fulde værdi (100%) af de beregnede driftsomkostninger. Driftsomkostningernes minimumsværdi er sat til 50% i simuleringen. Dette indikerer, at driftsomkostningerne ikke forventes at ende på værdier under det halve af de forventede omkostninger. Ligeledes med maksimumsværdien som er sat til 200%, hvor det således antages, at driftsomkostningerne ikke ender på værdier over det dobbelte af de forventede omkostninger.

Der medtages syv parametre i Monte Carlo simuleringen, jf. Tabel 16. Det antages, at alle parametre er normalfordelte, da deres faktiske fordelinger ikke er kendte (se vejledning fra Finansministeriet [31]). Med en normalfordeling er det mindre sandsynligt at udtrække værdier omkring maksimum- og minimumsværdierne i fordelingen og mest sandsynlig at trække værdier omkring den forventede værdi.

For de enkelte værdier er den antaget normalfordeling baseret på den forventede værdi, minimum og maksimum, som er angivet i Tabel 16. På baggrund heraf er standardafvigelsen i normalfordelingen estimeret (se Tabel 17).

**Tabel 17** Forventede værdier og standardafvigelser anvendt i Monte Carlo simuleringen

Parametre i Simuleringen	Forventet værdi	Standardafvigelse	Fordeling
Driftsomkostninger	100%	38%	Normal
Levetid for anlæg	100%	38%	Normal
Uforudseelige udgifter	20%	10%	Normal
Løbetid for de finansielle omk.	40 år	15	Normal
Ændringer i anlægsomk.	0%	38%	Normal
Risiko	100%	38%	Normal
Merværdier*	100%	50%	Normal

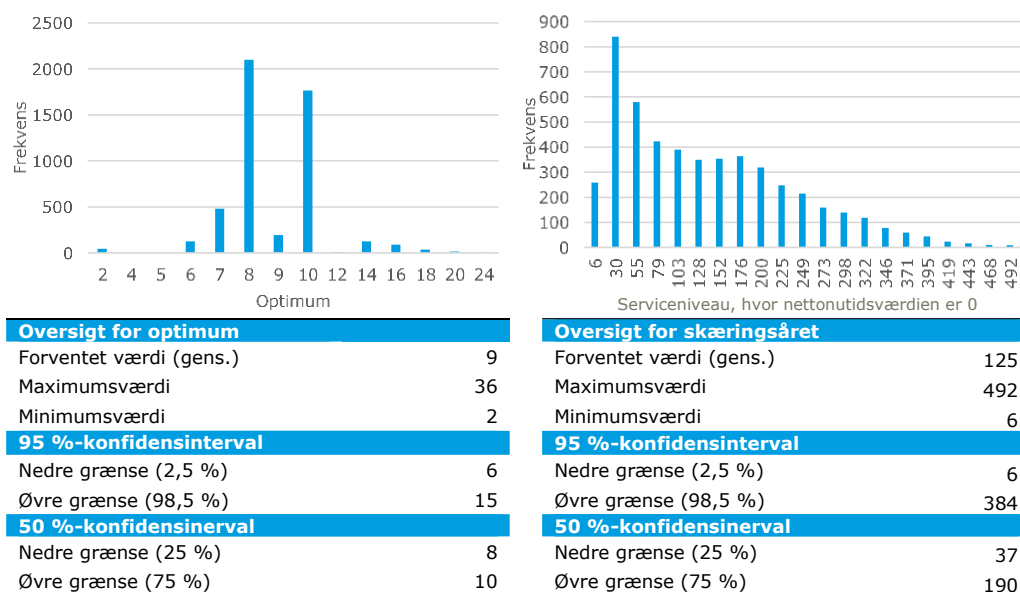
\*Bemærk, der laves både en simulering med og uden merværdier. For resultaterne med merværdier henvises til Bilag 7.3.

Parametrene i Monte Carlo simuleringen indgår på forskellig vis, alt efter hvordan den enkelte parameter er defineret. En række af parametrene er kontinuert definerede variable, dvs. at alle tal inden for minimum- og maksimumværdien er veldefinerede i analysen. Dette drejer sig om parametrene driftsomkostninger, levetid for anlæg, merværdier, løbetid for de finansielle omkostninger samt ændringer i anlægsomkostningerne.

For parametrene risiko og uforudseelige udgifter er analysen ikke veldefineret for alle parameter værdier mellem minimum og maksimum. Disse parametre er beregnet diskret ud fra de værdier, der er veldefinerede. Risiko kan fx kun antage værdierne 50%, 66,7%, 100%, 150% og 200%. I simuleringen indgår risiko derfor også diskret. Dette sker ved, at der fra en normalfordeling med en forventet værdi på 100% og standardafvigelse på 38% trækkes et tal. Det udtrukne tal omregnes til nærmeste diskrete, definerede værdi – dvs. enten 50%, 66,7%, 100%, 150% eller 200%. Samme fremgangsmåde er anvendt for uforudseelige omkostninger, hvor der trækkes fra en normalfordeling med middelværdi på 20% og en standardafvigelse på 10%. De udtrukne tal omregnes derefter til den nærmeste diskrete værdi – dvs. 0%, 10%, 20%, 30% eller 40%.

På baggrund af de præsenterede antagelser om parametrene udtrækkes parametrene simultant fra deres fordelinger, og det optimale serviceniveau samt serviceniveauet, hvor nettoværdikurven er 0, fastsættes 5.000 gange i træk. Derudover beregnes den gennemsnitlige værdi samt 95% og 50% konfidensintervallet. Der gennemføres således en simulering med 5.000 træk for situationen hhv. med og uden merværdier.

I det efterfølgende præsenteres resultaterne af Monte Carlo simuleringen eksklusiv merværdier. Resultaterne kommenteres under Figur 53.



**Figur 53** Monte Carlo simulering af det optimale serviceniveau samt serviceniveauet, hvor nettonutidsværdien er 0. De præsenterede serviceniveauer i figuren er lavet default ved at inddеле hele spektret (minimum til maksimum) ved hjælp af Monte Carlo simuleringen. Bemærk, at figuren for optimum ikke har maksimumværdien 36 med på skalaen. Dette skyldes, at grafen er kortet af, for at det er muligt at læse alle tallene på skalaen. Men hvis 36 var med, ville der være en observation der også.

Overordnet set viser Monte Carlo simuleringen, at analysens resultat ift. optimum er robust ved ændringer i de centrale input. Konkret viser analysen, at hvis beregningerne gennemføres 5.000 gange, er det forventede samfundsøkonomiske optimum 9 år, hvilket er i overensstemmelse med resultaterne fra analysen i Afsnit 9.1, hvor serviceniveauet blev estimeret til 8 år. Analysen viser endvidere, at optimum med 95% sandsynlighed er i intervallet 6-15 år. Det kan således konkluderes, at fastlæggelsen af optimum er robust over for ændringer i de udvalgte parametre i modellen.

Den højre side af figuren viser den forventede værdi samt konfidensintervallet for nettoværdikurvens skæring med x-aksen. Analysen indikerer, at analysen af nettoværdikurvens skæring med x-aksen ikke i så høj grad som optimum er robust over for ændringer i analysens parametre. Dette kan ses ved, at intervallet, skæringspunktet falder indenfor (6-492 år), er markant større end for optimum (2-36 år).

Den forventede værdi er opgjort til 125 år, mens 95% konfidensintervallet ligger i intervallet 6-384 år. Dette skal sammenlignes med en skæring på 64 år som estimeret i Afsnit 9.1.

Det store 95% konfidensinterval indikerer, at modellen er meget usikker, når man kommer ud i enderne af modellen. Dette er forventeligt, da modellen er bygget op omkring fem punkter (status, S0, S1, S2 og S3), hvor der antagelsesmæssigt er interpoleret imellem punkterne. Usikkerheden og dermed grunden til det store spænd opstår, fordi der efter det sidste punkt (100 år svarende til S3) antages et videre for-

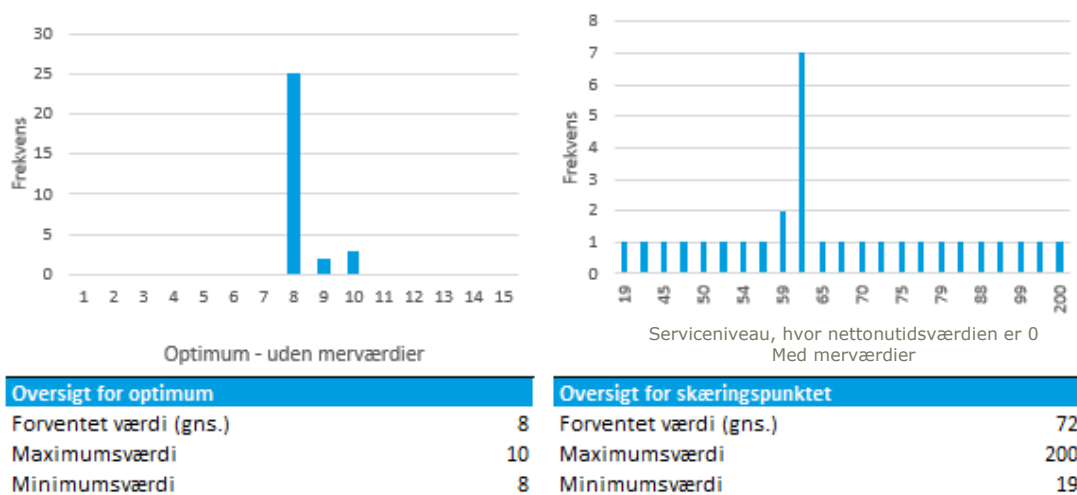
løb af kurverne i den høje ende. Grundet denne usikkerhed, er det primært årene under 100 år, der er robuste, og resultaterne i yderområderne skal fortolkes med varsomhed.

Simuleringen viser yderligere, at der kun ved 50% af de 5.000 generede simuleringer er en gevinst ved at sikre til en gentagelsesperiode på 100 år om 100 år.

### 9.2.2 Supplerende følsomhedsanalyse

Den supplerende følsomhedsanalyse er udført for at vurdere på følsomheden af en række af de væsentligste parametre, som indgår i analysen, og som har været diskuteret under udarbejdelsen. Den supplerende følsomhedsanalyse er mere simpel end Monte Carlo simuleringen, idet der kun kigges på en parameter ad gangen.

Figur 54 viser en opsamling på de gennemførte følsomhedsanalyser. I de efterfølgende afsnit beskrives nærmere, hvordan de enkelte parametre varierer i følsomhedsanalysen.



**Figur 54** Supplerende følsomhedsanalyse af det optimale serviceniveau samt serviceniveauet, hvor nettonutidsværdien er 0, eksklusiv merværdier.

Som det fremgår af figuren, er resultaterne om optimum robuste omkring 8 år med nogle få observationer ved 9 og 10 år.

Der er dog væsentligt større variationer i nettoværdikurvens skæring med x-aksen. Den forventede skæring ligger ved 72 år, men med et minimum på 19 år og et maksimum på 200 år. De lave skæringspunkter kræver en halvering af skadesomkostninger (skæring på 19 år) eller reduktion af skadesomkostninger med 1/3 (skæring på 45 år), stigning i drift på 50% (skæring på 42 år) eller halvering af løbetiden på lånet (skæring på 46 år). Overordnet set viser følsomhedsanalysen derfor, at det er ret voldsomme ændringer i nøgleparametrene, der skal til, før det kan forventes, at nettoværdikurvens skæring er væsentligt under 50 år.

#### 9.2.2.1 Anlæg – uforudseelige udgifter

I analysen ønskes at skabe så realistiske anlægsomkostninger som muligt og dermed ikke at skævvride analysen. Det har derfor været relevant at overveje, hvad de uforudseelige udgifter bør være på et anlægsoverslag i denne meget indledende fase. I

mange tilfælde bruges procentsatser på helt op til 50% (fx et krav fra Vejdirektoratet for overslag i de indledende faser), men af frygt for at skævvride øvelsen ved udelukkende at gange en faktor på anlægsomkostninger, er de uforudseelige udgifter ud fra erfaringstal sat til 20% af anlægsoverslaget, og dét er dermed udgangspunktet for følsomhedsanalysen.

For at vurdere resultatets følsomhed overfor inklusionen af uforudseelige udgifter, foretages en følsomhedsanalyse, hvor andelen af anlægsoverslaget tildelt som uforudseelige udgifter varieres. Variation af procentsats af uforudseelige udgifter samt den tilhørende anlægsomkostning fremgår af Tabel 18.

**Tabel 18** Variation af uforudseelige udgifter og tilhørende anlægsoverslag afrundet til nærmeste titusinder. I de økonomiske overslag er der som udgangspunkt benyttet 20%.

Uforudseelige udgifter [%]	Anlægsudgifter [tkr.]			
	S0	S1	S2	S3
0	1.086.120	1.485.590	1.871.700	2.245.760
10	1.176.630	1.609.390	1.027.680	2.432.910
20	1.267.130	1.733.190	1.183.650	2.620.050
30	1.357.640	1.856.990	1.339.630	2.807.200
40	1.448.150	1.980.790	1.994.720	2.994.350

Betydningen for udfaldet af analysens resultater for hhv. optimum og skæringspunkt ses i Tabel 19.

**Tabel 19** Følsomhedsanalyse af andelen tildelt som uforudseelige udgifter

Andel uforudseelige udgifter [%]	Optimum (serviceniveau)	Positiv nettogevinst indtil serviceniveau
0	10	99
10	9	80
20	8	64
30	8	50

Som det fremgår af tabellen, viser følsomhedsanalysen, at en ændring i andel uforudseelige udgifter kun i begrænset omfang ændrer på det samfundsøkonomiske optimum. Endvidere fremgår det, at skæringspunktet påvirkes mere af en ændring i de uforudseelige udgifter. Konkret betyder det, at der vil være en samfundsøkonomisk gevinst ved at klimatilpasse op til en 50-års hændelse, hvis de uforudsete udgifter sættes til 30% og helt op til en 99-års hændelse, hvis der ikke forekommer nogle uforudseelige udgifter.

#### 9.2.2.2 Anlæg - volumenpriser

I forbindelse med anlægsomkostningerne er det ligeledes interessant at se nærmere på betydningen af enhedspriserne pr. kubikmeter forsinkelsesvolumen, da det kan have stor betydning for de samlede investeringsomkostninger.

Dette er ikke mindst relevant, da der fra politisk side har været sat en række restriktioner på arealanvendelsen, hvilket ikke har gjort det muligt overordnet at følge tankerne bag Skrift 31 og dermed udføre klimatilpasningen så omkostningseffektivt som muligt. Dette har medvirket til, at flere af løsningerne ikke udføres i terræn, men tæt til terræn.

På baggrund af dette foretages der derfor en følsomhedsanalyse, som viser betydningen i variationen af andelen af volumen, der etableres henholdsvis over og under terræn. I Tabel 20 fremgår variationen og betydningen for anlægsomkostningen.

**Tabel 20** Variation af volumen på- og under terræn samt betydning for scenariernes anlægsomkostninger afrundet til nærmeste titusinder

Forsinkelsesfordeling	Anlægsudgifter [tkr.]		
	S1	S2	S3
25% af vand tilbageholdt på overfladen flyttet til underjordiske bassiner	1.751.810	2.226.110	2.710.530
Oprindelig fordeling af bassinvolumen	1.733.190	2.183.650	2.620.050
25% af vand tilbageholdt i underjordiske bassiner flyttet til overfladebassiner	1.677.510	2.109.800	2.528.710
50% af vand tilbageholdt i underjordiske bassiner flyttet til overfladebassiner	1.621.820	2.035.950	2.437.360
75% af vand tilbageholdt i underjordiske bassiner flyttet til overfladebassiner	1.566.140	1.962.100	2.346.020

Priserne i Tabel 20 er fremkommet ved at justere på fordelingen af bassinvolumenet fra én type forsinkelse (terrænbaseret eller underjordisk) til en anden type forsinkelse. Sammenligningsmæssigt koster det for hver forsinket kubikmeter regnvand ca. 700 kr. på overfladen og ca. 2.300 kr. underjordisk. Derfor påvirker det den samlede anlægssum at justere på placeringen af forsinkelse.

Variationerne af placeringen af forsinkelsesvolumenet i denne del af følsomhedsanalysen er baseret på nedenstående:

- 25% af regnvandet, som i de forskellige scenarier forsinkes på overfladen, flyttes til underjordiske kassettebassiner. Der er udelukkende brugt enhedsprisen for større kassettebassiner, ikke dem der ligger langs med vejene.
- Det oprindelige scenarie.
- 25% af regnvandet, som i scenarierne er forsinket underjordisk i kassettebassiner, flyttes til de væsentligt billigere overfladebassiner.
- 50% af regnvandet, som i scenarierne er forsinket underjordisk i kassettebassiner, flyttes til de væsentligt billigere overfladebassiner.
- 75% af regnvandet, som i scenarierne er forsinket underjordisk i kassettebassiner, flyttes til de væsentligt billigere overfladebassiner.

Det fremgår af Tabel 20, at bassinvolumenets placering, over- eller under jorden har forholdsvis lille betydning for anlægsprisen. Fordi drifts- og reinvesteringsomkostningerne er procentsatser af anlægspriserne, er der som en del af følsomhedsanalysen også foretaget en justering af disse priser, så de matcher de ændrede anlægsoverslag.

Resultatet af følsomhedsanalysen ved en ændring i volumen på terræn ses i Tabel 21.

**Tabel 21** Følsomhedsanalyse for variation i volumen henholdsvis over og under terræn

Volumen på terræn	Optimum (serviceniveau)	Positiv nettogevinst indtil serviceniveau
25% flyttes under jorden	8	59
Ingen ændring	8	64
25% flyttes til overfladen	8	71
50% flyttes til overfladen	8	79
75% flyttes til overfladen	10	88

Som det fremgår af Tabel 21 vil en ændring i volumen af vand på terræn kun i begrænset omfang ændre på det samfundsøkonomiske optimum. Dette skyldes især, at skadeskurven er markant aftagende de første år og dernæst flader meget ud, hvilket medfører, at investeringerne ikke får ligeså stor indflydelse i forhold til optimum.

Ved kig på nettogevinstkurven viser følsomhedsanalysen, at en ændring på +/- 25% af volumen på terræn kun i begrænset omfang ændrer resultatet. Ved en ændring i volumen, hvor mere end 50% flyttes og håndteres i terræn, medfører det, at højere serviceniveauer bliver mere samfundsøkonomiske rentable.

Det er dog væsentligt at understrege, at det hovedsageligt skyldes begrænsninger i oplandet (se Afsnit 3.1.1), at forsinkelsesvolumenet ikke øges i samme takt som de øgede vandmængder ved sikring til højere serviceniveau. Dette skyldes, at de tilgængelige grønne arealer er udnyttet allerede ved S1. Derved er det primært rørbaseede løsninger, der udvides, når der sikres fra 20- til 50- og 100-års regnhændelser. Såfremt flere arealer var frit tilgængelige, ville dette kunne have udmøntet sig i lavere omkostninger.

#### 9.2.2.3 Anlæg – driftsomkostninger

Idet driftsomkostninger over anlæggenes levetid løber op i betragtelige summer, og at der endnu ikke foreligger reelle erfaringstal for den årlige drift af blågrønne løsninger og tilhørende anlæg, er der foretaget en følsomhedsanalyse for de vurderede årlige driftssatser.

I projektet er drift indsat som en procentuel sats afhængig af typen af anlæg. Denne er i følsomhedsanalysen justeret i forhold til de oprindelige beregninger. Tabel 22 viser de opstillede driftssatser for de oprindelige beregninger samt de tilpassede procentsatser, der benyttes i følsomhedsanalysen.

**Tabel 22** Procentuelle justeringer for den årlige procentuelle driftsprocent for samtlige bygningsdele

Bygningsdel	Drift [årlig % af anlægsomkostning]				
	50% af oprindeligt	75% af oprindeligt	100%	125% af oprindeligt	150% af oprindeligt
Regnbede	1,00	1,50	2,0	2,50	3,00
Kassettebassiner	0,50	0,75	1,0	1,25	1,50
Åbne rekreative bassiner	0,75	1,13	1,5	1,88	2,25
Øvrige centrale forsinkelser (boldbaner, skaterparker, skolegårde osv.)	0,75	1,13	1,5	1,88	2,25
Ledninger op til ø800	0,50	0,75	1,0	1,25	1,50
Ledninger fra ø800-ø1200	0,50	0,75	1,0	1,25	1,50
Ledninger over ø1200	0,50	0,75	1,0	1,25	1,50
Brønde	0,50	0,75	1,0	1,25	1,50
Render og overkørsler i grønne veje	0,50	0,75	1,0	1,25	1,50
Skybrudsvej	0,05	0,08	0,1	0,13	0,15
Lokal sikring af oversvømmede huse	1,00	1,50	2,0	2,50	3,00
Diger og kanaler i grønne områder	0,75	1,13	1,5	1,88	2,25
Pumper	1,00	1,50	2,0	2,50	3,00

De årlige driftsomkostninger ved de justerede procentuelle satser er vist i Tabel 23. Det konstateres, at det har stor økonomisk indflydelse på forsyningens årlige driftsomkostninger, hvilke procentsatser der benyttes, hvilket understreger nødvendigheden af at kvantificere driftsomkostningerne forbundet med en given anlægstype i takt med at erfaringer opnås.

**Tabel 23** Årlige driftsomkostninger ved forskellige procentuelle satser afrundet til nærmeste titusinder

Test af driftsomkostninger [Justering i % af den oprindelige beregning]	Årlig drift [tkr.]			
	S0	S1	S2	S3
50%	4.530	6.610	8.300	10.040
75%	6.790	9.910	12.450	15.070
100%	9.050	13.210	16.590	20.090
125%	11.310	16.510	20.740	25.110
150%	13.580	19.820	24.890	30.130

I Tabel 24 fremgår følsomhedsanalysen ved en ændring i størrelsen på driftsomkostningerne.

**Tabel 24** Følsomhedsanalyse for variation i driftsomkostninger. Driftstallene er justeret i forhold til det oprindelige.

Andel af oprindelige drift	Optimum (serviceniveau)	Positiv nettogevinst indtil serviceniveau
50%	8	98
75%	8	78
100%	8	64
125%	8	51
150%	8	42

Som det fremgår af tabellen, vil en ændring i driftsomkostningerne ikke påvirke det samfundsøkonomiske optimale serviceniveau. Samtidig viser analysen, at en ændring i driftsomkostningerne vil have en større indflydelse på nettogevinstkurvens skæring med x-aksen end på optimum. Dog vil ændringer på op til 25 % i driftsomkostninger have relativt begrænset betydning for nettogevinstkurvens skæringen med x-aksen (ca. +/- 13 år).

#### 9.2.2.4 Anlæg – levetid for blågrønne løsninger

Idet de fleste implementerede blågrønne tiltag i Danmark er etableret inden for de seneste 5-10 år, er de vurderede levetider en stor kilde til usikkerhed i forhold til anlæggenes reinvesteringssomkostninger. Som konsekvens af dette er der foretaget en følsomhedsanalyse på levetiderne af udvalgte anlægselementer i indeværende projekt. Disse fremgår af Tabel 25 med deres vurderede levetider.

**Tabel 25** Anlægselement og deres respektive levetider udvalgt til følsomhedsanalyse

Anlægselement	Vurderet levetid [år]
Regnbede	10
Kassettebassiner	50
Åbne rekreative bassiner	30
Øvrige centrale forsinkelser (boldbaner, skaterparker, skolegårde osv.)	40
Render og overkørsler i grønne veje	50
Lokal sikring af oversvømmede huse	10
Diger og kanaler i grønne områder	40

I følsomhedsanalysen er levetiderne og deres konsekvens for de årlige reinvesteringer blevet undersøgt med følgende procentuelle satser:

- Levetiden er reduceret til 50% af de oprindelige beregninger
- Levetiden er reduceret til 75% af de oprindelige beregninger
- Oprindelig beregning

- Levetiden øget med 25% af den oprindelige beregning
- Levetiden øget med 50% af den oprindelige beregning
- Levetiden øget med 100% af den oprindelige beregning.

Tabel 26 viser de samlede årlige reinvesteringsomkostninger efter indarbejdning af ovenstående levetider. Det er vigtigt at understrege, at for bedre at kunne sammenligne resultaterne indgår alle bygningsdelenes reinvesteringsomkostninger i værdierne i tabellen, også for bygningsdele hvor levetiden ikke er blevet justeret, som fx for ledninger og brønde.

**Tabel 26** Følsomhedsanalyse på levetider, og derved reinvesteringsomkostninger af forsinkelsesvolumen, samt grønne og rekreative tiltag. Den årlige reinvestering indeholder også parametre, der ikke er blevet justeret. Beløbene er afrundet til nærmeste titusinder.

Test af reinvesteringsomkostninger [Justering i % af den oprindelige beregning]	Årlig reinvestering [tkr.]		
	S1	S2	S3
Levetid reduceret til 50% af oprindelig værdi	11.420	13.630	16.350
Levetid reduceret til 75% af oprindelig værdi	7.970	9.710	11.730
<b>Oprindelig beregning</b>	6.240	7.740	9.430
Levetid øget med 25% ift. oprindelig værdi	5.200	6.560	8.040
Levetid øget med 50% ift. oprindelig værdi	4.510	5.780	7.120
Levetid øget med 100% ift. oprindelig værdi	3.640	4.800	5.960

Resultatet af følsomhedsanalysen ses af Tabel 27.

**Tabel 27** Følsomhedsanalyse for ændringer i levetider for anlæg

Variation i levetid for projektanlæg	Optimum (serviceniveau)	Positiv nettogevinst indtil serviceniveau
50%	8	54
75%	8	59
<b>100%</b>	8	64
125%	8	64
150%	8	65
200%	8	67

En ændring i levetiden for anlæggene har ingen betydning for det samfundsøkonomiske optimum og kun meget begrænset betydning for nettokurvens skæring med x-aksen, jf. tabellen.

### 9.2.2.5 Skadesomkostninger for bygninger og erhverv

Som en del af følsomhedsanalysen er der set på betydningen af at reducere enhedsprisen for bygningsskader med en faktor 1/2 og 2/3 samt at øge enhedsprisen for skader på ejendomme og erhverv tilsvarende med en faktor 1,5 og 2. Indvirkning på den samlede EAD kan ses i Tabel 28.

**Tabel 28** Variation i EAD ved at ændre enhedsomkostningerne for skader på private bygninger samt erhvervsbygninger afrundet til nærmeste titusinder

Scenarie	År	EAD [tkr.]				
		50%	67%	100%	150%	200%
<b>Status</b>	2017	19.430	24.210	27.980	38.470	47.020
	2067	72.920	84.670	94.630	120.870	142.570
	2117	102.620	109.300	139.870	171.420	208.670
<b>S0</b>	2017	6.650	7.670	9.700	12.750	15.790
	2067	10.970	12.470	15.480	19.990	24.500
	2117	16.620	18.760	23.040	29.460	35.880
<b>S1</b>	2017	920	1.120	1.530	2.140	2,750
	2067	1.730	2.110	2.860	4.000	5.130
	2117	2.850	3.470	4.710	6.560	8.420
<b>S2</b>	2017	180	220	280	380	490
	2067	460	540	710	960	1.220
	2117	850	1.000	1.310	1.780	2.240
<b>S3</b>	2017	90	100	120	160	190
	2067	240	280	340	430	530
	2117	480	540	670	850	1.040

Det er især interessant at se på, hvilken betydning det har for udfaldet af analysen, hvis enhedspriserne øges, da der er en forventning om, at enhedspriserne fra forsikringsanalysen på baggrund af data fra Pension og Forsikring generelt underestimerer skaderne (se Afsnit 6.4). Det har dog ikke været muligt at finde frem til studier eller andet materiale, som beskriver, hvorvidt og hvor meget skaderne er underestimeret. Der er fundet frem til et tysk studie, som indikerer, at data fra pensionselskaberne kun svarer til 50% af den reelle skade, men studiet er ikke vurderet at være så relevant, at faktoren er anvendt.

Resultatet af følsomhedsanalysen ved variation i størrelsen af den samlede risiko baseret på ændringer i enhedspriserne for bygningsskader ses i Tabel 29.

**Tabel 29** Følsomhedsanalyse for ændringer i størrelsen af total risiko

Skadespris for bygninger [% af værdi]	Optimum (serviceniveau)	Positiv nettogevinst indtil serviceniveau
50%	8	19
67%	8	45
100%	8	64
150%	9	146
200%	10	200

Følsomhedsanalysen for ændringer i risikoen er den parameter, der medfører de største ændringer i både optimum og nettokurvens skæring med x-aksen.

Den største virkning ses for nettogevinstkurven. En stigning i enhedsprisen for bygningsskader på 50% medfører, at nettogevinstkurvens skæring med x-aksen rykkes med ca. 80 år. En stigning i enhedsprisen for bygningsskader på 50% medfører således en positiv nettogevinst til et serviceniveau på 146 år.

#### 9.2.2.6 Økonomi - Finansielle omkostninger

Når der foretages større investeringer og reinvesteringer i et projekt kan antagelserne om de anvendte finansielle parametre have stor indflydelse på analysens resultat. Der foretages derfor en følsomhedsanalyse for betydningen af lånets løbetid. Resultaterne fremgår af Tabel 30.

**Tabel 30** Følsomhedsanalyse for ændring i lånets løbetid

Lånets løbetid [år]	Optimum (serviceniveau)	Positiv nettogevinst indtil serviceniveau
20	8	46
30	8	56
40	8	64
50	8	70
60	8	75

Som det fremgår af tabellen, vil en ændring i lånets løbetid ikke have nogle indvirkninger på det samfundsøkonomisk optimale serviceniveau.

Det skal bemærkes, at lån af de størrelsesordener, der ses i indeværende analyse til infrastrukturprojekter, sjældent har en kortere løbetid end 40 år. Ses der på løbetider over 40 år viser følsomhedsanalysen, at en ændring i lånets løbetid kun i begrænset omfang vil ændre på nettogevinstkurvens skæring med x-aksen. Konkret viser analysen, at ved at ændre løbetiden til 60 år vil nettogevinstkurvens skæring med x-aksen ændre sig fra 64 år til 75 år.

### 9.3 Diskussion

Som følsomhedsanalysen viser, har analysen flere parametre, der kan have indflydelse på resultaterne.

I afsnit 9.3.1 beskrives robustheden af den samfundsøkonomiske analyse baseret på følsomhedsanalysernes resultater.

I afsnit 9.3.2 og 9.3.2 beskrives nogle principielle diskussioner omkring, hvorvidt merværdier bør inkluderes eller ej, samt hvad der skal opfattes som basisscenarie, og dermed danne udgangspunktet for beregning af netto nutidsværdierne. Begge emner kan have stor indflydelse på resultatet, men der foreligger ikke nogen entydige og klare retningslinjer fra Skrift 31 omkring, hvad der skal vælges i en samfundsøkonomisk analyse. Afsnittene afdækker effekten af valgene samt beslutningerne truffet i forbindelse med denne analyse.

#### 9.3.1 Analysens robusthed

De gennemførte følsomhedsanalyser giver et mere nuanceret resultat af analysen taget usikkerheden i betragtning. Følsomhedsanalysen anvendes derfor i det efterfølgende til at foreslå et spænd indenfor hvilket, det samfundsøkonomiske optimum ligger og indenfor hvilket interval af serviceniveauer, der kan forventes at være en positiv nettogevinst for samfundet.

Monte Carlo simuleringen og den efterfølgende supplerende følsomhedsanalyse viser, at optimum er robust over for ændringer i analysens centrale parametre. I forhold til resultaterne heraf foreslås et spænd for optimum på 8-10 år. Dette baseres på, at Monte Carlo simuleringen viser, at langt de fleste simuleringer (over 80% af 5.000 simuleringer) medfører et optimum på mellem 8 og 10 år (se Figur 53). Samtidig giver den supplerende følsomhedsanalyse ikke anledning til at ændre på denne konklusion.

Ved undersøgelse af ved hvilke serviceniveauer, en positiv nettogevinst forventes, viser både Monte Carlo simuleringen og den supplerende følsomhedsanalyse, at denne varierer betydeligt ved ændringer i analysens parametre. Samtidig viser analysen, at Monte Carlo simuleringen giver meget mere ekstreme værdier (både i den lave og høje ende) end den supplerende følsomhedsanalyse. Dette er en naturlig konsekvens af modellens opbygning og forudsætninger. Som beskrevet i Afsnit 9.2.1 er der således usikkerheder forbundet med Monte Carlo simuleringens resultater i den høje ende, særligt for serviceniveauer over 100 år.

Det foreslåede spænd for nettoværdikurvens skæring med x-aksen er 30-100 år. Monte Carlo simuleringen viser, at nettoværdikurven i gennemsnit skærer x-aksen ved et serviceniveau over 100 år. Samtidig viser den, at skæringen med 95% sandsynlighed ligger i intervallet 6-384 år.

Undersøges udfaldsrummet af Monte Carlo simuleringen nærmere (Figur 53), ses det, at omkring 20% af udfaldene ligger på 30 år eller derunder. Det skal dog understreges, at udfald under 30 år kræver ekstreme værdier af de centrale parametre i modellen eller kombinationer af flere ekstremer. Fx viser den supplerende følsomhedsanalyse, at såfremt enhedspriserne for bygningskader reduceres med 1/3, vil skæringen med x-aksen ligge på ca. 45 år. Der skal dermed ske en kombination af reduktion af enhedspriser for bygningskader med 1/3 oven i andre ekstreme værdier af parametrene, før der ses en skæring under 30 år. Det er dog vurderingen, at dette

næppe er realistisk, og sandsynligheden for, at risikoen er underestimeret i analysen, er væsentligt større, end at den er overestimeret, og det vil kun være med til at trække skæringspunktet op, som det fremgår af Afsnit 9.2.2.5.

I den modsatte ende viser udfaldsrummet, at ca. 60% af udfaldene ligger på et serviceniveau over 100 år. Da der ikke er foretaget egentlige analyser af analysens hovedelementer (risiko og omkostninger) over et serviceniveau på 100 år er disse blot fremskrevet ved hjælp af udviklingen op mod serviceniveauet på 100 år. Der må således forventes at være store usikkerheder omkring udviklingen i de enkelte dele af analysen for serviceniveauer over 100 år. Hvis usikkerhederne omkring resultaterne for serviceniveauerne over de 100 år tages i betragtningen, er et konservativt estimat, at skæringen med x-aksen ligger i intervallet 30-100 år.

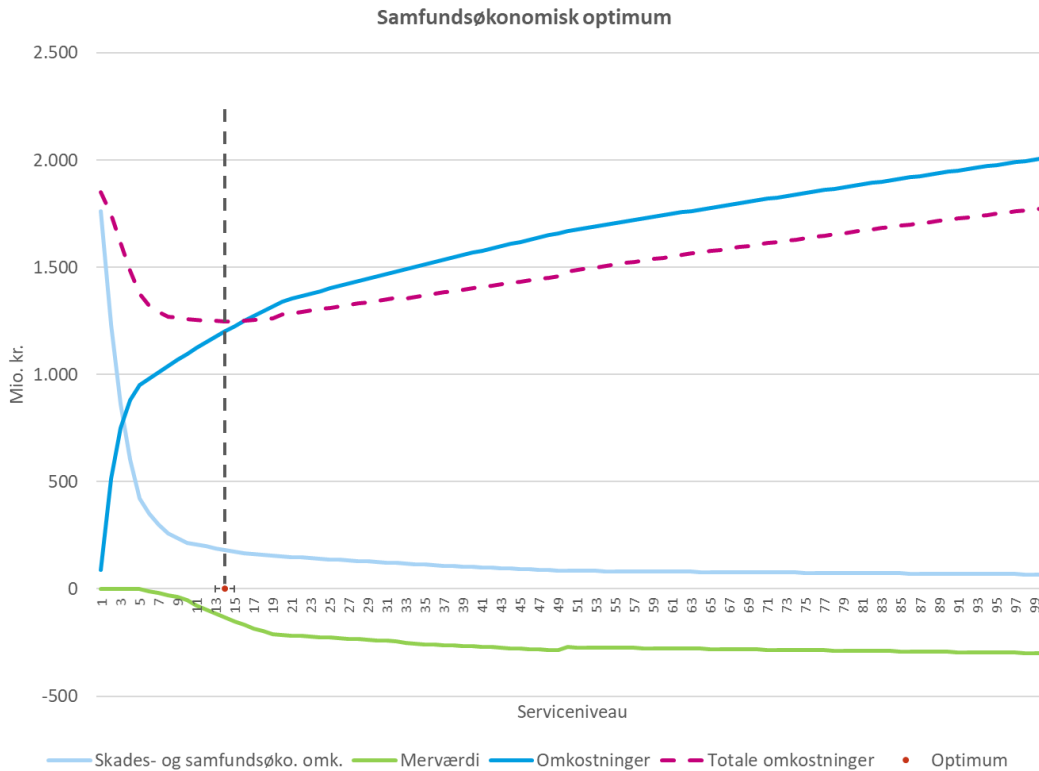
### 9.3.2 Merværdier eller ej

Som tidligere nævnt beskriver Skrift 31 fra Spildevandskomitéen, at merværdier eventuelt kan indgå i den samfundsøkonomiske analyse, såfremt de kan prissættes. Hvorvidt merværdier skal indgå, er derfor et valg, der skal træffes i forbindelse med analysen, hvor begge dele vil følge retningslinjerne fra Skrift 31.

I Kapitel 7 er merværdier nærmere beskrevet. En af de væsentlige konklusioner fra afsnittet er, at der foreligger store usikkerheder omkring både prissætningen såvel som identificeringen af relevante merværdier. Desuden har det indtil videre ikke været almen praksis at inkludere merværdier i klimatilpasningsprojekter i Danmark.

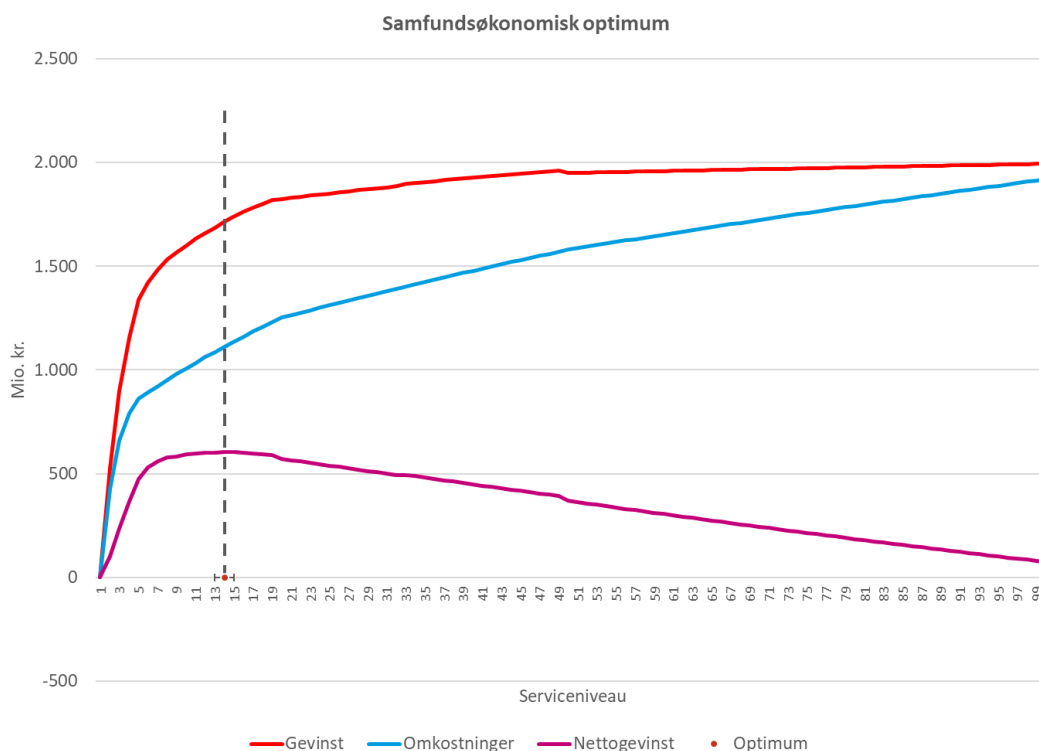
På baggrund af usikkerhederne samt et ønske om at afgrænse og fokusere analysen har Novafos, som beskrevet i Kapitel 7, i projektforløbet besluttet, at merværdier ikke skal inkluderes i den samfundsøkonomiske analyse. Beregning af merværdier samt resultaterne af den samfundsøkonomiske analyse, hvor merværdier er inkluderet, kan stadig læses i det følgende afsnit og yderligere i Bilag 7.3.

Betydningen for optimum og NNV af om merværdier inkluderes eller ej, kan ses i Figur 55 og Figur 56.



**Figur 55** Grafen afbilder skadesomkostningerne, investeringsomkostninger, merværdier samt optimumkurven, som viser, at det optimale serviceniveau for regnvand på terræn, når merværdier er inkluderet, er 14 år.

Af Figur 55 ses, at såfremt merværdierne inkluderes vil optimum opstå ved 14 år, hvor det uden merværdier ligger på 8 år (Figur 51). Derudover ses, at merværdierne ikke har så stor betydning for lavere gentagelsesperioder, men særligt stiger fra 10 til 20 år, hvilket skyldes overgangen fra rørløsninger til blågrønne løsninger. Fra 20 år og opefter er der en mindre stigning, hvilket mest af alt skyldes øget tryk. Merværdierne har derfor procentuelt en forholdsvis stor betydning for værdien af optimum i den samfundsøkonomiske analyse.



**Figur 56** Graferne viser henholdsvis gevinster (reduktion af skader og merværdier) og omkostninger holdt op imod status. På baggrund af gevinsterne og omkostningerne er nettogevinsten beregnet.

For NNV har de i analysen fastlagte merværdier en stor betydning i forhold til, hvor NNV-kurven skærer x-aksen, og dermed ved hvor høj en gentagelsesperiode, der stadig vil være en gevinst ved investeringen. Ved at inkludere merværdier opnås der en gevinst for serviceniveauer højere end 100 år, hvor det uden merværdier var 64 år (Figur 52). Merværdierne medvirker til, at den samlede NNV stiger hen over optimum samt, at kurven for NNV er mindre aftagende og dermed først skærer med x-aksen i et væsentligt højere niveau.

Om merværdierne medtages i analysen eller ej har derfor procentuelt en forholdsvis stor betydning for både optimum og NNV, hvis der isoleret ses på serviceniveauet for regnvand på terræn. I forhold til de bagvedliggende parametre er betydningen dog størst for NNV i og med udgangspunktet er væsentligt højere for NNV.

Som før nævnt er der dog store usikkerheder ved prissætning af merværdier, da der er tale om såkaldte "bløde" værdier, hvor erfaringer indtil videre er mere begrænset.

### 9.3.3 Status vs. Skrift 27

I forbindelse med udarbejdelsen af analysen har det desuden været diskuteret, om basisscenariet for NNV-beregningerne er status (som i dag) eller sikring til Skrift 27.

Som nævnt i Afsnit 8.3 blev det valgt, at status skulle være udgangspunktet for NNV og dermed fungere som basisscenarie. Dette skyldes primært, at systemerne hænger så meget sammen, at løsninger er sammentænkt, så der er ikke en bestemt løsning til opfylder retningslinjerne fra Skrift 27 og en der opfylder retningslinjerne fra Skrift 31. En grøn vej kan eksempelvis godt tilbageholde mere end, hvad der svarer til en 5-års regnhændelse, såfremt potentialet er der, og at løsningen kan afhjælpe

skadesvoldene oversvømmelser. Noget af volumenet er derfor reserveret til overholdelse af Skrift 27 og noget af det i forhold til overholdelse er serviceniveau for regnvand på terræn. På samme måde har nogle af de nedstrøms regnvandsledninger også en funktion til stuvning til terræn, men fungerer også som skybrudsledninger, når serviceniveauet overstiger Skrift 27. For at holde systemerne adskilt vil det kræve, at alt regnvand ud over Skrift 27 håndteres i terræn. Dette har dog som tidligere nævnt ikke været muligt ud fra oplandets typologi samt løsningernes rådighedsrum. En anden mulighed ville være først at etablere et system til overholdelse af Skrift 27 og dernæst bygge ovenpå med håndtering af regnvand på terræn. Dette vil dog medføre en væsentlig fordyrelse af projektet.

Betydningen af, om status eller Skrift 27 vælges som grundlag, og dermed fungerer som basisscenarie, kan ses af Figur 51 og Figur 57.



**Figur 57** Graferne viser henholdsvis gevinster (reduktion af skader) og omkostninger holdt op imod dimensionering efter Skrift 27. På baggrund af gevinsterne og omkostningerne er nettogevinsten beregnet.

Valget af udgangspunkt (basisscenarie) har ikke nogen betydning i forhold til, hvor optimum opstår, da denne del af analysen ikke forudsætter, at løsningen skal holdes op mod et basisscenarie. Det har dog stor betydning i forhold til NNV, der kun vil være positiv i et mindre vindue omkring det samfundsøkonomiske optimum (Figur 59). På baggrund af ovenstående kan det ud fra analysen konkluderes, at såfremt der først sikres til Skrift 27, vil det ikke kunne svare sig at sikre yderligere. Det vil derfor kræve at løsningerne sammentænkes, såfremt der skal sikres til et højere niveau og samtidig være en positiv NNV.

#### **9.4 Opsamling**

I dette kapitel er resultaterne af den samfundsøkonomiske analyse beskrevet inklusiv resultaterne for følsomhedsanalyser på udpegede parametre i analysen. Analysen viser, at det samfundsøkonomiske optimum findes ved et serviceniveau på 8 år, og at der vil være en samfundsøkonomisk gevinst ved et serviceniveau på op til 64 år. Følsomhedsanalyserne viser, at det fastlagte optimum er robust over for ændringer i udvalgte parametre, men at der foreligger usikkerheder omkring hvor højt serviceniveauet kan være, før det ikke længere giver en positiv gevinst for samfundet.

Anbefalingerne for videre skridt herfra kan læses i Kapitel 10.

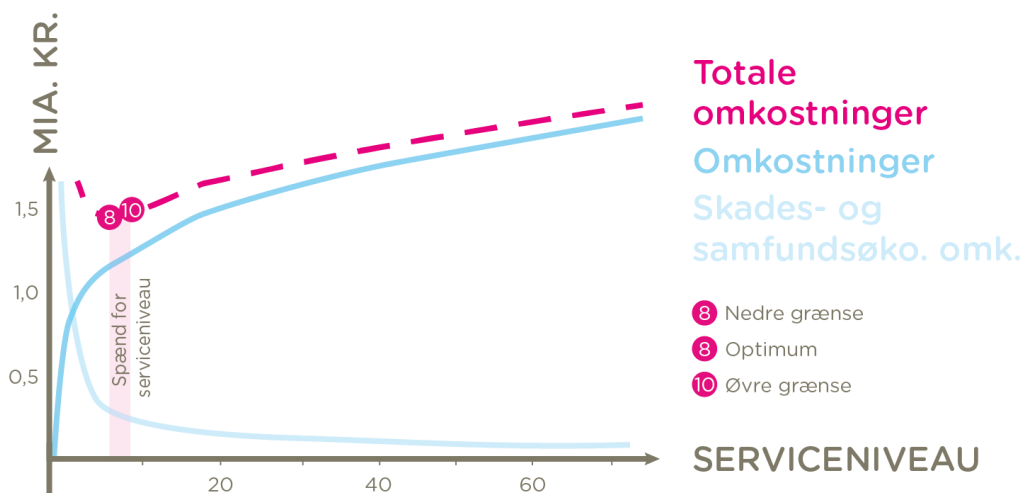
## 10. ANBEFALINGER OG KONKLUSION

Dette kapitel konkluderer på hele analysen og opstiller en anbefaling til den videre proces for planlægning af klimatilpasning i Kildeskovsrendens opland.

