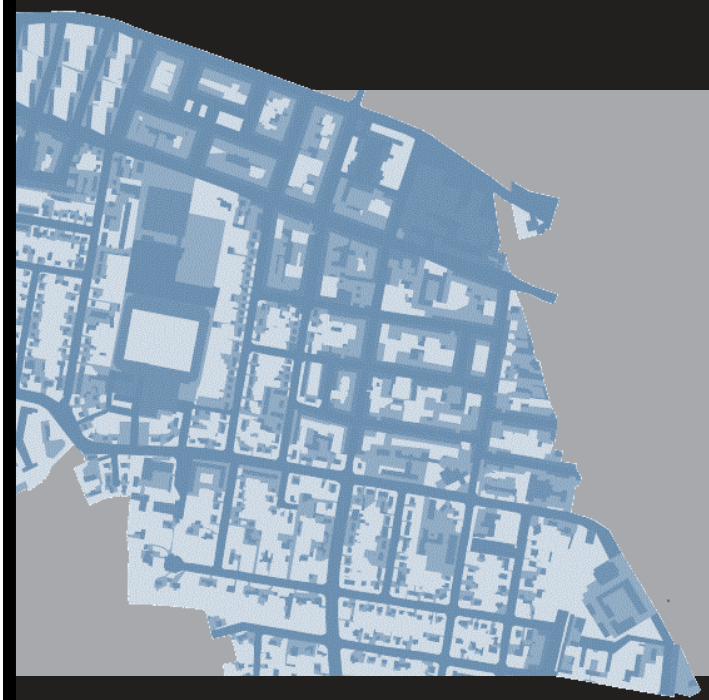
KANDIDAT
SPECIALE

KLIMATILPASNING AF AALBORG CENTRUM

VAND & MILJØ 2014



MARIA SIMONSEN &
PERNILLE KNUDSEN

AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet
Sohngaardsholmsvej 57
DK - 9000 Aalborg
Tlf. 96 35 80 80
http://www.bsn.aau.dk

Titel:
Klimatilpasning af Aalborg Centrum

Projektperiode:
9. og 10. semester
2. september 2013 - 10. juni 2014

Deltagere:

Maria Simonsen

Pernille Knudsen

Vejledere
Søren Liedtke Thorndahl
Jakob Badsberg Larsen

Oplag: 5
Sidetal: XX
Appendiks antal: XX
Afsluttet: 10. juni 2014

Synopsis:

I de senere år er der set eksempler på klimaændringernes konsekvenser for omverden, hvor hændelser er forekommet i tæt bebygget områder og har forårsaget oversvømmelser. I projektet er lokal afledning af regnvand(LAR) anvendt til klimatilpasning for at skabe en rentabel løsning, hvorpå den overordnede byudvikling styrkes og rekreative værdier skabes. Der tages udgangspunkt i Aalborg, da Aalborg står overfor lignende udfordringer med tætbebyggelse samt lavtliggende terræn, der vil forårsage problemer i forhold til oversvømmelser i fremtiden.

Til at analysere hvilken effekt LAR-elementerne har på afstrømningen i afløbssystemet anvendes MIKE Urban, hvor det nuværende afløbssystem undersøges i forhold til opstuvning til kritisk niveau samt oversvømmelserne i området. Aalborg Vestbys nuværende status undersøges i forhold til opstuvning til kritisk niveau samt oversvømmelserne i området. Ud fra den nuværende status er der fundet kritiske områder, hvor LAR-elementer etableres i form af trappetrinsløsninger. Der opstilles løsninger der kan håndtere henholdsvis 10 og 100 års regn. Ydermere vil de økonomiske aspekter ved etablering af LAR-elementer blive sammenlignet med traditionelle løsninger i form af separatkloakering.

FORORD

Denne rapport er udarbejdet af Maria Simonsen og Pernille Knudsen fra Vand og Miljø under institut Byggeri og Anlæg ved Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet på Aalborg Universitet. Rapporten er udarbejdet på 9. - 10. semester, som et afgangsspeciale, der udgør 45 ECTS. Projektperioden for udførelsen af rapporten var i perioden fra den 2. september 2013 til den 10. juni 2014. Titlen for projekt var 'Klimatilpasning af Aalborg Centrum'.

De tilknyttede vejledere til projektet var Søren Liedtke Thorndahl fra Aalborg Universistet samt Jakob Badsberg Larsen fra NIRAS. Rapporten er blevet udarbejdet i samarbejde med NIRAS. Der rettes et særlig tak til deltagerne, som deltog i workshoppen, som gav inspiration til valg af projektlokalitet samt løsningsforslag. Takken er rettet mod Peter Plejdrup Poulsen (Niras), Jan Scheel (Niras), Jesper Christensen (Niras), Kasper Førby Laden (Niras), Jakob Badsberg Larsen (Niras), Henriette Wøhlk-Poulsen (Aalborg Forsyning), Michael Glerup Jørgensen (Aalborg Forsyning), Søren Thorndahl (AAU), Anne Brogaard (Trafik & Veje/Park & Natur), Leif Bach (Trafik & Veje), Ann Sofie G. Christensen (Plan & Byg), Jens Bøgh Vinther (Borger Miljø), Tina Kitchen (Borger Miljø) og Kim Skals (EnviDan). Derudover rettes der et tak til EnviDan for udlåning af MIKE URBAN model. Der rettes en tak til NIRAS, da de i projektperioden tilknyttede projektgruppen Innovatoriet med teamet 'Vand i byer', som er et samarbejde mellem Aalborg Universitet og NIRAS, hvor der blev skabt en vidensdeling mellem en Aalborg Universitet studerende fra Planlægning ved navn Morten Lund Nielsen og projektgruppen.

Læsevejledning

I denne rapport er kildehenvisningerne angivet efter Harvardmetoden. Kilderne er angivet i parenteser med efternavnet på forfatteren samt udgivelsesåret for publikationen, såsom [Navn, år]. Kilder der angivet med flere forfattere er anført [Navn et al., år]. Alle referencerne er opført i slutningen af rapporten i litteratur efterfulgt af appendiks. Henvisningerne til figurer, tabeller samt ligninger er nummereret i henhold til kapitlerne for eksempel figur 3.2 er den anden figur i kapitel 3. Hvis en kilde er angivet i figurteksten, er billedet anvendt fra kilden. Herudover er der vedlagt en appendiks CD.

Abstract

The aim of the project was to climate adapt Aalborg Vestby by implementing different sustainable urban drainage system (SUDS) elements where water is infiltrated or evaporated, in the local area. Furthermore this project also aimed to compare the estimated price of the SUDS solution with traditional solutions methods over a 75 year period. The purpose of the climate adaptation of Aalborg Vestby was to reduce the risk of areas being flooded in the future as a result of climate change. The SUDS elements are different from the traditional method used in Aalborg, which is separating the wastewater and rainwater thus leading the water to the nearest receiving water body.

The location Aalborg Vestby was chosen by a screening investigation. In the screening investigation the local conditions were analysed in order to locate areas, where it were possible to implement SUDS elements. In the analysis the terrain, wastewater treatments areas, streams, dips, geology, pollution, land use and the economic values and risks were investigated, using these criterions an area which represented Aalborg as a whole was chosen. At the same time Aalborg Vestby was in need of renewal in order to become a greener and more attractive environment, in contrast to the current state of Aalborg Vestby, which consists of a dense urban environment with many apartment buildings originating from the urbanization in the early 1900â€™s. However, there were some limitations which made the process of establishing SUDS elements difficult. Some of the limitations were that the city is located on the fjord and thereby a low-lying terrain with a high groundwater table. Furthermore the city is densely built-up which is a limitation to the introduction of SUDS elements, while SUDS require a lot of space. Previously there have been some industry buildings in the area that had resulted in soil pollution and therefore it was not possible to infiltrate water in polluted areas.

To implement SUDS elements in the chosen location Aalborg Vestby, the current situation was analysed in a MIKE Urban model. The current situation was analyse in order to identify the flow direction, flood-sensitive dips and the holding back of the water with a return period at 10 years, a 4 hours CDS-rain and a historical rain series from Sulsted. Afterwards the effect of the different SUDS elements like green roofs, permeable pavements and rain gardens were analysed in a simple MIKE Urban model with a 4 hours CDS-rain. The simple MIKE Urban model showed a reduction of the peak flow in an extreme event and was afterwards implemented into an extended model.

In the extended model the SUDS elements were implemented in order to make a climate adaption of Aalborg Vestby combining SUDS elements and individual SUDS elements. The reason for combining the SUDS elements was to get a higher effect, when handling daily rain and the extreme rain and thereby reducing the risk of floods in the future. The analysis was madeusing two scenarios, one showing a 10 year projection and another one showing a 100 year projection, named '2025' and '2100', respectively. Both scenarios featured a return period of 10 year with a safety factor of 1.72 and 1.85 which includes the climate factor, model uncertainty and the site factor.

The results from the model, with implemented SUDS elements, showed a reduction of the load in urban drainage system both in the pipes water table and outlets discharge volume, compared to a model without SUDS element. By the reduction in the drainage system the SUDS-elements were concluded useful, especially with combining the SUDS elements. By comparing the construction - and operation costs of a separate system and SUDS elements with sewer pipes over a write off period of 75 years, the estimated price was higher for the SUDS elements than for the separate system. On the other hand SUDS elements add social values to the area for instance in the form of new recreational environments. Therefore, it is recommended that SUDS- elements are incorporated in the planning process of new urban areas in order to incorporate it more easily.

INDHOLDSFORTEGNELSE

Forord **v**
Læsevejledning . . . v

Abstract **vii**

1 Indledning **1**
1.1 Lovgivning og praksis implementeret i Danmark . . . 3
1.2 Klimastrategi i Aalborg Kommune . . . 6

2 Lokal afledning af regnvand **9**
2.1 Beskrivelse af LAR-elementer . . . 11
2.1.1 Fordampning . . . 12
2.1.2 Nedsivning . . . 12
2.1.3 Transport . . . 13
2.1.4 Opsumering af LAR-elementer . . . 13

3 Valg af projektlokalitet **15**
3.1 Screeningsanalyse . . . 17
3.1.1 Opsummering . . . 28
3.2 Projektlokalitet . . . 29

4 Problemformulering **35**

5 Status **37**
5.1 Opstuvning til kritisk niveau . . . 41
5.2 Oversvømmelsesmodel . . . 43

6 Anvendelige LAR-elementer **49**
6.1 Grønne tage . . . 50
6.2 Permeabel belægning . . . 53
6.3 Regnbede . . . 56
6.4 Render og grøfter . . . 59
6.5 Effekten af implementering af LAR . . . 61
6.5.1 Grønne tage . . . 63
6.5.2 Permeabel belægning . . . 65

6.5.3 Regnbede 67
6.5.4 Opsummering 69

7 Plan **71**
7.1 Klimafremskrivning 73
7.2 Illustrationsplan 74
7.2.1 Dimensionering 77
7.3 Resutater 77

8 Drift og vedligeholdelse **85**
8.1 Grønne tage 85
8.2 Permeabel belægning 86
8.3 Regnbede 87
8.4 Render og grøfter 87
8.5 Opsummering 88