### 10.1 Anbefaling

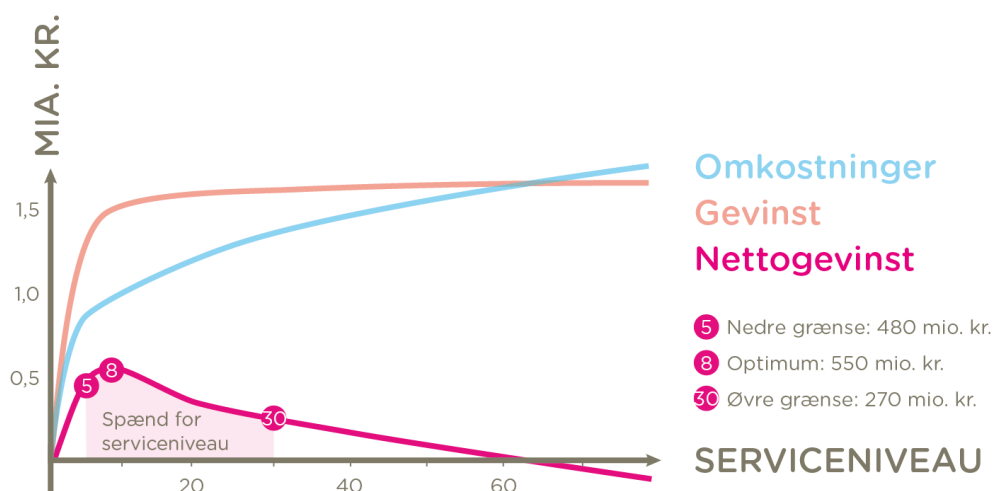
I forhold til tolkning af resultater har det været diskuteret, hvorvidt der skal vælges et serviceniveau for regnvand på terræn ud fra optimum i analysen eller ud fra et spænd på NNV-kurven, hvor gevinsten stadig er positiv, og klimatilpasning vil være en god investering. Valget er i høj grad en politisk beslutning, hvor der skal opvejes investeringer over for den gevinst, der opnås ved projektet. For at kunne træffe denne beslutning er det væsentligt at have kendskab til begge dele, dvs. at vide at der er et optimum, hvor gevinsten ved klimatilpasningen er størst, men at der i et interval omkring optimum, stadig kan være en stor gevinst ved at klimatilpasse, så det dermed er muligt at træffe et valg på et oplyst grundlag.

Såfremt der vælges et serviceniveau for regnvand på terræn ud fra et samfundsøkonomisk optimum, anbefales det, at der vælges et serviceniveau for regnvand på terræn på **8 år** i 2117 (svarende til en 21-års regnhændelse i 2017), idet begge følsomhedsanalyser angiver, at optimum højst sandsynligt vil ligge her. Det skal dog nævnes, at ud fra en vurdering af følsomhedsanalysen, ligger optimum i et spænd mellem 8-10 år i 2117 (svarende til et spænd mellem 21-29 år i 2017) (se Figur 58).



**Figur 58** Resultat af analysen med bestemmelse af det samfundsøkonomiske optimum for serviceniveau for regnvand på terræn, eksklusiv merværdier.

Som resultaterne og følsomhedsanalysen har vist, er der store forskelle og dermed større usikkerheder, når der skal vælges et spænd indenfor NNV. Der vil være forskellige tilgange til, hvordan dette spænd bør vælges. På baggrund af at Novafos har oplyst, at det er vigtigt ikke at overinvestere, er der valgt en konservativ tilgang, hvori der er lille risiko for en negativ NNV og dermed lille risiko for at overinvestere. Ud fra denne tilgang anbefales det, at der vælges et serviceniveau for regnvand på terræn mellem **5-30 år** i 2117 (svarende til et spænd mellem 12-115 år i 2017), da begge følsomhedsanalyser har vist, at der inden for dette spænd er stor sandsynlighed for, at tilpasningen vil være en gevinst for samfundet (se Figur 59).



**Figur 59** Resultat af analysen med bestemmelse af nettogevinsten for serviceniveau for regnvand på terræn, eksklusiv merværdier.

Derudover ses det af følsomhedsanalyserne, at hvis der klimatilpasses til en gentagelsesperiode indenfor spændet fra 30-100 år (i 2117), vil det i de fleste tilfælde også have en positiv NNV. Der kan dog inden for dette spænd også være risiko for en negativ NNV og dermed ikke en gevinst. Som nævnt i Afsnit 9.3 er der ikke undersøgt for niveauer over 100 år (i 2117), da det er fastlagt som et øvre loft.

Anbefalingerne er samlet i Tabel 31.

**Tabel 31** Anbefalingerne for serviceniveau for regnvand på terræn for Kildeskovsrendens opland

Serviceniveau for 2117 [år]	
Optimum	8 (8-10)
NNV	5-30

## 10.2 Konklusion

Resultaterne af analysen – hovedsageligt beregningen af optimum – understreger og efterviser, at serviceniveauerne fastlagt i Skrift 27 er en god investering, og ved at sikre til disse niveauer reduceres skaderne væsentligt.

På baggrund af følsomhedsanalyserne kan det konkluderes, at optimum kun varierer meget lidt ved ændringer i de væsentligste parametre i analysen, og optimum dermed er meget robust. Derimod varierer nettonutidsværdierne væsentligt ved ændringer i de væsentligste parametre i analysen, og nettonutidsværdierne er dermed mere følsomme – især i den lave og høje ende.

Den gennemførte Monte Carlo simulering viser, at der kun ved 50% af de 5.000 generede simuleringer er en gevinst ved at sikre til en gentagelsesperiode på 100 år om 100 år. Dette og den beskrevne følsomhed medfører således, at der er en relativ stor sandsynlighed for en dårlig samfundsøkonomisk investering, hvis der sikres til de 100

år, som er angivet i Gentofte Kommunes klimatilpasningsplan. Det kan ud fra analysen og dens forudsætninger konkluderes, at det i Kildeskovsrendens opland ikke vil være samfundsøkonomisk hensigtsmæssigt at sikre til det fastsatte niveau i kommunens klimatilpasningsplan.

## LITTERATURLISTE

- [1] A. S. Olsen, G. G. Nielsen, B. Paludan, O. Mark, A. Laustsen, J. J. Linde, C. Jacobsen, K. Friis, D. Rosbjerg, P. S. Mikkelsen og K. Arnbjerg-Nielsen, »Skrift 31: Metoder til bestemmelse af serviceniveau for regnvand på terræn,« IDA Spildevandskomiteen, 2017.
- [2] Gentofte Kommune, »Spildevandsplan 2015-2018,« Gentofte Kommune, Charlottenlund, 2015.
- [3] Gentofte Kommune, »Tillæg 2 til Kommuneplan 2013, klimatilpasning for Gentofte Kommune,« Gentofte Kommune, Gentofte, 2013.
- [4] Rambøll, »Analysekatalog for Klimatilpasning af Kildeskovsrendens opland,« Rambøll, København, 2018.
- [5] Rambøll, »Idéprojekt, Høeghsmindevej og Smakkegårdsvej – Klimatilpasning og trafikregulering,« Rambøll, København, 2018.
- [6] Beredskabsstyrelsen, »Redegørelse vedrørende skybruddet i Storkøbenhavn lørdag den 2. juli 2011,« Institut for Beredskabsevaluering, 2012.
- [7] COWI, »Enhedsomkostninger ved oversvømmelseskader fra skybrud,« Forsikring & Pension, 2014.
- [8] L. Olesen, R. Löwe og K. Arnbjerg-Nielsen, »Flood Damage Assessment: Literature review and recommended procedure,« Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities, Melbourne, Australia, 2017.
- [9] T. Grahn og L. Nyberg, »Assessment of pluvial flood exposure and vulnerability of residential areas,« *International Journal of Disaster Risk Reduction*, årg. 21, nr. 2212-4209, pp. 367-375, 2017.
- [10] Rambøll, »Omkostninger ved skybrud i Gentofte Kommune,« Rambøll A/S, København, 2017.
- [11] Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering, »Kortforsyningen - Download,« Kortforsyningen, [Online]. Available: <https://download.kortforsyningen.dk/>. [Senest hentet eller vist den 1 Oktober 2017].
- [12] Miljøstyrelsen, »Beregningsværktøj,« juli 2016. [Online]. Available: [www.klimatilpasning.dk/viden-om/oekonomi/beregningsvaerktoej.aspx](http://www.klimatilpasning.dk/viden-om/oekonomi/beregningsvaerktoej.aspx). [Senest hentet eller vist den 22 maj 2017].
- [13] K. Arnbjerg-Nielsen, H. Sneftrup, J. H. Hansen, D. B. Olsen, C. Seidelin, T. Nielsen og T. Kunnerup, »Klimatilpasning af afløbssystemer og metodeafprøvning. Økonomisk analyse,« Miljøstyrelsen, København, 2007.
- [14] Dansk Bygningskontrol A/S, »Prisliste,« [Online]. Available: [www.bygningskontrol.dk/pdf/prisliste.pdf](http://www.bygningskontrol.dk/pdf/prisliste.pdf). [Senest hentet eller vist den 4 december 2017].
- [15] Bolius, »Sådan reagerer du på vandskader efter skybrud,« januar 2017. [Online]. Available: [www.bolius.dk/saadan-reagerer-du-paa-vandskader-efter-skybrud-17888/](http://www.bolius.dk/saadan-reagerer-du-paa-vandskader-efter-skybrud-17888/). [Senest hentet eller vist den 1 december 2017].
- [16] Sundhedsdatastyrelsen, »Takstsystem, vejledning 2017,« DRG og Finansiering, 2016.
- [17] Lægemiddelstyrelsen, »Medicinpriser,« 1 december 2017. [Online]. Available: [www.medicinpriser.dk](http://www.medicinpriser.dk).

- [1] A. S. Olsen, G. G. Nielsen, B. Paludan, O. Mark, A. Laustsen, J. J. Linde, C. Jacobsen, K. Friis, D. Rosbjerg, P. S. Mikkelsen og K. Arnbjerg-Nielsen, »Skrift 31: Metoder til bestemmelse af serviceniveau for regnvand på terræn,« IDA Spildevandskomiteen, 2017.
- [18] Sundheds- og Ældreministeriet, »Lovforslag: Kommuner skal tilskyndes til at styrke forebyggelsesindsatsen over for små børn og ældre,« november 2016. [Online]. Available: [www.sum.dk/Aktuelt/Nyheder/Sundhedspolitik/2016/November/Lovforslag-Kommuner-skal-forebygge-bedre-over-for-smaa-boern-og-aeldre.aspx](http://www.sum.dk/Aktuelt/Nyheder/Sundhedspolitik/2016/November/Lovforslag-Kommuner-skal-forebygge-bedre-over-for-smaa-boern-og-aeldre.aspx). [Senest hentet eller vist den 1 december 2017].
- [19] Netdoktor Media, »Netdoktor,« 1 december 2017. [Online]. Available: [www.netdoktor.dk](http://www.netdoktor.dk).
- [20] Danmarks Statistik, »Danmarks Statistik,« [Online]. Available: [www.dst.dk](http://www.dst.dk). [Senest hentet eller vist den 1 december 2017].
- [21] Federal Emergency Management Agency, »Final Sustainability Benefits Methodology Report,« FEMA, Washington D.C., 2012.
- [22] D. Levinson, M. Lakoma, M. Petukhova og e. al., »Associations of serious mental illness with earnings: results from the WHO World Mental Health surveys,« *The British Journal of Psychiatry*, årg. 197, nr. 2, pp. 114-121, August 2010.
- [23] Transport- og Bygningsministeriet, »Transport- og Bygningsministeriets Regnearksmodel for Samfundsøkonomisk Analyse,« [Online]. Available: [www.modelcenter.transport.dtu.dk/Noegletal/TERESA](http://www.modelcenter.transport.dtu.dk/Noegletal/TERESA). [Senest hentet eller vist den 1 november 2017].
- [24] Din Offentlige Transport (DOT), »Køreplaner,« [Online]. Available: [www.dinoffentligetransport.dk/](http://www.dinoffentligetransport.dk/). [Senest hentet eller vist den 1 december 2017].
- [25] Infrastrukturkommissionen, »Danmarks Transportinfrastruktur 2030,« Glumsø Bogtryk A/S, Glumsø, 2008.
- [26] DSB, »DSB Køreplaner,« [Online]. Available: [www.dsb.dk/globalassets/pdf/trafikinformation/s17\\_linjekort\\_dagtimer.pdf](http://www.dsb.dk/globalassets/pdf/trafikinformation/s17_linjekort_dagtimer.pdf). [Senest hentet eller vist den 1 december 2017].
- [27] DSB, »Månedsrapport, August 2017,« DSB, 2017.
- [28] Rejseplanen A/S, »Rejseplanen,« [Online]. Available: [www.rejseplanen.dk](http://www.rejseplanen.dk). [Senest hentet eller vist den 4 december 2017].
- [29] TV2 Lorry, »Kystbanen lukkes i sommerferien: Togbusser fra lørdag,« Juni 2017. [Online]. Available: <https://www.tv2lorry.dk/artikel/kystbanen-lukkes-i-sommerferien-i-stedet-koerer-der-togbusser>. [Senest hentet eller vist den 1 december 2017].
- [30] COWI, »Scenarier for håndtering af serviceniveau, skybrud og overløb til Utterslev Mose,« Novafos, 2017.
- [31] Finansministeriet, »Vejledning i samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger,« Finansministeriet, 2017.
- [32] K. K. -. T. o. Miljøforvaltningen, »Notat om principper for rensning af regnvand,« København, 2016.
- [33] Rambøll, »Kildeskovsrendens Opland,« Rambøll, København, 2016.

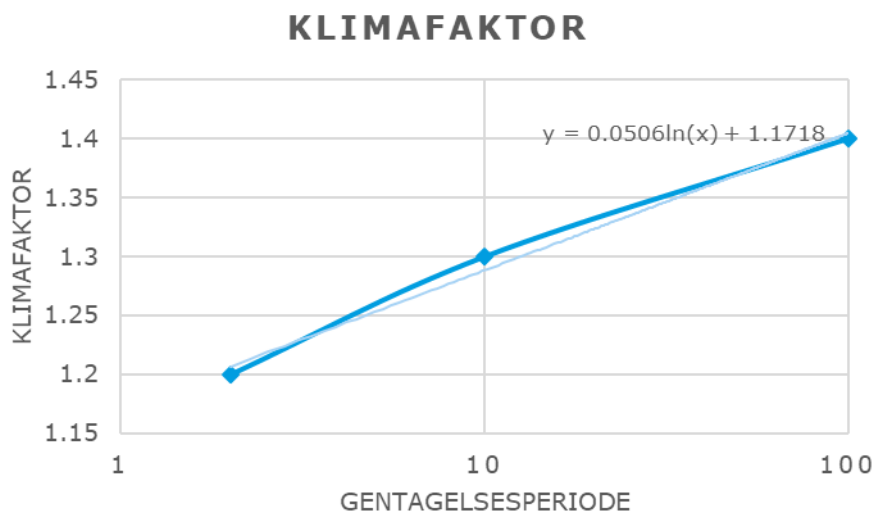
- [1] A. S. Olsen, G. G. Nielsen, B. Paludan, O. Mark, A. Laustsen, J. J. Linde, C. Jacobsen, K. Friis, D. Rosbjerg, P. S. Mikkelsen og K. Arnbjerg-Nielsen, »Skrift 31: Metoder til bestemmelse af serviceniveau for regnvand på terræn,« IDA Spildevandskomiteen, 2017.
- [34] K. Edelvang, A. Ahlstrøm, C. S. Andresen, S. B. Andersen, O. Bennike, J. M. Hansen, A. Kuijpers, B. Larsen, E. Buch, K. K. Andersen og K. S. Madsen, »Ændringer af havniveaue i Danmark de næste 100-200 år,« GEUS, København K, 2012.
- [35] SKAT, KL og Kombit A/S, »Bygnings- og Boligregistret,« SKAT, KL og Kombit A/S, [Online]. Available: [www.bbr.dk](http://www.bbr.dk). [Senest hentet eller vist den 1 april 2017].
- [36] F. & Pension, Interviewee, *Telefoninterview om genhusning*. [Interview]. 18 December 2017.
- [37] »Akutbolig,« [Online]. Available: <https://www.akutbolig.dk/gentofte>. [Senest hentet eller vist den Februar 2018].
- [38] »Boligportal.dk - Lejeboliger i Gentofte,« [Online]. Available: [https://www.boligportal.dk/lejeboliger\\_gentofte.html?gclid=EAIaIQobChMI57nAluWd2AIVxbUYCh0SxAA2EAAAYASAAEgKZyFD\\_BwE](https://www.boligportal.dk/lejeboliger_gentofte.html?gclid=EAIaIQobChMI57nAluWd2AIVxbUYCh0SxAA2EAAAYASAAEgKZyFD_BwE). [Senest hentet eller vist den Februar 2018].
- [39] »Boligsiden - Hvor meget vil du betale for en gennemsnitlig villa,« Boligsiden.dk, [Online]. Available: <https://bolignyheder.boligsiden.dk/2015/02/hvor-meget-vil-du-betale-for-en-gennemsnitlig-villa/>. [Senest hentet eller vist den Februar 2018].
- [40] Wastewater Gardens, »<http://www.wastewatergardens.com/>,« Wastewater Gardens International, [Online]. Available: [http://www.wastewatergardens.com/pdf/WWG\\_InfoSheet\\_DiseasesUntreatSewge.pdf](http://www.wastewatergardens.com/pdf/WWG_InfoSheet_DiseasesUntreatSewge.pdf). [Senest hentet eller vist den 11 11 2017].
- [41] R. R. Tiwari, »Occupational health hazards in sewage and sanitary workers,« *Indian J Occup Environ Med.*, årg. 12, nr. 3, pp. 112-115, 2008.
- [42] NHS Choices, »Leptospirosis (Weil's disease),« NHS Choices, [Online]. Available: <https://www.nhs.uk/conditions/leptospirosis/>. [Senest hentet eller vist den 11 11 2017].
- [43] M. Schoenbaum, »Promoting Mental Health Recovery After Hurricanes Katrina and Rita: What could we have done at what cost?,« *Archives of General Psychiatry*, årg. 66, nr. 8, pp. 906-914, 2009.
- [44] D. Transportforskning, »The Danish Value of Time Study,« 2007.
- [45] Klimatilpasning, »Rainwater installation disguised as a skateboard park,« 10 december 2013. [Online]. Available: <http://en.klimatilpasning.dk/cases/items/rainwater-installation-disguised-as-a-skateboard-park.aspx> .
- [46] Naturstyrelsen, »Byliv der betaler sig,« 2012.
- [47] Motions- og Ernæringsrådet, »Fysisk inaktivitet - konsekvenser og sammenhænge,« 2007.
- [48] P. M. Sherer, »The Benefits of Parks, Why America Needs More City Parks and Open Space,« The Trust for Public Land, 2006.
- [49] D. Statistik, »Statistikbanken INDKP105,« [Online]. Available: <http://www.statistikbanken.dk/indkp105>. [Senest hentet eller vist den 2018].
- [50] Københavns Energi, »Københavns Energi, Vand og Afløb. Resultater af Kundeundersøgelse,« 26. juni 2007.

- [1] A. S. Olsen, G. G. Nielsen, B. Paludan, O. Mark, A. Laustsen, J. J. Linde, C. Jacobsen, K. Friis, D. Rosbjerg, P. S. Mikkelsen og K. Arnbjerg-Nielsen, »Skrift 31: Metoder til bestemmelse af serviceniveau for regnvand på terræn,« IDA Spildevandskomiteen, 2017.
- [51] Wikipedia, »Amager Strandpark,« [Online]. Available: [https://da.wikipedia.org/wiki/Amager\\_Strandpark](https://da.wikipedia.org/wiki/Amager_Strandpark).
- [52] G. Kommune, »Badevand,« [Online]. Available: <http://www.gentofte.dk/borger/by-og-milj%C3%B8/havne-strande-og-camping/badevand>. [Senest hentet eller vist den 2017].
- [53] M. R. PLAN09, »Byplanlab - Klimaforandringer i byerne,« 2008. [Online]. Available: [http://www.byplanlab.dk/plan09/www.plan09.dk/NR/rdonlyres/87A6D154-75A8-4780-BB6F-B01B99CBF08C/0/Klimaforandringer\\_rapport\\_netversion.pdf](http://www.byplanlab.dk/plan09/www.plan09.dk/NR/rdonlyres/87A6D154-75A8-4780-BB6F-B01B99CBF08C/0/Klimaforandringer_rapport_netversion.pdf).
- [54] E. G. McPherson, J. R. Simpson, P. J. Peper, S. L. Gardner, K. E. Vargas og Q. Xiao, »Northeast Community Tree Guide - Benefits, Costs and Strategic Planting,« USDA, Albany, CA, 2007.
- [55] H. W. Schroeder og T. L. Green, »Public Preference for Tree Density in Municipal Parks,« *Journal of Arboriculture*, årg. 11, nr. 9, pp. 272-277, 1985.
- [56] »Energimester - Hvad koster 1kWh?,« EnergiMester, [Online]. Available: <https://www.energimester.dk/koster-1-kwh/>.
- [57] »OK - Naturgaspriser hos OK,« OK, [Online]. Available: <http://www.ok.dk/privat/priser/naturgas>.
- [58] »DTU, Transportøkonomiske enhedspriser,« DTU, Februar 2018. [Online]. Available: <http://www.modelcenter.transport.dtu.dk/Noegletal/Transportoekonomiske-Enhedspriser>.
- [59] Rambøll, »Skybudssikring af oplandet Vesterbo og Ladegårds Å,« 2013.
- [60] P. H. S. Bolund, »Ecosystem Service in Urban Areas,« *Elsevier*, årg. Ecological Economics 29, pp. 293-301, 1999.
- [61] GreenBlue Urban, »Green Blue Urban,« April 2015. [Online]. Available: <https://www.greenblue.com/gb/trees-as-sound-barriers/>.
- [62] J. Lamond, D. Proverbs og A. Antwi, »The Effects of Floods and Floodplain Designation on Value of Property; An Analysis of Past Studies,« RIATEC, School of Engineering and the Built Environment, Wolverhampton University, 2006.
- [63] M. E. Assessment, »Ecosystems and Human Well-being - Synthesis,« 2013.
- [64] C. C. Konijnendijk, M. Annerstedt, A. B. Nielsen og S. Maruthaveeran, »Benefits of Urban Parks,« Ifpra, Copenhagen and Alnarp, 2013.
- [65] L. L. J. Y. Viniece Jennings, »Advancing Sustainability through Urban Green Space: Cultural Ecosystem Services, Equity, and Social Determinants of Health,« *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2016, 13(2) 196, 2016.

## BILAG 1 PROJEKTBEKRIVELSE

### Bilag 1.1 Valg af serviceniveauer, gentagelsesperioder og sikkerhedsfaktorer

For at finde serviceniveau for regnvand på terræn, må der udvælges og testes forskellige serviceniveauer, som danner grundlaget for at kunne optimere serviceniveauet. I projektet er der valgt at fire serviceniveauer: S0, S1, S2 og S3, hvor S0 kom ind senere i forløbet. Hvert serviceniveau relateres til en regnhændelse. Sandsynligheden for den givne regnhændelse vil ændre sig over tid, idet klimaet ændrer sig over tid. Ved at tage udgangspunkt i de anbefalede klimafaktorer i Spildevandskomitéens Skrift 29 og 30 er der udarbejdet en sammenhæng mellem klimafaktor og gentagelsesperiode i Figur 60. Trendlinefunktionen i Excel kan give en funktion af et approksimeret logaritmisk forhold mellem gentagelsesperiode og klimafaktor: "Klimafaktor =  $0,0506 \cdot \ln(\text{gentagelsesperioden}) + 1,1718$ ". Denne funktion er brugt til at beregne klimafaktoren for de øvrige gentagelsesperioder.



**Figur 60** Sammenhæng mellem klimafaktor og gentagelsesperiode

For at reducere beregningstiden væsentligt er der udført en analyse på de forskellige regnhændelser. Som beskrevet i Afsnit 2.6 er tidshorisonten i indeværende analyse 100 år fordelt på tre fremskrivningsperioder, 2017, 2067 og 2117. Ved justering af klimafremskrivningen vil regnhændelsernes intensiteter for nogle regnhændelser være stort set lig hinanden, men med forskellige gentagelsesperioder. Antallet af hydrauliske beregninger kan derfor reduceres ved denne betragtning fra tre til én beregning, da det ikke vil være nødvendigt at udføre hydrauliske beregninger for de øvrige tidsperioder. Tabel 32 viser antallet af hydrauliske beregninger for øvelsen. Her er der angivet den originale regnhændelse (markeret med **fed**), samt hvilken regnhændelse det vil svare til for de øvrige år ved sammenligning af 10 minutters regntintensiteterne. Eksempelvis for serviceniveau S1 sikres der til en regnhændelse med 20-års gentagelsesperiode i år 2117, hvilket samtidig vil sige, at der sikres til ca. en 33-års regnhændelse i 2067 og en 68-års regnhændelse i dag (2017), da alle tre regnhændelser har en maksimal intensitet på omkring 330 l/s/ha for 10 minutters varighed.

**Tabel 32** Oversigt over regnhændelser, som anvendes i analysen. For at mindske antallet af beregninger er flere regnhændelser blevet omregnet fra en gentagelsesperiode til ét punkt i tiden til en anden gentagelsesperiode til et andet punkt i tiden. De originale regnhændelser er markeret med **fed**.

Service-niveau	2017	Intensitet (10 min.) [l/s · ha]	2067	Intensitet (10 min.) [l/s · ha]	2117	Intensitet (10 min.) [l/s · ha]
S0	CDS 12 SF 1,00	220	CDS 7 SF 1,14	218	<b>CDS 5 SF 1,25</b>	<b>220</b>
	CDS 17 SF 1,0	239	<b>CDS 10 SF 1,14</b>	<b>240</b>	CDS 7 SF 1,27	244
	<b>CDS 20 SF 1,0</b>	<b>249</b>	CDS 11 SF 1,15	247		
			CDS 16 SF 1,16	273	<b>CDS 10 SF 1,29</b>	<b>271</b>
	<b>CDS 50 SF 1,0</b>	<b>307</b>	CDS 25 SF 1,17	306	CDS 16 SF 1,31	309
	CDS 68 SF 1,0	329	CDS 33 SF 1,18	330	<b>CDS 20 SF 1,32</b>	<b>329</b>
	<b>CDS 100 SF 1,0</b>	<b>358</b>	CDS 47 SF 1,18	358	CDS 27 SF 1,36	358
	CDS 220 SF 1,0	422	CDS 91 SF 1,20	422	<b>CDS 50 SF 1,37</b>	<b>421</b>
		CDS 190 SF 1,22	500	<b>CDS 100 SF 1,4</b>	<b>501</b>	
S1	CDS 68 SF 1,0	329	CDS 33 SF 1,18	330	<b>CDS 20 SF 1,32</b>	<b>329</b>
	CDS 93 SF 1,0	352	CDS 44 SF 1,18	352	<b>CDS 25 SF 1,34</b>	<b>352</b>
	<b>CDS 100 SF 1,0</b>	<b>358</b>	CDS 47 SF 1,18	358	CDS 27 SF 1,36	358
	CDS 138 SF 1,0	383	CDS 61 SF 1,19	382	<b>CDS 35 SF 1,35</b>	<b>383</b>
	CDS 220 SF 1,0	422	CDS 91 SF 1,20	422	<b>CDS 50 SF 1,37</b>	<b>421</b>
	CDS 515 SF 1,0	501	CDS 190 SF 1,22	500	<b>CDS 100 SF 1,4</b>	<b>501</b>
S2	CDS 220 SF 1,0	422	CDS 91 SF 1,20	420	<b>CDS 50 SF 1,37</b>	<b>421</b>
	CDS 515 SF 1,0	501	CDS 190 SF 1,22	501	<b>CDS 100 SF 1,4</b>	<b>501</b>
S3	CDS 515 SF 1,0	501	CDS 190 SF 1,22	500	<b>CDS 100 SF 1,40</b>	<b>501</b>
	CDS 890 SF 1,0	558	CDS 310 SF 1,23	558	<b>CDS 150 SF 1,43</b>	<b>558</b>
<b>Service-niveau</b>						
<b>Original regnhændelse</b>						

Årsagen til at der ikke er udført beregninger for regnhændelser med lavere gentagelsesperiode end dimensioneringskriteriet (serviceniveauet) er, at det antages, at skaderne er nul for disse gentagelsesperioder. Dette resulterer derfor i flere beregninger jo lavere en gentagelsesperiode, der er sikret til.

For S3 er der udført beregning for en 150-års regn i 2117 for at inkludere en regnhændelse, der vil give skader.

Desuden bemærkes det, at der for S0 er enkelte regnhændelser, hvor der ikke er udført samme betragtning, og enkelte celler i tabellen står tomme. Dette skyldes, at den hydrauliske model er opsat forskelligt alt efter, om gentagelsesperioden er mellem 20-100 år eller 0-10 år, hvor blandt andet den hydrologiske reduktionsfaktor er forskellig (se Bilag 3.2). Det betyder, at det ikke giver mening at udføre samme betragtning.

## BILAG 2 SCENARIER

### Bilag 2.1 Forsinkelse i grønne veje

Det primære forsinkelsesvolumen forventes at blive etableret underjordisk i plastikkassetter.

Kassetterne er beregningsmæssigt af størrelsen 0,6 m x 0,6 m x 1,2 m store. De har en fyldningsgrad på 95%, hvilket giver et samlet forsinkelsesvolumen per kassette på 0,41 m<sup>3</sup>.

Der arbejdes med at etablere forskellige mængder af kassetter afhængigt af vejenes bredde og behovet ved den givne regnmængde op til et maksimalt volumen for den givne vejtype.

Da grundvandet erfaringsmæssigt står højt i området, vil kassetterne blive beklædt med en vandtæt membran, så forsinkelsesvolumenet er uændret i perioder med højt grundvand, og der ikke er forureningsfare af det højtliggende grundvand.

### Bilag 2.2 Rensning i grønne veje

Regnbedenes funktion er dels at fungere som et rekreativt og trafikalt løft af vejene samt at rense vandet ved hverdagsregn. Rensekravet fra Gentofte Kommune til bedene er, at op til 90% af den årlige nedbør skal kunne renses ved filtrering i nyetablerede regnbede [32]. For at sikre tilstrækkelig rensning dimensioneres regnbedene med følgende forudsætninger:

- En hydraulisk LTS-beregning og efterfølgende analyse af den samlede nedbørmængde viser, at 90% af årsnedbøren svarer til regn med en maksimal intensitet på 20 l/s.
- Den maksimale nedsivningshastighed er antaget at være 0,1 l/s/m<sup>2</sup>. Dette omregnes til en hastighed, hvormed vand trænger ned i jorden, også kaldet jordens K-værdi. Ovenstående værdi svarer til en K-værdi på maksimalt  $1 \cdot 10^{-4}$  m/s, hvilket er inden for standardspekteret for filtermuld.

Det vil sige, at hver kvadratmeter regnbed kan rense ca. 50 m<sup>2</sup> vej- og fortovsflade. Det samlede areal af regnbede er beregnet på basis af dette.

Når tilledningen af regnvand overstiger filtermuldens nedsivningsevne ved kraftig regn, placeres der brønde med kuppelrist, der kan lede regnvandet i overløb til det underjordiske forsinkelsesvolumen. Ved skybrud, der overstiger forsinkelsesvolumenet, forbliver regnvandet på terræn, hvor det håndteres i overfladen enten ved transport eller ved lokal forsinkelse.

## BILAG 3 HYDRAULIK

### Bilag 3.1 Regn og sikkerhedsfaktorer

Til dimensionering af skybrudsløsninger bruges den regionale model for ekstremnedbør jf. Spildevandskomitéens Skrift 30 til generering af CDS-regn ud fra koordinaterne i det pågældende område. Der anvendes seneste version (version 4.1) af den regionale regnerække.

Valg af varigheden på CDS-regn afhænger i høj grad af oplandets størrelse. Eftersom Kildeskovsrendens opland ikke modtager vand fra øvrige hovedkloakoplande vurderes en varighed på seks timer at være tilstrækkelig.

Tidsskridt for regnen fastsættes til 10 minutter. Asymmetrikoeficienten skal være 0,5, så maksimumintensiteten ligger midt på kurven.

Der lægges i Spildevandskomiteens Skrift 31 op til, at den samfundsøkonomiske analyse udføres uden brug af faktor for modelusikkerhed for at få det bedste bud på en faktisk risiko. Endvidere er oversvømmelsesberegninger ikke eksplicit omfattet af Spildevandskomitéens Skrift 27, og der gives ikke en entydig anbefaling med hensyn til om modelusikkerhed skal indarbejdes i sikkerhedsfaktoren. Der anvendes derfor ikke tillæg for modelusikkerhed for regnhændelserne. For at øvelsen er ensrettet, betyder dette også, at der ikke er indregnet modelusikkerhed ved dimensionering for den traditionelle separatkloakering (S0).

Fortætningen i oplandet sættes til 1,0. Tabel 33 giver en oversigt over anvendte regnhændelser og sikkerhedsfaktorer. For at se, hvad gentagelsesperioderne i tabellen svarer til, for andre klimafremskrivninger henvises til Tabel 32.

**Tabel 33** Sikkerhedsfaktorer, der anvendes i de hydrauliske modelleringer

Gentagelsesperiode [år]	Fremskrivning [år]	Klimafaktor	Model-usikkerhed	Samlet sikkerhedsfaktor
Serviceniveau for afløb				
5	100	1,25	1,0	1,25
10	100	1,29	1,0	1,29
Serviceniveau for regnvand på terræn				
20	0	1,00	1,0	1,00
	100	1,32	1,0	1,32
50	0	1,00	1,0	1,00
	100	1,37	1,0	1,37
100	0	1,00	1,0	1,00
	100	1,40	1,0	1,40
150	0	1,00	1,0	1,00
	100	1,43	1,0	1,43

### Bilag 3.2 Modelparametre i MIKE URBAN

Til projektet tages udgangspunkt i Gentofte Kommunes detaljerede statusmodel. Modellen er baseret på den kalibrerede model (KDK\_020.mdb) fra "1100017622 – Gennemgang, kalibrering og hydrauliske beregninger for Kildeskovsrendens opland". Der har i tidligere arbejde i Kildeskovsrendens opland været foretaget en gennemgang af eksisterende afløbssystem og sammenlignet med DANDAS og Tegninger i SMART [33]. Desuden er der tidligere udført en kalibrering af området [33]. I de følgende bilag listes parametrene, der anvendes i henholdsvis MIKE URBAN og MIKE 21.

#### Befæstelsesgrad

Befæstelsesgraderne fremgår af Tabel 34.

**Tabel 34** Befæstelsesgrader, der anvendes i de hydrauliske modelleringer

Overfladetype	Befæstelsesgrad 10-års regn	Befæstelsesgrad 20-, 50- og 100-års regn
Bygninger	95	95
Veje	90	90
Diverse befæstede arealer	85	85
Jernbane	10	10
Ubefæstede flader (parker, haver, etc.)	100*	100*

\*Ved de ubefæstede flader indarbejdes et større initialtab samt nedsivningsrate, der bevirker, at fladerne først vil bidrage med afstrømning senere under regnhændelsen, når jorden er mættet.

Beregningerne udføres med model A (tidsarealkurver) som hydrologisk model.

### Initialtab

I MIKE URBAN-modellen anvendes initialtab, som ses i Tabel 35.

**Tabel 35** Initialtab, der anvendes i de hydrauliske modelleringer

Overfladetype	Initialtab [mm]
Bygninger	0,6
Veje	0,6
Diverse befæstede arealer	0,6
Jernbane	10,0
Grønne flader (ubefæstede flader)	40,0

### Afløbstider

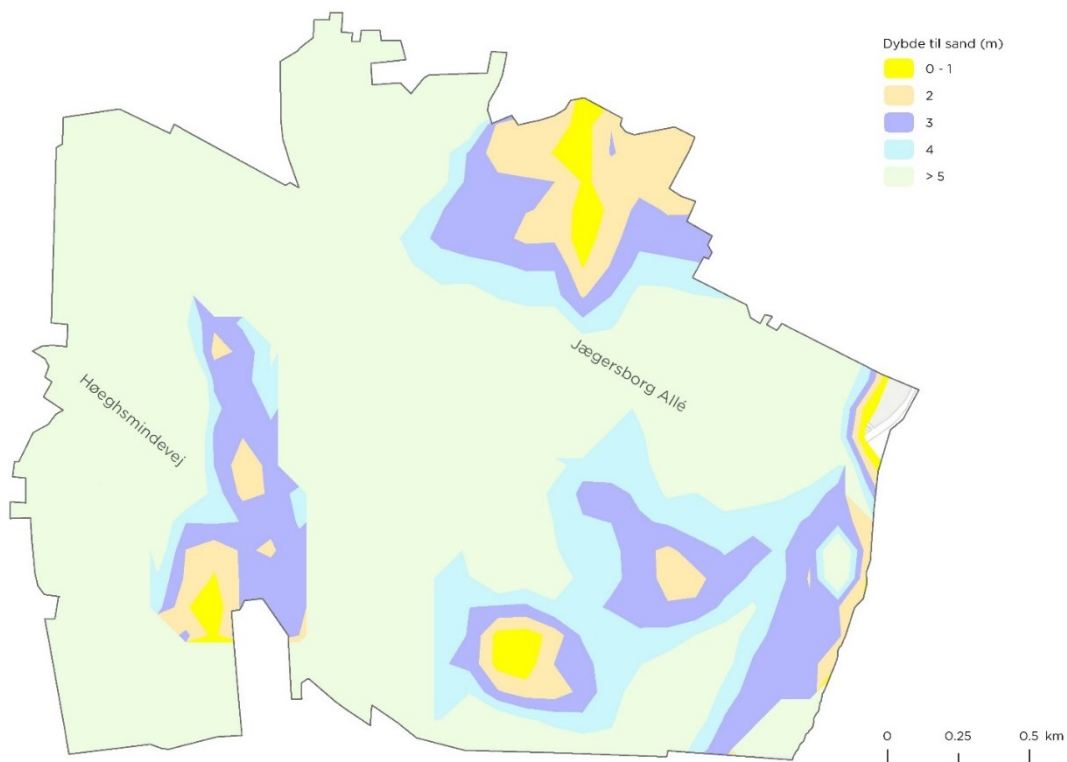
Afløbstider i Gentofte statusmodel er beregnet med MIKE URBAN Catchment tool. Standardværdi for strømningshastigheden er 0,3 m/s, hvilket anvendes for befæstede arealer. Grønne arealer (ubefæstede flader) og jernbane regnes ud fra andre hastigheder (se Tabel 36).

**Tabel 36** Afløbstider, der anvendes i de hydrauliske modelleringer

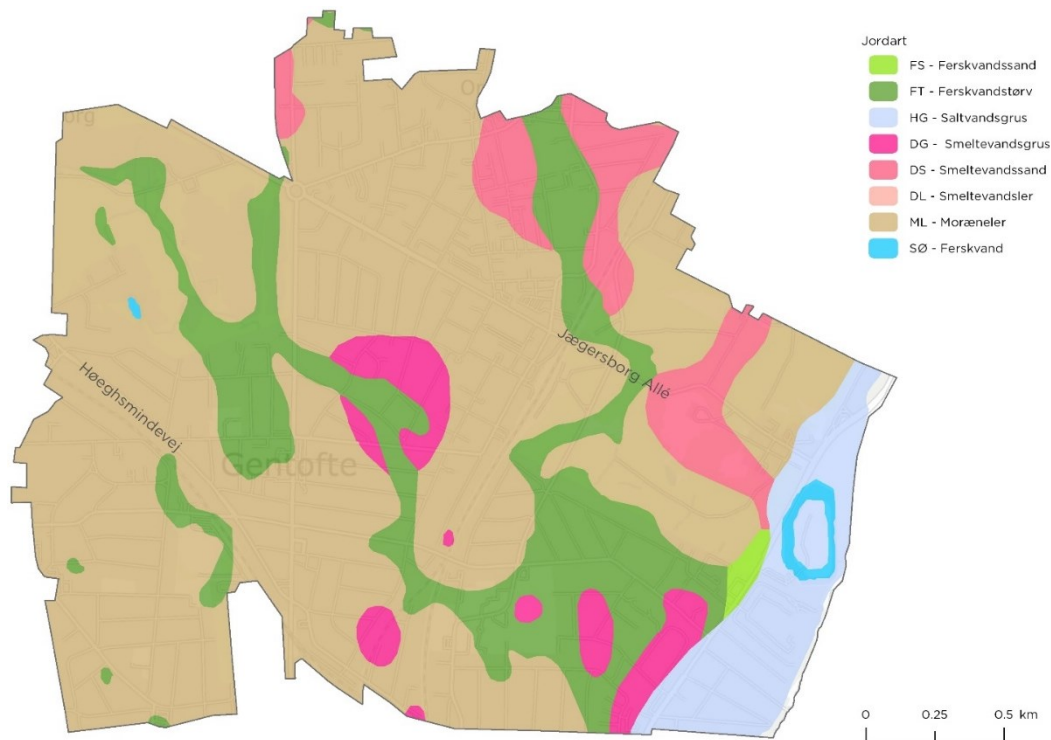
Overfladetype	Afløbstider [mm]
Bygninger	Beregnes 0,3 m/s
Veje	Beregnes 0,3 m/s
Diverse befæstede arealer	Beregnes 0,3 m/s
Jernbane	Beregnes 1,0 m/s
Grønne flader	Beregnes 0,1 m/s

### Nedsivningsevne

For at estimere nedsivningsevnen i oplandet ses der på geologien i området. Figur 61 viser dybden til det førstkomende sandlag og indikerer dermed tykkelsen på det overliggende ler, silt eller tørv, mens der på Figur 62 ses et jordartskort for oplandet.



**Figur 61** Dybde til førstkomende sandlag i Kildeskovsrendens opland



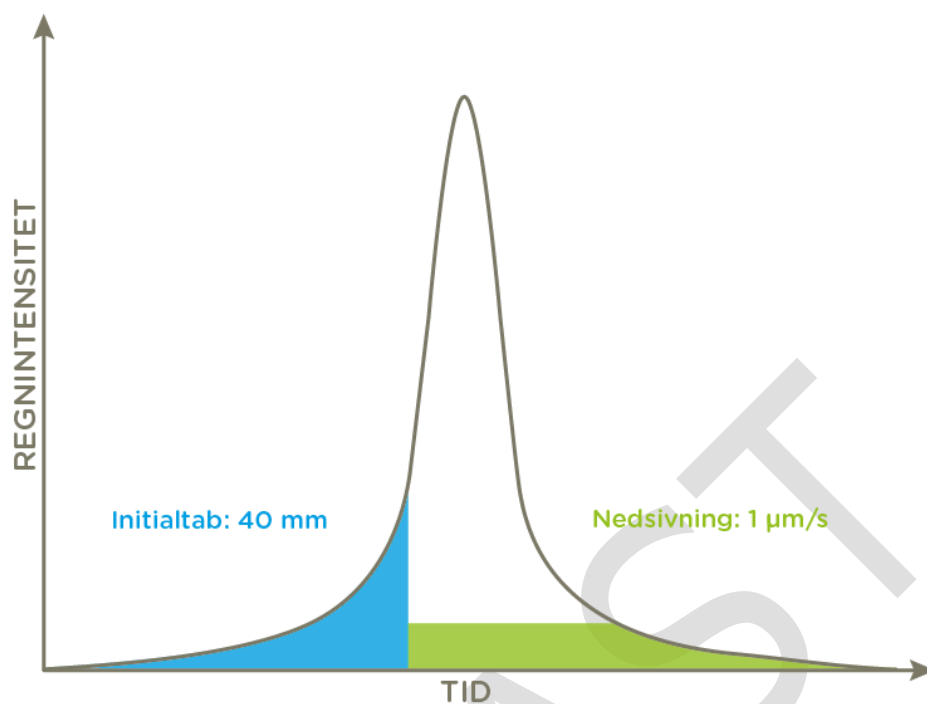
**Figur 62** Jordartskort for Kildeskovsrendens opland

Jordartskortet (Figur 62) indikerer, at moræneler er den dominerende jordart i oplandet. Af Figur 61 ses, at oplandet generelt er præget af førstkomende sandlag i mere end 5 meters dybde. Enkelte områder har dog mere terrænnært sand, hvilket stemmer godt overens med jordartskortet.

På baggrund af denne analyse anvendes en ledningsevne på  $K=1 \cdot 10^{-6}$  m/s, hvilket passer godt med sprækket moræneler, som karakteriserer oplandet.

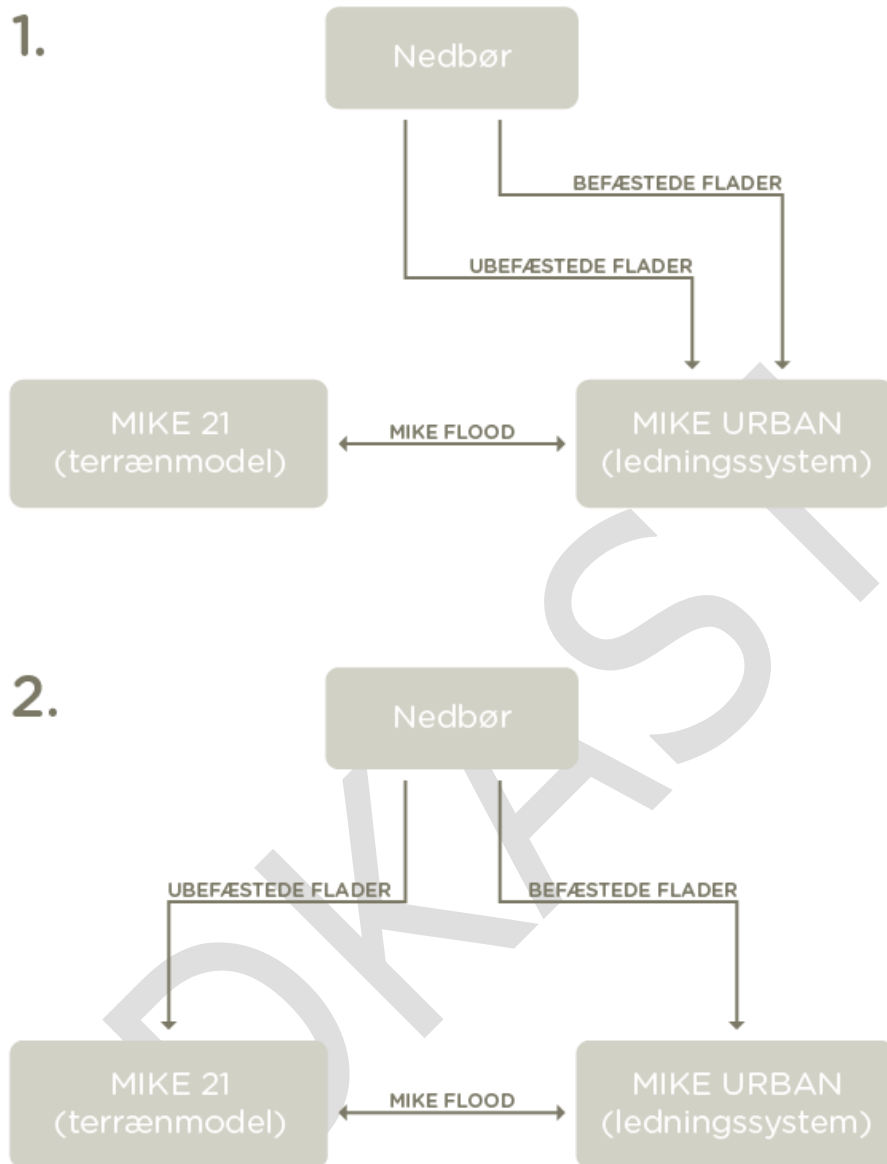
#### **Ubefæstede flader**

For de ubefæstede flader vil initialtabet optage den første del af regnen, uden der forekommer nedsivning, hvilket er illustreret i principskiten i Figur 63.



**Figur 63** Principskitse af hvad der i beregningerne ikke bidrager til afstrømning for de grønne flader under regnhændelsen

MIKE FLOOD-beregningerne kan enten tage udgangspunkt i, at bidraget fra alle befæstede og ubefæstede flader indarbejdes i MIKE URBAN (nr. 1 på Figur 64), eller i at bidraget afledes fra de ubefæstede flader direkte ud på terrænmodellen (MIKE 21), og vandet fra de befæstede flader ledes til brønde i hovedkloakken (nr. 2 på Figur 64).



**Figur 64** Principskitse af afledning af regnvand i MIKE URBAN og MIKE 21 for beregningerne for en 100-års regn i MIKE FLOOD

Begge metoder er tidligere undersøgt og giver generelt omtrent samme mængde og udbredelse i oversvømmelser [33]. I de fleste tilfælde i Kildeskovsrendens opland ligger vejen også som det lokale dybdepunkt, og de tilstødende matrikler ligger højere, som illustreres i strømningsvejene på Figur 65.



**Figur 65** Angivelse af strømningsveje på et udpeget boligområde i Kildeskovsrendens opland. Tykkelsen på strømningsvejene indikerer oplandet størrelse, dvs. jo større opland des tykkere linje.

Beregningerne i indeværende analyse udføres ud fra metode 1 på Figur 64.

Modelteknisk er arealer fra matrikler (tage, græsplæner og andet) derfor koblet til brønde i hovedkloakken eller elementer fra scenarierne, hvilket er en forsimpning af virkeligheden. Derfor kan der opstå situationer, hvor der vil være mere end 10 cm vand langs en bygning, men det vil i princippet være matriklens eget overfladevand, der forårsager oversvømmelsen, da den ikke kan komme af med sit vand.

### Hydrologisk reduktionsfaktor

Den hydrologiske reduktionsfaktor vurderes i den virkelige verden at afhænge af gentagelsesperioden og oplandstypen. Det optimale er at finde reduktionsfaktorer ved kalibrering for regn med bestemte gentagelsesperioder, men i mangel af bedre er faktorerne i Tabel 37 blevet foreslået og anvendt.

**Tabel 37** Hydrologisk reduktionsfaktor, der anvendes i de hydrauliske modelleringer

Gentagelsesperiode	Reduktionsfaktor
T=5	0,8*
T=10	0,8*
T=20	1,0
T=50	1,0
T=100	1,0

*\*undtagen for de oplande, hvor der ud fra kalibreringer er estimeret en anden hydrologisk reduktionsfaktor.*

Tidligere udført kalibrering har vist at enkelte områder viste en bedre sammenhæng med en reduktionsfaktor 0,7 [33].

### Overløb

I MIKE URBAN er der for overløb angivet en overløbskoefficient (Discharge Coefficient) på 0,4. Denne koefficient anvendes, medmindre der foreligger konkret viden om overløbet, der muliggør en mere præcis fastsættelse.

### Vandstand i havene

Selvom der er stor usikkerhed om, hvor meget havvandsstanden vil stige i fremtiden, er der stadig en forventning om, at der vil ske en stigning. GEUS og DMI forventer, at vandstanden omkring Danmark vil stige med 20-140 cm frem til år 2100 [34]. På baggrund af disse angiver Tabel 38 Rambølls forslag til fremskrivning af middelvandstanden i Øresund over de næste 100 år.

**Tabel 38** Forventede havvandstandsstigning, der anvendes i de hydrauliske modelleringer

År	Havvandsstigning [m]
2017	0,0
~ 2067	0,4
2117	0,7

For regn indeholdende klimafaktor svarende til en regn i år 2117 regnes med en havvandsstigning til kote 0,7 m og 0,4 m i 2067.

## Bilag 3.3 Modelparametre i MIKE 21

### Cellestørrelse

Der tages udgangspunkt i terrænmodel fra Kortforsyningens hjemmeside (DHM/Terræn) i cellestørrelse 0,4 m x 0,4 m. I denne er der ikke indregnet de hydrologiske tilpasninger (viadukter, å-forløb, støjmurer mm), da dette ikke er udført endnu i modsætning til tidligere versioner af terrænmodellen. Dog anvendes tilpasningslaget fra

tidligere version af terrænmodellen for lokalisering, samt hvad der på nuværende tidspunkt er kendskab til.

I forhold til cellestørrelse for oversvømmelsesberegningerne udføres disse i 1,6 m x 1,6 m som tidligere udførte beregninger. Eftersom beregningerne udføres for et meget stort område, vurderes denne at være mest hensigtsmæssig og passende for detaljeringsgraden. Når der senere skal regnes på projektniveau, kan det overvejes at nedsætte cellestørrelsen. En mindre cellestørrelse vil resultere i en meget lang beregningstid samt øget risiko for instabilitet.

### **Randbetingelser**

Terrænmodellen vil til beregningerne dække hele Kildeskovsrendens opland samt en buffer i omegnen af 200 m ud over oplandet for at medregne eventuelt afstrømmende vand ind og ud af oplandet. Brønde uden for terrænmodellen er sat til "spilling nodes", for at vandet ikke presses ind i oplandet og overestimerer oversvømmelserne.

### **Bilag 3.4 Simplificering af model**

For at reducere beregningstiden og gøre modellen smidigere at arbejde med er der udført en simplificering af modellen. I de følgende afsnit uddybes simplificeringerne.

#### **Simplificering af oplande**

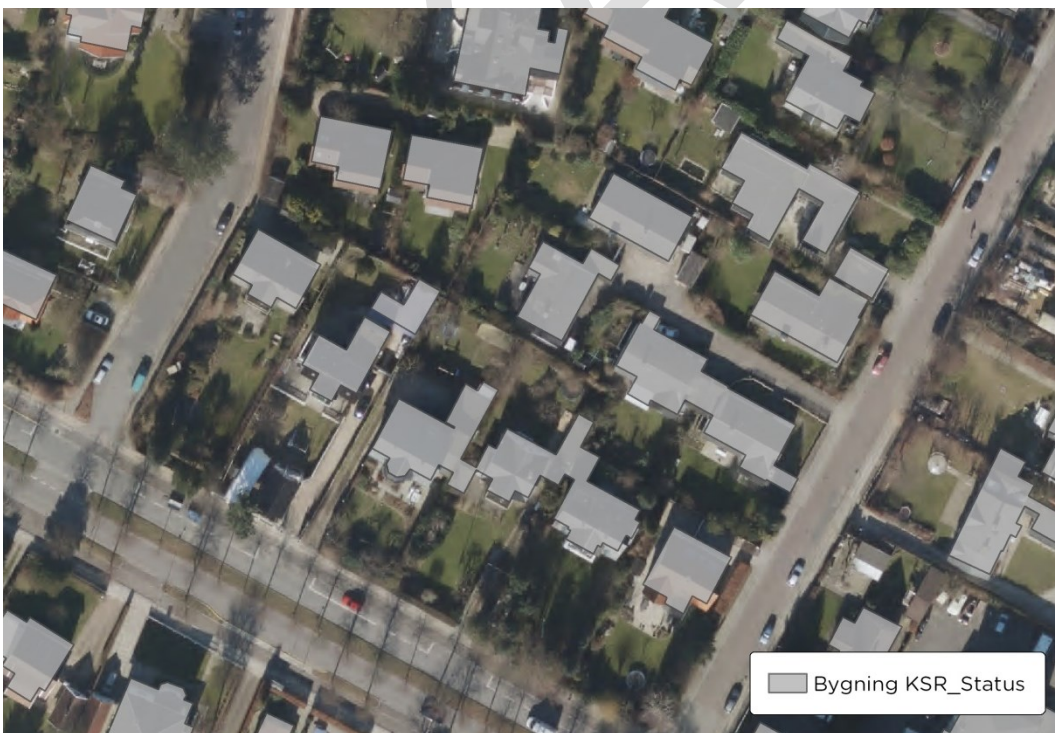
Simplificeringen består blandt andet af en ændring af oplandsbeskrivelsen i modellen. I KDK\_020 er oplande opdelt i bygninger, veje, jernbanearealer, diverse befæstede arealer og grønne områder inden for Kildeskovsrendens opland plus en bufferzone på 200 m. Bygningslaget er baseret på bygningslag fra GeoDanmark og beskriver samtlige bygninger i oplandet. Dette giver et meget stort antal oplande, hvilket resulterer i en tung model.

For at reducere antallet af bygninger samles bygninger, der ligger op ad hinanden såsom rækkehuse. Desuden viser en gennemgang af bygninger i KDK\_020, at omkring halvdelen af bygningerne har et areal på under 50 m<sup>2</sup>, men at disse bygninger kun står for 11% af det samlede tagareal. For at reducere antallet af oplande i modellen yderligere ses der derfor bort fra boliger med et tagareal på under 50 m<sup>2</sup>. Dette reducerer antallet af bygningsoplande i projektområdet og bufferzonen fra 12.593 til 5.772. Det samlede tagareal går fra 144 ha til 136 ha, dvs. en reduktion på 6%.

Med veje, grønne områder, diverse befæstede og jernbaneoplande er det samlede antal oplande for projektområdet og bufferzonen 11.329. Dette er en væsentlig reduktion fra de 18.923 oplande i den detaljerede model KDK\_020.



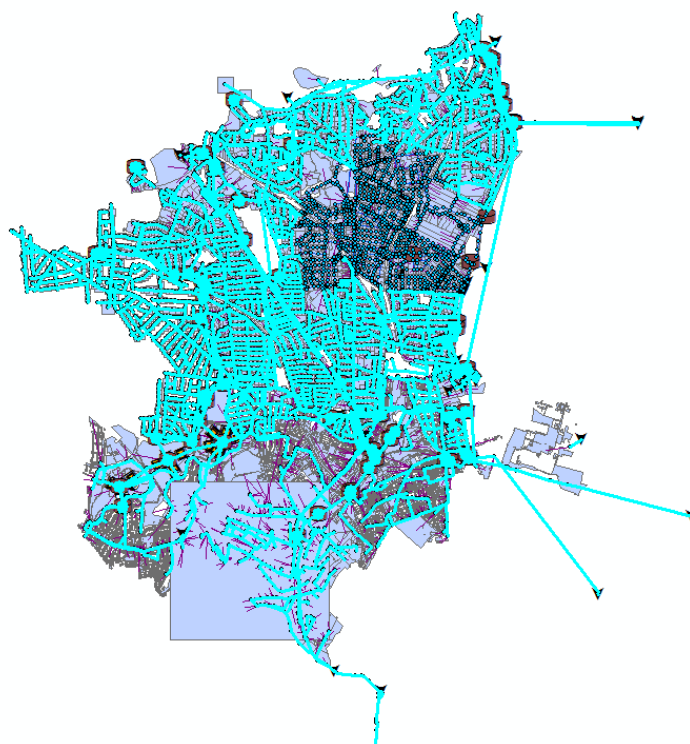
**Figur 66** Eksempel på bygningsoplade i den detaljerede model (KDK\_020)



**Figur 67** Eksempel på bygningsoplade i den simplificerede model (KSR\_Status)

### Simplificering af afløbssystem

For at simplificere modellen yderligere, simplificeres ledningsnetværket uden for projektområdet. Dette gøres med "Scrubbing"-funktionen i simplificeringsværktøjet i MIKE URBAN. Med denne funktion sættes et minimum for ledningsdimensioner og herefter fjernes ledninger under denne tærskel samt de tilhørende brønde. Figur 68 viser de simplificerede dele af systemet.



**Figur 68** Stregerne i cyan viser dele af modellen, der simplificeres.

Herefter er oplandene koblet til de slettede brønde gennemgået og koblet til nærmeste nedstrøms brønd. Oplande koblet til samme brønd samles for at reducere antallet af oplande yderligere. Med denne simplificering er antallet af oplande reduceret fra knap 30.000 i den originale model til knap 20.000 i den simplificerede mode, en reduktion på 33%. Antallet af brønde og ledninger er reduceret med ca. 35% (Tabel 39).

**Tabel 39** Oversigt over modelementer i den detaljerede og simplificerede model

Modelementer	Original	Simplificeret	Enhed
Brønde	10.791	7.119	Antal
Ledninger	11.155	7.180	Antal
Samlet længde ledninger	600.829	415.612	m
Oplande	29.248	19.579	Antal
Oplandsareal	3.976	3.989	ha
Reduceret areal	2.379	2.371	ha
Befæstelsesgrad	60	59	%

### Bilag 3.5 Kobling mellem MIKE URBAN og MIKE 21

I Tabel 40 fremgår parametre, der er anvendt til MIKE FLOOD-beregningerne.

**Tabel 40** Parametre, der anvendes til MIKE FLOOD

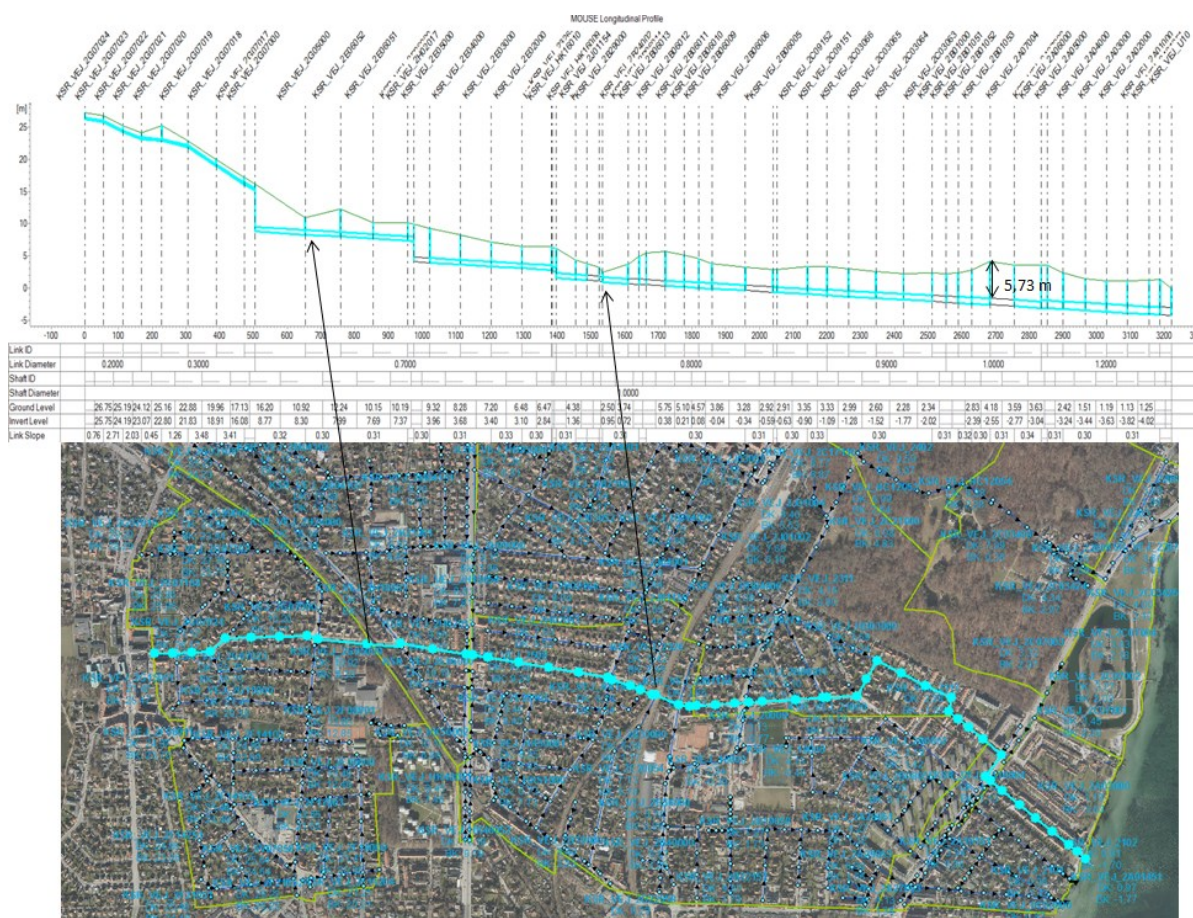
Parameter	Værdi	Enhed
Drying depth	0,02	m
Flooding depth	0,03	m
Cellestørrelse	1,6	m
Max flow (brønde forbundne til alm. ledninger)	1,0	m <sup>3</sup> /s
Max flow (brønde forbundne til render eller med større areal tilknyttet)	5-10	m <sup>3</sup> /s
Qdh factor	0,05-0,5	m
Inlet area	1-5	m <sup>2</sup>
Orrifice coefficient	0,98	

### Bilag 3.6 Forudsætninger for traditionel separatkloakering

Regnvandsledningerne dimensioneres til at kunne håndtere alt vejvand for en 5-års regn. Fællesledninger skal kunne håndtere alt andet overfladevand end vejvand (alle matrikler) og dimensioneres til en 10-års regn. Dermed dimensioneres regnvandssystemet ikke til, at 50% af matriklerne kan kobles til regnvandsledningerne for en 5-års regn, som der før har været anvendt ved dimensionering i Gentofte Kommune. Dette skyldes, at analysen skal bygge på bedst mulige bud uden yderligere overestimeringer, hvilket også er årsagen til at blandt andet modelusikkerhed ikke er inkluderet i analysen.

Regnvandssystemet skal så vidt muligt etableres i veje/fortove.

Vandet fra det separate system skal så vidt muligt kunne løbe via gravitation. Dette kan i nogle af de nedstrøms områder betyde nogle dybereliggende ledninger, da der i terrænet er nogle lokale dybdepunkter, se eksempel i Figur 69.



Figur 69 Længdeprofil med eksempel på dybereliggende ledninger nedstrøms på grund af lokalt dybdepunkt opstrøms i systemet

Regnvandsledningerne etableres generelt med 1 meters jorddække, dog er det antaget at det i kritiske områder kan nedsættes til 0,75 m. Regnvandsledningerne etableres med minimum 3 ‰ fald.

Der vil som udgangspunkt være samme antal regnvandsudløb som eksisterende overløb fra fællessystemet for at undgå for mange dybe ledninger.

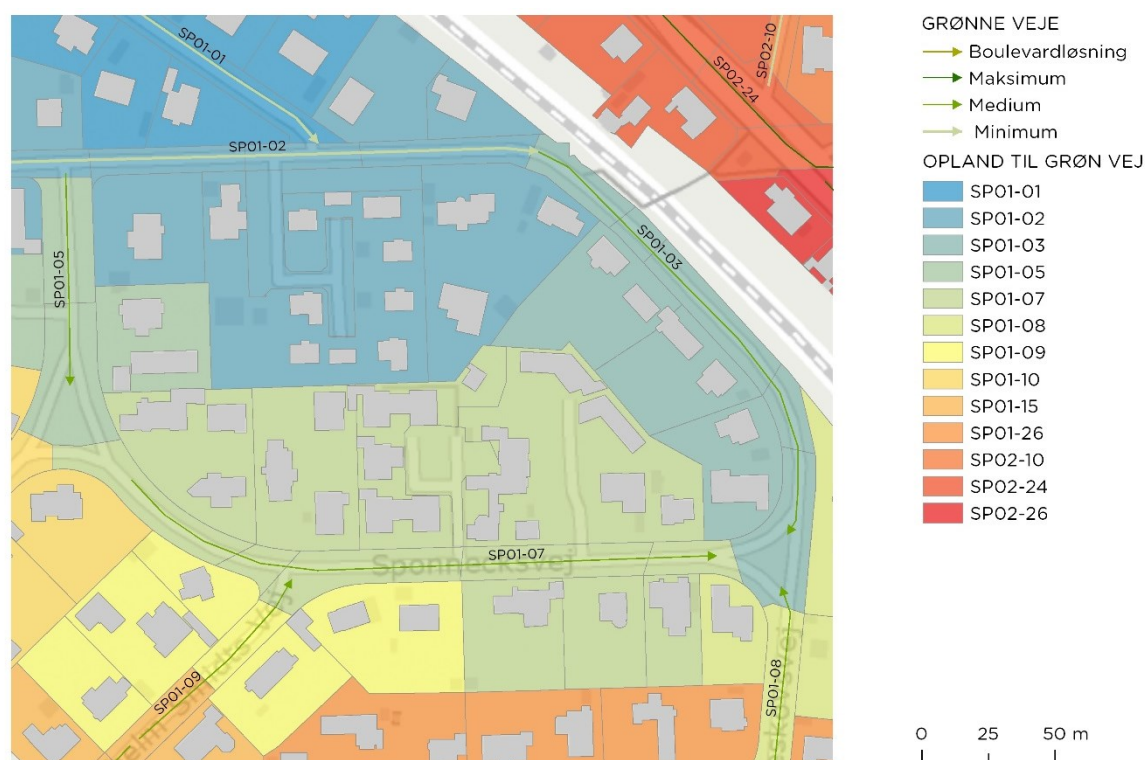
### Bilag 3.7 Implementering af løsningselementer i MIKE URBAN

#### Grøn vej

Grønne veje implementeres i modellen som bassiner i vejens dybdepunkt. Bassinernes maksimale volumen bestemmes ud fra vejens længde og type i scenariet (se Bilag 4.1), men kan nedjusteres i optimeringsprocessen, så det passer til behovet i de enkelte scenarier. Bassinerne har en dybde på 1 m. Bassiner og tilhørende bassingeometrier indsættes i MIKE URBAN ved brug af FME. Hver grøn vej har derfor ét bassin,

hvilket vil være en forsimpning af virkeligheden, hvor der vil være flere forsinkelseselementer langs vejen. Dog er bassinerne som nævnt placeret i dybdepunktet, så vandet vil alligevel havne der.

Strømningsveje i Kildeskovsrendens opland viser, at vejen oftest ligger lavere end de tilstødende matrikler (se Figur 65). De grønne veje antages derfor at modtage vand fra vejarealet samt tilstødende grønne områder og øvrige befæstede arealer (Figur 70).



Figur 70 Eksempel på oplande koblet på grønne veje i modellen

Hustage tilsluttes fælleskloakken, da det ikke er en pligt for borgere i Gentofte Kommune at tilslutte sig regnvandssystemet. På grønne veje uden skybrudsvej forbindes brønde i fællessystemet til de grønne veje med overløb. Overløbskanterne modelleres med en bredde på 5 m, og kantkoten sættes til 10 cm under terrænkoten for at sikre, at vandet først løber i den grønne vej, før det løber op på terræn.

Grønne veje, der via terræn ender i en anden grøn vej, kobles via overløb og tømmeledning. De grønne veje forbindes også, hvor det er muligt til afløbsløse lavninger eller andre centrale forsinkelsesarealer. Disse koblinger består af ledninger i bassinets bund og overløbskanter, modelleret med en bredde på 5 m og en overløbskote 10 cm under terræn. På grønne veje med sideløbende skybrudsvej føres overløb fra de grønne veje til skybrudsvejen, hvorfra det ledes til centrale forsinkelsesarealer.

I lokale dybdepunkter uden andre afløbsmuligheder kobles grønne veje på nye regnvandsledninger.

### Central forsinkelse

De centrale forsinkelsesarealer implementeres som bassiner i arealernes midtpunkt. Deres maksimale volumen bestemmes ud fra arealets størrelse og typologi, men kan ligesom for de grønne veje nedjusteres, så de passer til volumenbehovet ved de forskellige scenarier. I områder med flere centrale forsinkelsesarealer er disse forbundet med overløb og/eller ledninger. Elementerne modelleres som bassiner med en dybde på 1 m. Såfremt der er større behov og ikke meget volumen at hente fra øvrige forsinkelsesarealer i området, er der indarbejdet en dybde større end 1 m. Dette er dog kun sket i meget få tilfælde.

Som udgangspunkt tømmes bassinerne ved gravitation, men ved to af de centrale forsinkelsesarealer må der indsættes tømmepumper.

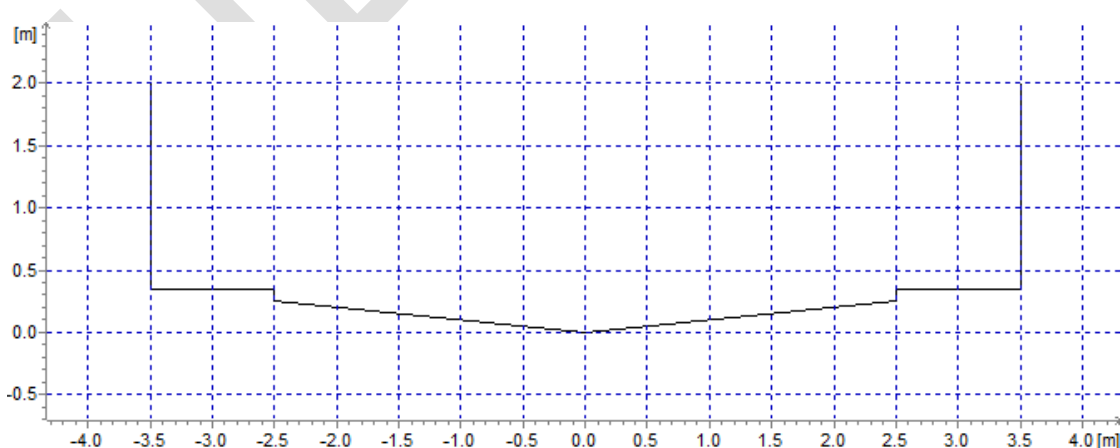
### Lokal forsinkelse

Det antages, at de lokale forsinkelsesarealer kan forsinke et volumen svarende til afstrømningen ved en 5-års regnhændelse i fremtidigt klima. Denne forsinkelse implementeres i modellen som initialtab på oplandet på 35 mm, svarende til afstrømningen ved en seks timers CDS-regn med en gentagelsesperiode på fem år i 2117.

### Skybrudsvej

Skybrudsvejene anvendes som transportveje mod centrale forsinkelsesarealer og modelleres som kanaler med et defineret tværsnitsprofil (CRS-profiler), der svarer til vejens bredde defineret i scenariet (fra 7 m til 18 m). Skybrudsvejene modelleres med en dybde på 35 cm med en omprofilering fra eksisterende tagprofil til V-profil. Dette er en generel betragtning og ikke et udtryk for, at alle skybrudsveje nødvendigvis skal omprofileres til V-profil, dette vil afhænge af den enkelte vej og detaljeres i en senere projektfase. Der indsættes knudepunkter i skybrudsvejene for hver eksisterende brønd i vejen, og eksisterende brønde forbindes til skybrudsvejen med overløb. Højden på overløbskanter fra fællessystemet sættes i skybrudsvejens bundkote.

Skybrudsveje og andre elementer, som ligger kystnært, kobles om muligt direkte ud til havet med et udløb.



Figur 71 Eksempel på CRS-profil for en 7 m bred skybrudsvej

### Nyt regnvandssystem

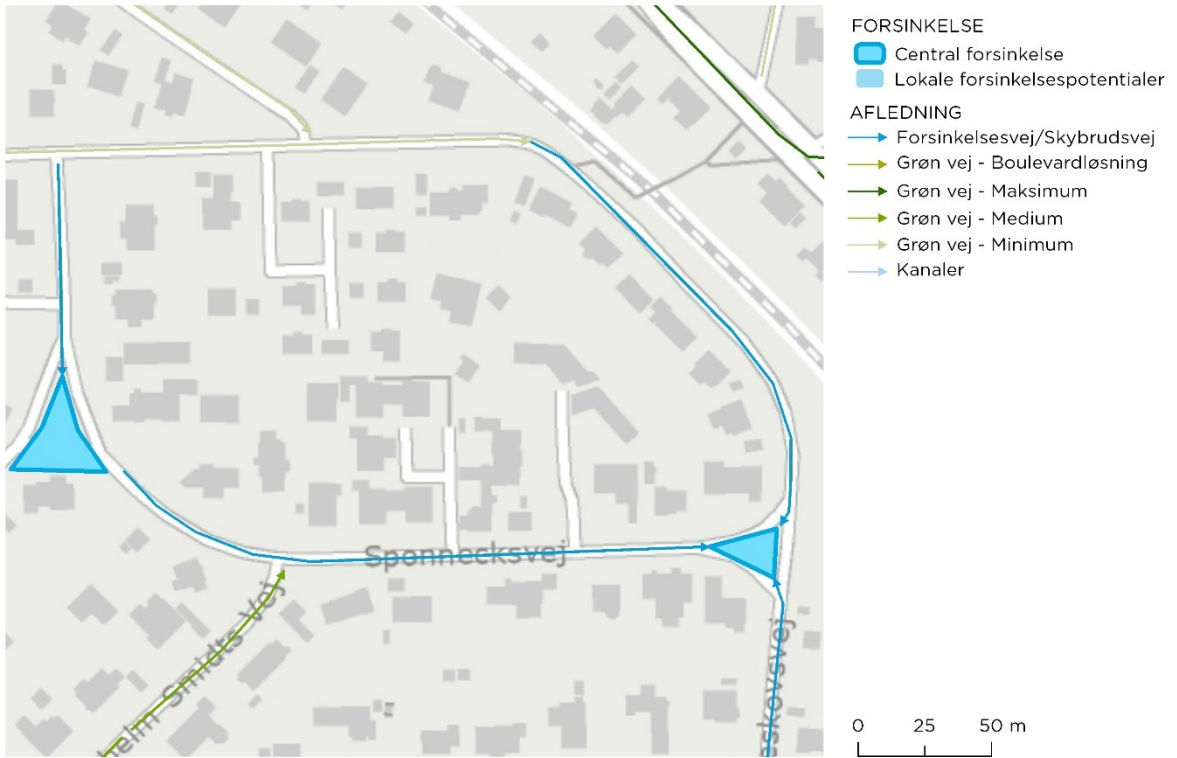
Fra lokale dybdepunkter etableres et nyt afløbssystem, så det sikres, at det nye separate system kan tømmes ved skybrud samt hverdagsregn. Linjeføringen er baseret på en traditionel separatloakering fra S0. Som udgangspunkt føres vandet ved gravitation, men der indsættes pumper for at undgå lange strækninger med meget dybe ledninger. I S1 indsættes tre pumper, mens der i S2 og S3 kun er to pumper, da der i disse scenarier er indlagt en ekstra krydsning af banen ved Fredens Plads, og derved kan vandet løbe væk ved gravitation. Der etableres fire nye udløb til Øresund fra det nye regnvandssystem, der er placeret samme sted som eksisterende overløb. Som eksempel er der på Figur 72 vist en oversigt over det nye regnvandssystem for S2.



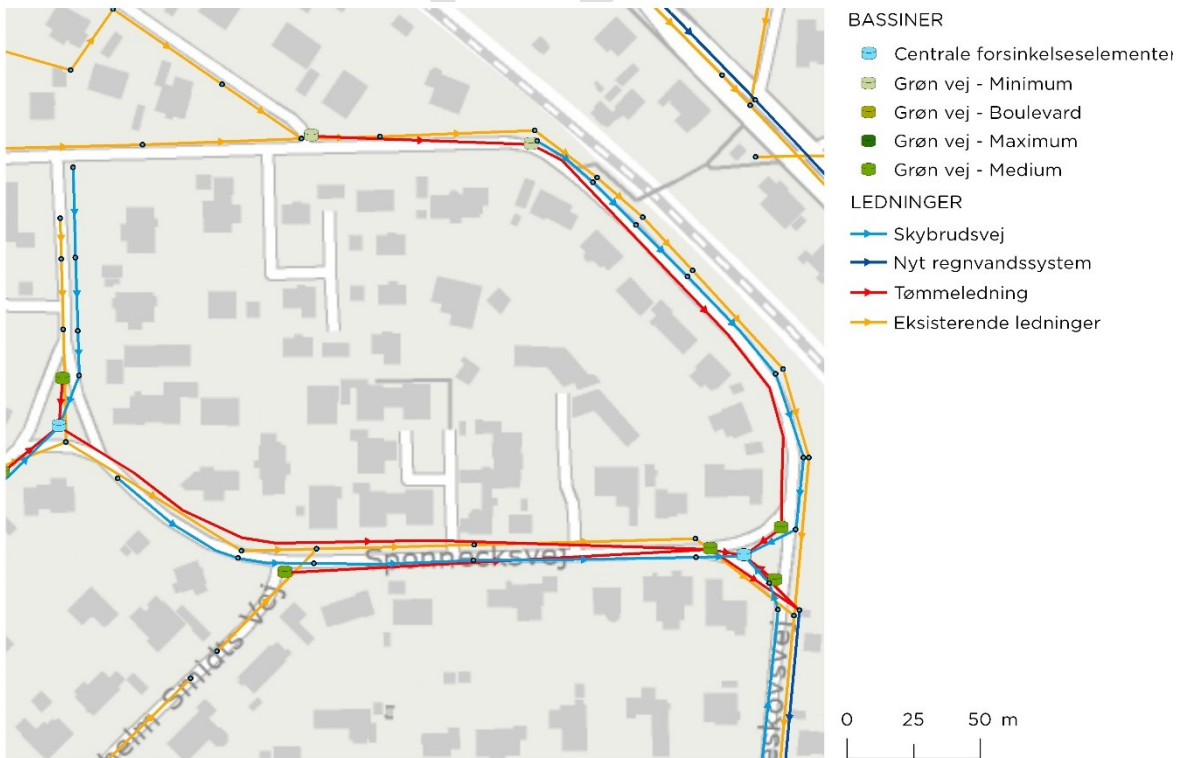
Figur 72 Kort over nyt regnvandssystem for S2

### Samlet oversigt

Figur 73 viser et geografisk udsnit af scenariet, og Figur 74 angiver en skematisk oversigt over, hvor elementerne er indarbejdet i MIKE URBAN.



Figur 73 Udsnit af scenarie

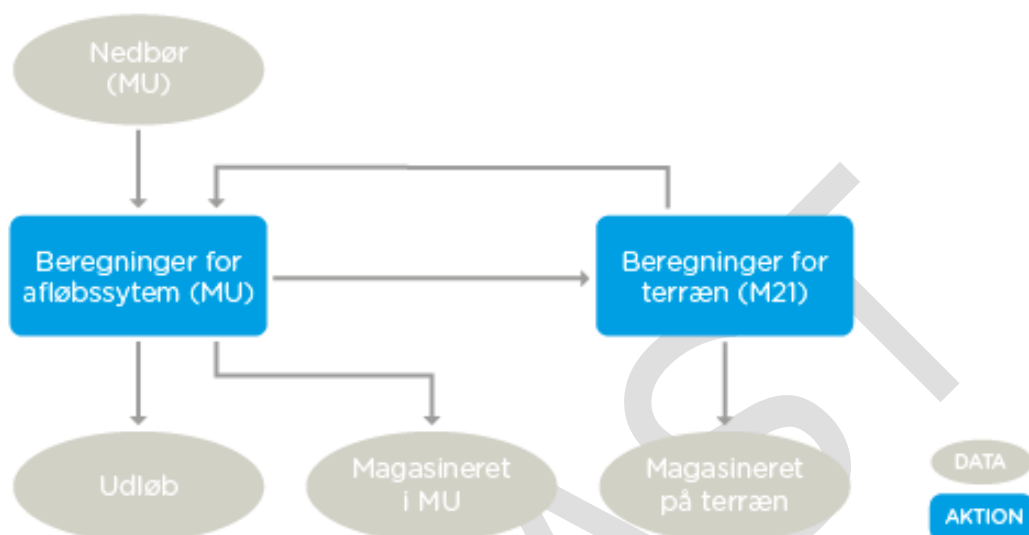


Figur 74 Udsnit af scenarie implementeret i MIKE URBAN

## Bilag 3.8 Resultatbehandling

### Vandbalance

Til kvalitetssikring af beregningerne er der udarbejdet en vandbalance. Figur 75 illustrer en principskitse heraf. Vandbalancen er én af de parametre, der kan eftervises, om resultaterne er retvisende uden større instabiliteter.



Figur 75 Principskitse for vandbalance

Vandbalancen er baseret på input i form af nettonedbør på befæstede flader til kloak i MIKE URBAN (MU). Som output ses der på udløb fra MU, som inkluderer overløb, udløb, vand, der pumpes ud af systemet, og oversvømmelser fra brønde i områder, der ikke er koblet til terræn. Derudover er vand magasineret i kloakken (MU) og på terræn (M21) ved det sidste tidsskridt angivet i beregningen.

Generelt accepteres en afvigelse i vandbalancen på op til 10%. Vandbalancer for de udførte beregninger fremgår af Tabel 41. Som forventet stiger afvigelsen i vandbalancen generelt med regnintensiteterne. Dette skyldes, at der ved større intensiteter opstår flere instabiliteter. Alle beregninger overholder kravet på 10% afvigelse med undtagelse af beregninger for status og S0 med 100-års regnhændelsen i 2117. De større afvigelser her forklares ved, at modellerne er dimensioneret til regnhændelser med markant lavere intensiteter.

**Table 41** Vandbalancer for udførte beregninger

Regnhændelse	Status	Vandbalance [%]			
		S0	S1	S2	S3
CDS 1 SF 1,0	2				
CDS 1,5 SF 1,0	1				
CDS 2 SF 1,0	1				
CDS 3 SF 1,0	0,9				
CDS 10 SF 1,14		1			
CDS 10 SF 1,29		0,4			
CDS 20 SF 1,0	0,3	0,1			
CDS 20 SF 1,32	4	3	2		
CDS 25 SF 1,34			1		
CDS 35 SF 1,35			0,1		
CDS 50 SF 1,0	3	2			
CDS 50 SF 1,37	8	8	1	3	
CDS 100 SF 1,0	5	5	2		
CDS 100 SF 1,4	13	12	3	1	2
CDS 150 SF 1,43					1

Udover vandbalancerne gennemgås resultaterne for instabilitet og uregelmæssigheder. Dette gøres blandt andet ved at kortlægge og undersøge de maksimale vandføringer (samt negative vandføringer) i området, da urealistisk høje vandføringer ofte kan være et tegn på instabilitet: Vandføringerne skal selvfølgelig også ses i relation til, hvor stort et opland, der er tilknyttet. Herudover undersøges udvekslingen af vand mellem MIKE URBAN og MIKE 21, hvor store udsving kan være tegn på instabilitet. I de tilfælde, hvor der blev vurderet instabilitet, blev beregningerne udført igen med enkelte justeringer for at få nedbragt instabiliteten, så beregningerne kunne godkendes.

### Forsinkelsesvolumen i forhold til vand på terræn

For at vurdere størrelsen af elementerne i de forskellige scenarier sammenlignes det totale forsinkelsesvolumen fra MIKE URBAN-modellerne med volumen på terræn i statusscenariet ved de tre dimensionsgivende regnhændelser. Der forventes dog ikke et 1:1 forhold, blandt andet fordi dele af de grønne vejes volumen udnyttes inden regnen når sin maksimale intensitet, og de derfor er mindre effektive end fx overløbsbassiner.

**Table 42** Volumen på terræn i status beregninger samt total forsinkelsesvolumen i grønne veje og centrale forsinkelsesvolumener for S1, S2 og S3. S0 ekskluderes, idet der ikke anvendes terrænløsninger i S0.

Regnhændelse	Volumen på terræn [m <sup>3</sup> ]	Forsinkelsesvolumen implementeret i model [m <sup>3</sup> ]		
		Status	S1	S2
CDS 20 1,32	70.000	110.000		
CDS 50 1,37	160.000		190.000	
CDS 100 1,40	240.000			300.000

Forholdet mellem volumen på terræn og de totale forsinkelsesvolumener i MIKE URBAN vurderes at være acceptabelt for alle scenarier.

UDKAST

## BILAG 4 ANLÆG

### Bilag 4.1 Grøn vej

De grønne veje er centrale for skybrudssikringen. Der er fire forskellige typer af grøn vej, alle med hver deres enhedspris per meter etableret vej. Definitionen af de enkelte vejtyper kan læses i Afsnit 3.4.1.

Forudsætningerne, der er benyttet til at prissætte de forskellige grønne veje, er indsat herunder. Prissætningen tager udgangspunkt i delene, som vejene er sammensat af, fx brønde og regnbede. De fleste priser ses i Tabel 2 i hovedrapporten, mens dimensionsafhængige priser findes i Bilag 4.6 til Bilag 4.10.

#### Minimumsløsning

Fx Lille villavej, der maksimalt er 10 m bred.

- Intet regnbed
- 1 reguleret udløbsbrønd med tilslutning til regnvandsledning per 100 m vej
- Forsinkelsesvolumen op til 0,68 m<sup>3</sup>/m vej
- Ledningsomlægninger prissat til 15% af det maksimale forsinkelsesvolumen på vejstrækningen
- Tømmeledning + betonbrønd per 100 m
- Vejfladen og belægningen forbliver som udgangspunkt uændret

#### Mediumløsning

Fx Mellem villavej, der er mellem 10 m og 13 m bred.

- Regnbedet er 2 m bredt, og der etableres 5 m af det i begge sider af vejen for hver 50 m vej. De prissættes baseret på enhedsprisen for "10 m<sup>2</sup> Regnbed".
- 1 reguleret udløbsbrønd med tilslutning til regnvandsledning per 100 m vej
- 1 m bredt parkeringstrug i begge sider af vejen, etableret ved affræsning af asfalt og håndudlægning
- 30 m overkørsel per 100 m vej
- Tømmeledning + betonbrønd per 100 m
- Forsinkelsesvolumen op til 1,37 m<sup>3</sup>/m vej
- Ledningsomlægninger prissat til 15% af det maksimale forsinkelsesvolumen på vejstrækningen
- Vejfladen og belægningen forbliver som udgangspunkt uændret

#### Maksimumløsning

Fx Stor villavej, der er mellem 13 m og 19 m bred.

- 10 m "15m<sup>2</sup> regnbed" per 50 m vej i begge sider af vejen
- 1 reguleret udløbsbrønd per 100 m vej
- 2 m bredt parkeringstrug i begge sider af vejen, etableret ved affræsning af asfalt og håndudlægning
- 30 m overkørsel per 100 m vej
- Tømmeledning + betonbrønd per 100 m
- Forsinkelsesvolumen op til 2,74 m<sup>3</sup>/m vej
- Ledningsomlægninger er prissat til 15% af det maksimale forsinkelsesvolumen på vejstrækningen
- Vejfladen og belægningen forbliver som udgangspunkt uændret

### **Boulevardløsning**

Største vejtype, for vejstræk der er over 19 m bred.

- 0,9 m sænket bredt bælte i midten af vejen, per m vej, 0,3 m dybt og 2 m bredt, prissat som et 20 m<sup>2</sup> regnbed
- 1 reguleret udløbsbrønd per 100 m vej
- 20 m overkørsel per 100 m vej
- Tømmeledning + betonbrønd per 100 m
- Forsinkelsesvolumen op til 4,1 m<sup>3</sup>/m vej
- Ledningsomlægninger er prissat til 15% af det maksimale forsinkelsesvolumen på vejstrækningen
- Vejfladen og belægningen forbliver som udgangspunkt uændret

### **Bilag 4.2 Central forsinkelse**

Central forsinkelse er kendetegnet ved at den primære del af forsinkelsen findes i kassettebassiner beliggende under jorden. De forudsætninger, der er benyttet til at prissætte central forsinkelse (volumen i afløbsløse lavninger, klimakryds, klimahjørner samt åbne og underjordiske bassiner) er indsat herunder.

#### **Volumen i afløbsløs lavning**

Der er tale om stort areal af nedløbsriste placeret i lokale lavninger over et underjordisk bassinvolumen.

- Der prissættes efter et 100 m<sup>2</sup> kryds med fire ø600 mm nedløbsbrønde
- Det antages, at der ikke laves justeringer på vejfladen
- 1 reguleret udløbsbrønd med tilslutning til regnvandsledning per 100 m vej
- 20 m tømmeledning plus en ø1250 mm brønd på hovedledningen
- Vejfladen og belægningen forbliver som udgangspunkt uændret
- Forsinkelsesvolumen op til 0,68 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>
- Ledningsomlægninger er prissat til 15% af prisen på det maksimale forsinkelsesvolumen

#### **Klimakryds**

Det antages, at der etableres kassettebassiner i 40% af klimakrydsets areal (se Bilag 4.9 for prissætning af kassettebassiner). Derfor prissættes krydsene efter areal samt volumen.

- Regnbedet udgør ca. 30 m<sup>2</sup> per 100 m<sup>2</sup> af klimakrydsets størrelse, og det prissættes med kvadratmeterprisen for et 20 m<sup>2</sup> regnbed
- Der prissættes efter et 100 m<sup>2</sup> kryds
- 1 reguleret udløbsbrønd med tilslutning til regnvandsledning
- 10 m ledning medregnes til at tilslutte til regnvandsledningen
- En ø1250 mm brønd på regnvandsledningen i tilslutningspunktet
- Asfalt fræses i fuld udstrækning og reetableres på 70 m<sup>2</sup>
- Forsinkelsesvolumenet er op til 0,46 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> af klimakrydsets udstrækning
- Ledningsomlægninger er prissat til 15% af prisen på det maksimale forsinkelsesvolumen

### **Klimahjørne**

Det antages, at der etableres et regnbed med underjordisk forsinkelse.

- Der prissættes efter et 15 m<sup>2</sup> regnbed, både i størrelse og pris
- Kassetter etableres under regnbedet, forsinkelsesvolumenet er op til 1,18 m<sup>3</sup> for hver m<sup>2</sup> regnbed.
- Ledningsomlægninger er prissat til 15% af prisen på det maksimale forsinkelsesvolumen
- Det antages, at udløbet kobles på kassettebassiner i nærliggende grøn vej, derfor ingen separat reguleret udløbsbrønd
- Der etableres 10 m ledning for tilslutning til ovenstående kassettebassiner

### **Åbent bassin**

Åbne bassiner bliver som udgangspunkt etableret i parker, på boldbaner og andre ikke-bebyggede flader, hvor der er plads til midlertidig forsinkelse af regnvand. Nogle af bassinerne indgår som rekreativt element i områderne.

Til prissætning af åbne bassiner arbejdes der med forskellige størrelser, men fælles for dem er, at de har dræn, en enkelt tømmebrønd og en enkelt tilslutning til hovedledningen. Generelt er der derfor benyttet følgende antagelser:

- Ca. halvdelen af den opgravede jord genindbygges på lokaliteten
- Der etableres drænledning under det meste af bassinet
- Der etableres en ø600 mm overløbs- og tømmebrønd med kuppelrist
- Der etableres en enkelt tømmeledning
- Såning af græs er inkluderet i prisen

### **Underjordisk bassin**

Underjordiske bassiner er som udgangspunkt defineret ved kassettebassiner og prissat i foregående afsnit.

### **Bilag 4.3 Lokal forsinkelse**

Lokale forsinkelsesområder er prissat som åbent eller underjordisk bassin alt efter lokaliteten.