9 Økonomi **91**

10 Diskussion **97**

11 Konklusion **101**

Litteratur **103**

I Appendiks **109**

Appendiks A Workshop referat d. 4. december 2013

Appendiks B Potentiel fordampning

Appendiks C Simpel model

Appendiks D Plan model

Appendiks E Økonomi

Appendiks F Elektroniske appendiks

KAPITEL 1

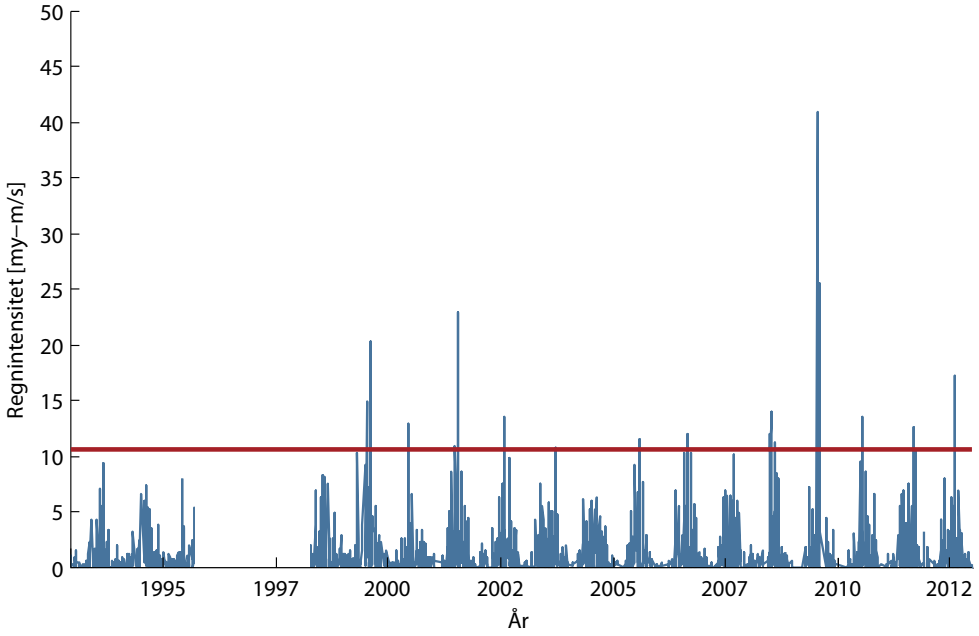
INDLEDNING

I de senere år har omverdenen set hyppigere eksempler på mulige ændringer af fremtidens klima. Ændringerne optræder blandt andet som hyppigere ekstremregn samt stormfloder, hvilket medfører vand i kældrene, oversvømmelse af lavtliggende terræn samt resulterer i samfundsmæssige omkostninger med høje forsikringsdækninger. Særligt i kystnære områder er en stigning i vandstanden et problem, da risikoen for stormfloder øges. Det medfører ødelæggelse af materielle skader såsom infrastruktur og beboelse samt en psykisk belastning for de berørte.

Kystnære områder ses i flere af de ældre danske byer såsom København, Århus og Aalborg. Byerne er placeret tæt på vandet på grund af tidligere historisk handel samt søfart, hvor terrænet er lavtliggende med højt grundvandspejl. Udover placeringen, er der en igangværende urbanisering af de kystnære byer, hvormed befæstelsesandelen øges. Konsekvenserne af urbaniseringen vil medfører til, at afløbssystemerne ikke passer til de nuværende forhold. Ved kraftige regnhændelser vil kloakkapaciteten blive overskredet og det medfører overløb til nærliggende recipient med stoffer såsom fosfor, kvælstof, organisk materiale og miljøfremmede stoffer fra husholdning og industri, hvilket vil påvirke vandmiljøet. [Winther et al., 2006] Derfor vil der forekomme pladsmangel både under og på terræn ved nyetablering eller ændring af afløbssystemer, der skal minimere oversvømmelseskonsekvenserne. Derudover vil nyetablering samt ændring af afløbssystemet have økonomiske konsekvenser for at kunne håndtere de formodne klimaændringer.

Eksempler på overbelastning af afløbssystemet ses de seneste 20 års med skybrud i Aalborg området, hvor der har optrådt flere hændelser med høje gentagelsesperioder. For at undersøge, hvilke regnhændelser der optræder med en gentagelsesperiode større end et år, er programmet WINregn anvendt. WINregn udvælger den maksimale middelintensitet for hver regnhændelse til forskellige regnvarigheder. I dette tilfælde er en regnvarighed på 10 minutter

anvendt. Den maksimale middelintensitet er bestemt ud fra en mindste tidsafstand på 1 time mellem regnhændelser samt det mindste regnvolumen indstillet til 0,1 mm. Den maksimale middelintensitet for regnserie fra Sulsted med en regnvarighed på 10 minutter er illustreret på figur 1.1. For at undersøge, hvilke regnhændelser der har en gentagelsesperiode større end 1 år, anvendes landsregnrækkerne. Ud fra landsregnrækkerne er intensiteten på 11 μm/s med en varighed på 10 minutter og en gentagelsesperiode på 1 år, som er illustreret på figur 1.1 med en røde linie. Undersøgelserne viser, at 19 regnhændelser i de seneste 20 år har haft en gentagelsesperiode større end 1 år med en varighed på 10 minutter.



Figur 1.1: De 20 års regnhændelser med en regnvarighed på 10 minutter, den røde linie illustrer landsregnrækkernes gentagelsesperiode på 1 år.

To af de senere eksempler på skybrud, var i sommeren 2006 og i 2012. I 2006 optrådte et skybrud med en gentagelsesperiode på 140 år henholdsvis 21. august over en periode på 90 minutter med varighed på 10 minutter. [Aalborg Kommune, 2013b] Skybruddene medførte ødelæggelse særligt i tre lavtliggende områder i Aalborg Øst såsom Tornhøjparken, Lucernevej og Larsensvej. Et lignende tilfælde optrådte i sommeren 2012 den 6. august om formiddagen, hvor den vestlige del af Aalborg samt Nørresundby var særlig udsatte. Skybruddet havde en gentagelsesperiode på 36 år over en periode på 252 minutter og med en varighed på 30 minutter. Skybruddet forårsagede oversvømmelser af infrastruktur og viadukter. [Flemming Lapertis, 2012] På figur 1.2 og figur 1.3 ses eksempler fra skybruddene i Aalborg.



Figur 1.2: Skybrud i Tornhøjparken i Aalborg Øst den 21. august 2006. [Anders Brandt, 2006]



Figur 1.3: Skybrud i Reberbansgade den 6. august 2012. [Niels Brauer og Martin Frandsen, 2012]

De sidste 20 års skybrud har påvirket Aalborg Kommune til at foretage væsentlige tiltag indenfor forsyningsområdet. Dette skyldes, at skybruddene sandsynligvis vil optræde oftere i fremtiden, grundet de senere års forudsigelser om en ændring af det globale klima i forhold til temperatur, nedbør og vindstyrke.