### **Bilag 4.4 Skybrudsvej**

For skybrudsvejene udføres der arbejde for hele vejens asfaltbelægning. Denne enhedspris lægges oven i prisen for de grønne veje. Forudsætningerne, der er benyttet til at prissætte skybrudsveje, er indsat herunder.

- Varierende bredde
- Priserne inkluderer sænkning af brønde ved kegleudskiftning for hver 50 m vej
- Priserne inkluderer affræsning af asfalt og omprofilering
- Priserne inkluderer maskinudlægning af asfalt
- Skybrudsvejene er et tillæg til de relevante grønne veje og skal derfor lægges til den grønne vejtype den tilknyttes

Prisen afhænger af skybrudsvejens bredde, se Tabel 43.

**Table 43** Enhedspriser for skybrudsvejene baseret på vejenes bredde

Bredde af skybrudsvej [m]	Enhedspris [kr./m]
7	3.350
8	3.820
9	4.290
10	4.760
11	5.230
12	5.700
13	6.170
14	6.640
15	7.110
16	7.580
17	8.050
18	8.520

#### **Bilag 4.5 Diverse sikringstiltag**

Til opstilling af potentialeplanerne er der yderligere benyttet tiltag som kanaler, diger, og lokale skybrudsforanstaltninger. Forudsætningerne for prissætninger heraf ses nedenfor.

##### **Kanal**

Forudsætninger: 1 m dyb, 1 m bred i toppen, skråninger etableret med fald 1:1.

- Jordarbejde foregår i området, jorden fra kanalen indarbejdes i det tilhørende dige
- Beplantning, bundsikring og diverse arbejder er inkluderet

##### **Dige**

Forudsætninger: 1 m høj, 1 m bred på toppen, skråninger etableret med fald 1:1.

- Jordarbejde foregår i området, jorden til diget kommer fra tilstødende kanaler
- Beplantning og diverse arbejder er inkluderet

##### **Kantsten**

Tilpasningen af kantstene inkluderer ikke blot at hæve eller sænke kantstenen. Det indebærer også en sikring af bygningen bag kantstenen, der ikke bliver oversvømmet, hvis kantsten, fortov mv. hæves. Det er derfor en enhedspris, der indeholder en lokal vurdering af, hvor lang en kantstensstrækning, der skal hæves for de givne lokaliteter. Den er prissat ud fra en vurdering af hvad det vil koste at hæve kantsten, terræn mv. samt jord- og asfaltarbejder.

### Lokale sikringstiltag

Denne enhed benyttes til individuel sikring af enkelte bygninger og er derfor i kategori med kantstene ovenfor, men er medtænkt som individuelle løsninger med eksempelvis stoplogs, små dæmninger, lokal terrænregulering eller anden lokal sikring. Da løsningen skal foretages fra lokalitet til lokalitet, og der er et meget begrænset antal, er det blot en sumpost til hver lokalitet. Der er afsat 120.000 kroner per bygning.

### Bilag 4.6 Ledninger

Til prissætning af ledningerne er der benyttet følgende antagelser:

- Ledninger til og med  $\varnothing 300$  er prissat som plastløsninger
- Fra ledningsdybden 6 m og dybere, antages det, at ledninger etableres ved tunnelling. Dette betyder, at meterprisen er den samme uanset dybden. De ekstra omkostninger ved dybere ledninger ligger på gruberne. Priserne for etablering af gruber ligger på brønde fra 6 m og dybere (se Bilag 4.7).
- Der er kun medregnet almindelig tørholdelse i enhedspriserne.
- Grundvandssænkning er lagt på som en procentuel sats:
  - For ledninger dybere end 3 m tillægges der 15% af anlægssummen
  - For ledninger i 6 m og dybere tillægges der 20% af anlægssummen
- Opbrydning af asfalt og ledningsomlægninger er ikke inkluderet, disse priser ligger under de grønne veje
- Det forudsættes, at der udelukkende arbejdes i klasse 2 jord. Der er derved ikke indregnet håndtering af klasse 3 og klasse 4 jord i priserne
- Prisen afhænger af ledningens diameter og dybde, se Tabel 44.

**Tabel 44** Enhedspriser for ledninger

Diameter [mm]	Enhedspris for ledninger [kr./m]										
	Dybde [m]										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
200	1.934	2.860	4.664	7.858	10.369	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
225	1.980	2.960	4.767	7.961	10.472	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
250	1.986	2.960	4.767	7.961	10.472	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
300	2.055	3.086	4.895	8.089	10.600	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
400	3.419	3.419	5.235	8.428	10.939	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
500	4.137	4.137	5.946	8.737	11.247	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
600	5.799	5.799	7.778	10.737	13.418	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
800	7.344	7.345	9.757	12.208	14.945	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000
1000	12.764	12.764	12.764	16.230	17.275	37.500	37.500	37.500	37.500	37.500	37.500
1200	14.706	14.706	14.706	18.257	19.386	42.500	42.500	42.500	42.500	42.500	42.500
1400		17.481	17.481	21.206	22.391	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000
1600		21.208	21.208	28.228	29.695	47.500	47.500	47.500	47.500	47.500	47.500
1800			23.934	31.010	32.534	52.500	52.500	52.500	52.500	52.500	52.500
2000				35.008	36.589	57.500	57.500	57.500	57.500	57.500	57.500
2200				45.000	47.500	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000
2400				50.000	52.500	62.500	62.500	62.500	62.500	62.500	62.500
2500				55.000	57.500	63.500	63.500	63.500	63.500	63.500	63.500
2700				60.000	62.500	66.000	66.000	66.000	66.000	66.000	66.000
3000				65.000	67.500	69.000	69.000	69.000	69.000	69.000	69.000

#### **Bilag 4.7 Brønde**

Til prissætning af brønde er der benyttet følgende antagelser:

- Skæring og opbrydning af asfalt er inkluderet
- Priserne inkluderer opgravning og deponering af jord (50% genbrug, 50% udskiftning)
- Reetablering med asfalt (kørebane) er inkluderet
- Jord bortkøres som byjord (klasse 2)
- Al lægning under 1,0 m forventes udført i gravekasser grundet udførsel i by/vej.
- For brønde, der er 6 m dybe og dybere, betragtes de, som gruber til tunnelering og er prissat derefter
- Grundvandssænkning er lagt på som en procentuel sats:
  - For brønde og gruber dybere end 3 m tillægges der 15% af anlægssummen
  - For brønde og gruber i 6 m og dybere tillægges der 20% af anlægssummen

Prisen afhænger af brøndens diameter, dybde og tilkoblede ledningsdiameter, se Tabel 45. Ved brønde fra 6 meters dybde og dybere, afspejler prisen, at brønden er kategoriseret som en tunnelleringsgrube, da ledninger ved denne dybde forudsættes som tunneleret.

**Tabel 45** Enhedspriser for brønde

Største ledningsdimension af tilkøbet ledning [mm]	Brønd ø [mm]	Enhedspris for brønde [tkr./stk.]												
		Dybde [m]											10	11
		1	2	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8	9	10	11
1000	1250	30	45	55	65	75	80	85	2.850	2.850	3.150	3.250	3.350	4.950
1200	1500	35	50	60	70	80	90	95	2.600	2.600	2.900	3.000	3.100	3.200
1800	2000	43	58	68	78	85	95	105	2.950	2.950	3.250	3.350	3.450	3.550
2400	3000	50	65	75	85	95	105	110	3.175	3.175	3.475	3.575	3.675	3.775
3000	3500	60	75	85	92,5	105	115	115	3.575	3.575	3.875	3.975	4.075	4.175

#### Bilag 4.8 Pumper og trykledninger

Pumper og trykledninger er kun benyttet i fornødent omfang, og der arbejdes med præfabrikerede pumpebrønde med den forudsætning, at den primære del af pumpe-umpen findes i tilløbsledningen af pladshensyn.

Til prissætning af pumper og pumpebrønde er der benyttet følgende antagelser:

- Dobbelt pumpekapa-citet (to pumper af samme kapacitet)
- Løftehøjde på 5 m
- For pumpeydelse over 80 l/s stiger prisen, fordi der benyttes in situ-støbte beton-pumpestationer
- Pumpesump på ca. 1,5 m og i tilløbsledningen
- For trykledningen gælder det, at den etableres i 1 meters dybde, og at prisen inkluderer skæring og reetablering af asfalt.

Prisen afhænger af pumpens ydelse, se Tabel 46.

**Table 46** Enhedspriser for pumper og trykledninger. Prisen for en pumpestation består af et fast beløb for selve anlægget og en meterpris for længden af trykledningen, der er baseret på ledningens dimension.

Enhedspriser for pumper og trykledninger		
Pumpeydelse [l/s]	Anlæg [kr./stk.]	Trykledning [kr./m]
10	55.000	1.110
20	65.000	1.110
30	115.000	1.310
40	120.000	1.310
50	125.000	1.460
60	155.000	1.460
70	185.000	1.460
80	190.000	1.710
90	355.000	1.710
100	410.000	1.910
150	475.000	1.910
200	525.000	2.695
250	600.000	2.695
300	650.000	3.095
400	700.000	3.795
600	800.000	5.380
800	1.000.000	6.380
1000	1.100.000	7.880
1500	1.250.000	8.380
2000	1.350.000	9.880

#### Bilag 4.9 Kasettebassiner

Priserne til kasettebassiner er indhentet fra fire nutidige, direkte sammenlignelige projekter udbudt og udført i Rambøll-regi.

Der er tale om forskellige bassintyper, og priserne er inklusiv jordhåndtering, almindelig tørholdelse og reetablering af belægning.

- Bassinerne etableres med ca. 0,8 meters jorddække.
- Alle kasettebassiner er som udgangspunkt dimensioneret efter en standard kasette med målene 0,6 m x 0,6 m x 1,2 m og en hulrumsprocent på 95%.
- Kasettebassiner er alle membranbeklædte, idet det forventes, at grundvandet står højt i de områder, hvor de etableres.

- Der differentieres prismæssigt mellem aflange bassiner langs en grøn vej og mere traditionelle, større bassiner. De aflange bassiner koster ca. 15% mere end de større, samlede bassiner, grundet det relativt større arbejde, der skal udføres per etableret m<sup>3</sup>.
- Det forventes, at der ved etablering af underjordiske kassettebassiner skal foretages en omlægning af eksisterende ledninger. Disse priser er rent beregningsmæssigt indeholdt i enhedsprisen for de tilhørende veje.

#### Bilag 4.10 Regnbede

Regnbedene bliver gennemgående billigere per etableret kvadratmeter. Der er opstillet priser for regnbede på 10 m<sup>2</sup>, 15 m<sup>2</sup> og 20 m<sup>2</sup>. For større regnbede er enhedsprisen for regnbedet på 20 m<sup>2</sup> benyttet, og prisen er skaleret op med regnbedets størrelse.

Fælles for bedene er, at de har en enkelt afvandingsbrønd og en enkelt tilslutning til hovedledningen. Derfor er der generelt benyttet følgende antagelser:

- Kantsten etableres hele vejen rundt om regnbedet.
- Der etableres ca. 1 m filtermuld.
- Der etableres en enkelt drænledning i regnbedets længde.
- Der etableres en ø600 mm overløbs- og tømmebrønd med kuppelrist.
- Der etableres en enkelt tømmeledning.
- Regnbedet bliver membranbeklædt.
- Der er indregnet opbrydning af asfalt.

Prisen afhænger af regnbedets størrelse, se Tabel 47.

**Tabel 47** Priser for regnbede af forskellig størrelse

Areal af regnbed [m <sup>2</sup> ]	Enhedspris [kr.]	Enhedspris [kr./m <sup>2</sup> ]
10	53.151	5.315
20	72.597	3.630
30	94.902	3.163

#### Bilag 4.11 Prissætning af de opstillede scenarier

For at samle alle anlægsomkostninger foretages udtræk fra de hydrauliske modeller med FME. I FME kan man bygge et workflow, som henter tiltag og ledningssystem fra MIKE URBAN for hvert scenarie og kobler dem med enhedspriser. Information omkring elementernes areal og længde hentes fra GIS-lag fra scenarierne. Anden nødvendig information såsom forsinkelsesvolumen, ledningsdimensioner og ledningsdybde hentes fra MIKE URBAN. Når al denne information er samlet, udregner FME prisen for hvert element og samler det i både shapelag og Excel-filer. Shapefilerne giver input til beregningen af merværdier, mens Excel-filen anvendes til beregning af omkostninger til anlæg, drift og reinvesteringer.

Udover at der udføres en traditionel separatkloakering, er det i nogle tilfælde også nødvendigt at foretage renovering og udvidelser af de eksisterende fællesledninger, så

de kan overholde en 10-års regn. Disse er blevet tilføjet til de automatiserede udtræk fra de relevante scenarier og er vist i Figur 76.

Prisen for denne opgradering af ledningsdimensionen og tilsluttede brønde er inkluderet i anlægsomkostningerne som det eneste af det eksisterende anlæg, der medtages i analysen.



**Figur 76** Oversigt over de fællesledninger som skal opdimensioneres for at overholde servicemålet, selvom vejvandet bliver koblet fra fællessystemet.

I forbindelse med prissætningen er det antaget, at ledninger, som ligger i 6 m eller dybere, tunneleres. Når der tunneleres, skal der laves så få presse- og modtagegruber som muligt, fordi de er dyre at etablere. Derfor er det nødvendigt at optimere ledningsstrækningerne og fjerne de brønde, som er unødvendige. Denne simplificering foretages også i FME og sker ved, at ledningsstrækninger, hvor der er en lille vinkelændring, bliver lagt sammen til en lang ledningsstrækning. De brønde, som ikke er nødvendige, kan derefter simplificeres væk, se eksempel fra Strandvejen i Figur 77. De brønde, som er tilbage, er placeret i knæpunkter med en stor vinkelændring og bliver dermed prissat som en presse- eller modtagegrube.



**Figur 77** Eksempel på hvordan tre brønde simplificeres væk, når en ledningsstrækning skal tunneleres. Analysen foretages i FME. De ledninger, hvor der er en lille vinkelændring mellem ledningsstrækningerne, lægges sammen til en ledningsstrækning.

Information omkring enhedspriser hentes fra et Excel-ark. Informationen om de priser, der hentes ind i FME og benyttes til at lave anlægsoverslagene med er gennemgået i de foregående bilag.

#### Bilag 4.11.1 Antagelser

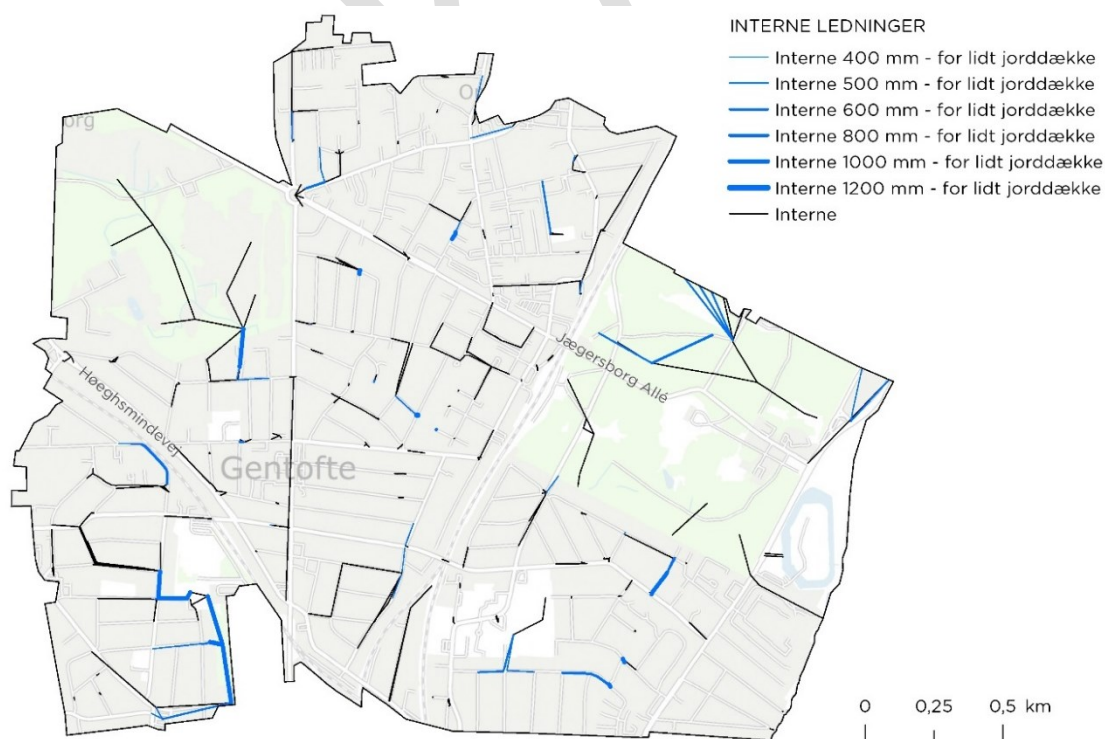
For at kunne opstille et workflow i FME, som kan beregne anlægssomkostningerne, er det nødvendigt at lave antagelser. De antagelser præsenteres i dette afsnit.

- Enhedspriser for brønde afhænger af størrelsen af de ledninger, som tilsluttes ledningsdybden. Det er antaget, at størrelsen på brønden svarer til den størrelse, som er nødvendig for at tilslutte den største ledning, som er koblet til brønden.
- Modelteknisk er der ikke sat en ledningsdybde for hver ledning. I stedet er der for brøndene angivet en bundkote og dækselkote. Derfor antages det, at ledningsdybden svarer til dybden af den dybest tilsluttede brønd.
- Der er tilfælde, hvor ledninger i modellen ikke er blevet simuleret med anbefalet jorddækning. I disse tilfælde hentes enhedspris for ledninger med minimumsjorddækning, dvs. at den regnes som om, at den ligger dybere end i den hydrauliske model. Dette er primært tilfældet for de interne/fiktive ledninger, som forbinder de forskellige typologier. For at simplificere er blå elementer med et forsinkelsesvolumen modelleret som et bassin, med 1 m jorddække, hvilket betyder at ledninger, som er koblet til disse, ligeledes vil ligge med 1 m jorddække. Der er flere  $\varnothing 1000$  mm ledninger, som ligger i 2 meters dybde, se Tabel 48 samt Figur 78 og Figur 79.

- Ledninger fra 6 m og dybere antages at blive tunneleret, se Tabel 49 og Tabel 50.
- Der er tilfælde, hvor de modtagne enhedspriser fra NCC for tunnelerede ledninger (ned til 7 m dybde) ikke dækkede det fulde spektrum af benyttede ledninger. I disse tilfælde er enhedsprisen ekstrapoleret ved antagelser baseret på modtagne enhedspriser.
- Der er tilfælde, hvor de modtagne enhedspriser for ledninger med stor dimension (op til 2400 mm dybde) ikke var tilstrækkelige. I disse tilfælde er enhedsprisen beregnet ved antagelser baseret på modtagne enhedspriser.

**Tabel 48** Oversigt over antal ledninger som i den hydrauliske model for S3 har for lidt jorddække (der findes også ledninger med for lidt jorddække i de andre scenarier, men S3 har flest).

Diameter [mm]	Antal ledninger med for lidt jorddække			
	Nyt Regnvandssystem		Internt ledningssystem	
	Dybde [m]		Dybde [m]	
	1	2	1	2
400	1	-	28	-
500	0	-	17	-
600	0	-	6	-
800	0	-	2	-
1000	0	25	2	11
1200	0	1	0	1



**Figur 78** Ledninger i det interne ledningssystem (dvs. ledninger, der forbinder blågrønne løsninger), som i den hydrauliske model for S3 er indlagt med et jorddække, som er mindre end anbefalet.



**Figur 79** Ledninger i regnvandssystemet, som i den hydrauliske model for serviceniveau S3 er indlagt med et jorddække, som er mindre end anbefalet. Grå linjer indikerer resterende system.

**Tabel 49** Opsummering af antallet byggegruber, som er nødvendige for at kunne tunnelere

Brønddybde [m]	Byggegruber til tunnelerede ledninger				Kommentar
	S0	S1	S2	S3	
2	2	-	-	-	Selvom brøndene her ikke er dybere end 6 m, skal der etableres presse eller modtagegruber, fordi de er en del af det tunnelerede system.
4	1	1	-	1	
5	1	1	1	1	
6	11	2	3	2	
7	7	3	4	4	
8	3	-	-	-	De fleste af disse dybe ledninger ligger i Kildeskovsvej.
9	1	-	-	-	
11	1	-	-	-	For det separate afløbssystem er forudsætningen, at ledningerne skal lægges i vejen. Denne dybe ledning kan måske undgås ved ikke at lægge den i Ved Slotshaven og Vældegårdsvej for at få vand fra Prins Axels Vej til Smakkegårdsvej eller Parkovsvej. Det kan være muligt at tunnelere fra Prins Axels Vej direkte til Smakkegårdsvej eller Parkovsvej.

**Tabel 50** Opsummering af antallet ledninger, som antages at skulle tunneleres

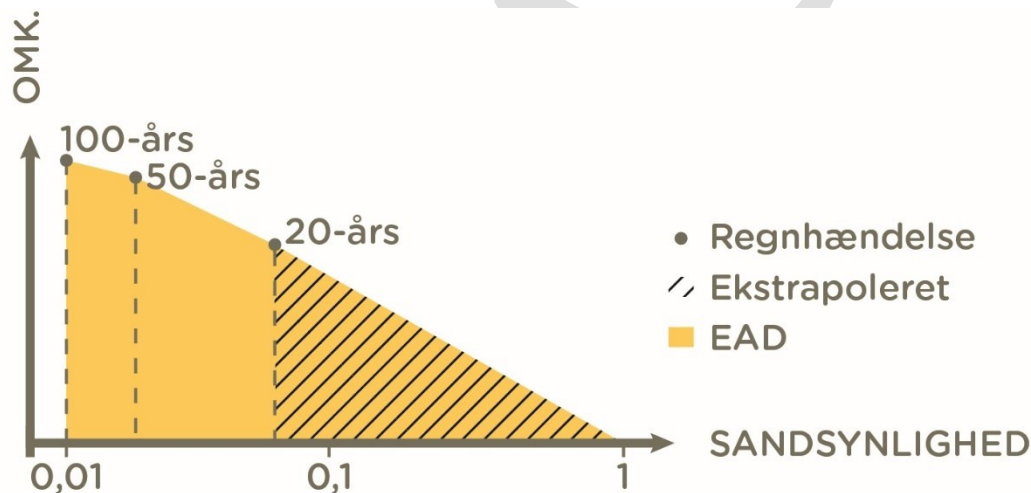
Dybde [m]	Antal tunnelerede ledninger			
	S0	S1	S2	S3
6	2	-	1	1
7	10	6	6	7
8	5	-	-	-
9	2	-	-	-
11	2	-	-	-

UDKAST

## BILAG 5 RISIKOKORTLÆGNING

Bilag 5.1 til Bilag 5.4 gennemgår prissætning af alle enhedsomkostninger for oversvømmelsesskader, som er inkluderet i risikokortlægningen samt eventuelle antagelser gjort i forbindelse med prissætningen. For hver enhedsomkostning gennemgås ligeledes, ved hvilken vanddybde en skade indtræffer, samt hvordan beregningerne er foretaget i DHIs City Adaptation Decision Support System (CADSS).

Det er vigtigt at pointere, at ved udregning af forventede årlige skadesomkostninger for statusscenariet ekstrapoleres skadesomkostningerne i CADSS ned til den første begyndende skade i oplandet. Hydrauliske beregninger viser, at der begynder at ske bygningskader i oplandet ved en regnhændelse med en gentagelsesperiode på 1,5 år i 2017 i statusscenariet. Derfor ekstrapoleres alle skader i status ned til denne første regnhændelse for ikke at undervurdere skaderne imellem en 1,5-års regnhændelse og en 20-års regnhændelse, som ellers er første forekommende hydrauliske beregning. Uden denne ekstrapolering vil CADSS antage, at der ikke forekommer skader før en 20-års-hændelse, og EAD, som er arealet under skadeskurven, vil blive stærkt undervurderet. I Figur 80 er det gule areal under skadeskurven EAD. Det skraverede areal er skader, der sker oftere end en 20-års regnhændelse. Hvis der ikke ekstrapoleres i CADSS, vil disse skader ikke blive medregnet, og EAD vil blive meget undervurderet.



**Figur 80** Ved at ekstrapolere skaderne i statusscenariet til første begyndende skade i CADSS, undgås en større undervurdering af EAD, idet det skraverede område ikke ville blive medregnet i EAD, såfremt der ikke blev ekstrapoleret til første begyndende skade.

### Bilag 5.1 Risiko for private

#### Bilag 5.1.1 Skader (private)

Ved kraftige skybrud kan regnvand strømme ind i boliger og forårsage skader på selve bygningen og dets fundament samt møbler, elektronisk inventar og andre løsøre. Disse skader på selve bygningen samt løsøre prissættes som skadesomkostninger på privat grund. Tabel 51 viser enhedsomkostningerne, der anvendes i risikomodelleringen.

**Table 51** Enhedsomkostninger for skader på boliger. For alle priser anvendes grundarealet af en bygningspolygon. Det antages, at en kælder og en stue har samme areal som grundarealet.

Kategori	Dybde	Værdi	Enhed	Kilde
Skade parcelhus med kælder	10 cm	804	kr./m <sup>2</sup> kælder	Rambøll [10]
Skade rækkehus med kælder	10 cm	919	kr./ m <sup>2</sup> kælder	
Skade lejlighed med kælder	10 cm	1.103	kr./ m <sup>2</sup> kælder	
Skade andet privat med kælder	10 cm	840	kr./ m <sup>2</sup> kælder	
Skade privat uden kælder	10 cm	1.167	kr./m <sup>2</sup> stue	PLASK [12]

### Prissætning af skader

Enhedspriserne for skadesomkostninger på bygninger og inventar i forbindelse med oversvømmelse i Gentofte Kommune er baseret på et studie af forsikringsdata indsamlet i kommunen [10]. For at opnå en mere nuanceret prissætning for boligskader, i forhold til hvad der hidtil har været muligt med foreliggende studier, blev forsikringsdata koblet med BBR-data. Herved blev det muligt at skelne mellem bygningstype og anvendelse.

I analysen er det antaget, at såfremt en bygning har en kælder, da vil al vandet løbe i kælderen og kun oversvømme denne og ikke stuen. Denne antagelse blev gjort for at simplificere analysen, da der ikke forelå oplysninger om, hvor i en bygning skaden forekom. Dog virker denne antagelse også sandsynlig i praksis, da stueplan i bygninger med kældre ofte ligger ca. 30-50 cm over terræn. Derfor er det plausibelt, at bygninger med kældre i mange tilfælde kun vil opleve oversvømmelser i kælderen.

Det førømtalte studie var baseret på 4.173 indmeldelser indsamlet fra 2010 til 2015. I studiet konkluderedes det, at

- skybrudsskaderne forekom over hele kommunen
- der ingen korrelation fandtes mellem størrelsen af en udbetaling og vanddybden af oversvømmelsen på adressen
- der ikke kunne foretages en robust analyse for privatadresser uden kælder, da der ikke forekom nok indmeldelser. Her udregnedes der derfor en samlet pris for "privat uden kælder"
- man til risikomodellering i Gentofte Kommune anbefaler at bruge resultaterne fra studiet. Værdierne kan suppleres af resultater fra PLASK.

Det er værd at bemærke, at ikke alle skadesomkostninger på bygninger og inventar ved oversvømmelse inkluderes. Det er ikke alle løsøre, som beskadiges, der er forsikret af ejeren, ligesom nogle forsikringer heller ikke dækker alle skader på bygningen. Der kan således være tilfælde, hvor der er store materielle skader som følge af en oversvømmelse, uden at der har været en større forsikringsudbetaling. Derfor vil forsikringsdata ofte underestimere skadesomkostningerne på boliger. Ydermere er selvrisiko på forsikringer en stor variabel, som kan trække de estimerede resultater ned i forhold til faktiske værdier. Til gengæld er forsikringsudbetalingen ofte til nypris, hvilket er bedre end en markedspris lige inden oversvømmelsen. Til trods for disse usik-

kerheder er forsikringsdata dog stadig de mest repræsentative kilder, der findes i forhold til at estimere skader på boliger. Forudsætninger og begrænsninger for enhedspriser udregnet som følge af forsikringsdatastudiet forefindes i [10].

### **Vanddybde for skader**

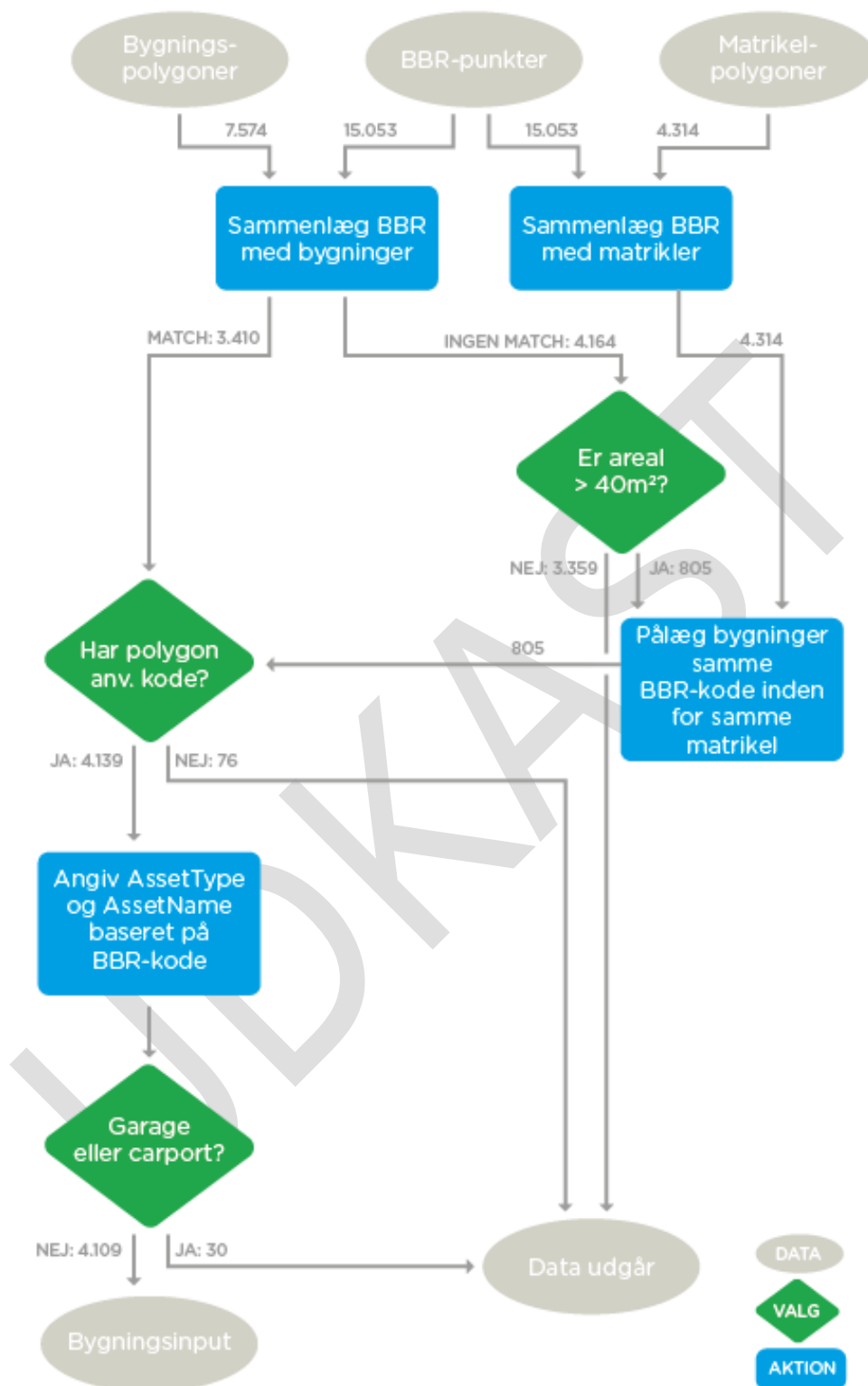
Den skadesudløsende vanddybde for boliger med og uden kælder sættes til 10 cm vand på terræn. Denne dybde er anvendt i lignende analyser og modeller i bl.a. København og er fastsat ud fra en vurdering af faktiske forhold, hvor en kantsten typisk er 10 cm høj, og en sokkel er minimum 10 cm. Desuden antages det, at husstande selv sikrer indtil 10 cm. Novafos har derfor valgt at denne højde vil være den dimensionsgivende tærskel. Det antages desuden, at samtlige bygningsenheder (private og offentlige) har funktionelle højvandslukkere, hvorfor det antages, at bygninger kun oversvømmes fra terræn.

### **Implementering i CADSS af skader**

Ved at sammenholde information fra Bygnings- og Boligregistret (BBR) [35] med bygningspolygoner fra Kortforsyningen [11] identificeres de forskellige kategorier af bygninger. Ved denne sammenlægning kan der dog opstå flere udfordringer:

- Bygninger er indtegnet som polygoner, mens BBR-oplysninger angives i et koordinat, som ikke nødvendigvis er retvisende for beliggenheden af det indberettede BBR-punkt. Fx kan flere lejlighedsopgange alle sammen være registreret i et og samme punkt, som i realiteten angiver, hvor administrationen for opgangene ligger.
- Det er ikke alle bygninger i datasættet, der har en BBR-oplysning. I tilfælde hvor bygninger ikke har en BBR-oplysning, men en anden bygning på samme matrikel har, da vil bygningen uden BBR-oplysning få samme anvendelse som den kendte bygning.
- Sammenhængende bygninger indtegnes som en samlet polygon. Der kan derfor være flere BBR-punkter inden for samme polygon.

Bearbejdningen af BBR-oplysninger til bygningspolygoner kan ses i Figur 81. Asset-Type og AssetName anvendes i CADSS til at angive henholdsvis en bygnings kategori (Privat eller Erhverv) samt nærmere navn (fx parcelhus med kælder).



**Figur 81** Workflow for bearbejdning af BBR-oplysninger til bygningspolygoner. Tallene angiver antallet af features som passerer de forskellige funktioner

### Bilag 5.1.2 Oprydning (private)

Når der sker oversvømmelser af boliger, medfører det typisk et efterfølgende oprydningsarbejde. I disse tilfælde kan privatpersoner vælge enten selv at foretage oprydning og opsætning af affugter etc., eller de kan hyre professionelle servicefolk til at klare oprydningsarbejdet. Enhedsomkostningerne for oprydning hos private ses i Tabel 52.

**Tabel 52** Enhedsomkostning for oprydning i boliger

Kategori	Dybde	Værdi	Enhed	Kilde
Oprydning	10 cm	4.844,30	kr./bolig	PLASK [12], Arnbjerg-Nielsen et al. [13], Dansk Bygningskontrol [14], Bolius [15]

I risikomodelleringen afrundes prisen til 4.800 kr./bolig for boliger både med og uden kælder.

#### Prissætning af oprydning

Prissætningen af de samfundsøkonomiske omkostninger til oprydning opdeles i enten A) det tidsforbrug privatpersoner har ved selv at rydde op eller B) den omkostning privatpersoner vil have ved at hyre fagfolk, samt den overordnede leje af affugter. Prissætningen i dette afsnit indeholder ikke omkostninger til genopbygning, da disse ligger under boligskader.

Enhedsprisen for oprydning beregnes gennem følgende trin:

1. A: Husstanden rydder selv op:  
Andelen af husstande, der selv vil rydde op, identificeres ved hjælp af Arnbjerg-Nielsen et al. [13] til 50%, og følgende informationer indhentes eller antages:
  - Værdien af tabt fritid i kr./((år · person) indhentes fra PLASK [12].
  - Det antages, at der i gennemsnit kun er én person pr. bolig, der rydder op.
  - Det antages, at oprydning som følge af oversvømmelse i gennemsnit tager 8 timer for en privatperson.

Den tabte arbejdsindkomst pr. bolig som følge af oprydning, beregnes ved at standardisere indkomsten fra værdien af tabt frihed til en timeenhed i kr./((person · time) og gange denne med antal personer pr. bolig, der rydder op (1 person), og det brugte antal timer (8 timer).

B: Husstanden hyrer fagfolk til oprydningen:

De resterende 50% af husstande med kælderoversvømmelser antages at hyre professionelle og følgende informationer indhentes eller antages:

- Priserne for de nødvendige services, transportomkostninger, omkostning til materialer og leje af affugter indhentes fra bygningskontrol.dk [14] og bolius.dk [15].
- Det antages, at professionelle i gennemsnit kan klare oprydning på 4 timer.

Privates omkostning til professionelle beregnes som den totale timepris ganget med timeforbruget (4 timer). Derudover tillægges resterende ekspeditionsgebyrer, transportomkostninger og omkostning til materialer.

2. Det antages, at uanset hvem der rydder op, skal der installeres en affugter i gennemsnitligt en uge.
3. Den totale omkostning til oprydning for husstanden beregnes som 50% ganget tabt arbejdsindkomst (1d) plus 50% ganget omkostning til professionelle (1g) plus en uges leje af affugter (trin 3).

De fremskaffede enhedspriser samt antagelser er opstillet i Tabel 53.

**Tabel 53** Enhedspriser og værdier for oprydning af private og professionelle

Gennemsnitlig pris for samlet servicepakke	Værdi	Enhed	Kilde
Andel af husstande, der selv rydder op	50	%	Arnbjerg-Nielsen et al. [13],
Servicemedarbejder – timeløn	548,00	kr./time	Dansk Bygningskontrol [14]
Timeforbrug pr. hændelse			
<i>Private</i>	8	timer	Antagelse
<i>Servicefolk</i>	4	timer	
Kørsel	11,25	kr./km	Dansk Bygningskontrol [14]
Afstand fra central til bygning	10	km	Antagelse
Ekspeditionsgebyr (adm. gebyr for underleverandør/materialer)	10/10	%	Dansk Bygningskontrol [14]
Gennemsnitlig leje af affugter	222,50	kr./dag	Bolius [15]
Gennemsnitlig lejeperiode	7	dage	Antagelse baseret på Bolius [15]

### Vanddybde for oprydning

Da der forventes skader på boliger med kælder ved 10 cm, udløses værdien for oprydning ved minimum 10 cm dybt vand for boliger.

### Implementering i CADSS af oprydning

I Bilag 5.1 beskrives, hvordan boliger identificeres ved hjælp af BBR. Alle private boligpolygoner med og uden kælder, der oversvømmes med 10 cm dybt vand eller mere, pålægges prisen for oprydning pr. boligpolygon. Der kan lægge flere boliger inden for samme polygon, fx vil rækkehuse i én række ligge i én polygon. Der findes desværre

ikke data, der angiver hver enkel bolig, så hvis enkelte boliger ønskes, skal disse tegnes manuelt. Men da det antages, at langt den største udgift vil være skader på boliger, som udregnes per kvadratmeter, vil det ikke kunne betale sig at bruge tid på at indtegne alle boliger enkeltvis. Derfor kan oprydning kun pålægges per boligpolygon i CADSS. Dette gælder for alle omkostninger, der ikke angives per kvadratmeter. Når der i teksten står "/bolig" vil det derfor henvise til en boligpolygon i CADSS.

### Bilag 5.1.3 Genhusning

Efter særligt voldsomme skybrud kan særligt udsatte boliger være så voldsomt ramt, at det vil være nødvendigt at genhuse nogle beboere. Generelt vurderes en genhusning at være nødvendig, hvis essentielle boligfaciliteter, såsom køkken, bad/toilet eller store dele af boligen, der benyttes dagligt, er oversvømmet eller så beskadiget, at de ikke længere kan benyttes. Enhedsprisen for genhusning ses i Tabel 54.

**Tabel 54** Enhedsomkostning for genhusning af private

Kategori	Dybde	Værdi	Enhed	Kilde
Genhusning	40 cm	147.516	kr./bolig	Forsikring & Pension, Rambølls egne antagelser og beregninger

I risikomodelleringen afrundes prisen til 148.000 kr. per oversvømmet bolig.

#### Prissætning af genhusning

Når beboer genhuses, har de krav på at blive genhuset i en bolig, der svarer til boligen, de blev genhuset fra sammenlignet på antal kvadratmeter, antal værelser og/eller den månedlige husleje (Forsikring og Pension [36]). Beboerne får derudover godtgjort huslejen for genhusning, eventuelle ekstra transportomkostninger og basale fornødenheder. En genhusning kan som udgangspunkt kun vare op til ét år.

Beregningen af omkostningen til samfundet ved genhusning, består således af omkostning til husleje i genhusningsboligen og omkostninger til mertransport og basale fornødenheder. Enhedsprisen for genhusning gives i kr./bolig med oversvømmet stue og beregnes ved følgende trin:

- Omkostningen ved genhusningshuslejen beregnes fra følgende:
  - En gennemsnitlig kvadratmeterpris (kr./m<sup>2</sup>) for boliger i Gentofte beregnes ud fra online udbudspriser (kr./md. og kvadratmeter) - i alt 22 boliger.
  - En gennemsnitlig boligstørrelse (m<sup>2</sup>) findes.
Den gennemsnitlige husleje for boliger i Gentofte beregnes som gennemsnitlig kvadratmeterpris gange gennemsnitlig boligstørrelse i kr./md.
- Omkostningerne til mertransport og fornødenheder vurderes til gennemsnitlig 5.000 kr./md. (antagelse). Dette dækker en forventning om ekstra transportomkostninger fra genhusningslokationen til fx arbejde samt indkøb af essentielle genstande, der er nødvendige for det daglige virke.

3. Genhusningsperioden vurderes til 6 måneder, hvilket omfatter besigtigelse af skader, reparationer og fjernelse af fugt etc.
4. De månedlige omkostninger fra 1 og 2 ganges med varigheden fra 3 og giver 147.516 kr. per genhuset bolig.

Informationerne er samlet i Tabel 55.

**Tabel 55** Information om genhusning af private

Kategori	Værdi	Enhed	Kilde
Gennemsnitlig kvadratmeterpris, Gentofte	139,90	kr./( $m^2 \cdot md.$ )	Akutbolig [37], Boligportal [38]
Kvadratmeter for en gennemsnitlig villa	140	$m^2$	boligsiden.dk [39]
Omkostninger til mertransport og fornødenheder	5.000,00	kr./md.	Antagelse
Varighed for genhusning	6	mdr.	Antagelse

### Vanddybde for genhusning

Da det forventes, at der skal stå noget højere vandstande omkring en bolig, der skal genhuses, end vandstanden, der udløser fx oprydning, sættes den udløsende dybde til 40 cm (antagelse).

### Implementering i CADSS af genhusning

I Bilag 5.1 beskrives, hvordan boliger identificeres ved brug af BBR. Alle boligpolygoner, der oversvømmes med minimum 40 cm, pålægges den gennemsnitlige pris for genhusning.

#### Bilag 5.1.4 Sygdom

Ved skybrud kan der ske overløb af forurenede spildevand til det vand, der under regnhændelsen flyder på overfladen og muligvis oversvømmer stuer og kældere. Kontakt med det forurenede vand, enten ved færdsel på gaden eller ved oprydning, kan resultere i en række sygdomme. At folk bliver syge, har en omkostning for samfundet både i form af direkte behandling og som følge af tabt produktion. Enhedsprisen for sygdom ses i Tabel 56.

**Tabel 56** Enhedsomkostninger for sygdomme

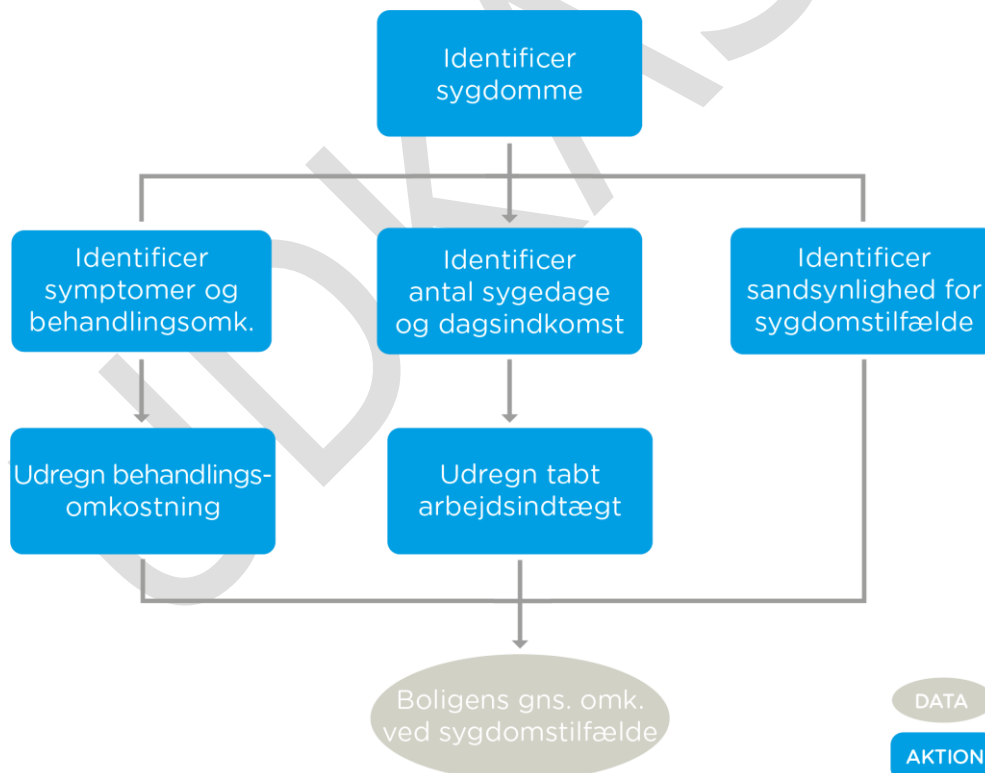
Kategori	Dybde	Værdi	Enhed	Kilde
Sygdomme – novovirus (med kælder)	10 cm	3.199	kr./bolig m. kælder	Sundhedsdatastyrelsen [16], Lægemiddelstyrelsen [17], Sundheds- og Ældreministeriet [18], Netdoktor [19], Danmarks Statistik [20]
Sygdomme - andre	10 cm	807	kr./bolig	

I risikomodelleringen afrundes sygdomme – novovirus til 3.200 kr./bolig med kælder, og sygdomme – andre afrundes til 800 kr./bolig for alle boliger i det berørte område.

### Prissætning af sygdom

Der er blevet identificeret tre forskellige sygdomme, som er særligt relevante i forbindelse med skybrud og oversvømmelser: Novovirus, Hepatitis A og Leptospirose/Weills. De tre sygdomstyper er identificeret ved et mindre litteraturstudie.

Den overordnede fremgangsmåde for beregningen af sygdomsomkostninger ved oversvømmelser, er illustreret i Figur 82.



**Figur 82** Fremgangsmåde for beregning af omkostninger ved sygdomstilfælde

For hver sygdomstype er følgende parametre undersøgt:

- Sandsynligheden for at få sygdommen ved kontakt med vand fra oversvømmelse blandt andet via Netdoktor [19] og information fra Statens Seruminstitut
- Andel af tilfælde, der kræver sygehusindlæggelse. Det antages, at tilfældet er akut, hvis der kræves indlæggelse
- Antal sygedage (akut og ikke-akut)
- Tabt arbejdsfortjeneste, pr. sygedag
- Overordnet vurdering af sygdommens symptomer (akut og ikke-akut), se Tabel 57.

**Tabel 57** Sygdommenes registrerede symptomer og tilknyttede behandlinger

Sygdom	Symptomer	Tilknyttet behandlingsform	Kilde
<b>Novovirus</b>			
Ikke akut	Diarré, feber, mavesmerter & opkast	Personlig henvendelse på lægeklinik, Laboratorieundersøgelser og blodprøver	Takstvejledningen 2017 [16] samt Rambølls egne antagelser
Akut	Som ved ikke-akut, samt alvorlig dehydrering	Som ovenfor samt: Hospitalsindlæggelse, behandling for virussygdom og indlæggelse til observation	Takstvejledningen 2017 [16] samt Rambølls egne antagelser
<b>Hepatitis A</b>			
Ikke akut	Gulsot og diarré	Personlig henvendelse på lægeklinik, laboratorieundersøgelser og blodprøver	Takstvejledningen 2017 [16] samt Rambølls egne antagelser
Akut	Træthed og leversvigt	Som ovenfor samt: Hospitalsindlæggelse; behandling for leverinfektion og virussygdomme samt indlæggelse til observation	
<b>Leptospirose/Weills</b>			
Ikke akut	Forkølelseslignende symptomer, hovedpine og svære muskelsmerter	Personlig henvendelse på lægeklinik, Laboratorieundersøgelser og blodprøver	Wastewater Gardens [40], Takstvejledningen 2017 [16] samt Rambølls egne antagelser
Akut	Meningitis, Leverskade, påvirkning af lunger og nyresvigt	Som ovenfor, samt: Hospitalsindlæggelse; behandling for lever-, luftvejs- og nyreinfektion, virussygdomme samt indlæggelse til observation	Tiwari [41] , NHS Choices [42], Takstvejledningen 2017 [16] samt Rambølls egne antagelser

Parametrene indhentet er listet i Tabel 58.

**Tabel 58** Information om relevante sygdomme

Sygdomstyper	Novovirus		Hepatitis A		Leptospirose/Weills	
	Akut	Ikke akut	Akut	Ikke akut	Akut	Ikke akut
Sandsynlighed for tilfælde	5%		0,001%		0,001%	
Fordeling (akut/ikke-akut)	5%	95%	0,1%	99,9%	0,0004%	99,9996%
Dages varighed ekskl. weekender	10	5	35	13,5	10	5
Kræver sygehusbehandling og -indlæggelse	Ja	Nej	Ja	Nej	Ja	Nej

Ved identifikationen af sandsynligheden for sygdomstypen Hepatitis A er samme sandsynlighed brugt som for den sjældnere sygdom, Leptospirose. Denne antagelse benyttes, da der ikke kunne fremskaffes data eller cases, hvor sandsynligheden har været nævnt eller har kunnet beregnes ud fra. Sandsynligheden har kun været kvalitativt beskrevet som "Meget sjældent" fremkommende.

Omkostningerne til behandling er estimeret og opdelt i omkostninger relateret til henholdsvis: 1) Kontakt med lægeklinik, 2) Hospitalsindlæggelse, samt 3) Behandling på hospital under indlæggelse (Dødsfald og værdisætning af denne er ikke medtaget i beregningerne, se Afsnit 6.3 Andre overvejelser.)

Fremgangsmåden for beregning af behandlingsomkostninger er beskrevet i nedenstående trin, hvor omkostninger kombineres med sygdommens symptomer til kr./sygdom:

1. Omkostninger til kontakt med lægeklinik identificeres igennem omkostninger til almindelig konsultation og laboratorieprøver.
2. Antal nødvendige behandlinger på sygehus og hospitalsindlæggelser angives for hver sygdom for hhv. akut og ikke-akut.
3. Sygdomssandsynligheden ganges på behandlingstaksten i Tabel 59 for hver sygdomstype:
  - Novovirus sygdomme (kr./person for kælderoversvømmelse):  
Det antages, at novovirus sygdomme indtræffer som følge af længerevarende fysisk aktivitet i det forurenede vand, fx under oprydning. Ved oprydning er der større risiko for at komme i fysisk kontakt med og herigennem indtage bakterierne fra det forurenede vand. Det er specielt i oversvømmede kældre, hvor privatpersoner vælger selv at rydde op, at vandet typisk vil være stillestående, og derfor udløses novovirus sygdomme kun ved kælderoversvømmelse.
  - Andre (Hepatitis A og Leptospirose summeret) (kr./person):  
Sandsynligheden for disse sygdomstilfælde er beregnet ud fra generel kontakt med forurenede vand, dvs. på gadeplan såvel som i boligen. Her

beregnes behandlingsomkostningen som en gennemsnitlig omkostning/person.

Udover omkostning til behandling er der også en samfundsmæssig omkostning som følge af tabt arbejdsfortjeneste. Denne beregnes ved følgende trin:

4. Lønindkomsten i kr./ $(\text{person} \cdot \text{år})$  for projektområdet indhentes og standardiseres til dagløn i kr./ $(\text{person} \cdot \text{dag})$ .
5. Antal sygedage (fratrasket weekender) ganges med daglønnen/person. Herved beregnes omkostningen ved tabt arbejdsfortjeneste som følge af sygdom i kr./person.

UDKAST

**Tabel 59** Behandlingsomkostninger

Behandling	Værdi	Enhed	Kilde
<b>1. Kontakt til lægeklinik</b>			
Alm. konsultation	140	kr./gang	Sundhedsdatastyrelsen [16]
<b>Laboratorieprøver</b>			
<i>Dyrkning af bakterier og lungefunktionsundersøgelse</i>	118	kr./prøve	Sundhedsdatastyrelsen [16]
<i>Blodprøve</i>	48	kr./prøve	
<i>Fremsendelse af biologisk materiale</i>	96	kr./prøve	
Håndkøbsmedicin (penicillin/antibiotika)	94/132	kr./måned	Lægemiddelstyrelsen [17]
<b>2. Hospitalsindlæggelse</b>			
Indlæggelse (under 65 år/65 år+)	2.500/9.000	kr./ (dag · indlæggelse)	Sundheds- og Ældreministeriet [18]
<b>3. Behandling på hospital under indlæggelsen</b>			
<b>Behandlingstakster/observation</b>			
<i>Luftveje</i>	Gns. 31.454/15.654	kr./behandling	Sundhedsdatastyrelsen [16]
<i>Lever</i>	21.776/13.838	kr./behandling	
<i>Nyrer</i>	Gns. 40.320/11.176	kr./behandling	
<i>Virussygdomme</i>	15.109/12.195	kr./behandling	
<b>Gns. liggetider ved behandling/observation</b>			
<i>Luftveje</i>	Gns. 4,7/2,0	dage	Sundhedsdatastyrelsen [16]
<i>Lever</i>	5,0/3,0	dage	
<i>Nyrer</i>	Gns. 4,7/1	dage	
<i>Virussygdomme</i>	2,0/2,0	dage	
<b>4. Tabt arbejdsindkomst</b>			
Gennemsnitlig dagsindkomst for beboere i Gentofte Kommune	2.650	kr./dag	Danmarks Statistik (INDPK105) [20]

I den afsluttende beregning benyttes det, at der i området er gennemsnitligt 2,1 personer pr. bolig, og gennemsnitligt 1,7 voksne pr. bolig. Det antages, at kun voksne bliver påvirket af risikoen for tabt arbejdskraft, mens hele familien kan risikere at blive syge og skulle behandles. Resultatet for behandlingsomkostningerne i trin 3 ganges således med 2,1 personer og giver behandling i kr./bolig, mens den tabte arbejdskraft i trin 5 ganges med 1,7 personer og giver tabt arbejdskraft pr./bolig. Disse summeres og giver den samlede samfundsøkonomiske omkostning pr. bolig.

### Vanddybde for sygdom

Sammenhængen mellem udbrud af sygdomme og vanddybder er ikke dokumenteret. Ifølge Netdoktor.dk er der risiko for virussygdomme så snart en person er i kontakt med opstuvet vand, hvilket bl.a. vil ske, når der skal ryddes op grundet vand i kælderren. Derfor udløses virussygdomme, når oprydning i kældere udløses, hvilket sker ved 10 cm. Det besluttes at fastlægge andre sygdomme ved samme tærskel.

### Implementering i CADSS af sygdom

Alle boliger, der blev identificeret ved brug af BBR, vil blive pålagt sygdomme – andre, når vanddybden omkring en bolig når minimum 10 cm. Som nævnt ovenfor antages det, at sygdomme – novovirus kun indtræffer i boliger med kældere. Derfor vil denne parameter kun pålægges private boliger med kældere.

#### Bilag 5.1.5 Mental stress og angst

Oversvømmelser påvirker ikke kun personer i området fysisk, men kan også give mentale mén i form af stress og angst. Dette har omkostninger for samfundet til både behandling i de moderate og alvorlige tilfælde samt tabt arbejdsfortjeneste, som følge af nedsat produktivitet i de mest alvorlige tilfælde. Enhedsprisen for mental stress og angst ses i Tabel 60.

**Tabel 60** Enhedsomkostninger for mental stress og angst

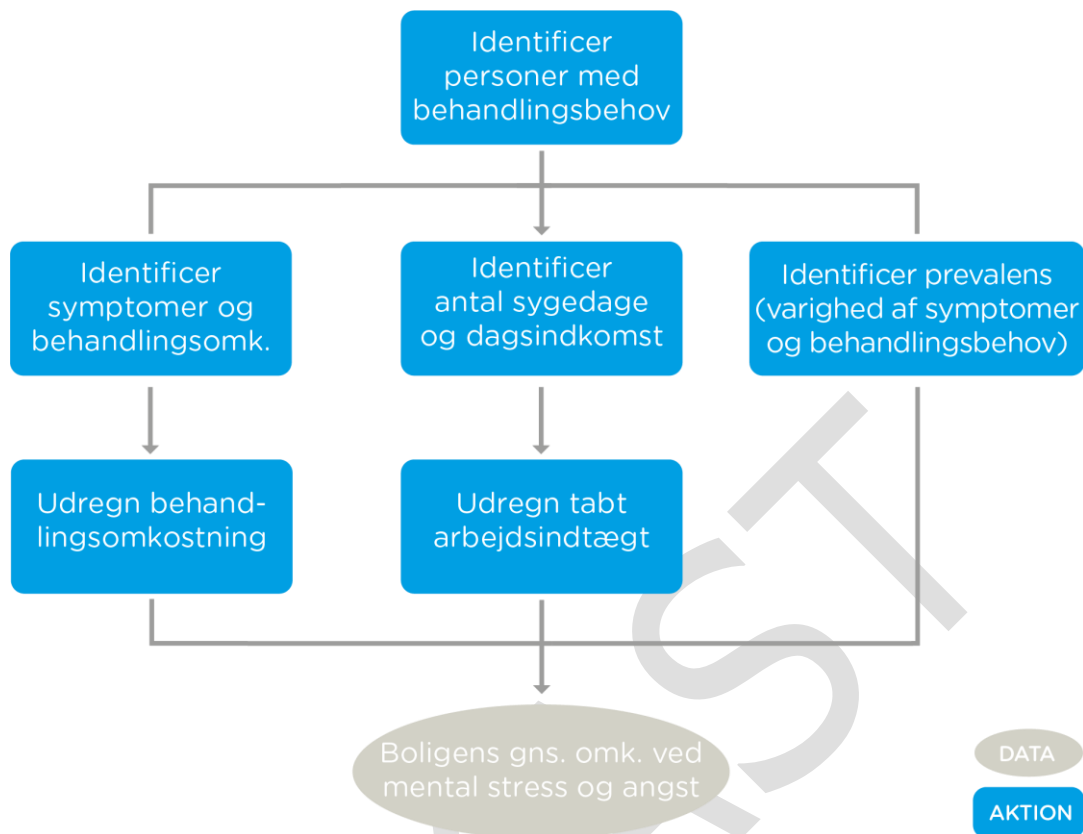
Kategori	Dybde	Værdi	Enhed	Kilde
Mental stress og angst	40 cm	15.145	kr./bolig	FEMA [21] og Levinson, et al. [22], Danmarks Statistik [20]

I risikomodelleringen afrundes resultatet til 15.100 kr./bolig.

### Prissætning af mental stress og angst

Metoden for beregningen af enhedsprisen følger fremgangsmåden i FEMA [21] samt Schoenbaum et al. [43] og foretages ved at identificere behovet for behandling, og hvor alvorlig tilfældet er, og derfra hvor omfattende en behandling, der er nødvendig. Derudover forventes det, at ikke alle i behandling har brug for/vælger den fulde behandling. Da behandling af mentale mén er en proces, der strækker sig over tid, inkluderes prævalensen, der beskriver antallet af personer, der fortsat har behov for behandling i perioder af 6 måneder op til 30 måneder, efter hændelsen.

Den overordnede fremgangsmåde i prissætningen af mental stress og angst ved oversvømmelser fra skybrud, er illustreret i Figur 83.



**Figur 83** Fremgangsmåde for beregning af omkostninger ved mental stress og angst

Beregningen af enhedsprisen er opstillet i trin nedenfor:

1. Følgende data indhentes fra FEMA (2012) og korrigeres herefter for danske forhold:
  - Andel af personer, der har behov for behandling efter en oversvømmelse
  - Andel af tilfælde, der er hhv. moderate og alvorlige
  - Andel, der modtager tilstrækkelig og utilstrækkelig behandling (fx hvis behandlingen afbrydes før tid)
  - Prævalensen i mental stress og angst i perioderne 7-30 måneder efter hændelse
  - Tabt produktion, som effekt på lønindkomsten

Data er opstillet i Tabel 61.

**Tabel 61** Information om stress og angst

Mental stress og angst	Andel	Kilde
<b>Behandlingsbehov</b>		
Brug for behandling	41,1%	FEMA [21]
Ikke brug for behandling	58,9%	
<b>Tilfælde, der kræver behandling</b>		
Andel med moderate mentale mén	13,0%	50% af værdien i FEMA [21]
Andel med alvorlige mentale mén	4,0%	Levinson, et al. [22] (gennemsnit af Belgien, Frankrig, Holland og Tyskland)
<b>Behandlingsniveau</b>		
Tilstrækkelig behandling	25,1%	FEMA [21]
Utilstrækkelig behandling	16,0%	
<b>Periodisk udvikling i prævalens (moderat/alvorlig)</b>		
7-12 måneder	13,0% / 4,0%	FEMA [21] og Levinson, et al. [22]
13-18 måneder	9,5% / 4,6%	
19-24 måneder	7,0% / 4,6%	
25-30 måneder	4,5% / 3,9%	
<b>Tabt produktion</b>		
Effekt på produktiviteten (kun ved alvorlige tilfælde)	29,8%	Levinson, et al. [22] (gennemsnit af Belgien, Frankrig, Holland og Tyskland)
Antal voksne pr. bolig	1,7	Danmarks Statistik [20]

I korrigeringen til danske forhold er det vurderet, at en repræsentativ værdi for andelen af berørte personer, der for moderate tilfælde er vurderet til at være halvdelen (13%) af den amerikanske værdi (26%). Dette er en vurdering gjort ud fra en sammenligning af alvorligheden af amerikanske skybrudsoversvømmelser med danske. I USA er oversvømmelser ofte voldsommere, og folk er oftest dårligere stillet grundet manglende forsikringer. Det er desuden antaget, at man i Danmark ikke vil opleve sygehusindlæggelser som direkte konsekvens af mental stress og angst fra oversvømmelser, som det er set i amerikanske prissætninger.

Omkostningsberegningen sker herefter gennem følgende trin:

2. Danske priser for lægebesøg, terapi og receptmedicin anvendes [17].
3. Omkostningen til behandling af hhv. moderate og alvorlige tilfælde beregnes ved at kombinere behovet i en 6 måneders periode (antal besøg hos lægen/terapeuten og udskrivelse af receptmedicin) med enhedsomkostningerne i kr./ (tilfælde · person · 6 mdr.), på baggrund af fremgangsmåden i [43].

4. Andelene fundet i trin 1 ganges med omkostninger i trin 3. Dette giver den gennemsnitlige omkostning til behandling pr. person i en 6 måneders periode.
5. Omkostningen i trin 4 ganges med prævalensandelene fra trin 1, for hhv. moderate og alvorlige tilfælde og summeres. Dette giver den gennemsnitlige behandlingsomkostning pr. person.

Udover behandling af mental stress og angst skal den tabte arbejdsfortjeneste også prissættes. Dette gøres ved følgende trin:

6. Lønindkomsten pr. person i området i kr./((person · år) indhentes og omregnes til kr./((person · måned).
7. Effekten fundet i trin 1 ganges på lønindkomsten af trin 6 og ganges med 6, sådan at den svarer til periodeopdelingen for prævalensen i kr./((person · 6 mdr.).
8. Den tabte arbejdsfortjeneste pr. 6 måneder fra trin 7 ganges med prævalenserne for alvorlige tilfælde for de fire periodeopdelinger og summeres. Herved findes den gennemsnitlige omkostning ved tabt arbejdsfortjeneste pr. person i kr./person.
9. Omkostningen pr. person fra trin 8 ganges med antal voksne pr. bolig (1,7 - indhentet fra Danmarks Statistik FU51) og giver kr./bolig.

### Vanddybde for mental stress og angst

Det forventes, at mental stress og angst påvirker beboere i forbindelse med genhusning. Da tærsklen for genhusning er sat til 40 cm for boliger, fastlægges tærsklen for mental stress og angst ligeledes ved 40 cm.

### Implementering i CADSS af mental stress og angst

Alle boliger, der blev identificeret ved brug af BBR, vil blive pålagt mental stress og angst, når vanddybden omkring en bolig når minimum 40 cm.

## Bilag 5.2 Risiko for erhverv

### Bilag 5.2.1 Skader (erhverv)

Ligesom der ved kraftige skybrud kan strømme regnvand ind i boliger og forårsage skader, så sker det også for erhvervsbygninger. Skader på erhvervsbygninger dækker over skader på samtlige typer af bygninger registreret som erhverv. Tab af løse og tabt produktion dækkes i separate afsnit. Enhedsprisen for skader på erhvervsbygninger ses i Tabel 62.

**Tabel 62** Enhedsomkostninger for skader på erhvervsbygninger

Kategori	Dybde	Værdi	Enhed	Kilde
Skade erhvervsbygning	10 cm	1.218	kr./m <sup>2</sup>	Rambøll [10]

### Prissætning af skader

Skader på erhvervsbygninger prissættes på samme vis som skader på boliger ud fra studiet gennemført på forsikringsdata indsamlet i Gentofte Kommune [10]. Udover konklusionerne angivet i Bilag 5.1, konkluderede analysen også, at der ikke kunne foretages en robust analyse af alle kategorier inden for erhverv, da der kun var 87 indmeldelser i alt for erhverv i datasættet. Derfor udregnedes der én samlet pris for alle kategorier af erhvervsbygninger, til trods for at der vil være et stor spænd imellem forskellige erhverv.

### Vanddybde for skader

Det antages, at den skadesudløsende dybde for erhvervsbygninger kan fastlægges ved samme tærskel som boliger (10 cm).

### Implementering i CADSS af skader

Bygningspolygoner, der anvendes til erhverv, identificeres ved hjælp af BBR. Samtlige bygningspolygoner, der er matchet med en erhvervskode i BBR, pålægges enhedsomkostningen for skader på erhvervsbygninger. Det vil sige, at fx en administrativ bygning pålægges samme enhedspris som en lagerbygning.

#### Bilag 5.2.2 Tab af løsøre

Tab af løsøre dækker over skadet inventar og varelager. Inventar og varer kan blive skadet, når det kommer i kontakt med vand, og efter oversvømmelser må virksomheder derfor efter mere ekstreme regnhændelser købe nyt produktionsudstyr, materiel og lignende. Enhedsprisen for tab af løsøre ses i Tabel 63.

**Tabel 63** Enhedsomkostning for tab af løsøre for erhverv

Kategori	Dybde	Værdi	Enhed	Kilde
Tab af løsøre	10 cm	70.307	kr./erhverv	PLASK [12], Forsikring & Pension [7]

Ved "erhverv" forstås en bygningspolygon, der er identificeret som erhverv i samme analyse, hvor boliger identificeres. I risikomodelleringen afrundes tallet til 70.300 kr./erhvervspolygon.

### Prissætning af tab af løsøre

Analysen foretaget på forsikringsdata i Gentofte Kommune havde ikke nok data til at fastlægge en pris for tab af løsøre, hvorfor analysen foreslår at anvende værdien fra PLASK. Enhedsprisen beregnes derved ved følgende trin:

1. Omkostninger for tab af løsøre indhentes fra PLASK [12] i kr./virksomhed.
2. Andelen af erhverv, der oplever tab af løsøre identificeres gennemsnitligt. Af rapporten fra Forsikring & Pension [7] fremgår det, at 50% af virksomheder oplever tab af løsøre.
3. Enhedsprisen beregnes som andelen fundet i trin 2 af værdien i trin 1 i kr./virksomhed.

**Tabel 64** Enhedsomkostninger forbundet med prissætning af tab af løvsøre

Kategori	Værdi	Enhed	Kilde
Tab af løvsøre	140.614	kr./erhverv	PLASK [12]
Andel med tab af løvsøre	50	%	Forsikring & Pension [7]

### Vanddybde for tab af løvsøre

Det forventes, at skader på løvsøre kan indtræffe ved samme dybde som skader på bygninger. Den skadesudløsende tærskel for tab af løvsøre sættes derfor ved 10 cm.

### Implementering i CADSS af tab af løvsøre

Alle erhvervsbygninger, der er identificeret som erhverv ved brug af BBR, pålægges enhedsomkostningen for tab af løvsøre. Igen er det ikke muligt at differentiere på typen af erhverv, så gennemsnitsprisen pålægges alle erhvervspolygoner.

#### Bilag 5.2.3 Tabt produktion

Tabt produktion dækker over produktionstab/tabt salg inden for erhverv i forbindelse med oversvømmelser. Efter større skybrud kan virksomheder være tvunget til at holde lukket i nogle dage eller uger, hvis fx deres inventar eller bygninger er så beskadigede, at produktionen ikke kan opretholdes. Såfremt at der ikke kan produceres varer eller foretages salg, vil virksomheden opleve tabt produktion. Enhedspriserne for tabt produktion er vist i Tabel 65.

**Tabel 65** Enhedsomkostning til tabt produktion for virksomheder

Kategori	Dybde	Værdi	Enhed	Kilde
Tabt produktion	10 cm	8.332	kr./erhverv	PLASK [12], Forsikring & Pension [7]

I risikomodelleringen afrundes tallet til 8.300 kr./erhvervspolygon.

### Prissætning af tabt produktion

Enhedsprisen for den tabte produktion (kr./virksomhed) beregnes ved:

1. Omkostninger for tabt produktion for erhverv indhentes fra PLASK [12] i kr./virksomhed.
2. Andelen af erhverv, der oplever tabt produktion identificeres gennemsnitligt. Af rapporten fra Forsikring & Pension [7] fremgår det, at 5% af virksomheder oplever omkostningerne, der er relateret til tabt produktion.
3. Enhedsprisen beregnes som andelen fundet i trin 2 af værdien i trin 1 i kr./virksomhed.

**Tabel 66** Enhedsomkostninger forbundet med prissætning af tabt produktion

Kategori	Værdi	Enhed	Kilde
Tabt produktion	166.653	kr./erhverv	PLASK [12]
Andel med tab af løvsøre	5	%	Forsikring & Pension [7]

**Vanddybde for tabt produktion**

Det forventes, at virksomheder vil miste produktionsindtægter så snart, der sker skader på virksomhedsbygninger og inventar. Den skadesudløsende tærskel for tabt produktion sættes derfor ved 10 cm.

**Implementering i CADSS af tabt produktion**

Alle erhvervsbygninger, der er identificeret som erhverv ved brug af BBR, pålægges enhedsomkostningen for tabt produktion. Igen er det ikke muligt at differentiere på typen af erhverv, så gennemsnitsprisen pålægges alle erhvervspolygoner.

## Bilag 5.2.4 Oprydning (erhverv)

Ud over tab af drift og produktion medtages også virksomhedens udgifter til oprydning efter en oversvømmelse. Ligesom for private kan der strømme vand ind i bygninger, som efterfølgende vil føre til påkrævet oprydning. Det antages, at virksomheden hyrer eksterne servicefolk, og derfor oplever virksomheden ikke yderligere tab af tid eller drift/produktion. Enhedsprisen for oprydning i erhvervsbygninger ses i Tabel 67.

**Tabel 67** Enhedsomkostning til oprydning af erhvervsbygning

Kategori	Dybde	Værdi	Enhed	Kilde
Oprydning erhvervsbygning	10 cm	10.274	kr./erhverv	Dansk Bygningskontrol [14], Bolius [15]

I risikomodelleringen afrundes tallet til 10.300 kr./erhvervspolygon.

**Prissætning af oprydning**

Enhedsprisen for oprydning i kr. pr. oversvømmet erhverv beregnes ved følgende trin:

1. Enhedspris for services i forbindelse med besigtigelse, tømning og opsætning samt leje af affugter indhentes i kr./time.
2. Der gøres en antagelse om antal timer til oprydning pr. hændelse baseret på samme antal timeforbrug til oprydning som for private samt antal døgn til affugtning (antagelse baseret på spænd for antal døgn: 7-60 dage).
3. Gennemsnitlig pris som antal forbrugstimer pr. service beregnes (kr./erhvervsbygning).

Informationerne brugt til at udregne en gennemsnitlig pris ses i Tabel 68.

**Tabel 68** Information om oprydning af erhvervsbygning

Gennemsnitlig pris for samlet servicepakke	Værdi	Enhed	Kilde
Service – timeløn (Skadeleder/servicemedarbejder)	710,00/ 548,00	kr./time	Dansk Bygningskontrol [14]
Timer pr. hændelse (Skadeleder/servicemedarbejder)	1/4	timer	Antagelse
Kørsel	11,25	kr./km	Dansk Bygningskontrol [14]
Afstand fra central til bygning	10	km	Antagelse
Ekspeditionsgebyr (adm. gebyr for underleverandør/materialer)	10/10	%	Dansk Bygningskontrol [14]
Leje af affugter	273,00	kr./dag	Bolius [15]
Gennemsnitlig lejeperiode	14	dage	Antagelse baseret på Bolius [15]

**Vanddybde for oprydning**

Da der forventes skader på erhvervsbygninger ved 10 cm, udløses værdien for oprydning ligeledes ved minimum 10 cm dybt vand.

**Implementering i CADSS af oprydning**

Alle erhvervspolygoner, der oversvømmes med minimum 10 cm, pålægges prisen for oprydning.

**Bilag 5.3 Risiko for asfalteret vej**

## Bilag 5.3.1 Oprydning (veje)

Efter større skybrud vil der oftest være behov for oprydning på vejene, da vandmasserne kan efterlade diverse rester af affald (og muligvis spildevand) på vejene, hvorfor der vil være behov for efterfølgende oprydning og spuling. Enhedsprisen for oprydning af veje ses i Tabel 69.

**Tabel 69** Enhedsomkostning til oprydning af alle typer af veje

Kategori	Dybde	Værdi	Enhed	Kilde
Oprydning veje	10 cm	3	kr./m <sup>2</sup>	PLASK [12]

**Prissætning af oprydning**

Udgifter direkte relateret til oprydning efter skybrud er ikke dokumenteret. Oprydning på veje efter skybrud prissættes derfor på baggrund af PLASK (3 kr./m<sup>2</sup>) [12]. Denne pris er fastlagt på baggrund af prisen for oprydning efter Aalborg Karneval, hvor der ofte er større genstande på veje og store mængder skrald, der skal ryddes.

Det antages, at alle typer af veje (motorvej, motortrafikvej, vej over 6 m, 3-6 m og anden vej) vil have samme kvadratmeterpris for oprydning, da maskinerne, der anvendes, vil være de samme.

### Vanddybde for oprydning

Det forventes, at der ved oversvømmelser på 10 cm på veje vil være behov for oprydning.

### Implementering i CADSS af oprydning

Til estimering af om der vil være behov for oprydning, er centerlinjen af veje eksporteret fra Kortforsyningen. Veje er i Kortforsyningen inddelt i strækninger fra kryds til kryds. Til hver centerlinje pålægges en buffer afhængig af vejtypen, således at en vej bliver  $2 \times$  buffer [m] bred:

- Motorvej: Buffer 10 m, total vejbredde i CADSS 20 m
- Motortrafikvej: Buffer 8 m, total vejbredde i CADSS 16 m
- Vej over 6 m: Buffer 4 m, total vejbredde i CADSS 8 m
- Vej 3-6 m: Buffer 2,5 m, total vejbredde i CADSS 5 m
- Anden vej: Buffer 1,5 m, total vejbredde i CADSS 3 m

Hele vejpolygoner indlægges i risikomodellen, da det forventes, at oprydning vil ske fra vejkryds til vejkryds. Derfor vil kvadratmeterprisen blive anvendt på en hel polygon lige så snart, der ligger vand på vejen.

#### Bilag 5.3.2 Forsinkelser – bilisme

Forstyrrelser på vejnettet betyder forsinkelser for både private og erhvervsmæssige kørsler samt den kollektive vejtransport i området. Værdisætningen af de samfundsøkonomiske omkostninger opdeles i omkostning relateret til bilisme og til kollektiv transport på vejnettet. Enhedspriserne for forsinkelse af privatbilisme for hver vejtype ses i Tabel 70.

**Tabel 70** Enhedspriser for forsinkelse for bilister fordelt på vejtyper

Kategori	Dybde	Værdi	Enhed	Kilde
Forsinkelse – bilisme (motorvej)	20 cm	35.287	kr./motorvej	TERESA [23]
Forsinkelse – bilisme (vej over 6 m)	20 cm	19.610	kr./vej over 6 m	TERESA [23]
Forsinkelse – bilisme (vej 3-6 m)	20 cm	12.889	kr./vej 3-6 m	TERESA [23]
Forsinkelse – bilisme (anden vej)	20 cm	3.660	kr./anden vej	TERESA [23]

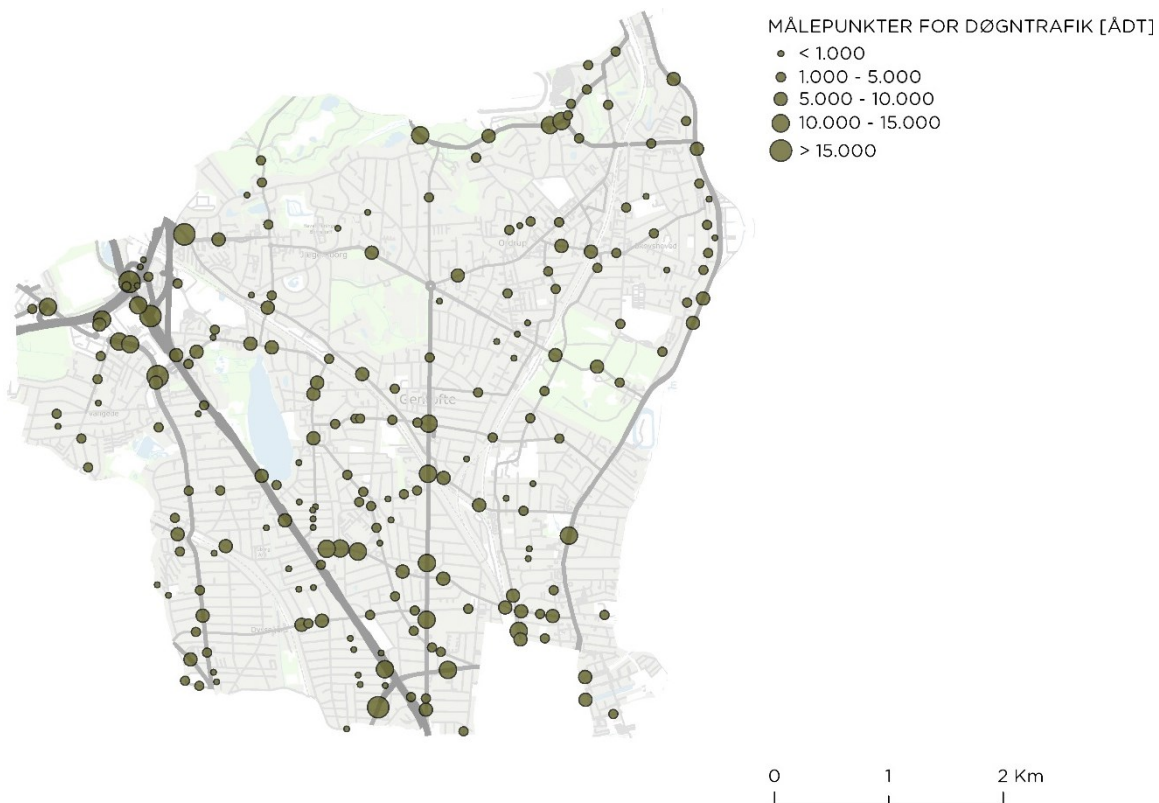
I risikomodelleringen afrundes priserne til nærmeste hundrede.

### Prissætning af forsinkelse - bilisme

De samfundsøkonomiske omkostninger ved forstyrrelser på vejnettet omfatter værdien for den enkelte berørte person ved den ekstra transporttid, der fremkommer herved, dvs. værdien af forsinkelse i trafikken.

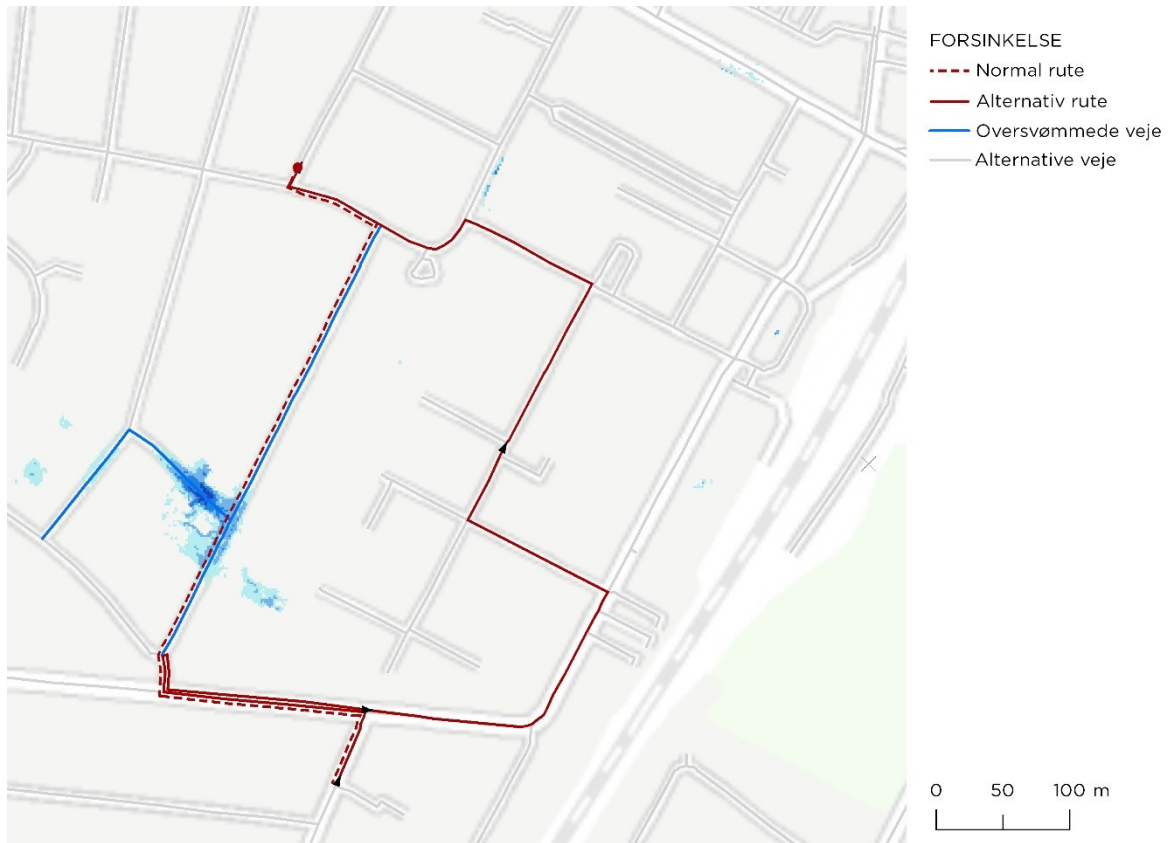
Værdisætningen af de samfundsøkonomiske omkostninger ved forsinkelser af bilister (privat og erhvervsmæssige) sker ved nedenstående trin:

1. Enhedsprisen for forsinkelser for bilister (private og erhverv) (kr./køretøjstime) indhentes fra TERESA [23] (276 kr./køretøjstime).
2. Information om årsdøgnstrafik (ÅDT) indhentes fra Gentofte Kommune.



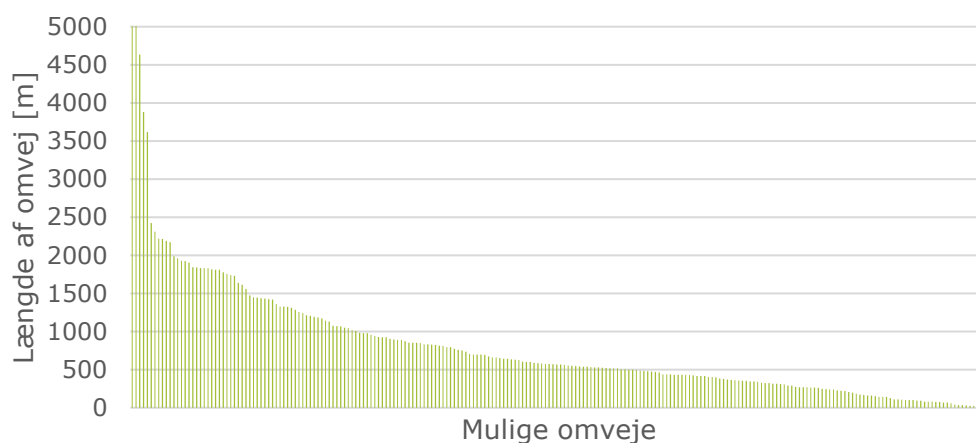
**Figur 84** Oversigt over de senest udførte trafikmålinger i Gentofte Kommune

3. Gennemsnitsværdier for hver vejtyper udregnes.
4. Der udføres en GIS-analyse for at finde den korteste omvej trafikken må tage for at komme uden om en oversvømmet vej (se Figur 85). GIS-analysen starter med at finde de veje, som er oversvømmede ved en given regnhændelse. Grænseværdien, for hvornår en vej defineres som at være oversvømmet, er 20 cm. De oversvømmede veje tages dermed ud fra vejnettet, hvilket betyder at trafikken må køre en omvej for at komme til den destination, som den oversvømmede vej vil have ført dem til. GIS-analysen antager, at alle de oversvømmede veje ikke er farbare og dermed forlænges omvejen, hvis flere veje er oversvømmet. GIS-analysen er teoretisk og finder den korteste vej, men der er ikke taget højde for, at det ved tilfælde af oversvømmelse kan være svært at finde den optimale og dermed hurtigste omvej, hvilket sandsynligvis forlænger omvejen i praksis.



**Figur 85** Eksempel på den hurtigste omvej når en vej er oversvømmet, hvilket er fundet ved at udføre en GIS-analyse.

GIS-analysen er foretaget på baggrund af oversvømmelsesresultater med det nuværende afløbssystem. Der er udført simulering for regnhændelser på baggrund af dagens klima og det forventede fremtidige klima. I Figur 86 er der vist antal mulige omveje for alle oversvømmede veje ved en 100-års regnhændelse i år 2117. På y-aksen vises længden af den omvej som kræves for at komme forbi en tilfældig oversvømmet vej. På x-aksen vises alle omveje, som er fundet, sorteret fra den længste til den korteste omvej. Der er i analysen antaget, at samtlige oversvømmede veje ikke kan bruges, hvilket forlænger omvejen.



**Figur 86** Udtræk på alle de mulige omveje, som er mulige ved oversvømmelse af en 100-års regn i år 2117 med det nuværende afløbssystem.

Resultater fra GIS-analysen for alle kortlagte oversvømmelsesresultater med det nuværende afløbssystem er vist i Tabel 71. Der er stort set lige mange situationer, hvor en omvej er mulig, som situationer, hvor en omvej ikke er mulig inden for oplandet. Bemærk, at der er mange lokaliteter, hvor det ikke er muligt at tage en omvej, og trafikken dermed reelt standser. Dette er tilfældet ved mindre lokale veje eller områder, som er lukket inde af en oversvømmelse.

**Tabel 71** Samlet oversigt over den gennemsnitlige længde af den hurtigste omvej forbi en oversvømmet vej ved forskellige regnhændelser.

Regnhændelse [år]	Sikkerhedsfaktor	Gennemsnitslængde af den hurtigste omvej [m]	Antal	
			Omvej er mulig	Omvej er ikke mulig
20	1,00	615	28	24
	1,23	860	77	66
	1,32	810	95	86
50	1,00	720	65	58
	1,16	665	108	84
	1,37	705	183	220
100	1,00	655	107	84
	1,18	725	163	196
	1,40	825	226	266
<b>Gennemsnit for alle regnhændelser</b>		<b>730</b>	<b>117</b>	<b>120</b>

GIS-analysen finder, at den gennemsnitlige omvej for oversvømmede veje er 730 m.

5. Det antages, at det tager 6 minutter ekstra at køre omvejen under skybrud, dvs. 0,1 time (dette er et skøn baseret på, hvor lang tid det tager at vende om og finde en anden vej til samme destination).
6. Det antages, at bilister vil være nødsaget til at tage omveje i op til to timer.
7. Ved at gange enhedsprisen per køretøjstime med ÅDT for vejtypen med den ekstra køretid per bilist og tidsperioden i hvilken omveje er nødvendige, fås fire forskellige enhedspriser – én for hver vejtype.

**Tabel 72** Information anvendt til forsinkelse - bilisme

Kategori	Værdi	Enhed	Kilde
Enhedspris for forsinkelse	276	kr./køretøjstime	TERESA [23]
ÅDT	1.591	biler/døgn	
Vej anden	5.612		
Vej 3-6 m	8.526		
Vej over 6 m	15,342		
Motorvej			
Gennemsnitlig omvej i kommunen	730	m	GIS-analyse
Tid for gennemsnitlig omvej	0,1	time	Antagelse
Forventet periode med omveje	2	timer	Antagelse

#### Vanddybde for forsinkelse - bilisme

Det antages, at bilister vil tage en omvej, når der ligger minimum 20 cm vand på en vej. Teoretisk set kan denne værdi være højere, men tærsklen sættes, hvor det forventes, at folk vil være usikre på vejens forløb og derfor vælger at tage en omvej i praksis. Denne tærskel gælder for alle vejtyper.

#### Implementering i CADSS af forsinkelse - bilisme

Som beskrevet i Afsnit 6.1 indhentes centerlinjer for Kortforsyningen. Centerlinjer indlægges i CADSS med 0,9 m buffer for alle vejtyper, og polygonerne løber fra vejkryds til vejkryds. Det antages, at hvis polygonen oversvømmes med 20 cm vand eller mere et sted på en strækning mellem to kryds, da udløses enhedsprisen for vejpolygonen. Der pålægges den samme buffer omkring centerlinjen uafhængig af vejtypen, da det antages, at en bil typisk er 1,8 m bred, og at vejens højdepunkt er i midten af vejen (en typisk kroneprofil). Dermed vil vandet løbe ud til siden, således at midten af vejen stadig er farbar for en bil, så længe der ikke ligger for meget vand i midten af vejen (op til 20 cm).

#### Bilag 5.3.3 Forsinkelse - kollektiv trafik

Forsinkelser på vejbanen påvirker også den kollektive trafik. Det betyder forsinkelser for buspassagererne i området, og derfor ekstra tid brugt på transport som følge af skybruddet. Enhedspriserne for forsinkelse i kollektiv trafik ses i Tabel 73.

**Tabel 73** Enhedsomkostninger for forsinkelse - kollektiv trafik

Kategori	Dybde	Værdi	Enhed	Kilde
Forsinkelse – kollektiv trafik (under 100 busser)	25 cm	12.300	kr./vej med under 100 busser	TERESA [23], DOT [24]
Forsinkelse – kollektiv trafik (100-149 busser)	25 cm	20.600	kr./vej med 100-149 busser	TERESA [23], DOT [24]
Forsinkelse – kollektiv trafik (150 busser og over)	25 cm	28.800	kr./vej med 150 busser og over	TERESA [23], DOT [24]

### Prissætning af forsinkelse – kollektiv trafik

Enhedsprisen for forsinkelser i den kollektive transport opgøres som værdien i kr. pr. bus pr. time (kr./bustime). Den beregnes ved følgende metode:

1. Forsinkelsestimeprisen for forsinkelser i den offentlige transport identificeres i kr./((person · forsinkelsestime) ved brug af TERESA [23] (329 kr./persontime).
2. Antal personer der påvirkes pr. bus identificeres:  
Under skybrud forventes det, at den normale busbelægning øges. Det antages derfor, at busbelægningen under skybrud svarer til 70% af maksimal passagerkapacitet i en gennemsnitlig bus. Her antages det, at dette svarer til 40 personer. Dette betyder, at for hver forsinket bus vil der være en tidsomkostning for 28 privatpersoner.
3. Antal personer pr. bus ganges med forsinkelsestimeprisen, herved beregnes enhedsprisen for omkostningen i kr./bustime, svarende til 13.160 kr./((bus · forsinkelsestime).
4. Ligesom for bilisme antages det, at den gennemsnitlige omvej for busser er 730 m, hvilket antages at give en forsinkelse på 9 minutter (0,15 timer). Forsinkelsen for busser er lidt højere end for privatbiler, da det antages at det tager lidt længere tid for en bus at vende om og finde en alternativ rute.
5. Døgntrafikken for busser udregnes ved at gennemse de relevante buslinjers køreplaner [24] og udregne det gennemsnitlige antal busser på de respektive veje per døgn. I oplandet er der 12 veje, hvorpå der kører busser. 1., 2. og 3. kvartilen for antallet af busser på disse veje er henholdsvis 68, 107 og 177.
6. Vejene inddeles i tre kategorier: Veje med under 100 busser (gennemsnit: 75 busser), veje med 100 til 149 busser (gennemsnit: 125 busser) og veje med 150 busser og over (gennemsnit: 175 busser).
7. Ved at gange enhedsprisen per bustime (13.160 kr./((bus · forsinkelsestime)) med døgntrafikken for vejpolygonen (75 busser/24 timer, 125 busser/24 timer eller 175 busser/24 timer) med den ekstra køretid per bus (0,15 timer) og tidsperioden, i hvilken omveje er nødvendige (to timer), fås enhedspris pr. vejpolygon, hvor der kører busser.

Den i trin 1, højere forsinkelsestid for forsinkelser i den kollektive transport, frem for ved bilisme, er fremkommet som følge af et betalingsvillighedsstudie foretaget af Danmarks Transportforskning. Det er derfor brugere af den kollektive transport, der har prissat forsinkelsestiden som højere end ved brugen af privat bil [44].

#### **Vanddybde for forsinkelse – kollektiv trafik**

Det antages, at busser vil tage en omvej, når der ligger minimum 25 cm vand på en vej. Tærsklen sættes lidt højere end for biler, da busser har større dæk og ligger tunge på vejen.

#### **Implementering i CADSS af forsinkelse – kollektiv trafik**

Ligesom for forsinkelser for bilisme indlægges centerlinjen fra veje med busruter i CADSS med den samme buffer for alle vejtyper, og polygonerne løber fra vejkryds til vejkryds. For forsinkelser af busser er denne buffer 1,4 m, da en bus typisk er 2,8 m bred. Det antages, at hvis polygonen oversvømmes med 25 cm vand eller mere et sted på en strækning mellem to kryds, da udløses enhedsprisen for vejpolygonen.