1.1 Lovgivning og praksis implementeret i Danmark

I dag ved nyetablering eller ændring af afløbssystemer i Danmark i form af fælleskloakering, separatkloakering og etablering af LAR-elementer, anvendes de gældende rekommandationer fra Spildevandskomiteen. De gældende rekommandationer omfatter Skrift 27 '*Funktionspraksis for afløbssystemet under regn*' samt de mulige klimaændringerne i Skrift 29 '*Forventede ændringer i ekstremregn som af klimaændringer*' fra Spildevandskomiteen i samarbejde med DANVA, der overholder kravene fra CEN standard DS/EN 752

I dag anvendes et minimumskrav for gentagelsesperioden opstuvning til kritisk kote for fælleskloak på 10 år og 5 år for separatkloakering. Ved fuld udnyttelse af rørkapaciteten anvendes en gentagelsesperiode på 2 år for fælleskloak og 1 år for separatkloak. I løbet af de næste 100 år, hvor de formodne klimaændringerne vil medfører en forøgelse af den daglige nedbør samt antallet af ekstremhændelser over året, vil den nuværende funktionspraksis ikke leve op til de kommende ændringer.

I Danmark tillades gennemsnitlig en aflastning pr. måned for fællessystemer med en varighed under 24 timer med mindst 6 dags mellemrum jævnfør bekendtgørelse nr. 1022 '*Bekendtgørelse om miljøkvalitetskrav for vandområder og krav til udledning af forurenende stoffer til vandløb, søer eller havet*' 2010 § 6. [Miljøministeriet, 2010] Dette er ikke gældende for separatssystemer, hvor en aflastning med en naturlig afstrømning på 1 l/s · ha anses gældende. I fremtiden vil kravene sandsynligvis skærpes i forhold til udledning, da overfladevandet fra impermeable arealer i byområder indeholder forurenende stoffer, der udledes til recipienten, derfor kræves der en bedre rensning af afstrømningen. [Winther et al., 2006]

I løbet af de kommende årtier, vil de for modne klimaændringerne medfører til, at nedbørsmængden vil stige, hvorpå funktionskravene fra Skrift 27 ikke længere kan overholdes. Til Skrift 27 er der derfor tillagt et sikkerhedstillæg for at fremtidssikre afløbssystemerne og reducere de for modne ødelæggelser. Sikkerhedstillægget indebærer en klima-, fortætnings- og en statistisk usikkerhedsfaktor.

Udover Spildevandskomiteen anvendes der i Danmark et af FN's klimapanel IPCC's scenarier, som har opstillet forskellige klimascenarier for klimaændringer. Klimascenarierne forudsiger fremtidens klimaændringer i forhold til drivhusgasudslip ved antagelser af udviklingen i forhold til befolkning, økonomi og teknologi. FN's klimapanel IPCC har opstillet fire hovedscenarier A1B, A2, B1 og B2 som mulige udviklingsforløb indtil år 2100. [Naturstyrelsen, 2012]

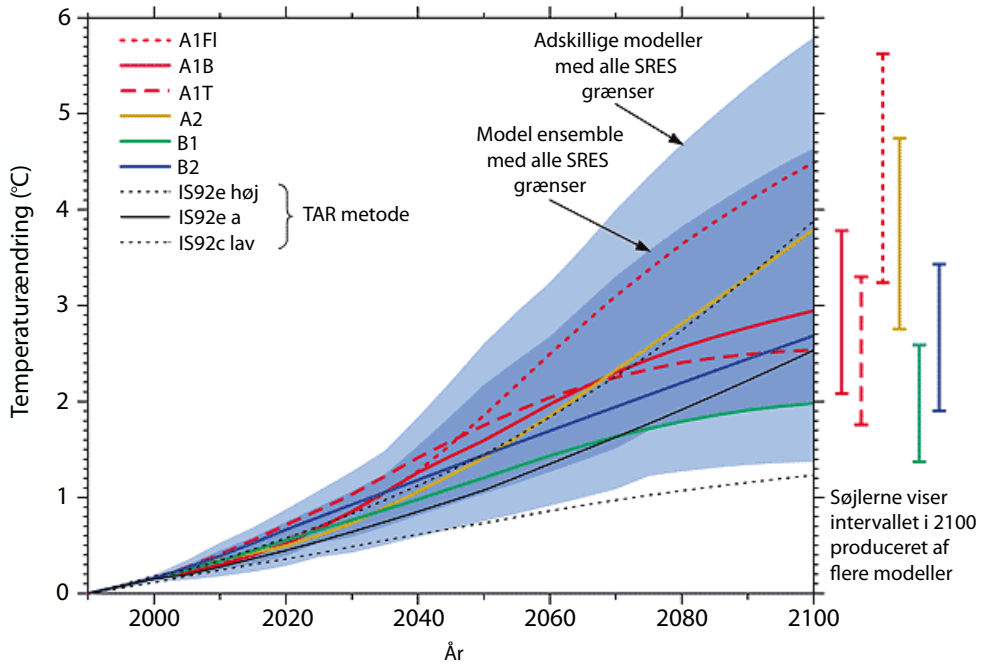
Generelt forudsiges fremtidens vejr at ville ændre sig med større nedbørshændelser om vinteren og mindre om sommeren, men med tørkeperioder og kraftige regnskyl om sommeren. Det sidste århundrede har gennemsnitstemperaturen været stigende, hvilket også forventes i fremtiden, hvorved planternes vækstsæson forlænges. Ligeledes vil stormstyrken og havniveauets vandstand i fremtiden intensiveres. [Naturstyrelsen, 2012]

I Danmark anbefales FN's klimascenerie A1B frem til år 2050, hvilket er udmeldt af Klima, Energi og Bygningsministeriet i år 2010. Danmarks Meteorologiske Institut, DMI har lavet en nedskalering af FN's klimapanel IPCC scenarier, hvormed scenarierne er tilpasset danske forhold og anvendt A1B. DMI's middelscenarie A1B ses i tabel 1.1 for de forskellige vejrparametre.