### **Bilag 5.4 Risiko for jernbane**

#### **Bilag 5.4.1 Skader (jernbane)**

Under skybrud kan afstrømmende vand føre til erosion i fundamentet omkring jernbaneskiner, og dermed føre til skader på banelegemet. Ydermere kan der forekomme skævsætninger i legemet, såfremt der stadig ligger vand i sporkassen, når der igen begynder at køre tog, da vandet reducerer sporets bæreevne. Derfor er det vigtigt at inkludere skader på jernbane i en risikokortlægning. Enhedsprisen for skader på banelegemet ses i Tabel 74.

**Tabel 74** Enhedsomkostning for skader på jernbane

Kategori	Dybde	Værdi	Enhed	Kilde
Skader - jernbane	10 cm	3.000	kr./m <sup>2</sup>	Infrastrukturkommissionen [25]

#### **Prissætning af skader**

Prisen for reparation af jernbane er estimeret baseret på værdier fra Danmarks Transportinfrastruktur 2030 [25]. Heri angives anlægsudgifter for jernbanebyggeri baseret på faktiske erfaringer fra et antal projekter. Anlægsudgifter varierer betydeligt alt efter banen og anlægsområdets karakter. Prissætningen for skader er gjort ud fra følgende trin:

1. Da det ikke forventes, at der ved renoveringer skal udgraves mere jord, eller at anlægget er særligt kompliceret, vælges den mest simple prisindikation i [25], som er Udbygning af enkeltspor til dobbeltspor. Prisindikationen herfor er 30 - 50 mio. kr./km.
2. Det antages, at skadesomkostningerne vil svare til 10% af omkostningerne for et nyt anlæg. Dermed er skadesomkostningerne for jernbane 10% af 30 mio. kr./km = 3.000 kr./m.

3. Det antages, at et jernbanespor er 1,0 m, hvorfor skadesomkostningerne for jernbane er  $(3.000 \text{ kr./m})/(1,0 \text{ m}) \sim 3.000 \text{ kr./m}^2$ .

### Vanddybde for skader

Det antages, at der ved meget lidt vand (10 cm) på banelegemet vil være behov for sikring/renovering af systemet.

### Implementering i CADSS af skader

Centerlinjen af jernbaner trækkes fra Kortforsyningen. Jernbaner er i Kortforsyningen inddelt i strækninger fra krydsning til krydsning. Til hver centerlinje pålægges en buffer på 2 m, således at et enkelt sæt skinner er 4 m bredt (med fundament). Alle skinner opløses til en enkelt polygon, der herefter opdeles i et 10 m × 10 m net. Dette gøres for at tage højde for, at skader vil ske lokalt på en strækning, og det er derfor ikke hele polygonen/strækningen, som skal benyttes i risikokortlægningen. Alle typer af skinner fra Kortforsyningen kan opleve skader; hovedspor såvel som sidespor og skiftespor.

Steder, hvor jernbaner løber over veje identificeres manuelt og trækkes ud af polygonen, da CADSS ikke kan se forskel på, hvilke polygoner, der ligger oven på andre. Ved at trække de overførte områder ud, undgås det at jernbaner fejlagtigt medtages i områder, hvor vandet vil løbe på vejen nedenunder.

#### Bilag 5.4.2 Forsinkelse (jernbane)

Når der sker forstyrrelser på jernbanen, resulterer det i enten kortere eller længerevarende forsinkelser for togpassagererne. Disse forsinkelser har en samfundsøkonomisk omkostning i form af den tabte tid ved forlænget rejse og ventetid. Enhedspriser for forsinkelse for tog ses i Tabel 75.

**Tabel 75** Enhedsomkostninger for forsinkelse for private på jernbanestrækninger

Kategori	Dybde	Værdi	Enhed	Kilde
S-tog B	10 cm	29.700.000	kr./strækning	DSB [26] [27], Rejseplanen [28], TE-RESA [23], Beredskabsstyrelsen [6],
S-tog C	10 cm	10.300.000	kr./strækning	TV2 [29], COWI [30]
S-tog E	10 cm	29.700.000	kr./strækning	
Kystbanen	10 cm	19.300.000	kr./strækning	

### Prissætning af forsinkelse

Værdisætningen af de samfundsøkonomiske omkostninger forbundet med forstyrrelser af jernbanetransporten opgøres for private. Der har ikke kørt godstransport på Kystbanen siden 1986, hvor man overgik til elektrificering af strækningen, hvorfor forstyrrelser af godstransporten ikke inkluderes i analysen.

Enhedsprisen til værdisætningen af den samfundsøkonomiske omkostning for forsinkelser for private opgøres pr. strækning. For forsinkelser på banenettet medtages både forsinkelser ved nedsat kørsel samt ved indstilling af kørsel og overflytning til togbusser.

Til beregning af enhedsprisen benyttes data fra Tabel 76.

**Tabel 76** Informationer indhentet om banetrafikken i Kildeskovsrendens opland

Forstyrrelse af banetrafik	Værdi	Enhed	Kilde
Togstrækninger	S-tog B, C og E; Kystbanen	Strækningsnavn	
Antal passagerer*	B & E: 26.507 C: 9.526 Kystbanen: 23.371	Personer/ (dag · strækning)	DSB [26]
Enhedspris for forsinkelse i kollektiv trafik	328,55	kr./((time · person)	TERESA [23]
<b>Forsinkelsestid</b>			
Nedsat kørsel	0,33	timer/ (person · strækning)	COWI [30]
Togbus (B & E/C/Kystbanen)	0,54/0,48/0,09	timer/ (person · strækning)	Rejseplanen [28]
Ingen kørsel/nedsat kørsel	2/7	dage	Beredskabsstyrelsen [6]
<b>Omkostning pr. strækning</b>			
Nedsat kørsel	109,52	kr./((person · dag · strækning)	COWI [30], TERESA [23]
Togbus (B & E/C/Kystbanen)	176,10/158,80/29,60	kr./((person · dag · strækning)	Rejseplanen [28], TERESA [23], TV2 [29]

\*Antal passagerer fundet for strækningen: S-tog B & E: Hellerup-Lyngby/Hillerød, for S-tog C: Hellerup-Klampenborg, Kystbanen: KBH – Helsingør/Nivå

Forsinkelsestid ved nedsat kørsel er opgjort på baggrund af COWI 2017, som opgør forsinkelsestid for S-tog. Det antages, at denne forsinkelsestid vil være den samme for Kystbanen.

Varigheden af forstyrrelser på banenet er taget fra rapporten fra Beredskabsstyrelsen [6] for skybrudshændelsen i København i 2011. Da tog typisk ikke kan køre på banen selv ved meget små mængder vand, antages det, at disse dages varighed er repræsentative for både mindre og større regnhændelser.

Enhedsprisen for forsinkelser for private beregnes ved nedenstående trin:

1. Togstrækningerne, der kører gennem området findes ved brug af DSBs hjemmeside og Google Maps.
2. Det gennemsnitlige antal passagerer pr. togstrækning pr. måned indhentes fra DSBs månedsrapport - august 2017 [27] og standardiseres til personer/(dag · strækning).

3. Enhedsprisen for forsinkelser i den kollektive trafik i kr./ (time · person) hentes fra TERESA [23].
4. Forsinkelsestid (timer/strækning) og varighed (dage) af forstyrrelse findes for hhv.:
  - Nedsat kørsel i timer/(person · dag)
  - Togbus i timer/(person · dag)
5. Omkostningen kr./ (person · strækning · dag) beregnes ved at gange forsinkelsestid pr. person pr. strækning fra trin 4 med enhedsprisen for forsinkelse fra trin 3.
6. Omkostningerne i trin 5 for hhv. nedsat kørsel og togbus ganges med antal passagerer pr. strækning (trin 2) og summeres pr. strækning (kr./strækning).

### **Vanddybde for forsinkelse**

Det antages, at kørsel vil blive udsat ved meget lidt vand (10 cm) på banelegemet.

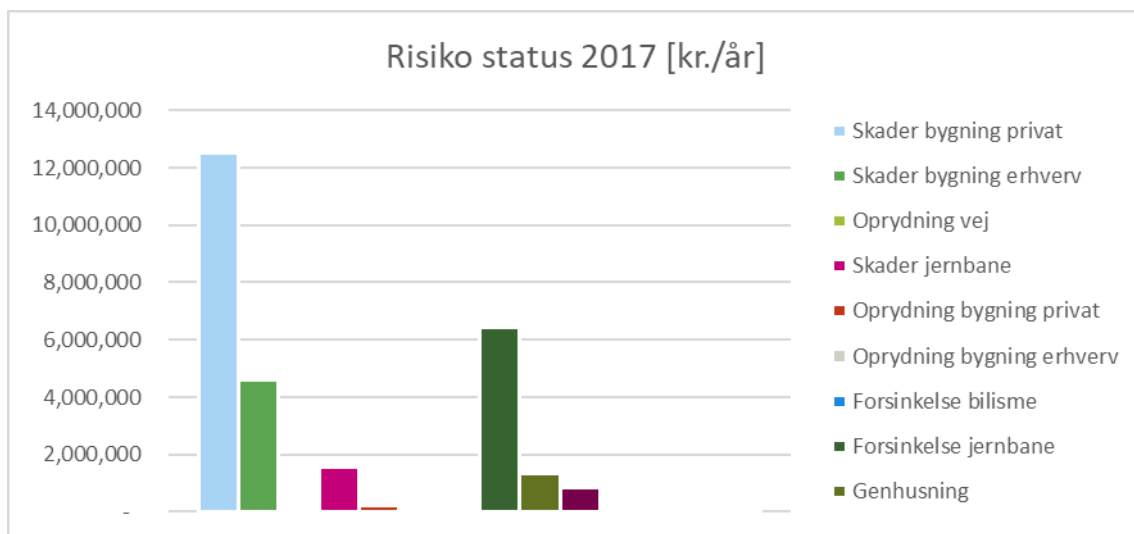
### **Implementering i CADSS af forsinkelse**

Centerlinjen af jernbaner trækkes fra Kortforsyningen. Jernbaner er i Kortforsyningen inddelt i strækninger fra krydsning til krydsning. Det er kun hovedspor, der udtrækkes fra Kortforsyningen. Til hver centerlinje pålægges en buffer på 0,5 m, således at et enkelt sæt skinner er 1 m bredt (eksklusivt fundament). Alle polygoner identificeres ved deres respektive navn på strækningen (B, C, E og Kystbanen). For hver strækning laves et helt polygon, således at der kun er fire hele jernbanepolygoner i modellen. Igen identificeres steder, hvor jernbaner løber over veje og trækkes ud af polygonerne, således at steder, hvor jernbanen er ført over vejen, ikke medtages.

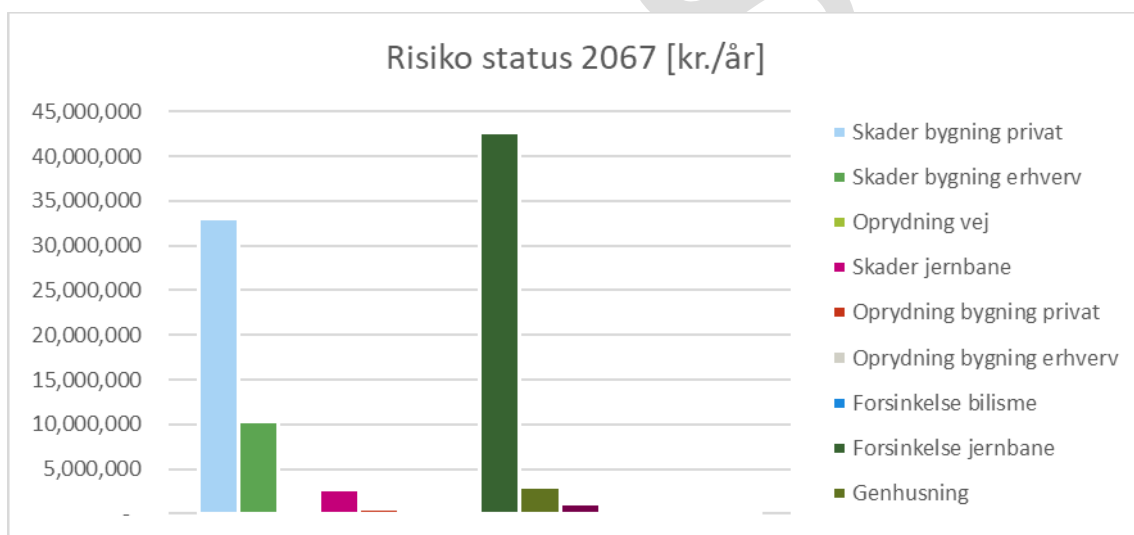
### **Bilag 5.5 Resultater**

I dette bilag præsenteres udvalgte resultater for risiko og skadesomkostninger. Det er igen værd at pointere, at risiko betegner de forventede årlige skadesomkostninger over en årrække, hvor der tages hensyn til sandsynlighederne for de inkluderede regnhændelser, mens skadesomkostningerne angiver omkostningerne til ét punkt i tiden efter en given regnhændelse.

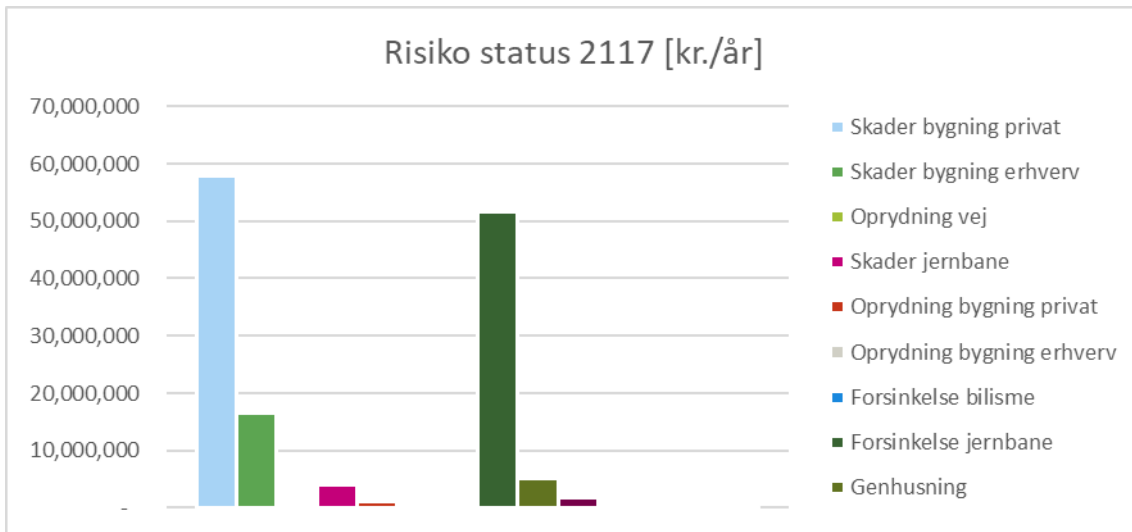
Bilag 5.5.1 Risiko (forventede årlige skadesomkostninger) for status



Figur 87 Risiko i 2017 for statusscenariet

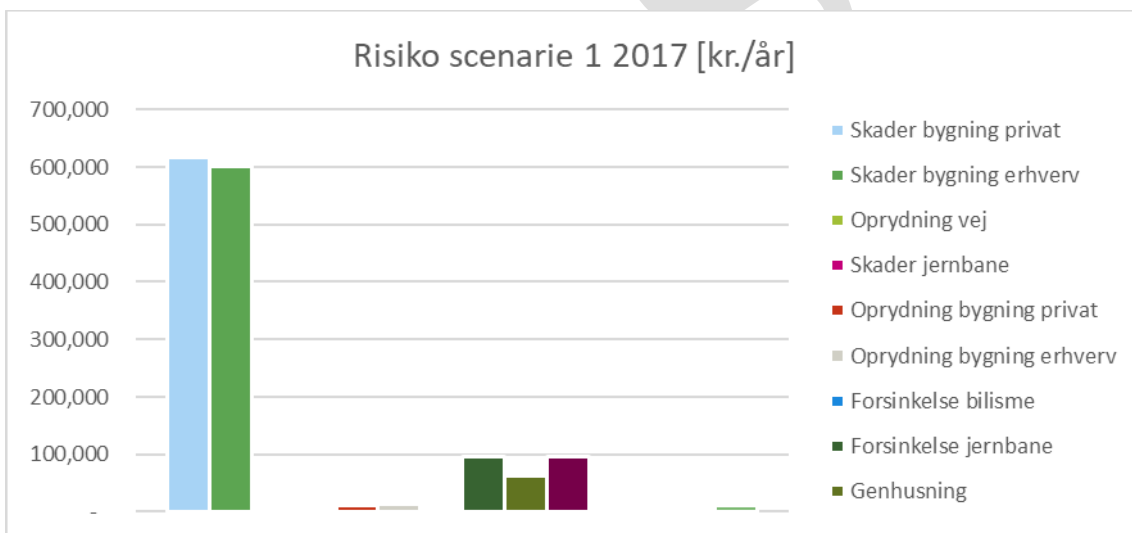


Figur 88 Risiko i 2067 for statusscenariet

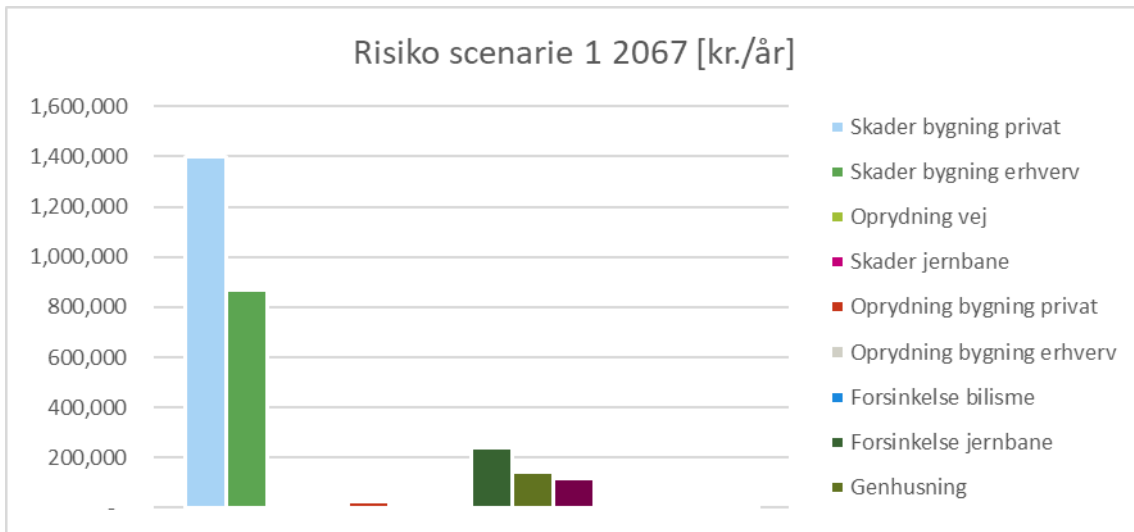


**Figur 89** Risiko i 2117 for statusscenariet

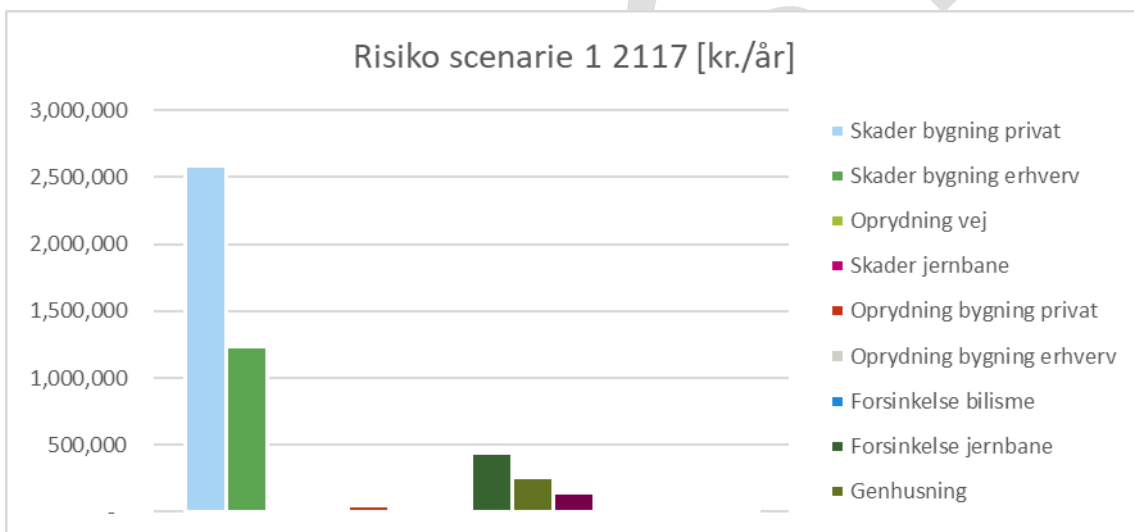
Bilag 5.5.2 Risiko (forventede årlige skadesomkostninger) ved S1



**Figur 90** Risiko i 2017 for scenarie S1

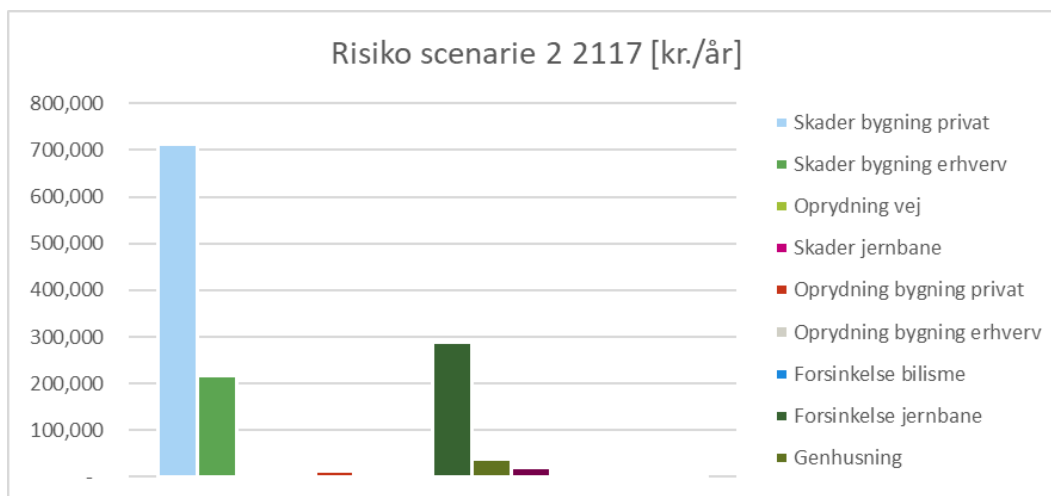


Figur 91 Risiko i 2067 for scenarie S1



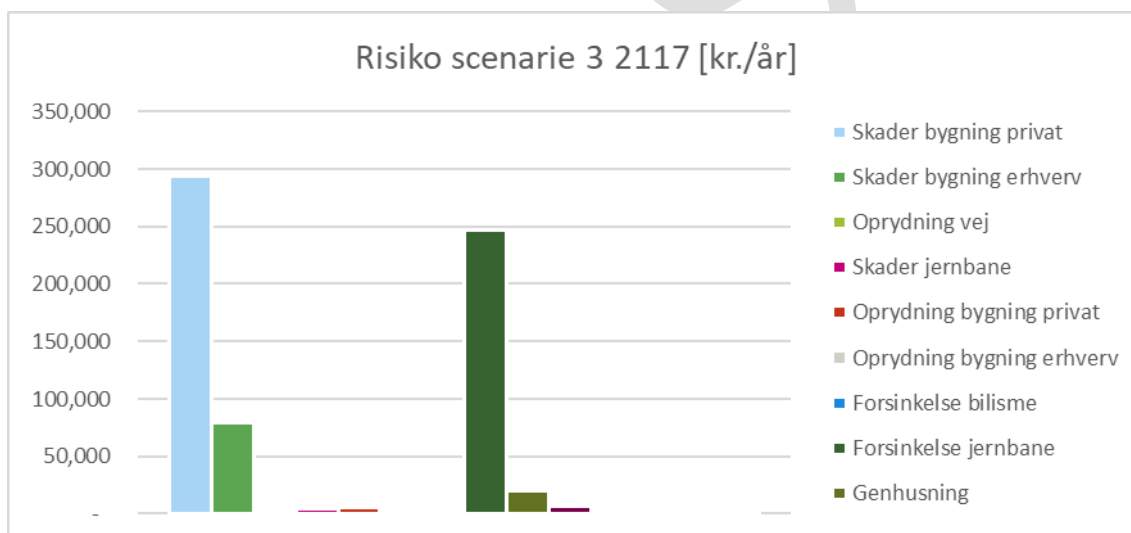
Figur 92 Risiko i 2117 for scenarie S1

Bilag 5.5.3 Risiko (forventede årlige skadesomkostninger) ved S2



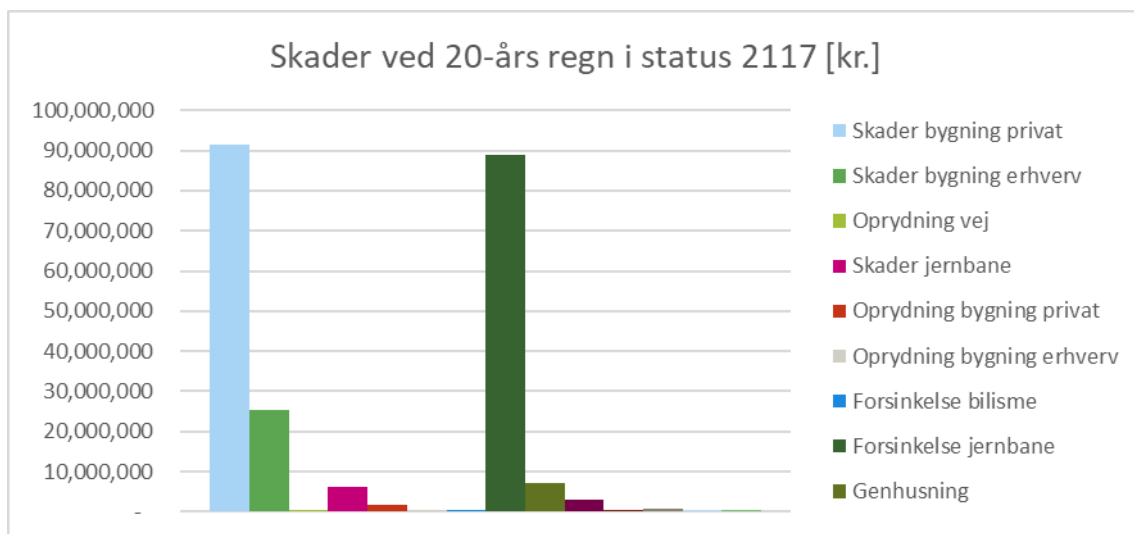
Figur 93 Risiko i 2117 for scenarie S2

Bilag 5.5.4 Risiko (forventede årlige skadesomkostninger) ved S3

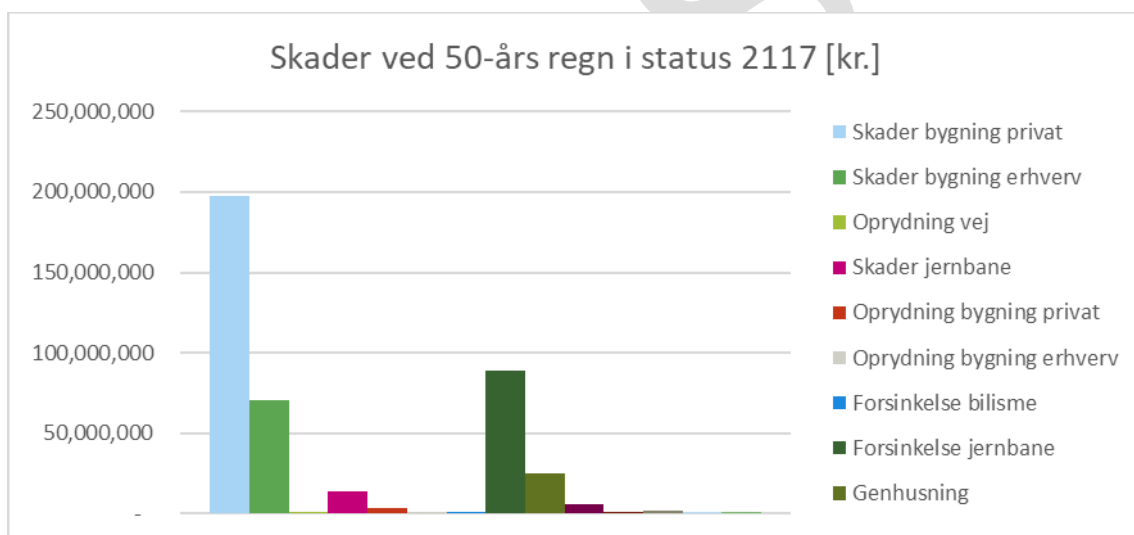


Figur 94 Risiko i 2117 for scenarie S3

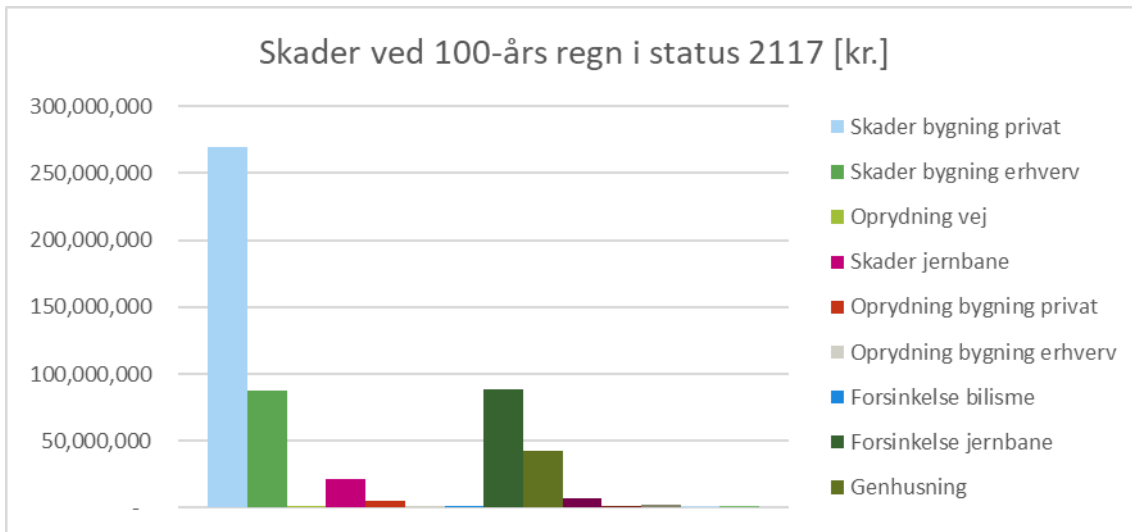
Bilag 5.5.5 Skadesomkostninger ved status



Figur 95 Skadesomkostningerne efter en 20-års regn i 2117 i statusscenariet

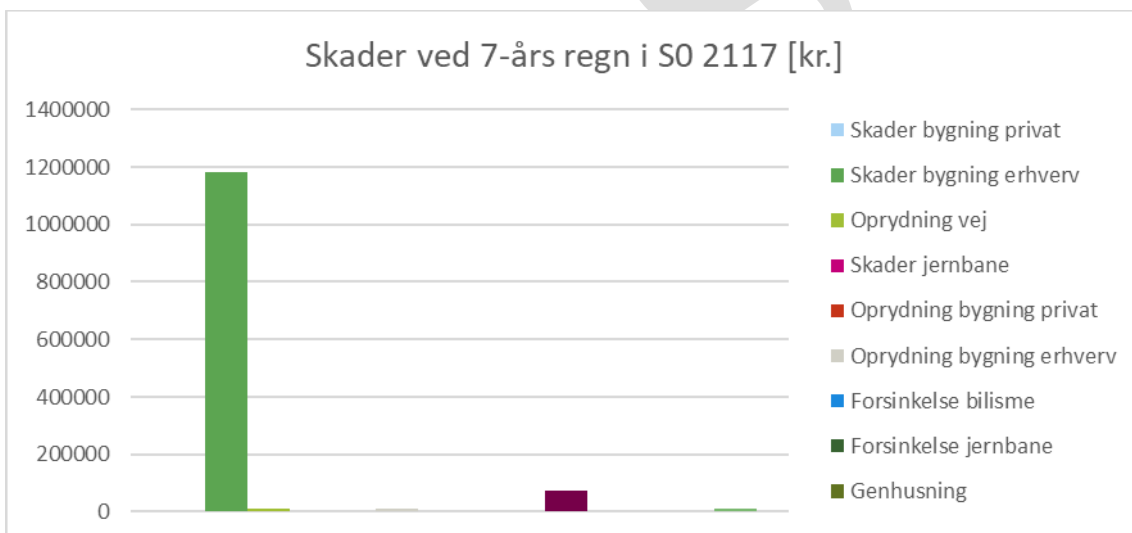


Figur 96 Skadesomkostningerne efter en 50-års regn i 2117 i statusscenariet

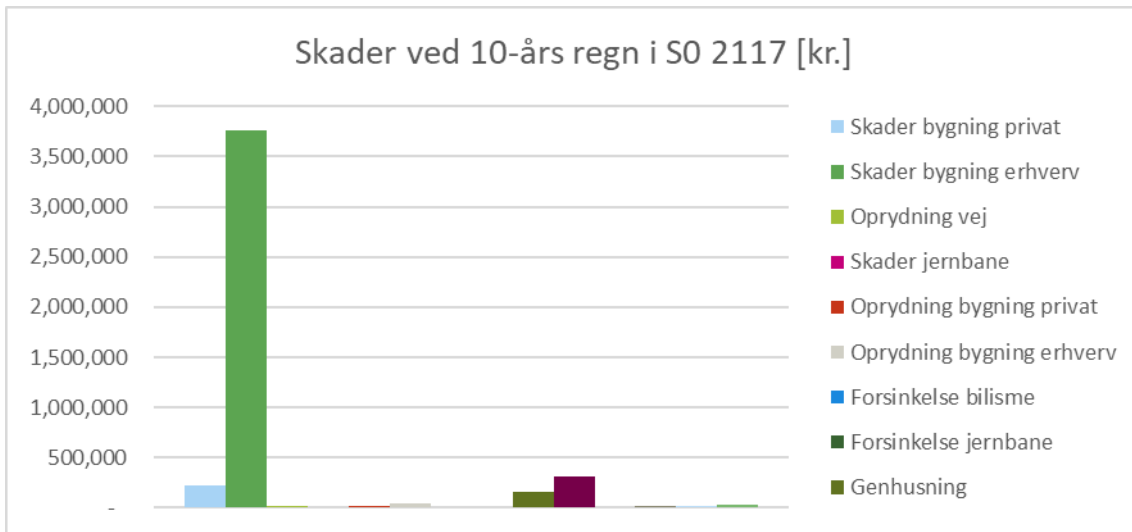


**Figur 97** Skadesomkostningerne efter en 100-års regn i 2117 i statusscenariet

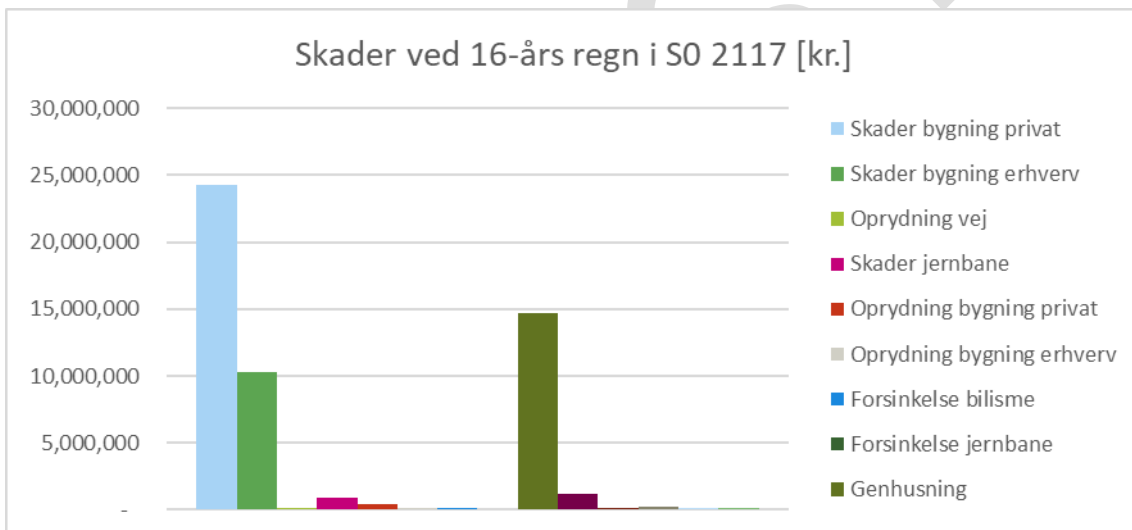
Bilag 5.5.6 Skadesomkostninger ved S0



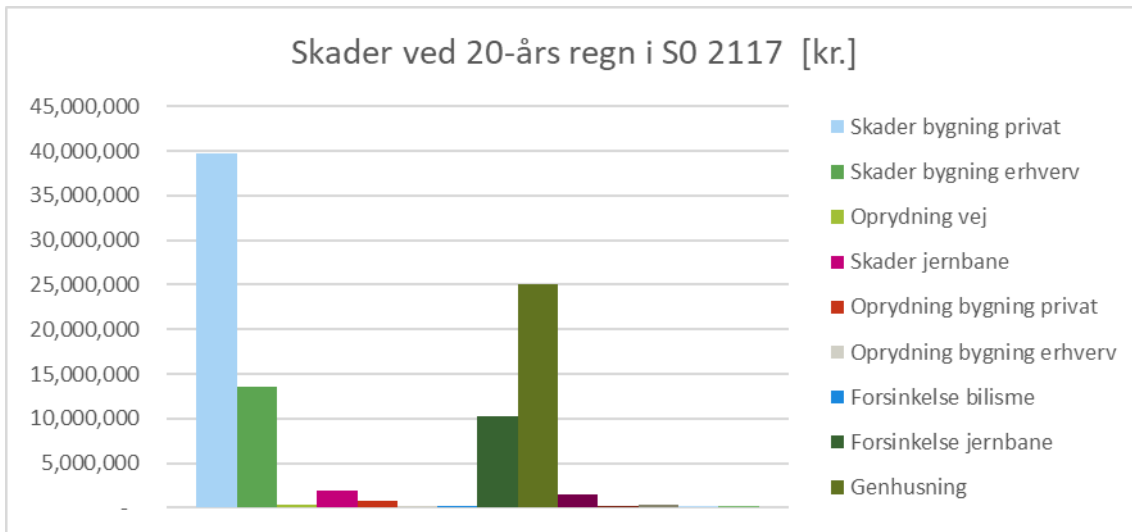
**Figur 98** Skadesomkostningerne efter en 7-års regn i 2117 i S0



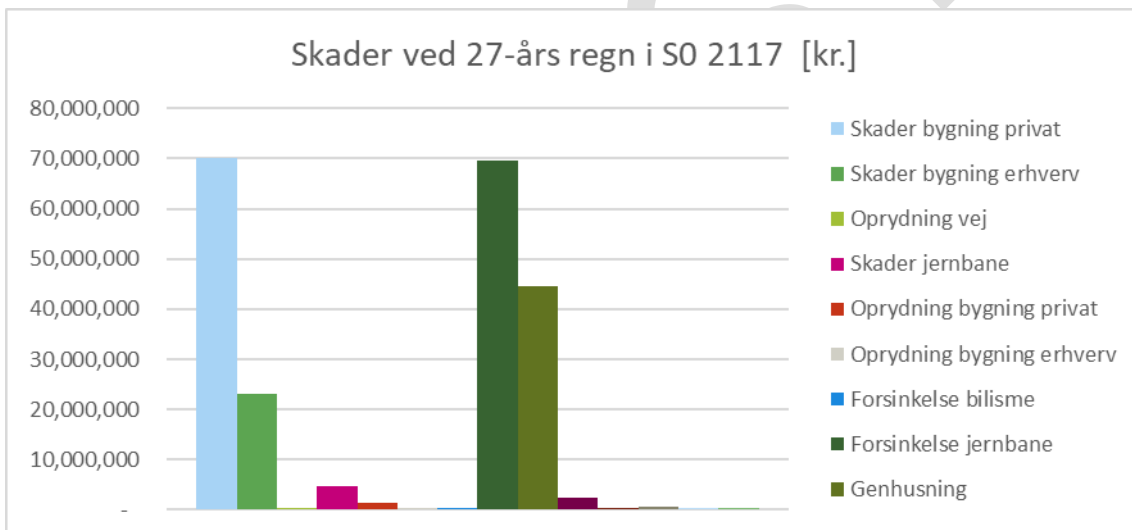
**Figur 99** Skadesomkostningerne efter en 10-års regn i 2117 i S0



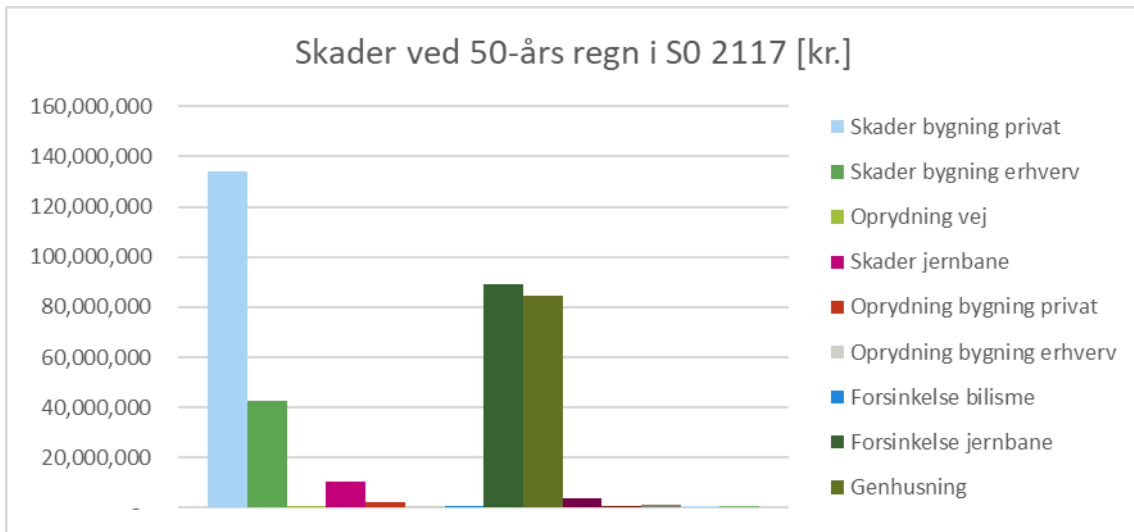
**Figur 100** Skadesomkostningerne efter en 16-års regn i 2117 i S0



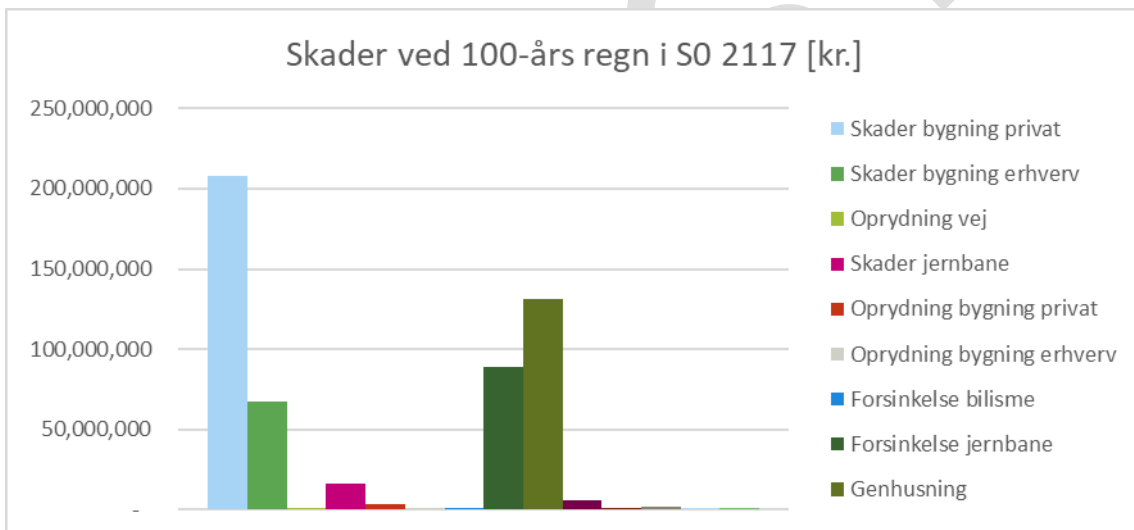
Figur 101 Skadesomkostningerne efter en 20-års regn i 2117 i S0