Temperaturstigning	+	3-5 ° C
Sommernedbør	-	10-25 %
Ekstremnedbør	+	10-20 %
Vinternedbør	+	20-40 %
Vinternedbør som sne	-	70-90 %
Vandstandsstigning	+	0,50 m
Stormaktivitet	Moderat stigning	

Tabel 1.1: DMI's middelscenarie i år 2100. [Martin Olesen et al., 2012]

Frem til år 2050 følger scenarierne hinanden og derfor anvendes A1B ofte som et middelscenarie for tidsperioden. A1B scenariet forudsiger, at stigningen af drivhusgasser topper i år 2050, hvorpå der forekommer en hurtig økonomisk vækst med lav befolkningstilvækst. Samtidig forventes en effektiv og hurtig videreudvikling af teknologi, hvorpå energikilder optimeres, så en blanding af fossile og ikke fossile energikilder anvendes. På figur 1.4 ses de forskellige klimascenarier fra FN's klimapanel IPCC. I Danmark sammenlignes forholdene med normalperioden 1961-1990 i forhold til vind, temperatur og nedbør med gennemsnitsværdier. [Field et al., 2012]



Figur 1.4: De forskellige klimascenarier i forhold til overfladetemperatur fra 2000-2100 i forhold til 1980-1999. [Field et al., 2012]

I Danmark er klimaændringernes konsekvenser implementeret igennem EU's Oversvømmelsesdirektiv samt en klimatilpasningsplan som led i økonomiaftalen fra 2013. EU's Oversvømmelsesdirektiv pålagde i 2007 Danmark at udpege områder i ekstrem risiko zonen for oversvømmelse ud fra oversvømmelses-, værdi- og risikokort samt en tilhørende handlingsplan. Ti områder, som eksempelvis er Randers fjord, Vejle og Køgebugt, blev udpeget inden 2012 og der blev udarbejdet risikokort inden udgangen af 2013, ydermere skal en risiko styringsplan inden 2016 laves. Efterfølgende er en handlingsplan udarbejdet, hvilket er implementeret i kommunernes kommuneplanstillæg og er gældende de 12 kommende år. [European Flood Directive, 2007]

På samme vis, som i EU's Oversvømmelsesdirektiv, er de danske kommuner pålagt at lave en klimatilpasningsplan igennem økonomiaftalen fra 2013. I klimatilpasningsplanen indgår ligeledes tilhørende oversvømmelses-, værdi- og risikokort og implementeres i enten kommuneplanen eller som tillæg inden år 2013. Formålet med aftalen er at danne et overblik over nødvendige tiltag i både by- og landmæssige områder i forhold til oversvømmelser og hvorledes tiltagene skal prioriteres. [Naturstyrelsen, 2012]

1.2 Klimastrategi i Aalborg Kommune

Aalborg Kommune har lavet et kommuneplantillæg med en klimastrategi i august 2011 og gældende frem til år 2015, hvilket opfylder Regeringens mål. Klimastrategien for Aalborg Kommune er udarbejdet med udgangspunkt i Klima og Energiministeriet anbefaling om klimascenarie A1B for tidsperioden 2021-2050. Derudover har Aalborg kommune udarbejdet Vision 2100 i 2007, som kommunens målsætning, hvilket angiver målene for kloakforsyningens bidrag til et renere vandmiljø, der er uafhængig af klimaforandringer og andre påvirkning, såsom byudvikling og fortætning. [Aalborg Forsyning, Kloak A/S, 2007],

Udviklingen af kloaksystemet samt ydre påvirkningerne, er baggrundsgrundlaget for Vision 2100, hvor erfaringerne fra 1900 og frem til i dag er beskrevet, derudfra er der udarbejdet en beskrivelse af fremtiden, år 2100. Årsagen til udarbejdelsen af forudsætninger og krav, der skal anvendes er, at udarbejde de mest optimale tekniske løsninger til kloaksystemet. Løsningen i Vision 2100 er separatkloakering, hvor spildevandet bliver central håndteret og regnvandet bliver decentral håndteret. Målsætningerne i Vision 2100 er opstillet nedenfor. [Aalborg Forsyning, Kloak A/S, 2007]

- Sikre et renere vandmiljø i Limfjorden, søerne og vandløb.
- Der forekommer ikke drikkevands- og jordforurening, som er forårsaget af spildevand fra utætte hovedledninger, hvormed drikkevandet sikres for forurening fra nedsivet spildevand.
- Kloaksystemet og renseanlægget er uafhængigt af klimaændringerne, byudvikling og fortætning, hvilket sikrer en høj driftssikkerhed.
- Sikre attraktive arbejdspladser.
- Løsningerne bliver robuste og effektive på en bæredygtig måde og sikrer en god økonomi.

Vision 2100 bygger på antagelser og derfor er der i forlængelse af Vision 2100 udarbejdet en udviklingsplan, der realiseres inden 2025. Udviklingsplan 2025 omhandler beslutningerne, der er vedtaget i EU, Folketinget, Spildevandsplanen, Byrådet og Strategiplan, hvilket er udarbejdet af Forsyningsudvalget. Spildevands- og strategiplanen skal implementeres over en periode på 16 år gældende fra år 2007, hvor der tages udgangspunkt i en detaljeret tids- og handlingsplan. De konkrete mål for udviklingsplan 2025, som skal realisere Vision 2100, er opstillet nedenfor. [Aalborg Forsyning, Kloak A/S, 2007]

- Minimum 85 % kvælstof og 90 % fosfor fjernes ved rensning.
- Det separatkloakerede område øges fra 62 % til 69 %.
- Udledningsvandmængden reduceres fra 2,3 millioner m^3 til 1,6 millioner m^3 fra fælleskloak.

- Antallet af overløbsbygværker skal reduceres fra 141 til 118.
- Renseanlæggene reduceres fra 7 til 2 renseanlæg.
- Strømforbruget skal sænkes med 25 %.

De konkrete mål for Vision 2100 i år 2100 er listet nedenfor, hvor systemet er yderligere effektiviseret angående separatkloakering, spildevandsrensning, ingen overløb og aflastningsmængder fra fælleskloakering.

- Minimum 95 % kvælstof og 95 % fosfor fjernes ved rensning.
- Alle byområder skal være separatkloakeret.
- Ingen aflastning af vandmængder.
- Ingen overløbsbygværker.
- To sammenhængende renseanlæg i forhold til driftssikkerhed.
- Hele energibehovet dækkes med vedvarende energi.

For at realisere Vision 2100, opstilles der nye betalings- og udledningsregler, for afledning af regnvand til offentlige kloaksystemer. Klimaændringerne vil være den mest markante udvikling af de samfundsvilkår, der vil påvirke kloakforsyningen i fremtiden. Der vil forekomme forskellige problematikker særligt i tætbyggede områder. [Aalborg Forsyning, Kloak A/S, 2007]

Overordnet set er Vision 2100 Aalborg Kommunes klimatilpasningsplanudarbejdet for at mindske oversvømmelsernes ødelæggelser. Dermed har Aalborg Kommune i 2012, efter de senere års skybrud, igangsat 19 projekter med separatkloakering, nye brønde og ændring af bassin udformning. Projekternes formål er at forbedre afledningsproblematikken, da de formodne klimaændringer vil medføre, at serviceniveauet ikke længere overholdes, hvis ingen nye tiltag eller ændringer foretages. [Aalborg Kommune, 2013b] Udover separatkloakering, som løsningsmetode, ønsker Aalborg Kommune at implementere nye decentrale løsninger såsom lokal afledning af regnvand(LAR) i fremtidige lokalplaner, hvor vandet ledes væk fra afløbssystemet og til regnbede, bassiner, faskiner og lignende, som vil skabe rekreative værdier. [Aalborg Forsyning, Kloak A/S, 2008] Ved nye tiltag vil der opstå forskellige problemstillinger såsom diverse bindinger, eftersom Aalborg ikke er et nyetableret område, hvorpå planlægningsmæssige hensyn i forhold til lovgivningen skal inddrages. Derudover er der pladsmangel. Eftersom Aalborg er tæt bebygget med høj befæstelse, vil der opstå problemer ved implementering af løsningsforslag både under og over terrænniveau. Ligeledes vil der opstå problemstillinger i forhold til de økonomiske aspekter ved valg af anlægningstyper, som separatkloakering eller LAR. Den største økonomiske forskel forekommer ved anlægs-, drifts- og vedligeholdelsesomkostningerne. Samtidig skal de økonomiske aspekter opvejes i forhold til

oversvømmelsernes ødelæggelser, der har samfundsmæssige konsekvenser både med hensyn til materielle skader såsom bygninger, veje, infrastruktur, men ligeledes ved trafikulykker for eksempel akvaplaning, arbejdsomkostninger, produktionstab og sociale omkostninger såsom psykologiske påvirkninger ved tab af værdi og genopbygning af tidligere ejendom.

Eksempler på inspiration til nye tiltag i form af LAR i Aalborg Centrum ses i Ørestaden og i Augustenborg i Malmø på figur 1.5 og figur1.6. Ørestaden er et nyere etableret område, hvorimod Augustenborg tidligere var et mindre attraktivt område fra 1950'erne med boligblokke. Afløbssystemet var underdimensioneret og derpå opstod jævnligt lokale oversvømmelser i kældre. Aalborg vil tilsvarende Augustenborg være et etableret område med forskellige bindinger i forhold til etablering af LAR-elementer angående lovgivning, planlægning og så videre.



Figur 1.5: Ørestaden.



Figur 1.6: Augustenborg.

På figur 1.5 og figur1.6 ses nogle eksempler på LAR-løsninger og hvor der på figur 1.5 ses en regnvandskanal, hvor vandet fra 8-tallets grønne tage ledes til omkringliggende søer og kanaler. På figur 1.6 ses et bassin, hvor vandet videreledes ved høj vandstand igennem en rende langs bassinet. En yderligere beskrivelse af de forskellige LAR-elementers funktion ses i kapitel 2. På samme vis som i Augustenborg og på Ørestaden vil LAR-elementerne give Aalborg flere rekreative værdier med attraktive oplevelses-, natur- og legeområder, udover en forhåbentlig reducering af ødelæggelser.

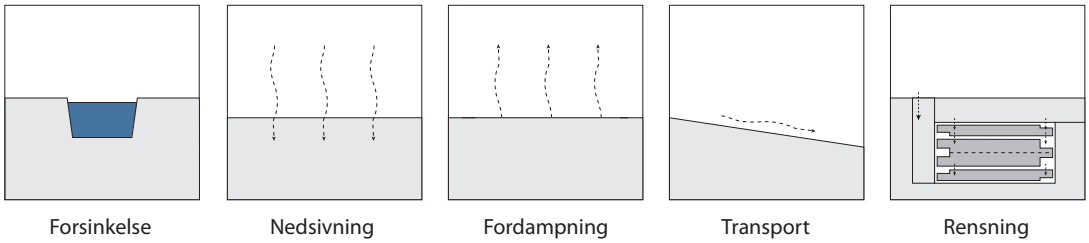
KAPITEL 2

LOKAL AFLEDNING AF REGNVAND

Dette kapitel omhandler forskellige lokal afledning af regnvand løsninger indenfor forsinkelse, nedsivning, fordampning, transport og rensning. Ydermere er elementernes primære- og sekundære funktioner undersøgt, samt hvilke fordele og ulemper elementerne har.

De ekstreme regnhændelser vil medføre oversvømmelser i tætbebyggede områder på grund af de høje befæstelsesgrader. I fremtiden vil der forekomme flere ekstreme regnhændelser samt befæstelsesgraden øges. Dette vil medføre større problemer med oversvømmelser. For at løse problematikkerne, som vil opstår ved oversvømmelserne, er at afskære regnvandet fra kloakken og derved sikre afløbskapaciteten ved at anvende lokal afledning af regnvand. LAR er en bæredygtig måde at bortlede regnvandet på, fordi regnvandet ses som en ressource. Regnvandet i LAR-elementer er med til at styrke den overordnede byudvikling samt den rekreative værdi. [Antje Backhaus, 2008] LAR-elementerne kan implementeres alene eller i kombination, som en såkaldt trappeløsning, hvor forskellige LAR-elementer sammenkobles.