Figur 102 Skadesomkostningerne efter en 27-års regn i 2117 i S0

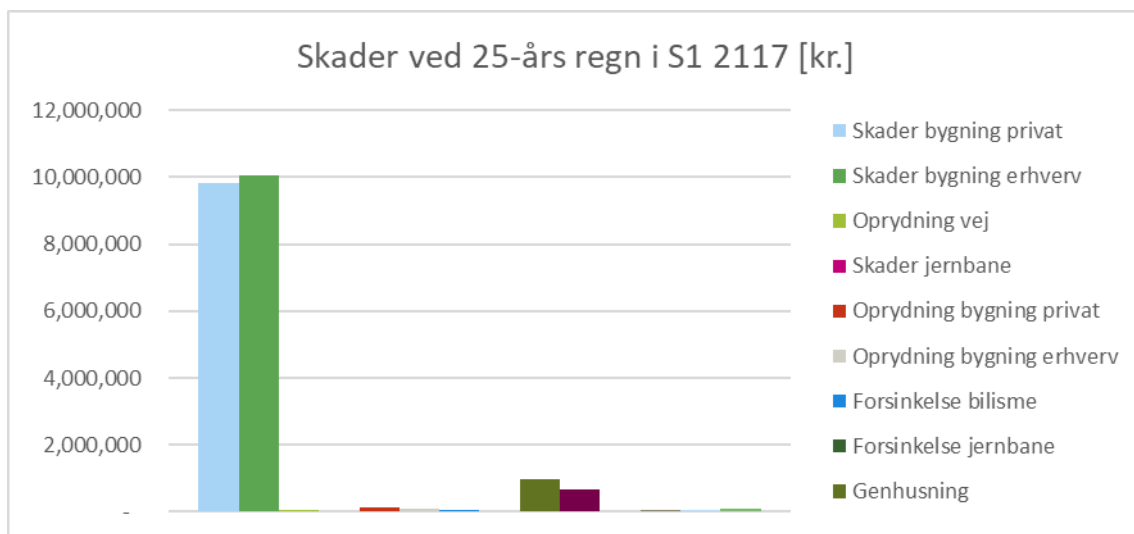


**Figur 103** Skadesomkostningerne efter en 50-års regn i 2117 i S0

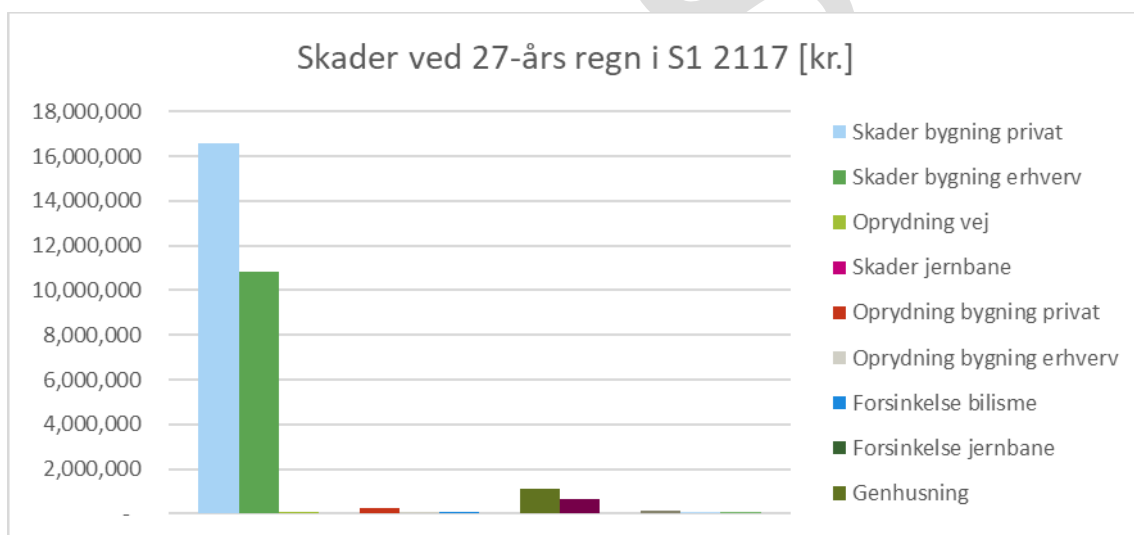


**Figur 104** Skadesomkostningerne efter en 100-års regn i 2117 i S0

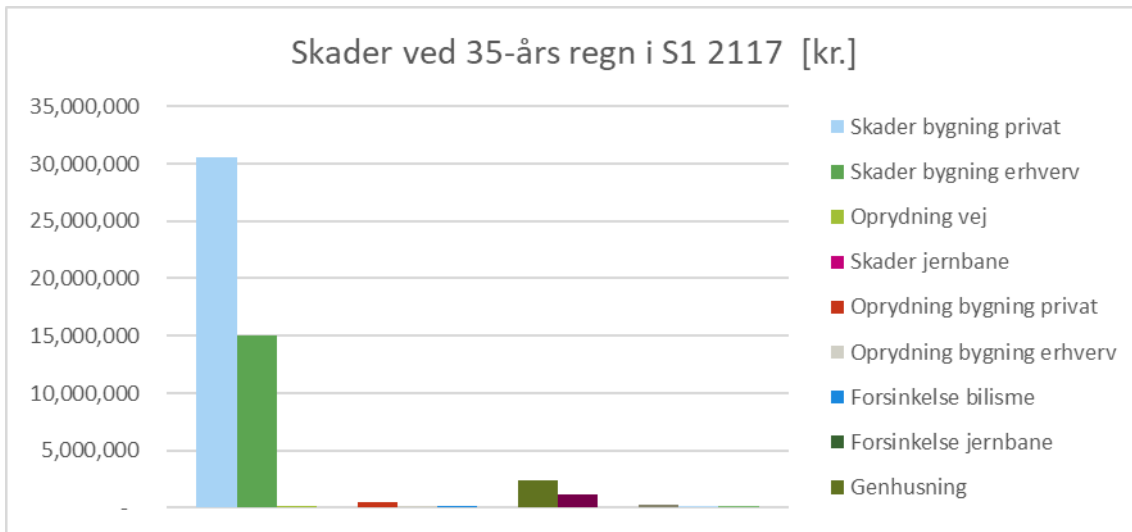
Bilag 5.5.7 Skadesomkostninger ved S1



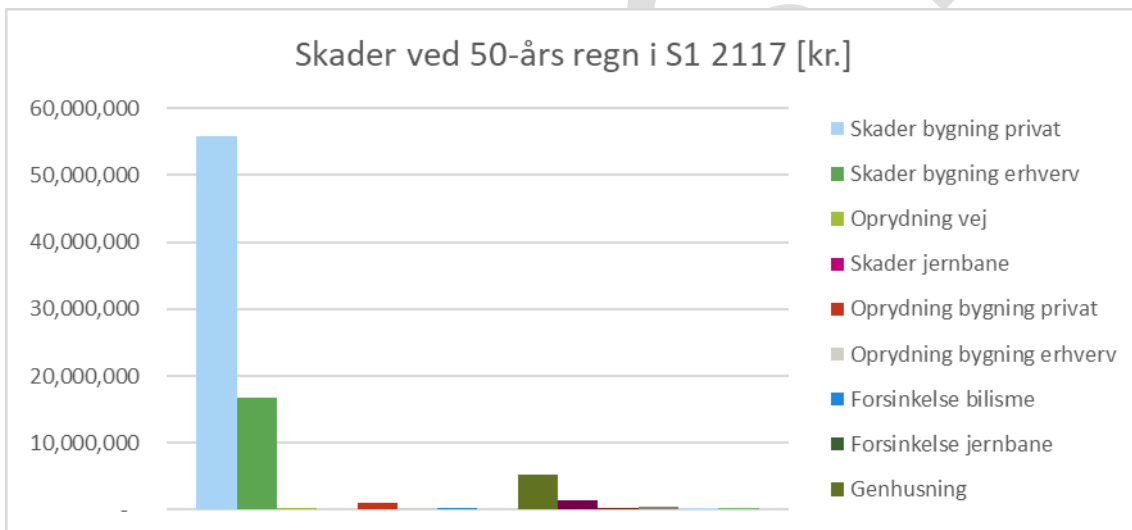
Figur 105 Skadesomkostningerne efter en 25-års regn i 2117 i S1



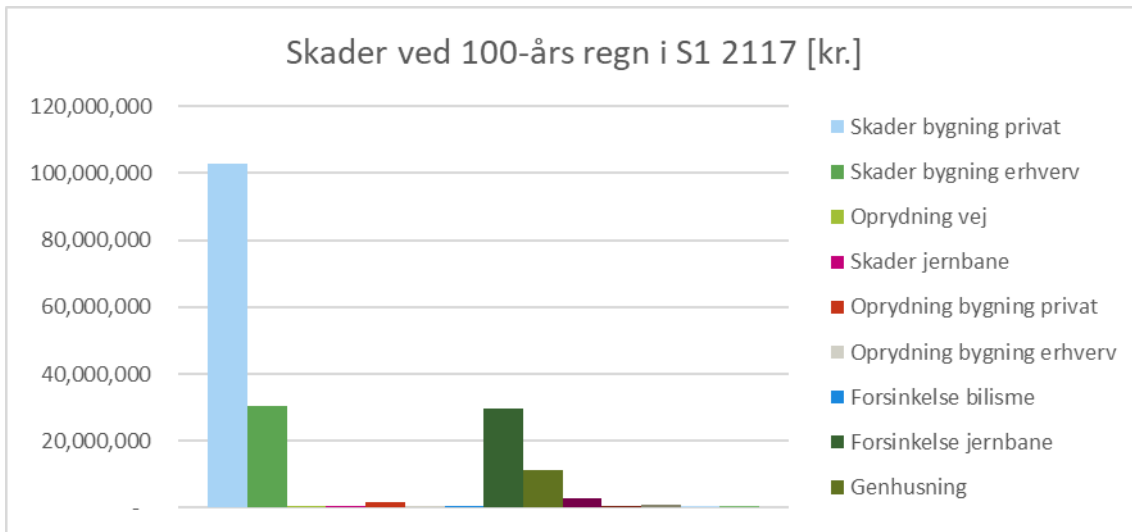
Figur 106 Skadesomkostningerne efter en 27-års regn i 2117 i S1



**Figur 107** Skadesomkostningerne efter en 35-års regn i 2117 i S1

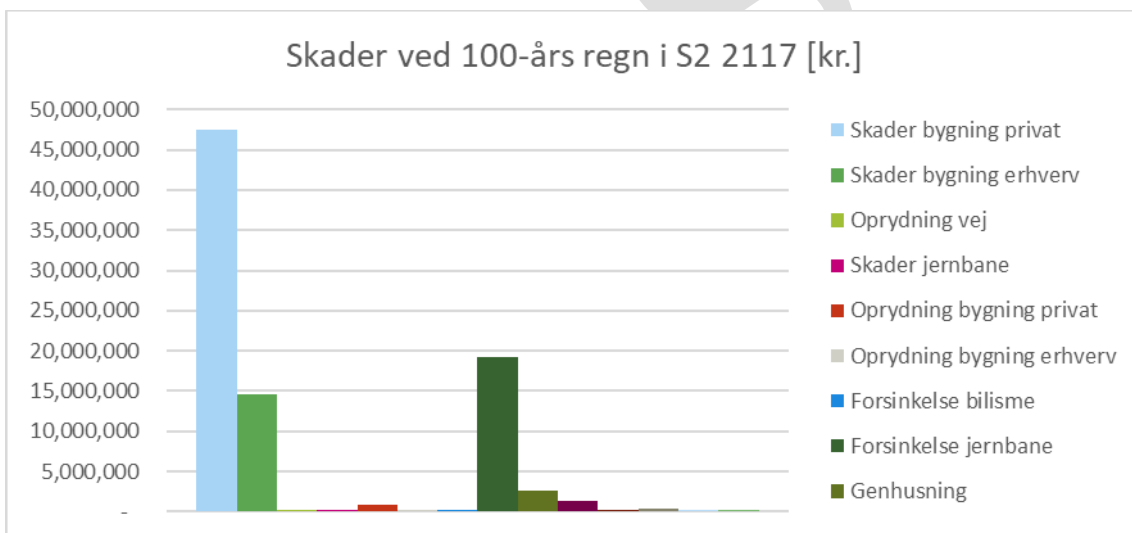


**Figur 108** Skadesomkostningerne efter en 50-års regn i 2117 i S1



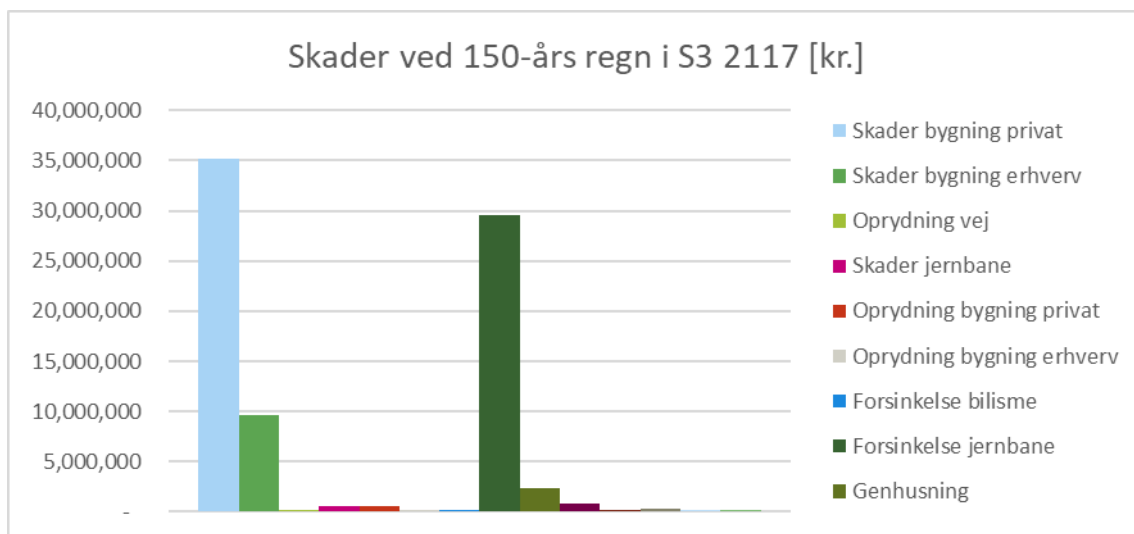
**Figur 109** Skadesomkostningerne efter en 100-års regn i 2117 i S1

**Bilag 5.5.8 Skadesomkostninger ved S2**



**Figur 110** Skadesomkostningerne efter en 100-års regn i 2117 i S2

Bilag 5.5.9 Skadesomkostninger ved S3



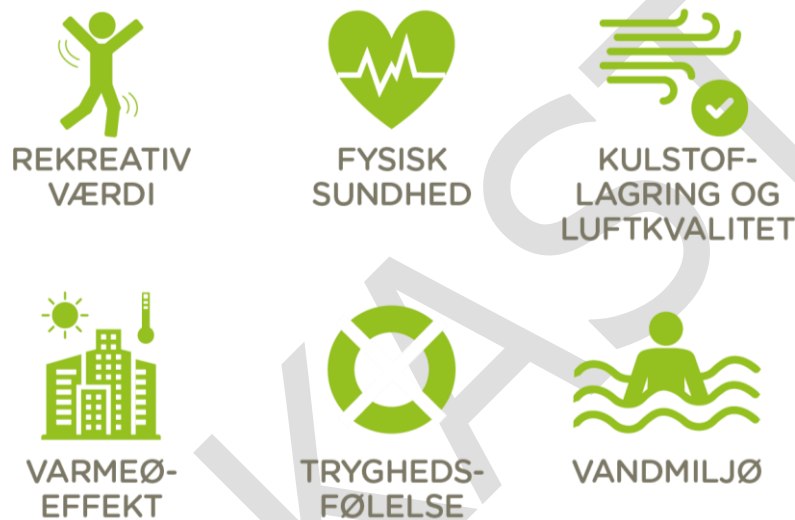
Figur 111 Skadesomkostningerne efter en 150-års regn i 2117 i S3

## BILAG 6 MERVÆRDI

Merværdier er en option, som kan inkluderes i en samfundsøkonomisk analyse. I indeværende analyse blev det besluttet ikke at inkludere merværdier som nærmere beskrevet i hovedrapporten, hvorfor metode for inkluderingen, prissætning af parametre samt resultaterne for merværdier i Kildeskovsrendens opland kun fremgår af dette bilag og ikke i hovedrapporten. Merværdiernes påvirkning på resultaterne for den samfundsøkonomiske analyse kan læses i Bilag 7.

### Bilag 6.1 Metode for beregning af merværdier

For Kildeskovsrendens opland bliver følgende seks merværdier beregnet kvantitativt:



**Figur 112** Merværdier, der inkluderes kvantitativt i den samfundsøkonomiske analyse

Heraf er fire merværdier (rekreativ værdi, fysisk sundhed, kulstoflagring og luftkvalitet samt varmemøeffekt) beregnet rumligt i FME, hvor identificerede merværdier sammenholdes geografisk med potentialeplanen samt afstanden til bygninger (private boliger såvel som erhverv). Potentialeplanen består af 12 forskellige underkategorier inden for fem typologier, men kun seks af underkategorierne er vurderet til at bidrage til merværdi via deres funktion eller design og indgår derfor i beregningerne. Figur 113 viser typologierne, der bidrager til merværdier. Således er de typologier og underkategorier, som udelukkende er underjordiske eller uden grønne elementer ikke inkluderet i analysen.



GRØNNE  
VEJE

Minimumsløsning

**Mediumløsning**

**Maksimumløsning**

**Boulevardløsning**

Skybrudsvej



GRØNNE  
OMRÅDER

Volumen i afløbsløs lagning

**Klimakryds**

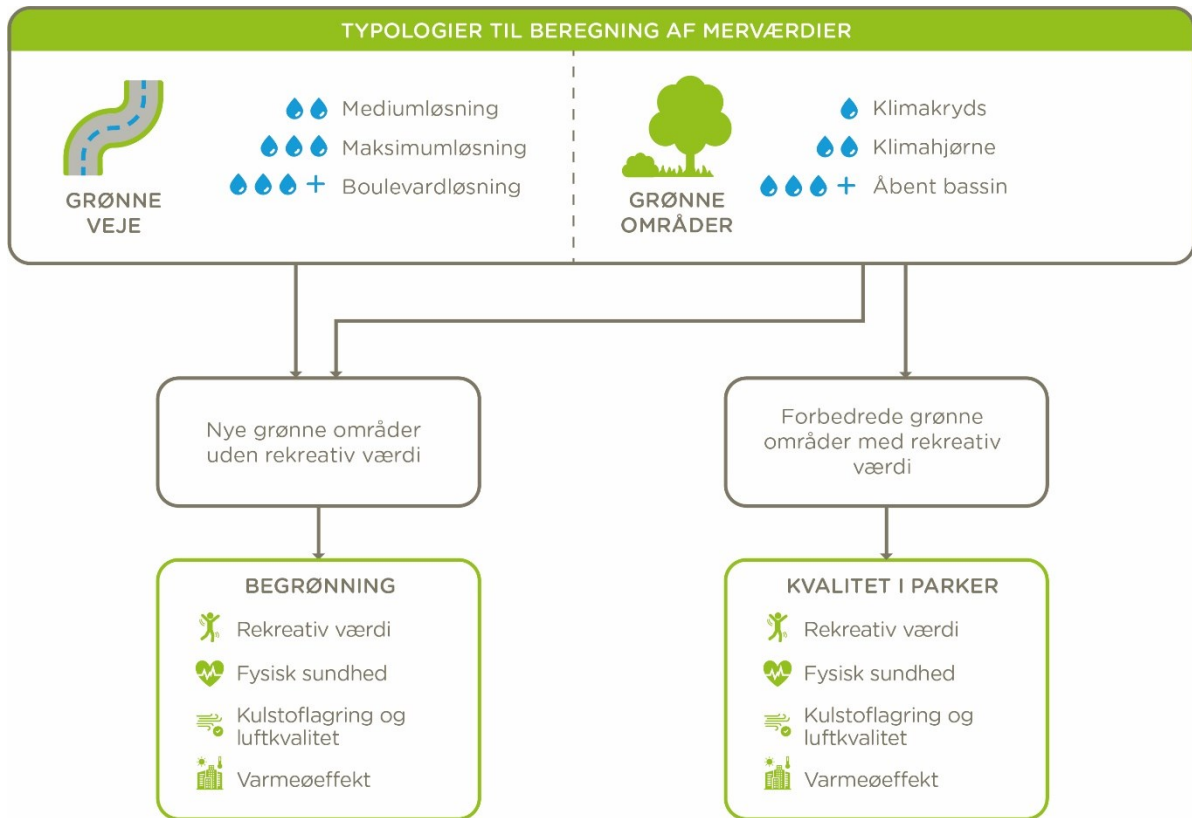
**Klimahjørne**

**Åbent bassin**

Underjordisk bassin

**Figur 113** Illustration af de seks typologier fra potentialeplanen, der anvendes til beregning af merværdier

Alle enhedspriser er udarbejdet i henhold til en rumlig repræsentation af enten bygning eller grønt areal i enhederne kr./ha eller kr./bygning, hvor der ved sidstnævnte er taget højde for husstandes gennemsnitlige størrelse i Gentofte (2,1 personer). Fire af merværdier bliver udtrykt på to niveauer: (1) som følge af et større kvalitetsløft i parker eller et større områdes indvirkning på merværdien og (2) som følge af mindre kvalitetsløft, herunder eksempelvis græs eller mange små begrønninger, fx de mange grønne bede i vejløsningerne (se Figur 114).



**Figur 114** Illustration af beregning af merværdier fordelt på henholdsvis "kvalitet i parker" og "begrønning"

De to resterende merværdier Vandmiljø og Tryghedsfølelse beregnes separat i Excel, da disse er uafhængige af den rumlige potentialeplan. Vandmiljø afhænger af antal reducerede overløb, mens tryghedsfølelse afhænger af serviceniveauet (se Bilag 6.5 og Bilag 6.9 for mere information).

Udover ovenstående blev følgende tre merværdier identificeret som relevante for Kildeskovsrendens opland under workshoppen afholdt i oktober 2017 (se Afsnit 7.2): Biodiversitet og økosystemtjenester, Branding og turisme samt Socialt miljø. Disse kunne dog ikke kvantificeres og er derfor ikke inkluderet i den samfundsøkonomiske analyse. En diskussion af værdierne kan dog læses i Bilag 6.10 til Bilag 6.12. Derudover blev trafiksikkerhed identificeret som en merværdi med højt potentiale, men da denne er meget afhængig af lokale forhold og endeligt detaljeret design, er den ikke inkluderet i indeværende projekt eller beskrevet yderligere.

I det følgende afsnit præsenteres resultaterne for merværdier, mens prissætningen af enhedspriserne gennemgås i afsnittene derefter.

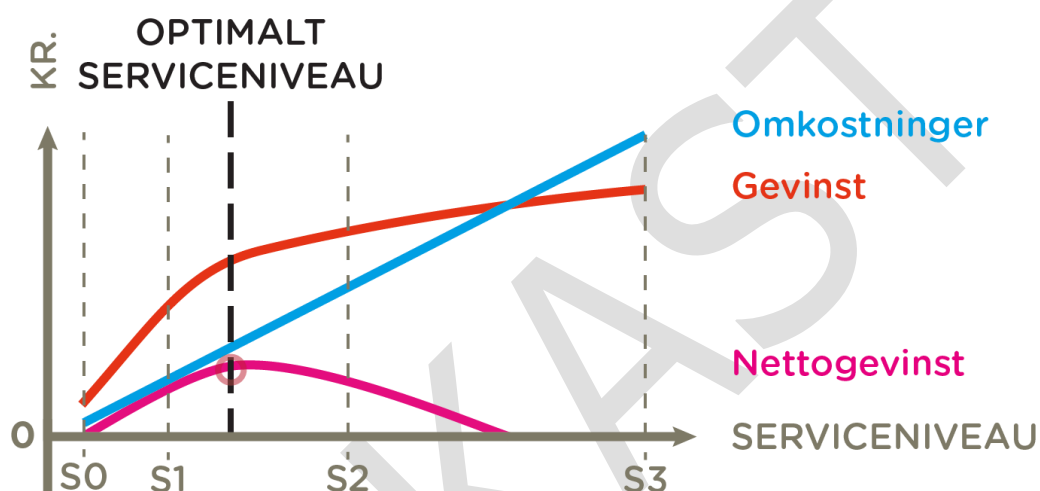
## Bilag 6.2 Resultater

Merværdierne er beregnet for året 2017, hvorefter de er fremskrevet i forhold til den forventede befolkningsudvikling i Gentofte og modelleret for den samlede projektperiode. Når merværdierne er fastlagt per år, tilbagediskonteres de og summeres til en samlet nutidsværdi.

**Tabel 77** Nutidsværdi af de merværdier, som sikringen til serviceniveauet skaber

Scenarie	Merværdi [mio. kr.]
Status	0
S0	0
S1	214
S2	272
S3	300

Merværdierne indgår i den røde kurve i grafen for nettogevinstkurven (jf. Figur 5, som er gengivet her i Figur 115) i den samfundsøkonomiske analyse. Idet S0 udelukkende består af rørløsninger, er der ikke nogen merværdier for denne løsning.



**Figur 115** Merværdier indgår i den økonomiske analyse som en del af gevinsterne sammen med de sparede EAD.

### Bilag 6.3 Rekreativ værdi

Klimatilpasningsløsninger, der inkluderer blågrønne områder, skaber værdi for borgerne som følge af adgang til nye eller forbedrede rekreative aktiviteter og udsigt til og viden om eksistensen af æstetiske og biodiverse områder (også kaldet biofilitet). Rekreative aktiviteter kan fx være en gåtur i parken, bade ved stranden, observere dyre- og plantelivet eller slappe af under skyggen af trækrone. Sådanne aktiviteter bidrager positivt til den mentale sundhed og er derfor værdiskabende for borgere og samfundet.

Værdiskabelsen ved blågrønne klimatilpasningsløsninger afhænger af samspillet mellem en række parametre; områdets størrelse, faciliteter, biodiversitet, geografiske lokation og kvalitet. Områdets størrelse har betydning for, hvilke rekreative aktiviteter, der er mulige, og hvor mange der kan benytte området ad gangen. Faciliteterne, fx hvorvidt der er installeret bænke eller skabt løbestier, har betydning for brugsformen af området. Biodiversiteten, dvs. mængden og variationen i områdets flora og fauna, understøtter ligeledes brugen af området, samt hvilke borgere der tiltrækkes, fx skoleklasser, der kan integrere læring om biodiversitet i undervisningen. Lokationen har betydning for, hvor mange der vil benytte området, hvor den fulde rekreative effekt for

borgerne opnås inden for en afstand på 500 m fra området og herefter falder i takt med, at afstanden øges [12].

Kvaliteten af området har indvirkning på den effekt, der kan opnås fra sammenspillet mellem parametrene. Et velholdt, blågrønt område med en bred og sund biodiversitet, nye løbestier og fitnessfaciliteter vil alt andet lige øge incitamentet for områdets borger til at gøre mere brug af området, end var dette blot en stor græsplæne med få bænke.

Forskellige klimatilpasningsløsninger, repræsenteret ved det serviceniveau løsningen sikrer til, resulterer i forskellige udformninger og designs af løsningens blågrønne områder. Sikrer løsningen til et lavere serviceniveau for regnvand på terræn, fx til en 20-års regnhændelse i 2117, vil dette kun kræve mindre indsatser i området, og derfor i mindre grad bidrage til værdiskabelse. Sikrer løsningen derimod til et højere niveau, fx en 100-års regnhændelse i 2117, vil dette kræve større indsatser og inddragelse af byområdets overflader. Rabalder Parken i Roskilde er et eksempel på, hvordan en større sikring til fremtidens oversvømmelser medførte et markant kvalitetsløft af de blågrønne områder i parken samt etablering af en skaterpark, der fungerer som oversvømmelsesbassin under skybrud [45].

For denne analyse er det endnu ikke kendt hvilke konkrete designs, klimatilpasningsløsningerne vil bidrage med. Derfor benyttes serviceniveauet for regnvand på terræn som en vejviser for løsningens bidrag til kvaliteten og hermed bidraget til værdien af de blågrønne områder. På baggrund af PLASKs beregning af den rekreative kr./ha-værdi er det vurderet, at den fulde rekreative værdi svarer til en løsning af højeste kvalitet, da den rekreative værdi er beregnet ud fra områder med havnebad, musikfestival, golfbane, aktivitetsparker etc. [46].

For klimatilpasningsløsninger i byer vil det ikke altid være muligt at skabe nye, større blågrønne områder såsom parker. Her kan man i stedet skabe begrønninger langs veje eller etablere løsninger i eksisterende, grønne områder, der herved giver området et kvalitetsløft.

Ved begrønninger sker der kun et mindre bidrag i form af rekreative muligheder eller øget biodiversitet, og derfor benyttes en "begrønningsfaktor" på 1/3 af den fulde rekreative kr./ha-værdi for at korrigere for dette.

I Tabel 78 og Tabel 79 ses den beregnede enhedspris for den rekreative værdi af hhv. større grønne arealer og begrønninger.

**Tabel 78** Rekreativ værdi – Større arealer

Rekreativ værdi	Værdi	Enhed	Kilde
Ved kvalitet tilsvarende sikring til 100-års regnhændelse			
<i>Inden for 0-500 m</i>	296.748,4	kr./ha·år	
<i>Inden for 500-1000 m</i>	59.349,7	kr./ha·år	
Ved kvalitet tilsvarende sikring til 50-års regnhændelse			Finansministeriet [46], PLASK 1.0 [12] og Rambølls egne vurderinger
<i>Inden for 0-500 m</i>	197.832,3	kr./ha·år	
<i>Inden for 500-1000 m</i>	39.566,5	kr./ha·år	
Ved kvalitet tilsvarende sikring til 20-års regnhændelse			
<i>Inden for 0-500 m</i>	98.916,1	kr./ha·år	
<i>Inden for 500-1000 m</i>	19.783,2	kr./ha·år	

**Tabel 79** Rekreativ værdi - Begrønning

Rekreativ værdi	Værdi	Enhed	Kilde
<i>Inden for 0-500 m</i>	98.916,1	kr./ha·år	[46], PLASK 1.0 og Rambølls egne vurderinger
<i>Inden for 500-1000 m</i>	19.783,2	kr./ha·år	

Værdierne afrundes til nærmeste tusinde i den videre beregning.

#### Prissætning af rekreativ værdi

Enhedsprisen for større grønne arealer beregnes på baggrund af størrelsen på arealet, kvaliteten af arealet (med serviceniveau som proxy) og borgerens afstand til arealet. Enhedsprisen (kr./ha) findes gennem følgende trin:

1. Enhedsprisen for rekreativ værdi pr. areal (kr./ha) indhentes gennem PLASK 1.0.
2. Den rekreative værdi fra PLASK 1.0 vurderes som svarende til højeste kvalitet af større grønne områder. Et serviceniveau til en 100-års regnhændelse antages at være repræsentativt for dette kvalitetsniveau. Derfor antages de lavere serviceniveauer at bidrage med et lavere kvalitetsniveau. Det korrigeres ved kun at benytte en andel af den fulde rekreative værdi for disse niveauer:
  - Serviceniveau til en 100-års regnhændelse i 2117, tildeles 1/1 af den fulde rekreative værdi
  - Serviceniveau til en 50-års regnhændelse i 2117, tildeles 2/3 af den fulde rekreative værdi
  - Serviceniveau til en 20-års regnhændelse i 2117, tildeles 1/3 af den fulde rekreative værdi
3. Trin 1 ganges med niveauerne i trin 2, hvilket giver en enhedspris for den rekreative værdi (kr./ha) alt efter kvaliteten/serviceniveauet.

4. Ud over arealet og kvaliteten har afstanden for borgeren til området betydning for værdien, der opnås. Andelen af den rekreative værdi, der opnås inden for afstandsintervaller, indhentes ligeledes fra PLASK 1.0:

- Den fulde værdi (kr./ha) benyttes for arealer i området 0-500 m
- For afstande 500-1000 m fra det grønne område benyttes 20% af den rekreative værdi
- For afstande over 1000 m tillægges ingen rekreativ værdi

Enhedsprisen for rekreativ værdi baseret på borgerens afstand til området beregnes herved som resultatet i trin 3 ganget kategorierne i trin 4. Dette giver kr. pr. ha/serviceniveau, inden for 0-500 m, 501-1000 m og for 1001 m og over, se Tabel 80.

Enhedsprisen for begrønning beregnes "kun" på baggrund af størrelsen på arealet og borgerens afstand til arealet, da der ikke sker variationer i kvaliteten af begrønning. Begrønning udregnes ud fra følgende antagelser:

5. Værdien pr. areal for begrønning antages at være 1/3 af den fulde rekreative værdi (kr./ha) fra trin 1, for at korrigere for den mindre effekt ved begrønning.
6. Den rekreative værdi ved begrønning er ligeledes afhængig af borgerens afstand til dette. De samme andele som i trin 4 anvendes og ganges individuelt på den rekreative begrønningsværdi fra trin 5.

De indhentede enhedsværdier ses i Tabel 80.

**Tabel 80** Andelsfordeling af den rekreative værdi (Kvalitetsbetinget)

Kvalitetsbetingelser	Værdi	Enhed	Kilde
Rekreativ værdi	296.748,4	kr./ha·år	PLASK 1.0 [12]
<i>Inden for 500 m</i>	100	%	PLASK 1.0 [12]
<i>501 – 1000 m</i>	20	%	PLASK 1.0 [12]
<i>1001 m +</i>	0	%	PLASK 1.0 [12]
For etablering af større områder			
<i>Sikring til 100-års</i>	1/1	Andel af den rekreative værdi	Rambøll
<i>Sikring til 50-års</i>	2/3	Andel af den rekreative værdi	Rambøll
<i>Sikring til 20-års</i>	1/3	Andel af den rekreative værdi	Rambøll
Begrønning	1/3	Andel af den rekreative værdi	Rambøll

#### Bilag 6.4 Fysisk sundhed

Øget fysisk aktivitet bidrager til befolkningens generelle sundhed og mindsker de samfundsøkonomiske omkostninger, der er forbundet med en inaktiv livsstil. Klimatilpas-

ningsløsninger kan bidrage til at øge borgernes generelle sundhed, da attraktive blå-grønne områder skaber øget incitament til udendørs, fysisk aktivitet. Størrelsen og især kvaliteten af områderne har betydning for graden af incitamentsskabelsen; æstetiske områder med et bedre udbud af aktivitetsfremmende faciliteter som løbestier eller sportsarealer gør det nemmere og mere attraktivt at benytte arealet til fysiske aktiviteter.

I områder, hvor der er tale om begrønninger, kan der også skabes et, dog mindre, incitament til øget, fysisk aktivitet, såsom løbe- og cykelture langs de grønne veje. Der vil her ikke være nogen mærkbar forskel i kvaliteten imellem klimatilpasningsløsningerne. Begrønningens bidrag til den generelle sundhed er således blot betinget af størrelsen på det begrønnede areal og dets nærhed til borgerne.

I Tabel 81 ses den beregnede enhedspris for merværdien ved generel øget, fysisk sundhed afhængigt af det grønne områdes specifikationer.

**Tabel 81** Reduktionen i sundhedsomkostninger grundet øget fysisk aktivitet

	Værdi	Enhed	Kilde
<b>Ved større rekreative områder</b>			
Kvalitet v. serviceniveau til 100-års regnhændelse			
0 - 500 m	1274,4	kr./ (år·bolig)	
501 - 1000 m	254,9	kr./ (år·bolig)	
Kvalitet v. serviceniveau til 50-års regnhændelse			
0 - 500 m	894,6	kr./ (år·bolig)	Danmarks Statistik (FOLK1A) [20], Motions- og ernæringsrådet [47], Sherer [48], Antagelse
501 - 1000 m	169,9	kr./ (år·bolig)	
Kvalitet v. serviceniveau til 20-års regnhændelse			
0 - 500 m	424,8	kr./ (år·bolig)	
501 - 1000 m	85,0	kr./ (år·bolig)	
<b>Begrønning</b>			
0 - 500 m	424,8	kr./ (år·bolig)	
501 - 1000 m	85,0	kr./ (år·bolig)	

Tallene afrundes til nærmeste 50-værdi i den videre beregning.

### Prissætning af fysisk sundhed

Enhedsprisen (kr./år·bolig) for værdien af befolkningens øgede, generelle sundhed, beregnes som gevinsten i reducerede omkostninger for samfundet ved øget, fysisk aktivitet. Beregningen består af omkostningen for samfundet som følge af en inaktiv livsstil, andel af borgerne, der går fra inaktive til aktive, kvaliteten af det grønne område og afstanden borgeren bor fra det nye område. Enhedsprisen beregnes individuelt for

større grønne områder, hvor gevinsten i generel sundhed også er kvalitetsbetinget, og for begrønning, hvor gevinsten er beregnet uafhængig af kvaliteten.

Fysisk inaktives omkostning for samfundet beregnes ved følgende trin:

1. Følgende tal indhentes fra Sundhedsstyrelsen (2007):
  - De årlige nettosundhedsomkostninger (kr./år) direkte relateret til inaktivitet
  - De årlige fraværsdage som følge af inaktivitet (dage/år)
  - Andelen af den voksne befolkning, der kategoriseres som inaktiv (%) i 2007 (antages at være gældende også i 2017)
2. Befolkningstallet hhv. på landsplan og for Gentofte Kommune i 2007 (over 18 år) indhentes fra Danmarks Statistik
3. Antal personer, der kategoriseres som inaktive, beregnes ved at gange befolkningstal fra trin 2 ganges med andelen af inaktive fra trin 1
4. Den gennemsnitlige omkostning/person pr. år beregnes ved:
  - Sundhedsomkostningerne (nettosundhedsomkostning fra trin 1/antal inaktive personer fra trin 3) og
  - Tabt arbejdsfortjeneste (antal fraværsdage fra trin 1/antal inaktive personer fra trin 3 ganget lønindkomsten for området [49])
5. Sundhedsomkostningen og tabt arbejdsfortjeneste fra trin 4 summeres og giver den samlede omkostning i kr./(person·år) som følge af inaktivitet

Andelen af borgere, der skifter fra fysisk inaktive til aktive beregnes ved:

6. Andelen af befolkningen, der vil skifte fra inaktive til aktive ved adgang til nye eller forbedrede, rekreative områder, indhentes fra Sherer [48]
7. Andelen fra trin 6 ganges med personomkostningen fra trin 5 og giver enhedsprisen for reduktion af inaktivitet, dvs. gevinsten i generel sundhed i kr./(person·år)

Kvaliteten af det grønne område bedømmes ved følgende antagelse:

8. Serviceniveau til 100-års regnhændelse antages, som ved den rekreative værdi, at give den fulde merværdi for generel sundhed. De lavere serviceniveauer antages derfor at give mindre incitament og derfor et reduceret bidrag. Andelen fordelt per serviceniveau, for værdien ved generel sundhed er derfor:
  - Serviceniveau til en 100-års regnhændelse i 2117, tildeles 1/1 af den fulde gevinst ved reduceret inaktivitet fra trin 7
  - Serviceniveau til en 50-års regnhændelse i 2117, tildeles 2/3 af den fulde gevinst ved reduceret inaktivitet fra trin 7
  - Serviceniveau til en 20-års regnhændelse i 2117, tildeles 1/3 af den fulde gevinst ved reduceret inaktivitet fra trin 7

Begrønning vurderes ved følgende antagelse:

9. Da begrønninger bidrager i mindre grad til en forbedring af den generelle sundhed, tildeles disse områder derfor begrønningsfaktoren 1/3 af gevinsten i generel sundhed, fra trin 7.

Som ved den rekreative værdi har afstanden for borgeren til området også betydning for den værdi, der opnås. Afstanden til området inkluderes ud fra følgende antagelser:

10. Andelen af værdien, der opnås inden for afstandsintervaller indhentes fra PLASK 1.0:
  - Den fulde værdi (kr./ha) benyttes for arealer i området 0-500 m af boligen
  - For afstande 501-1000 m fra det grønne område benyttes 20% af værdien
  - For afstande over 1000 m tillægges der ingen værdi
11. Enhedsprisen for værdi ved øget generel fysisk sundhed baseret på borgerens afstand til området beregnes herved som resultatet i trin 8 og trin 9, ganget kategorierne i trin 10.
12. Antal voksne personer pr. bolig ganges herved på værdierne fra trin 11. Dette giver kr./((år·bolig), inden for 0-500 m, 501-1000 m og for 1001 m og over.

De indhentede værdier til ovenstående beregninger ses i Tabel 82.

**Tabel 82** Generelle sundheds- og fysiskinaktivitets tal

Generelle sundhedsdata	Værdi	Enhed	Kilde
Befolkning, 18 år +	4.260.307	Personer	Danmarks Statistik (FOLK1A) [20]
Landsgennemsnit antal voksne pr. bolig	1,7	Personer	Danmarks Statistik (FU51) [20]
Andel af befolkningen der kategoriseres som inaktiv (Af den voksne danske befolkning, 18+)	35	%	Motions- og ernæringsrådet [47]
Antal fraværsdage, relateret til en inaktiv livsstil	3.100.000	dage/år	
Sundhedsvæsenets årlige nettoomkostninger relateret til fysisk inaktivitet	4.267.544.273	kr./år	
Andel af befolkningen i geografisk område, der lever op til forhøjet fysisk aktivitet som følge af adgang til rekreativt område	26	%	Sherer [48]
Begrønningsfaktor	1/3	Andel	Antagelse
<b>Værdiandel</b>			
0 - 500 m	100	%	
501 - 1000 m	20	%	PLASK 1.0 [12]
1001 m og over	0	%	

## Bilag 6.5 Vandmiljø

Klimatilpasningsløsninger kan forbedre det lokale vandmiljø ved at reducere det årlige antal overløb til fx lokale badestrande. Et forbedret vandmiljø øger kvaliteten af de services, det leverer som fx øget biodiversitet i søer eller bedre bademuligheder for strandgæster. Bedre bademuligheder omfatter færre lukkedage på strandene og dermed flere dage om året, hvor strandene kan benyttes til badning. Merværdien ved en forbedring af vandmiljøet er således den værdi, borgerne oplever ved at få flere dage om året med adgang til badning ved stranden.

Enhedsværdien for reduktionen i antal overløb ses i Tabel 83.

**Tabel 83** Merværdi ved reduceret antal overløb

Kategori	Værdi	Enhed	Kilde
Værdi ved reduktion i antal overløb	11.170,1	kr./dag med øget adgang til strand	Københavns Energi [50], Wikipedia [51], Danmarks Statistik [20]

Værdien afrundes til 11.000 kr./dag med øget adgang til strand i den videre beregning.

### Prissætning af vandmiljø

Enhedsprisen (kr./dag) for gevinsten ved forbedret vandmiljø beregnes på baggrund af antal dage stranden lukkes som følge af et overløb, betalingsvillighed pr. person for adgang til badning ved strand og antal daglige badegæster. Værdien beregnes ved følgende metode:

1. Antallet af lukkedage ved overløb baseres på, at der i dag findes et online sikkerhedssystem, der advarer borgere mod at benytte stranden i 24 timer efter et overløb til havet. Det antages, at borgerne overholder dette, og derfor vil ét overløb resultere i, at stranden ikke benyttes i 24 timer.
2. Borgeres betalingsvillighed i kr./ (person·år) indhentes fra en kundeundersøgelse foretaget af Københavns Energi (nu HOFOR), for badning ved Islands Brygge og Amager Strand (Københavns Energi, 2007). Det antages, at denne betalingsvillighed er repræsentativ også for borgere i Gentofteområdet.

Idet der ikke foreligger tal for antal besøgende til strande for Gentofteområdet, benyttes data for Amager Strand til at estimere antal badegæster under antagelse af, at standardiserede værdier fra dette område er tilsvarende for Gentofteområdet:

3. Antal besøgende pr. år ved Amager strand indhentes (1 mio.), og omregnes til antal besøgende/dag ved antagelse om 365 dage pr. år = 2.740 besøgende/dag.
4. Befolkningstallet for Amager indhentes fra Danmarks Statistik [20]
5. Andelen af områdets borgere, der besøger stranden beregnes ved: Besøgende pr. dag fra trin 3/ Befolkningstallet fra trin 4 = 1,4% af områdets borgere besøger stranden/dag.
6. Befolkningstallet for Gentofte Kommune indhentes fra Danmarks Statistik [20]
7. Det gennemsnitlige antal besøgende/dag til en strand i Gentofte beregnes som besøgsandelen fra trin 5 ganget befolkningen i Gentofte fra trin 6.
8. Gevinsten ved at reducere antal årlige overløb er således antal lukkedage/ overløb (trin 1) ganget betalingsvilligheden (trin 2) ganget gennemsnitligt antal daglige badegæster (trin 7).

Resultatet af beregningen af enhedsværdierne gennemgået i ovenstående trin ses i Tabel 84.

**Tabel 84** Generelle enhedsværdier til beregning af forbedret vandmiljø

	Værdi	Enhed	Kilde
Betalingsvillighed, pr. år	3.849	kr./år	Københavns Energi [50]
Antal besøgende pr. år ved Amager Strand	1.000.000	Antal	Wikipedia [51]
Antal beboere, Amager kommune	196.047	Antal	Danmarks Statistik (BEF4) [20]
Antal beboere, Gentofte Kommune	75.805	Antal	Danmarks Statistik (BY1) [20]
Andel af Amagers befolkning der benytter stranden, pr. dag.	1,4	%	Beregning
Gns. antal besøgende på stranden pr. dag i Gentofte	1059	Antal	Beregning
Antal dage stranden lukkes pr. regnhændelse	1	Dage	Gentofte Kommunes egen hjemmeside [52]

### Bilag 6.6 Urban varmeøffekt

Øget varmeøffekt opstår som følge af, at byudviklingen har reduceret den tidligere vegetationsdækkede overflade med asfaltering og bebyggelse. Asfalt, fortove, tagflader og bygninger er sammensat af materialer, der er langt mere varmeabsorberende end vegetation og vandområder. I Danmark er der på årsbasis ca. 0,5-1 °C varmere i byer end i det omkringliggende landskab. I sommerperioden betyder varmeøffekten dog, at byens temperatur kan stige helt op til 10°C i forhold til omkringliggende landskab [53].

En udskiftning af "grå" overflader til grønne gennem fx blågrønne klimatilpasningsløsninger kan bidrage til at reducere byens temperatur. Dette sker, fordi vegetation både skygger for solen samt reflekterer en del af indstrålingsenergien. Kølingseffekten fra klimatilpasningsløsningen afhænger af det blågrønne areals størrelse, udformning og temperatursvingningerne.

Højere temperaturer kan resultere i øgede såvel som reducerede omkostninger for samfundet. En højere temperatur om sommeren vil øge behovet for køling i bygninger, og dette vil alt andet lige øge udgiften hertil. Omvendt vil en højere temperatur i de koldere vintermåneder mindske forbruget på opvarmning af bygninger. Den samlede merværdi ved at reducere byens temperatur gennem etablering af grønne arealer afhænger således af nettoværdien fra hhv. de øgede udgifter til køling samt de sparede udgifter til varmeforbrug.

Enhedsprisen for merværdien ved balancering af den urbane varmeøffekt ses i Tabel 85.

**Tabel 85** Merværdi ved regulering af mikroklima

Gevinst ved reduceret energiforbrug (varmeeffekt og vind reduktion)	Værdi	Enhed	Kilde
Begrønning (bolig inden for 50 m)			
<i>Eksklusiv køling</i>	0,0004	kr./(m·bolig·år)	McPherson [52], EnergiMester [53], OK [54], Schroeder [55]
Park (bolig inden for 100 m)			
<i>Eksklusiv køling</i>	2191,9	kr./(ha·bolig·år)	

Værdien for parker afrundes til hele 100-tal i den videre beregning.

### Prissætning af urban varmeeffekt

Enhedsprisen (kr./m pr. bolig/år) for gevinsten ved reduktion i varmeeffekten som følge af nye eller forbedrede grønne områder, afhænger af vegetationens evne til at reducere energiforbrug, energiprisen og fordelingen af antal og type af træer for hhv. større arealer og begrønning. Værdien beregnes ved følgende metode:

- Årlige værdier for vegetations (træer) evne til at reducere energiforbrug (kWh/år) indhentes fra det internationale studie af McPherson et al. [54]:
  - Reduktionsevnen i energiforbrug til køling (kWh) for hhv. lille, mellem og stort træ alt efter placering på hhv. gaden eller i en offentlig park.
  - Reduktionsevnen i energiforbrug (naturgas) til opvarmning (kBtu) for hhv. lille, mellem og stort træ alt efter placering på hhv. gaden eller i en offentlig park. kBtu er en energienhed, som kan omregnes til mængden af naturgas i 1 m<sup>3</sup>.
- Energipriser indhentes for hhv. strøm (kr./kWh) og naturgas (kr./m<sup>3</sup>). Energi-prisen ganges på reduktionen i hhv. strøm eller varme fra trin 1 til enheden kr./(træstørrelse·år):
  - Der beregnes en enhedsværdi, der kun består af reduktionen i omkostninger til varme (benyttes såfremt, man antager, at der grundet de lave sommertemperaturer i Danmark ikke er udgifter direkte relateret til køling af boliger, som man ser det i USA, hvor studiet er fra).
- I forhold til fordelingen af antal og type træer for **større grønne arealer** findes et områdes optimale trætetthed fra studiet Shroeder & Green [55], hvor borgerne vurderer den optimale tetthed til 50 træer/acre.
- Antal optimale træer pr. acre (trin 3) omregnes til pr. ha: 20,2 træer/ha.
- Der gøres følgende antagelse (Rambøll), om fordelingen af hhv. små, mellem og store træer, af de 20,2 optimale antal træer/ha:
  - 20% er små træer
  - 60% er mellemstørrelse træer
  - 20% er store træer
- Antal af hhv. små, mellem og store træer pr. ha ganges med deres reduktionskapacitet i m<sup>3</sup>/(træ·år) i varmemeforbrug fra trin 1 og ganges med energiprisen fra trin 2 (kr./m<sup>3</sup>). Dette giver en enhedsværdi i kr./(ha·år).