LAR-elementer i et område virker som natur elementer i byrummet, hvis det etableres som grønne områder såsom grøfter, regnbede eller grønne tage. LAR-elementer kan være med til at genopbygge tætbebyggede byområdes naturlige vandkredsløb ved at kombinere forsinkelse, nedsivning samt fordampning. Regnvandet udnyttes mere fremadrettet ved LAR-elementer end ved konventionel bortledning. De tekniske principper, der overordnet beskriver LAR-elementer, er forsinkelse, nedsivning, fordampning, transport og rensning, illustreret på figur 2.1. [Teknologisk Institut, 2012b]



Figur 2.1: Principperne indenfor LAR-elementer. [Teknologisk Institut, 2012b]

Forsinkelseselementer i LAR-elementer er tilbageholdelse af regnvandet, der afstrømmer til afløbssystemet og peakflowet reduceres samt oversvømmelser mindskes. Eksempler på forsinkelseselementer er tørre, våde eller lukkede bassiner. Forsinkelseselementerne medfører en forsinkelse af bortledningen af regnvandet samt forstærkelse af fordampningen på grund af opholdstiden i bassinet.

Nedsivningselementer hjælper vandet fra omkringliggende arealer med hurtigere at nedsive, men i nogle tilfælde tilkobles et forsinkelseselement. For eksempel kan et bassin etableres, så vandet ikke infiltreres med tilsvarende hastighed som tilstrømningstiden. Eksempler på nedsivningselementer er regnbede, faskiner, infiltrationsbassiner, kunstige vådområder, nedsivning på grønne arealer, permeable belægninger, vadier samt grøfter.

Fordampningselementet er primært grønne tage, hvor der sker en fordampning af regnvandet, der rammer taget. Såfremt kapaciteten på taget er opbrugt, vil overfladevandet langsomt afstrømme til afløbssystemet, hvorved der forekommer en større forsinkelse til afløbssystemet end ved et traditionelt tag. Fordampningen forekommer også fra andre elementer såsom regnbede og bassiner.

Transportelementer leder regnvandet til et andet sted, der findes forskellige muligheder til at lede vandet, for eksempel kanaler, render, trug eller tætte render. Transportelementerne kan udføres i forskellige materialer, såsom beton, sten eller et vegetationsdække, i forskellige udformninger. Truget anvendes til at transportere og opmagasinere regnvandet, hvor der forekommer nedsivning samt fordampning. Regnvandet bliver også i nogle tilfælde transporteret underjordisk af sikkerhedsmæssige årsager, hvilket medfører en mindre fordampning samt en sikrere og hurtigere transport af regnvandet, der bortledes fra et område.

Renseelementerne sikrer en kvalitet af vandet, der bortledes fra de befæstede arealer, så forurenet regnvand ikke afledes til recipienten. Derfor skal regnvandet renses inden det bortledes. Eksempler på renseelementer er sandfang, filtrering, bassiner, og olieudskillere. [Antje Backhaus, 2008]

LAR-elementer har primære og sekundære funktioner i forhold til forsinkelse, fordampning, nedsivning, transport og rensning. Elementerne kan have flere funktioner, men afhænger af

de enkle elementers design. LAR-elementernes primære og sekundære funktioner er opstillet i tabel 2.1, hvor tre prikker symboliserer elementets primære funktion og den sekundære funktion symboliseres med en eller to prikker. For eksempel har regnvandsbeholder nedsivning, som sekundær funktion, fordi det opsamlede regnvand ofte anvendes til havevanding, mens regnvandsbeholderen primærfunktion er genanvendelse. For eksempel kanaler og renders primærfunktion transport, men kanaler og render kan designes så de har sekundærfunktioner som forsinkelse, fordampning og nedsivning.

LAR-elementer	**Forsinkelse**	**Fordampning**	**Nedsivning**	**Transport**	**Rensning**
Faskine			•••		•
Forsinkelse/ opstuvning på terræn	•••				
Forsinkelses-/ regnvandsbassiner	•••	•	••		••
Grøfter og Trug	••	••	•	•••	••
Grønt tag	••	•••			••
Infiltrationsbassiner		••	•••		••
Kanaler og render	••	•	•	•••	••
Kunstige vådområde		••	•••		••
Nedsivning på grønne arealer		••	•••		•
Permeable belægninger	•		•••		••
Regnbede		••	•••		••
Regnvandsbeholder			•		
Tætte render				•••	

Tabel 2.1: LAR-elementers primære- og sekundære funktion.

LAR-elementers primære- og sekundære funktion er illustreret i tabel 2.1. Prikkerne er fastsat ud fra sammenligning af de forskellige LAR-elementer, men dette er kun gældende for den sekundære funktion.

2.1 Beskrivelse af LAR-elementer

Afstrømningen af regnvandet ved LAR-elementer har forskellig grad af forurening. Dette afhænger af, hvilken type overflade der afvandes fra samt anvendelse af området. Stofferne, der udgør en forureningsrisiko, er primært tungmetaller, oliekomponenter, organisk miljøgifte og sygdomsfremkaldende mikroorganismer. Hovedparten af disse stoffer er bundet i det suspenderende materiale. LAR-elementerne med et vækstlag har et effektivt filter, eksempelvis grøfter og regnbede, som opfanger største del af forureningskomponenterne, der er bundet i det suspenderende materiale. Nedsivningen gennem en faskine tilbageholder forurenings-

komponenterne, men fjerner ikke det organiske stof i samme omfang som LAR-elementer med vækstlag på grund af et mindre biologisk aktivitet. Der er større risiko for grundvandsforurening ved anvendelse af en faskine end anvendelse af infiltration direkte på jorden. [Anthonisen et al., 1992]

LAR-elementerne, som kan anvendes i tætbebyggede områder, kunne være faskiner, grøfter, grønne tage, kanaler og render, permeable belægninger, regnbede, rengvandsbeholder samt tætte render. Eftersom løsningerne ikke er så pladskrævende som forsinkelse/opstuvning på terræn, forsinkelses-/regnvandsbassiner, infiltrationsbassiner, kunstige vådområde samt nedsivning på grønne områder. LAR-elementerne, der er mulige at implementere i tætbyggede områder har forskellige fordele samt ulemper i forhold til de eksisterende forhold.