7. Da træer kun kan beskytte nærliggende boliger mod vindforhold, der påvirker varmekonsumet, antages det, at gevinsten kun tilfalder boliger inden for 100 m af det grønne område. Enhedsværdien bliver således kr./ha·år inden for 100 m af det større grønne område.
8. I forhold til fordeling af antal og type træer for **begrønning** findes den optimale trætetthed anderledes for begrønning end for parker. Der foreligger ikke studier eller vurderinger direkte relateret til begrønning på dette område. Derfor gøres der følgende antagelse om antal træer pr. meter begrønning:
  - For små træer: 0,5 træer pr. m<sup>2</sup>
  - For mellemstørrelse træer: 0,1 træer pr. m<sup>2</sup>
  - For store træer: 0 træer pr. m<sup>2</sup>. Når der er tale om begrønning vil store træer ikke være ønskværdige at have midt i byens gader.
9. Antal af hhv. små, mellem og store træer fra trin 8 pr. m<sup>2</sup> ganges med deres reduktionskapacitet m<sup>3</sup>/(træ·år) i varmekonsum fra trin 1 og ganges med energiprisen fra trin 2 (kr./m<sup>3</sup>) hvilket giver en enhedsværdi i kr./ha·år, idet 1 m<sup>2</sup> er 0,0001 ha.
10. Det antages, at træerne ved begrønning kun kan beskytte mod vindforhold, der påvirker opvarmning, inden for 50 m.
11. Enhedsværdien bliver således kr./ha·år inden for 50 m af det begrønnede område

Enhedsværdierne, der er benyttet i ovenstående beregning, er opstillet i Tabel 86.

**Tabel 86** Generelle enhedsværdier til beregning vedr. den urbane varmeeffekt

	Værdi	Enhed	Kilde
<b>Besparelse i elektricitet</b>			
Lille træ (gadeplan / offentlig park)	27 / 16	kWh	
Mellemstort træ (gadeplan / offentlig park)	71 / 33	kWh	McPherson [54]
Stort træ (gadeplan / offentlig park)	99 / 55	kWh	
<b>Besparelse i varme</b>			
Lille træ (gadeplan / offentlig park)	797 / 823	kBtu	
Mellemstort træ (gadeplan / offentlig park)	1450 / 1534	kBtu	McPherson [54]
Stort træ (gadeplan / offentlig park)	2291 / 2137	kBtu	
Omregning af kBtu til m <sup>3</sup>	0,028	m <sup>3</sup> /kBtu	
Energipris: Strøm	2,25	kr./kWh	EnergiMester [56]
Energipris: Naturgas	2,51	kr./m <sup>3</sup>	OK [57]
Optimale antal træer pr. acre eller ha	50 / 20,2	Antal pr. acre / Antal pr. ha	Schroeder [55]

### Bilag 6.7 Kulstoflagring og luftkvalitet

Træer og buske kan rense luften for CO<sub>2</sub> og anden partikelforurening som NO<sub>x</sub> og SO<sub>x</sub>, som kan have væsentlige sundhedsmæssige konsekvenser. Grønne og til dels blå arealer fjerner i varierende grad forurening fra atmosfæren ved at binde de forurenende partikler i det organiske materiale, kaldet kulstoflagring, og ved at partiklerne lægger sig på blade og senere vaskes væk af regnen. Filtreringskapaciteten afhænger af bladarealet, og træer er derfor typisk bedre filtreringsvegetation end fx græs.

Blågrønne klimatilpasningsløsninger, der omlægger overflader fra ikke-organisk til organisk materiale, skaber således en merværdi for borgerne i lokalområdet gennem en forbedret luftkvalitet.

Enhedsprisen for gevinsten ved øget kulstoflagring og luftkvalitet pr. arealtype, ses i Tabel 87.

**Tabel 87** Værdien af reduktion i luftforurening

Gevinst ved øget kulstoflagring og luftkvalitet *	Værdi	Enhed	Kilde
Parkarealer	1.730.618,1	kr./(ha·år)	DTU [58]
Græsarealer	3.505,2	kr./(ha·år)	

\*Enhedsværdien er beregnet som afhængig af vegetationens filtrering og lagringsevne og ikke som en funktion af områdets trafikbelastning

Enhedsprisen afrundes til hhv. 1.731.000 kr./(ha·år) og 3.500 kr./(ha·år) i den videre beregning.

### Prissætning af kulstoflagring og luftkvalitet

Enhedsprisen (kr./ha·år) for kulstoflagring og forbedring af luftkvaliteten som følge af øgede grønne arealer beregnes på baggrund af enhedsomkostningen til samfundet ved udledning af partiklen og et grønt areals partikelreduktionskapacitet. Værdien beregnes ved følgende metode:

1. Enhedspriser for partikeludledningens omkostning til samfundet i kr./kg indhentes fra de Transportøkonomiske Enhedspriser og omregnes til kr./ton.
2. Arealers kapacitet for reduktion (kg/ha) for hhv. CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, andre partikler og SO<sub>x</sub> hentes fra tidligere Rambøll analyse for parkarealer Rambøll [59].
3. Reduktionsgevinsten (kr./kg) fra trin 1 ganges med arealtypens reduktionskapacitet pr. individuel luftpartikeltype fra trin 2 og summeres pr. arealtype.

Enhedspriserne benyttet i ovenstående trin er opstillet i Tabel 88.

**Tabel 88** Enhedsværdier til beregningstrin 1 og 2

Reduktion i luftforureningsgas	Værdi	Enhed	Kilde
<b>Parkarealer</b>			
CO <sub>2</sub> (carbondioxid)	55,0	kg/(ha·år)	
NO <sub>x</sub> (nitrogenoxid)	251,0	kg/(ha·år)	
O <sub>3</sub> (ozon)	863,0	kg/(ha·år)	
Partikler	654,0	kg/(ha·år)	
SO <sub>x</sub> (svovloxid)	234,0	kg/(ha·år)	Rambøll [59]
<b>Græsarealer</b>			
CO <sub>2</sub> (carbondioxid)	2,6	kg/(ha·år)	
NO <sub>x</sub> (nitrogenoxid)	23,3	kg/(ha·år)	
O <sub>3</sub> (ozon)	44,9	kg/(ha·år)	
Partikler	11,2	kg/(ha·år)	
SO <sub>x</sub> (svovloxid)	6,5	kg/(ha·år)	
<b>Emissionsomkostninger</b>			
CO <sub>2</sub> (carbondioxid)	0,08	kr./kg	
NO <sub>x</sub> (nitrogenoxid)	53,36	kr./kg	
O <sub>3</sub> (ozon)	53,36	kr./kg	DTU [58]
Partikler	1753,25	kr./kg	
SO <sub>x</sub> (svovloxid)	241,78	kr./kg	

## Bilag 6.8 Reduceret støjniveau

Vedvarende støj fra trafikerede veje resulterer i gener for beboerne, og over længere perioder kan det lede til mentale og heraf afledte fysiske sundhedsproblemer, der kan have store omkostninger for samfundet. Varieret beplantning i byer kan bidrage til at dæmpe støjniveauet. Klimatilpasningsløsninger, der indtænker støjreducerende beplantning, kan således bidrage positivt til samfundet.

Den faktiske reduktion i støj afhænger af vegetationstætheden, arealet og typen af beplantning. Specielt er træer den mest bidragsydende vegetation til støjreduktion. Beplantning, der kan reducere støj mærkbart, er fx tætbeplantet skov eller park i et ca. 30 m bredt bælte.

Enhedspriserne for merværdien af reduktion i støj afhængigt af arealets vegetations-type ses opstillet i Tabel 89.

Tabel 89 Enhedsværdierne ved støjreduktion

Gevinst fra reduktion i støj*	Værdi	Enhed	Kilde
Begrønning			
Tætbevokset vegetation, 100 m langt	410,7	kr./((bolig·år)	
Mediumbevokset vegetation, 100 m langt	205,3	kr./((bolig·år)	
Mindre parker			
Græsplæne m. medium vegetation/buskads	821,3	kr./((bolig·år)	PLASK 1.0 [12], Bolund og Hun- hammer [60], Green Blue Urban [61]
Græsplæne m. minimal vegetation/buskads	410,7	kr./((bolig·år)	
Større parker/skove			
Tætbevokset bælte (træer og buskads), 15-30 m langt	1.711,1	kr./((bolig·år)	
Medium bevokset bælte, 15-30 m	855,5	kr./((bolig·år)	

\*Gælder kun for boliger inden for 100 m af vegetation

Værdierne afrundes til nærmeste 100-tal i den videre beregning.

### Prissætning af reduktion af støj

Enhedsprisen kr./areal (m eller ha) for gevinsten beregnes på baggrund af betalingsvilligheden pr. person for at undgå støj og arealets støjreduktionskapacitet. Værdien beregnes ved følgende metode:

1. Borgerens betalingsvillighed for at undgå støjgener (kr./((SBT·person·år) indhentes fra PLASK 1.0. SBT er støjbelastningstallet, som er et vægtet udtryk for den samlede støjbelastning ved alle boliger i et område
2. Betalingsvilligheden fra trin 1 omregnes til kr./((dB·person·år) (1 dB = 0,005 SBT).

3. Vegetations evne til at reducere støj (dB/m<sup>2</sup>) indhentes fra en række internationale studier og inddrages i karakteristika for hhv. begrønning eller parklignende arealer:
  - **Begrønning**  
Tætbevokset & middel tætbevokset vegetation (100 m langt)  
Tætbevokset & middel tætbevokset buskads (100 m langt)
  - **Mindre parklignende områder**  
Græsplæne med medium vegetation (ha)  
Græsplæne med minimal vegetation (ha)
  - **Større grønne arealer/parker**  
Tætbevokset (15-30 m)  
Middelbevokset (15-30 m)
4. Hver vegetationskarakteristikas støjreduktionsevne fra trin 3 ganges med enhedsværdien kr./(dB·person·år) fra trin 2 og giver enhedsprisen kr./(m<sup>2</sup>·person·år), for hhv. begrønninger, mindre parklignende områder og større arealer.
5. Resultaterne beregnet i trin 4 for hver arealtype ganges med antal personer pr. bolig (2,1 personer for Gentofte Kommune).
6. Det antages, at borgeren oplever en reduktion i støjgener, når de bor inden for 100 m af det grønne område.

Enhedsprisen er således i kr./(m·bolig·år) for boliger inden for 100 m. Enhedsværdierne benyttet i beregningen ses i Tabel 90.

**Tabel 90** Enhedsværdier i beregningen af merværdien ved støjreduktion

Pris for støjreduktion	Værdi	Enhed	Kilde
Borgers betalingsvillighed for at undgå støj	26.074	kr./(SBT·år)	PLASK 1.0 [12]
Omregning af dB til SBT	0,005	dB/(SBT·år)	
Betalingsvillighed, i kr. pr. dB	130,37	kr./dB	
<b>Støjreduktion, pr. arealtype og vegetationskarakteristika</b>			
Begrønning	1,5-2	dB	
Tætbevokset vegetation, 100 m langt			
Medium bevokset vegetation, 100 m langt	0,75-1	dB	
Mindre, parklignende områder			
Græsplæne med medium vegetation/ buskads	3	dB	Bolund og Hunhammer [60], Green Blue Urban [61]
Græsplæne med minimal vegetation/ buskads	1,5	dB	
<b>Større arealer/parker</b>			
Tætbevokset areal (15-30 m)	6-7,25	dB	
Mindre tætbevokset areal (15-30 m)	4,5	dB	

## Bilag 6.9 Tryghedsfølelse

Udsigten til hyppigere og voldsommere skybrudsoversvømmelser i fremtiden som følge af klimaforandringer skaber utryghed for de boligejere, der bor i risikoområderne. En konstant følelse af utryghed for, hvorvidt bolig og interiør er sikker, hvis et skybrud skulle ske, lægger et mentalt pres på borgeren. En sådan utryghed og mental byrde reducerer de berørte borgeres livskvalitet. Det er her væsentligt at skelne mellem det mentale pres, man føler på grund af usikkerhed, dvs. relateret til forventningen, og den mentale stress og angst, man føler, når og efter en oversvømmelse sker, dvs. relateret til selve hændelsen.

Der ligger således en gevinst for samfundet i, at klimatilpasningsløsninger reducerer borgernes eksponering til og derigennem utryghed omkring fremtidige oversvømmelser. Et område, hvor man føler sig sikker at bo, er mere eftertragtet, end et område, hvor man føler sig utryg. Klimatilpasningsløsninger, der øger trygheden i et område, bidrager således til en øget efterspørgsel og derigennem øget ejendomsværdi.

En række internationale studier har fundet positive effekter på et områdes boligpriser, som følge af borgernes reducerede eksponering til klimarelaterede hændelser [62]. Resultaterne fra disse studier er benyttet i denne analyses værdisætning af en sådan tryghedseffekt.

Selve værdien af "tryghed" udtrykt ved effekten på boligpriserne er baseret på boligejerens egen vurdering, af hvorvidt denne føler sig tryk, som følge af områdets gældende serviceniveau. Det antages, at en borger har en begrænset tidshorisont for denne vurdering. Dette skyldes blandt andet, at en boligejer typisk kun vælger at bo i området i en begrænset periode. I værdisætningen af tryghed antages denne tidshorisont derfor at være tilsvarende den gennemsnitlige investerings- eller lånehorisont for et boligkøb (30 år).

Antagelsen om en 30-årig vurderingshorisont betyder, at sker der oversvømmelser med en frekvens svarende til en 20-års regnhændelse i 2017, vil borgeren have en forventning om at opleve et skybrud inden for sin vurderingshorisont og derfor ikke føle sig tryk. Omvendt hvis området er sikret til en 50-års regnhændelse i 2017, vil borgeren ikke forvente at opleve en oversvømmelse inden for denne horisont og derfor føle sig tryk som følge af det højere serviceniveau for regnvand på terræn.

Da klimaet udvikler sig over årene med øget nedbør og hyppighed, ændres borgernes vurdering af deres tryghed ligeledes i takt med, at de vil opleve en større risiko for at få oversvømmet deres bolig. Tryghedseffekten er derfor en funktion af både serviceniveau og år. Tabel 91 viser resultatet af beregningen af for hvilke serviceniveau og år, tryghedseffekten indtræffer.

**Tabel 91** Effekten på boligpriser ved øget tryghed grundet klimatilpasning, ved et givet serviceniveau

Serviceniveau for regnvand på terræn	Gevinsten indtræffer i (år)	Gevinsten op-hører i (år)	Værdi
2-9	Ingen	-	0%
10	2017	2022	3%
11	2017	2031	3%
12	2017	2037	3%
13	2017	2043	3%
14	2017	2049	3%
15	2017	2058	3%
16	2017	2066	3%
17	2017	2072	3%
18	2017	2078	3%
19	2017	2084	3%
20	2017	2089	3%
21	2017	2093	3%
22	2017	2097	3%
23	2017	2100	3%
24	2017	2104	3%
25	2017	2106	3%
26	2017	2109	3%
27	2017	2111	3%
28	2017	2113	3%
29	2017	2115	3%
30	2017	2116	3%
30-49	Alle	-	3%
50	Alle	-	3%
100	Alle	-	3%

For år uden for de i Tabel 91 listede perioder vil effekten på boligprisen være 0%.

#### **Prissætning af tryghedsfølelse**

Enhedsværdien (% af boligpris), defineret som en procentuel niveauforskydning for merværdien ved øget tryghedsfølelse, beregnes på baggrund af effekten på boligpriser efter sikring mod katastrofer, borgerens tidshorisont for vurdering af fremtidig tryghed

og sandsynligheden for oversvømmelser pr. serviceniveau. Værdien beregnes ved følgende metode:

1. Effekten på et områdes boligpriser efter sikring mod historisk forekommende naturkatastrofer er indhentet fra en række internationale studier [62].
2. En vurdering af deres sammenlignelighed med skybrudshændelser i Danmark er foretaget ud fra katastrofens individuelle parametre, fx geografisk omfang, omkostninger som følge af katastrofen, katastrofens type og sammenlignelighedsgrad og katastrofens geografiske lokation og derfor kulturforhold.
3. Effekten vælges fastsat som en binær værdi; enten føler man tryghed, eller også gør man ikke.
4. Tidshorizonten for borgerens vurdering af tryghed vælges på baggrund af den gennemsnitlige investerings- eller låneperiode ved boligkøb; 30 år.
5. Forventet antal oversvømmelser per år i årene 2017, 2047 og 2117 indhentes for:
  - Dimensionering til en 2-årig regnhændelse
  - Serviceniveau for 20-års regnhændelse i 2117
  - Serviceniveau for 50-års regnhændelse i 2117
  - Der indhentes ikke frekvenser for serviceniveau til en 100-års regnhændelse, da frekvensen for sikring til en 50-års regnhændelse allerede i hele perioden ligger uden for borgerens vurderingshorisont, og denne vil derfor føle tryghed i hele perioden 2017-2117 ved dette serviceniveau
6. Der antages på baggrund af en visuel vurdering af sammenhængen mellem punkterne fra trin 5 en lineær udvikling i oversvømmelsesfrekvensen mellem årene og serviceniveauerne.
7. Oversvømmelsesfrekvensen beregnes herefter, med den lineære antagelse fra trin 6, for de resterende år: 2017-2046 og 2048-2116. Dette gøres for alle serviceniveauerne 2-50 år.
8. De år pr. serviceniveau fra 2-50-års regnhændelser, der har en hændeshyp-pighed over 30 (dvs. de sker sjældnere end hvert 30. år i gennemsnit), tillægges en niveauforskydning i boligpris i form af tryghedseffekten; 3% af boligprisen tillægges som et fast niveau.
9. De år pr. serviceniveau, der har en hyppighed på 30 og under, dvs. de sker hyppigere end hvert 30. år, tillægges ingen effekt.

Trin 8 og trin 9 betyder, at der i en årrække kan være en tryghedseffekt for borgerne, men i takt med at oversvømmelserne sker oftere, og området ikke er sikret mod dette, vil de for lavere serviceniveau i fremtiden opleve oversvømmelser inden for deres vurderingshorisont.

### **Bilag 6.10 Biodiversitet og økosystemstjenester**

Byer kan danne ramme for et varieret økosystem, dyre- og planteliv. Klimatilpasningsløsninger giver mulighed for at indtænke blågrønne initiativer, der ud over at sikre området mod klimahændelser også styrker den biologiske mangfoldighed.

Værdien af øget biodiversitet og et forbedret økosystem kommer gennem de services, de leverer til samfundet. Disse services kan opdeles i fire kategorier [63]: 1+2) Supporterende og regulerende (fx kompostering og vandfiltrering), 3) provisionerende (fx tømmer til brug i produktion) og 4) kulturelle (fx rekreativ værdi og social sammenhørighed). De supporterende og regulerende services leverer kun en indirekte værdi for samfundet og er derfor meget vanskelige at prissætte. De provisionerende services leverer derimod goder, der kan anvendes direkte i produktion og er derfor nemmere at prissætte gennem disses markedspriser. De kulturelle services er dækket under den rekreative merværdi.

For denne analyse er der hovedsageligt tale om begrønning, der kun i begrænset grad bidrager til en øget biodiversitet eller et varieret økosystem. Bidraget afhænger af vegetationsmængden, -typen (om det er fx lokale planter med solid eksisterende insektkultur) og -variationen, samt om der skabes habitater. Det har derfor ikke været muligt i analysen ud over prissætning af den rekreative merværdi i Bilag 6.1 at kvantificere disse services yderligere.

### **Bilag 6.11 Branding og turisme**

Klimatilpasning er blevet et velkendt begreb, der giver byer og kommuner mulighed for at benytte sig af denne brandingværdi, klimatilpasning giver. Brandingen sker ved at etablere et nyt brand, fx "En klimasikker kommune styrker unges uddannelse". Det nye brand for kommunen signalerer således, at der er foretaget investeringer i klimatilpasninger, og hvordan de forbedrer forhold for kommunens borgere. At nævne klimatilpasning i denne sammenhæng kan således bidrage til at tiltrække øget opmærksomhed til kommunen og potentielt øget turisme.

Selve brandingværdien kommer som følge af den turisme og det antal tilflyttere til kommunen, klimatilpasningen skaber. Øget turisme og tilflytning skaber øget omsætning for de lokale forretninger og derigennem den lokale jobskabelse. For at klimatilpasningsløsninger og herved brandet genererer international såvel som national turisme, skal løsningsdesignet indeholde unikke æstetiske og rekreative faciliteter. Det kan fx være et unikt interaktivt og biodiversitets blågrønt område i parker med æstetiske faciliteter.

På nuværende tidspunkt finder internationale studier kun svage beviser, der understøtter en branding- og turismeværdi fra klimatilpasning for byer og kommuner [64]. Det anbefales i stedet, at merværdien beskrives kvalitativt. Det har således ikke været muligt for denne analyse at komme tættere på en prissætning af merværdien af branding og turisme.

### **Bilag 6.12 Socialt miljø**

Blågrønne områder som fx parker eller områder med adgang til søer giver mulighed for fysisk ophold og bliver ofte brugt som sociale samlesteder for ældre, familier og

ynge beboere i området. Muligheden for at samles og interagere i offentlige, åbne rum bidrager positivt til det sociale miljø i området [65]. Institutioner og skoler benytter ligeledes fx parkernes faciliteter som et led i undervisningen, hvilket understøtter bedre læring og interaktion med naturen.

Værdiskabelsen af de blågrønne løsninger for det sociale miljø afhænger af områdets faciliteter, design og udformning, så disse bedst muligt understøtter fx større forsamlinger i parken og biodiversitet, der understøtter læring. Effekten på det sociale miljø i projektets område kan derfor først analyseres nærmere, når sådanne faktorer for projektet er kendt.

UDKAST

## BILAG 7 OPTIMALT SERVICENIVEAU INKL. MERVÆRDIER

### Bilag 7.1 Merværdier i pengestrømsopgørelse

Som beskrevet i Afsnit 8.2.3 medfører hvert scenarie i varierende grad en række merværdier bestående af både engangsgevinster og en række løbende årlige gevinster. Den generelle inkludering af merværdier i en pengestrømsopgørelse beskrives i afsnittet, men inkluderingen af tryghed adskiller sig fra denne generelle opstilling og uddybes derfor i dette afsnit i de næste afsnit.

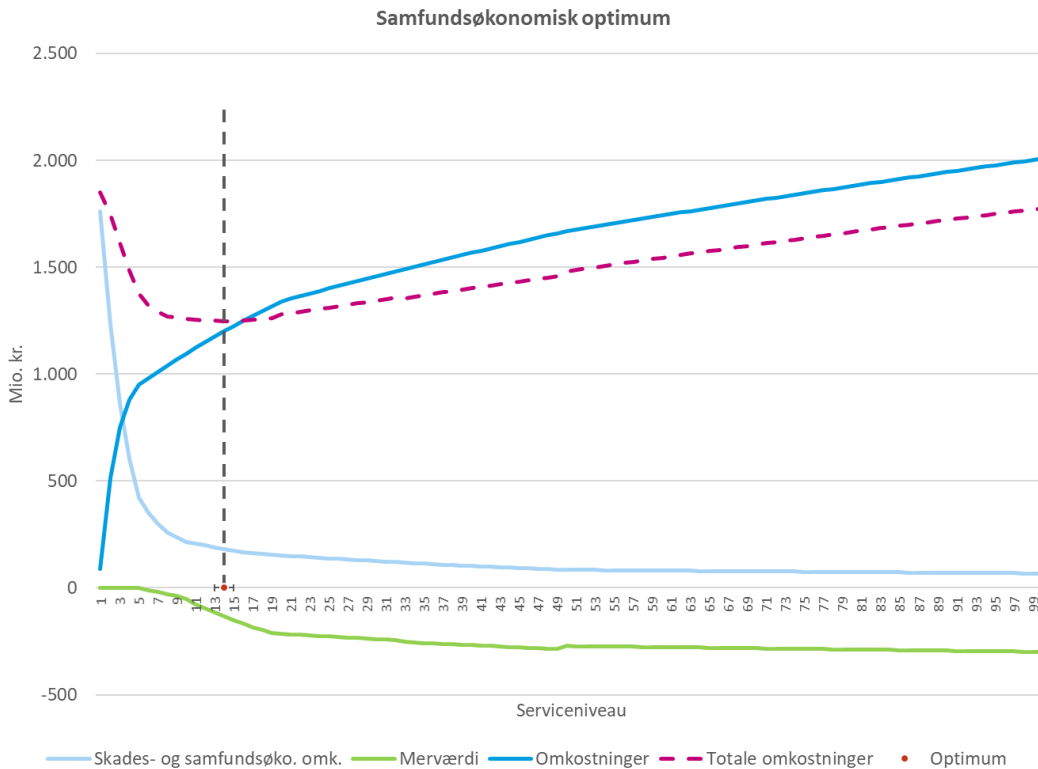
Merværdien fra tryghedsfølelse ved at sikre mod oversvømmelser af boliger er en engangseffekt, der kun indtræffer det år, hvor boligen første gang sikres. Yderligere årlige gevinster indtræffer derefter kun, hvor der sker en positiv udvikling i antal sikrede boliger. Gevinsten forsvinder ligeledes fra det år, hvor beboeren ikke længere føler sig tryk.

Antallet af bygninger, der oversvømmes i hhv. status og de fire serviceniveauer beregnes i CADSS for årene 2017, 2067 og 2117, som nærmere beskrevet i Kapitel 6. Antal sikrede bygninger opgøres for hvert af de tre år som forskellen mellem antal oversvømmede bygninger i de enkelte serviceniveauer relativt til status. Udviklingen i antal bygninger beregnes ved interpolation, hvor det antages, at antallet af sikrede bygninger udvikler sig lineært over tid og mellem serviceniveauer.

Det antages, at merværdier fra tryghed indtræffer fra midten af etableringsperioden. Som ved beregningen af driftsomkostningerne balancerer denne antagelse en evt. underestimering af effekten den første halvdel med en evt. overestimering af effekten i den sidste halvdel.

### Bilag 7.2 Resultater inkl. merværdier

Figur 116 viser resultaterne for samfundsøkonomisk optimum, hvor merværdierne inkluderes i analysen.

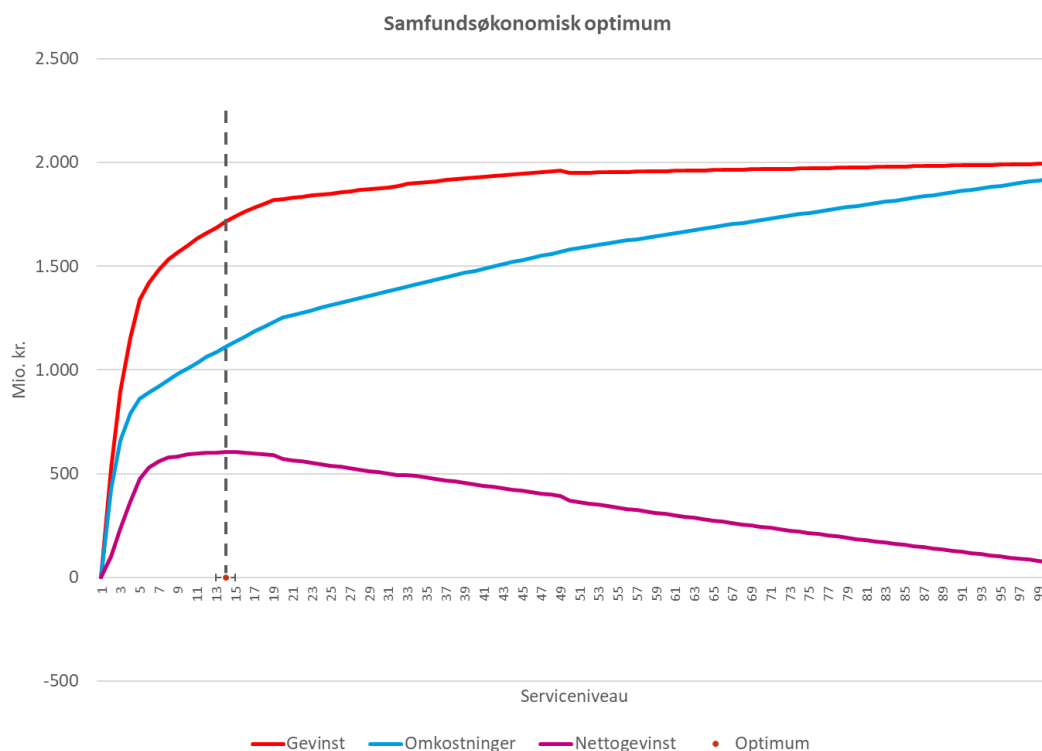


**Figur 116** Grafen afbilder skadesomkostningerne, investeringsomkostninger (anlæg, drift og reinvestering) og merværdierne samt optimumkurven og viser, at det optimale serviceniveau for regnvand på terræn, hvor merværdier er medregnet, er 14 år. Bemærk, at dette er en gengivelse af Figur 55.

Figuren viser skadesomkostningerne, merværdierne samt omkostninger til anlæg, drift og reinvesteringer ved de forskellige serviceniveauer. Overordnet set viser figuren, at i situationen, hvor merværdierne medtages i analysen, vil det samfundsøkonomisk være optimalt at sikre til et serviceniveau på 14 år.

Et nærmere blik på figuren viser, at omkostningerne forventes at være kraftig stigende frem til et serviceniveau på 6-7 år, hvorefter stigningstaktsten aftager. På samme måde er skadesomkostningerne kraftigt faldende frem til et serviceniveau på 6-7 år og falder herefter med en lavere takst. Endelig viser figuren, at der forventes merværdier fra og med et serviceniveau på 5 år eller højere, samt at disse merværdier er svagt stigende frem mod et serviceniveau på 100 (svagt faldende kurve).

Det optimale serviceniveau er 6 år højere i forhold til analysen eksklusiv merværdier. Investeringsomkostningerne samt skadesomkostningerne er ens i de to situationer, hvorfor forskellen i optimum udelukkende skyldes, at der i situationen med merværdierne inkluderes en positiv gevinst, som ikke medfører øgede omkostninger.



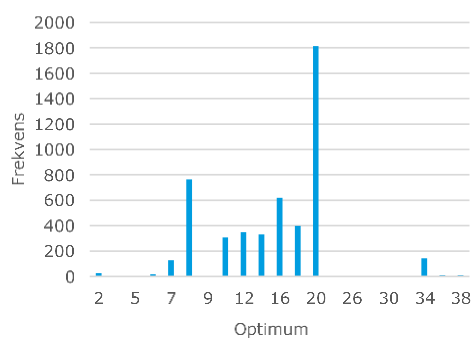
**Figur 117** Graferne viser henholdsvis gevinster (merværdier samt reduktion af skader) og omkostninger holdt op imod statusscenariet. Forskellen mellem gevinster og omkostninger er nettogevinsten. Bemærk, at dette er en gengivelse af Figur 56.

Figuren viser omkostningerne ved tiltag (anlæg, drift og reinvestering) samt gevinsterne (reduktion af skadesomkostninger samt merværdier). Nettogevinstkurven er estimeret som forskellen mellem disse kurver og viser således, om der er en positiv eller negativ gevinst for samfundet ved at klimatilpasse til de forskellige serviceniveauer.

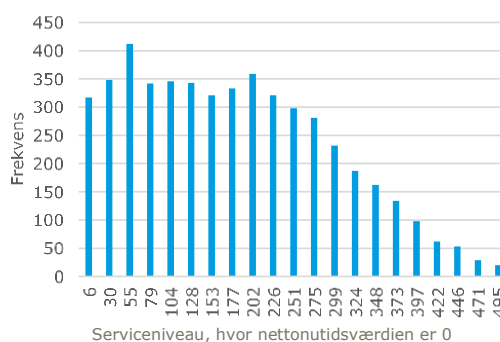
Som det fremgår af figuren, er nettogevinsten positiv for alle opgjorte serviceniveauer. Det betyder med andre ord, at der er en samfundsøkonomisk gevinst ved at klimatilpasse til alle opgjorte serviceniveauer. Optimum, som estimeret i Figur 116, kan også findes i denne figur, da det netop er ved et serviceniveau på 14 år, at nettogevinstkurven er størst og dermed har den højeste gevinst.

### Bilag 7.3 Monte Carlo simulering inkl. merværdier

I Figur 118 vises resultatet af en Monte Carlo simulering, hvor merværdier er medtaget. Resultaterne kommenteres under figuren.



Oversigt for optimum	
Forventet værdi (gens.)	16
Maximumsværdi	49
Minimumsværdi	2
95 %-konfidensinterval	
Nedre grænse (2,5 %)	8
Øvre grænse (98,5 %)	19
50 %-konfidensinterval	
Nedre grænse (25 %)	11
Øvre grænse (75 %)	19



Oversigt for skæringsåret	
Forventet værdi (gens.)	168
Maximumsværdi	495
Minimumsværdi	6
95 %-konfidensinterval	
Nedre grænse (2,5 %)	6
Øvre grænse (98,5 %)	376
50 %-konfidensinterval	
Nedre grænse (25 %)	67
Øvre grænse (75 %)	252

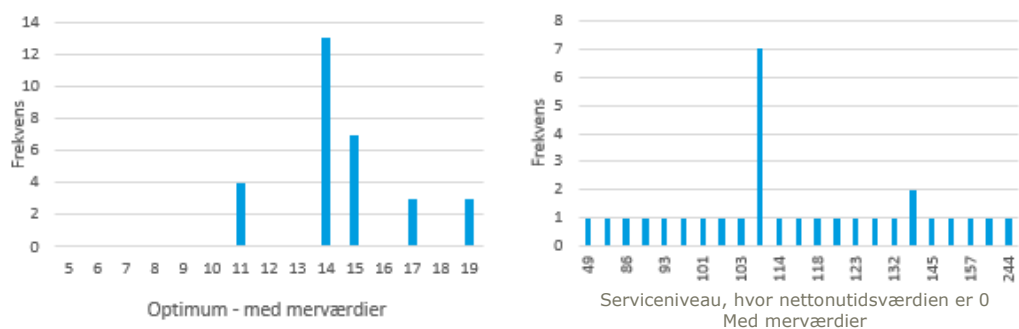
**Figur 118** Resultater fra Monte Carlo simuleringen af det optimale serviceniveau samt serviceniveauer, hvor nettonutidsværdien er 0, inklusiv merværdier. Bemærk at figuren for optimum ikke har maksimumsværdien 49 med på skalaen. Dette skyldes, at grafen er kortet af, så det er muligt at læse alle talene på skalaen. Men hvis 49 var med, ville der også være en observation dér.

Overordnet set viser Monte Carlo simuleringen, at analysens resultat ift. optimum er robust ved ændringer i de centrale input. Konkret viser analysen, at hvis beregningerne gennemføres 5.000 gange, er det forventede samfundsøkonomiske optimum 16 år. Figuren viser endvidere, at optimum med 95% sandsynlighed ligger i intervallet 8-19 år. Optimum ligger således relativt tæt omkring optimum på 14 år. Anvendes i stedet et 50% konfidensinterval ligger optimum i intervallet 11-19 år.

Monte Carlo simuleringen viser endvidere et stort spænd i, hvornår nettoværdikurven bliver negativ, jf. den højre side af figuren. Med 95% sandsynlighed ligger spændet således i intervallet 6-367 år. Det store 95% konfidensinterval indikerer, at modellen er meget usikker, når man kommer ud i enderne af modellen. Dette er forventeligt, da modellen er bygget op omkring fem punkter (status, S0, S1, S2 og S3), hvor der antagelsesmæssigt er interpoleret imellem punkterne. Usikkerheden og dermed grunden til det store spænd opstår, fordi der efter det sidste punkt (100 år) antages et videre forløb af kurverne i den høje ende. Dette skaber en model med stor usikkerhed for serviceniveauer over 100.

#### Bilag 7.4 Supplerende følsomhedsanalyse

Resultaterne af den supplerende følsomhedsanalyse, hvor merværdier er med i analyse, er præsenteret nedenfor og nærmere uddybet i det efterfølgende afsnit.



Oversigt for optimum		Oversigt for skæringspunktet	
Forventet værdi (gns.)	15	Forventet værdi (gns.)	120
Maximumsværdi	19	Maximumsværdi	244
Minimumsværdi	11	Minimumsværdi	49

**Figur 119** Supplerende følsomhedsanalyse af det optimale serviceniveau samt serviceniveauet, hvor nettonutidsværdien er 0, inklusiv merværdier. De højeste frekvenser på figurerne, hvor niveauet er 14 år (tv) og lige er en anelse over 100 (th) er udgangspunktet for analysen.

Som det fremgår af Figur 119, er resultaterne om optimum rimelige robuste omkring 14-15 år. Der er endvidere nogle få resultater ved serviceniveauer på 11, 17 og 19. Disse resultater fremkommer i tilfælde, der vurderes forholdsvis usandsynlige, hvor fx driften er 50% højere end forventet, skadesomkostninger halveres eller fordobles eller ved en halvering af anlæggenes levetid.

Nettogevinstkurvens følsomhed over for ændringer i de centrale parametre fremgår af højre side af figuren. Den forventede skæring ligger ved 125 år, men har et spænd fra 49 år til 244 år. En nærmere analyse af udfaldene under 100 år viser, at dette fx kræver en ændring i skadesomkostninger med minimum 1/3 eller en forøgelse af driften med mere end 25%. Overordnet set viser følsomhedsanalysen derfor, at det er ret markante ændringer i nøgleparametrene, der skal til, før det kan forventes, at nettoværdikurven skærer x-aksen under 100 år.

I de næste tabeller præsenteres resultaterne af den supplerede følsomhedsanalyse i situationen med merværdier i forhold til variationer i identificerede parametre.

**Tablet 92** Følsomhedsanalyse af andelen tildelt som uforudseelige udgifter for situationen inklusiv merværdier.

Andel uforudseelige udgifter [%]	Med merværdier	
	Optimum (serviceniveau)	Positiv nettogevinst indtil serviceniveau
0	19	157
10	17	134
20	14	113
30	11	93

**Table 93** Sensitivity analysis for variation in volume respectively above and below terrain for the situation with merit values.

Volume on terrain	With merit values	
	Optimum (service level)	Positive net profit up to service level
25% moved under ground	14	103
Ingen ændring	14	113
25% moved to surface	15	123
50% moved to surface	17	134
75% moved to surface	19	145

**Table 94** Sensitivity analysis for variation in operating costs in the situation with merit values. Operating costs are adjusted in relation to the original (100%).

Share of original operation	With merit values	
	Optimum (service level)	Positive net profit up to service level
50%	15	153
75%	15	132
100%	14	113
125%	14	95
150%	11	79

**Table 95** Sensitivity analysis for changes in lifetimes for facilities in the situation with merit values.

Variation in lifetime for project facilities	With merit values	
	Optimum (service level)	Positive net profit up to service level
50%	11	101
75%	14	113
100%	14	113
125%	14	114
150%	15	115
200%	15	118

**Table 96** Følsomhedsanalyse for ændringer i størrelsen af total risiko for situationen med merværdier.

Skadespris for bygninger [% af værdi]	Med merværdier	
	Optimum (serviceniveau)	Positiv nettogevinst indtil serviceniveau
50%	11	49
67%	14	88
100%	14	113
150%	17	194
200%	19	244

**Table 97** Følsomhedsanalyse for ændring i lånets løbetid i situationen med merværdier.

Lånets løbetid [år]	Med merværdier	
	Optimum (serviceniveau)	Positiv nettogevinst indtil serviceniveau
20	14	86
30	14	102
40	14	113
50	15	122
60	15	129

### **Bilag 7.5 Robusthed inkl. merværdier**

Monte Carlo simuleringen og den efterfølgende supplerende følsomhedsanalyse viser, at optimum er robust over for ændringer i analysens centrale parametre. Såfremt merværdier inkluderes, anbefales et spænd for optimum op 10-19 år.

Monte Carlo simuleringen finder et 95% konfidensinterval på 8-19 år, og at optimum i gennemsnit er 16 år. Den supplerende følsomhedsanalyse viser dog, at der skal ske relativt markante ændringer i analysens parametre, før der opnås et optimalt serviceniveau under 10 år.

Ved undersøgelse af ved hvilke serviceniveauer en positiv nettogevinst forventes, viser både Monte Carlo simuleringen og den supplerende følsomhedsanalyse, at denne varierer betydeligt ved ændringer i analysens parametre. Samtidig viser analysen, at Monte Carlo simuleringen giver meget mere ekstreme værdier (både i den lave og høje ende) end den supplerende følsomhedsanalyse. Dette er en naturlig konsekvens af modellens opbygning og forudsætninger. Som beskrevet i Bilag 7.3 er der således usikkerheder forbundet med Monte Carlo simuleringens resultater for serviceniveauer over 100 år.

For situationen med merværdier viser Monte Carlo simuleringen, at nettoværdikurven i gennemsnit skærer x-aksen ved et serviceniveau over 100 år (168 år). Samtidig viser den, at skæringen med 95% sandsynlighed ligger i intervallet 6-376 år givet de anvendte forudsætninger om udviklingen i risiko, omkostninger og merværdier for serviceniveauer.

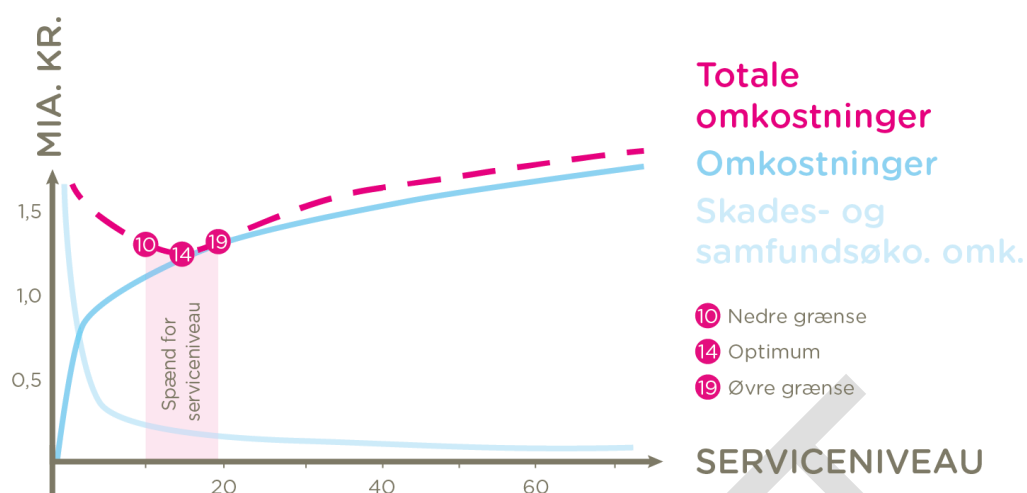
Udfaldsrummet viser endvidere, at omkring 75% af udfaldene giver et serviceniveau over 100 år. Da der ikke er foretaget egentlige analyser af analysens tre hovedelementer (risiko, omkostninger og merværdier) over et serviceniveau på 100 år er disse blot fremskrevet ved hjælp af udviklingen op mod serviceniveauet på 100 år. Der må således forventes at være store usikkerheder omkring udviklingen i de enkelte dele af analysen for serviceniveauer over 100 år.

Udfaldsrummet viser endvidere, at knap 15% af udfaldene ligger under et serviceniveau på 55 år. Det skal understreges, at mange af udfaldene under 55 år vurderes som usandsynlige eller kombinationer af flere usandsynlige udfald. Fx vil en reduktion af enhedsomkostningerne for bygningskader på 1/3 medføre en skæring ved 88 år og vil således skulle kombineres med fx en stor stigning i driftsomkostningerne og/eller andre af modellens parameter. Det er dog vurderingen, at dette næppe er realistisk,

Et konservativt estimat for spændet for nettoværdikurvens skæring med x-aksen ligger derfor i intervallet 55-100 år. Ingen af de gennemførte supplerende følsomhedsanalyser giver anledning til en forventning om, at skæringen ligger uden for dette interval.

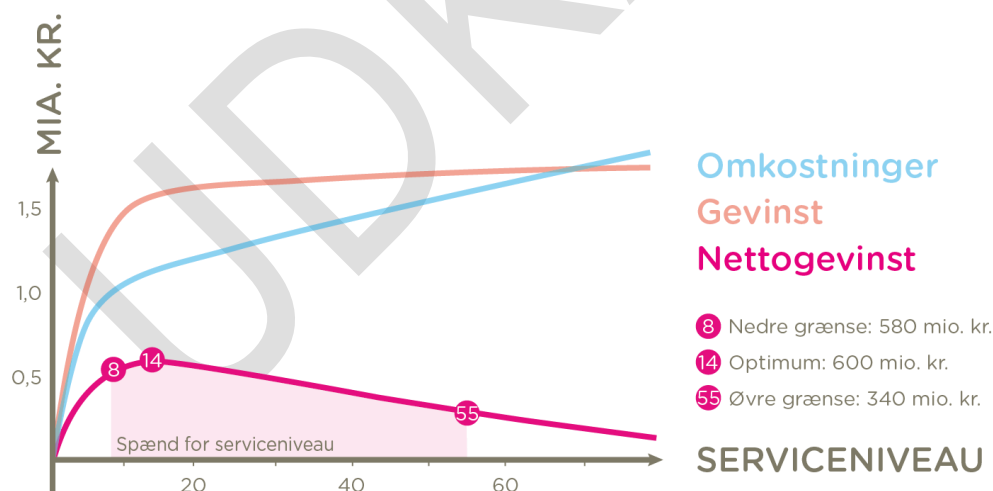
#### **Bilag 7.6    Anbefaling inkl. merværdier**

Såfremt der vælges et serviceniveau for regnvand på terræn, ud fra et samfundsøkonomisk optimum anbefales det, at der vælges et serviceniveau for regnvand på terræn på **14 år** (i 2117, hvilket ca. svarer til en 41-års regnhændelse i 2017). Det skal dog samtidig nævnes, at ud fra en vurdering af følsomhedsanalysen ligger optimum i et spænd mellem 10-19 år (i 2117, hvilket ca. svarer til et spænd mellem 29-65 år i 2017), se Figur 120.



**Figur 120** Resultat af analysen med bestemmelse af det samfundsøkonomiske optimum for serviceniveau for regnvand på terræn, inklusiv merværdier.

Baseret på nettogevinsten og inklusiv merværdier anbefales det, at der vælges et serviceniveau for regnvand på terræn mellem **8-55 år** i 2117 (svarende til et spænd mellem 21-247 år i 2017), hvilket er illustreret i Figur 121, da begge følsomhedsanalyser har vist, at der vil være en meget lille risiko for en negativ NNV inden for dette spænd. Det er vigtigt at pointere, at hvis der klimatilpasses til en gentagelsesperiode inden for spændet fra 55-100 år (i 2117) vil det i mange tilfælde også have en positiv NNV og dermed være en god investering. Som nævnt er der ikke undersøgt for niveauer over 100 år (i 2117), da det er fastlagt som et øvre loft.



**Figur 121** Resultat af analysen med bestemmelse af nettogevinsten for serviceniveau for regnvand på terræn, inklusiv merværdier.

Anbefalingerne fra den samfundsøkonomiske analyse inkl. merværdier kan læses i Tabel 98.

**Tabel 98** Anbefalingerne for serviceniveau for regnvand på terræn for Kildeskovsrendens opland inkl. merværdier.

Serviceniveau for 2117 [år]	
Optimum	14 (10-19)
NNV	8-55

UDKAST