2.1.1 Fordampning

Grønne tages fordel er at fjerne byskabte forureninger fra regnvandet i form af partikler samt støv. Grønne tage kan etableres på eksisterende bebyggelse og er derfor ikke arealkrævende. I bybilledet bidrager grønne tage til et økologisk og æstetisk udseende samt øger luftfugtigheden i byen. I forhold til bygningen virker grønne tage isolerende, lydabsorberende samt beskytter tagbelægningen. For at opnå de mest optimale grønne tage, anbefales der en taghældning mindre end 15-20 grader. Ikke alle tagkonstruktioner er egnet til at implementere grønne tage, da taget i våd tilstand er tungt samt anlægningen af grønne tage er dyrere end traditionelle tage. [Teknologisk Institut, 2012a] Regnbede har den fordel, at der forekommer fordampning samt nedsivning. Den største fordampning indtræffer mest om sommeren.

2.1.2 Nedsivning

Fordelen ved at implementere faskiner er, at elementet ikke kræver plads på jordoverfladen. I faskinen reduceres afstrømningen af det maksimale flow og volumen. Faskinens primære funktion er nedsivning, der medvirker til at øge grundvandsdannelsen, men afhænger af jordbundsforholdene. Faskiner er afhængige af jordbunds- og grundvandsforhold med en høj permeabilitet. For at fungere optimalt skal afstanden til grundvandet fra faskinen være mindst 1 m, og derfor kræves der forundersøgelser, før faskinen kan etableres. Problematikker ved nedsivning gennem faskiner opstår, når forurenet regnvand, såsom vejvand, nedsives. Nedsivning af forurenet vand kan have konsekvenser for grundvandet. I lange våde perioder vil faskinen have en nedsat funktion, dette afhænger af, hvor god vedligeholdelsen er af faskinen. [Teknologisk Institut, 2012a]

Fordelen ved permeabel belægning er, at volumen og max flowet bliver reduceret og regnvandet nedsives gennem et vækstlag, som effektivt fjerner stofferne. Ligeledes kan permeabel belægning etableres i eksisterende områder og kræver ikke ekstra areal. Permeable belægninger kan ikke etableres i områder med meget sediment, da dette vil tilstoppe belægningen, det samme er gældende, hvis vedligeholdelsen er dårlig. Permeable belægninger anvendes steder med lav trafikbelastning, mindre akseltryk, men afhænger af belægningen samt en hastighed mindre end 30 km/t. [Teknologisk Institut, 2012a]

Regnbede har samme fordel som faskiner og permeable belægninger ved at reducere volumen og det maksimale flow og fjerne stofferne i regnvandet. Fordelen ved regnbede er, at udførelsen kan forekomme på mange måder, så det bliver ét med landskabet, hvilket kræver planlægning. Ulempen ved regnbede er, at der opstår tilstopning, hvis det omkringliggende område ikke er vedligeholdt og området må ikke være stejlt. [Teknologisk Institut, 2012a]

Fordelen ved etablering af regnvandsbeholder, er at regnvandet kan anvendes, uanset hvordan vandkvaliteten er samt at regnvandet erstatter mængden af drikkevandet. Det er forholdsvis billigt at installere regnvandsbeholdere og kræver ikke meget vedligeholdelse. Normalt ved etablering af LAR-elementer er der tilkoblet et overløb, som ofte er nedsivning. Hvad omgår vandkvaliteten i en regnvandsbeholder forekommer der ingen rensning. Derfor vil pollen og blade forringe vandkvalitet i beholderen samt opvarmning fra solen give en høj temperatur i beholderen. [Teknologisk Institut, 2012a]

2.1.3 Transport

Grøfter og trug har til dels samme fordele ved at reducere afstrømningen af det maksimale flow samt volumen. I tætbebyggede områder med forurenet vejvand medvirker grøfter og trug til fjernelse af stofferne på grund af vækstlaget. Grøfter og trug kan indpasses, så de optræder naturligt i det omkringliggende landskab. Ved grøfter vil tilstopning eller forurening i vækstlaget være vanskeligt at registrere, og ved tilstopning er det dyrt at udskifte filtermaterialet. I nogle områder med tætbebyggelse vil det ikke være muligt at anvende grøfter på grund af pladsmangel. For at implementere trug skal terrænet være plant, for at opnå den bedste effekt. I et område optræder trug mere synligt i forhold til grøfter. [Teknologisk Institut, 2012a]

Kanaler og render hjælper til at skabe et længere forløb ved at være bindeledet mellem større kanaler og transportere vandet til det ønskede sted. Der opstår sikkerhedsmæssige udfordringer ved at udføre kanaler og render i beton. [Teknologisk Institut, 2012a]

Tætte render er med til at skabe en rekreative værdi i området, hvor det er et enkelt og billigt anlæg. Ved tætte render er det forholdsvis nemt at kontrollere driften. Ulempen ved tætte render, er at det kan være en forhindring for dem, der passere elementet. [Teknologisk Institut, 2012a]

Fordelene og ulemperne ved elementerne giver et indblik i hvor LAR-elementerne kan etableres, men i eksisterende forhold er det væsentligt at udvælge det mest optimale LAR-element til det pågældende område.

2.1.4 Opsumering af LAR-elementer

I mange tilfælde defineres fordampning, forsinkelses-, transport- og renseelementer som LAR-elementer, men LAR defineres kun ved nedsivning, da det afledes lokalt. Derfor defineres fordampning, forsinkelses-, transport- og renseelementer for blå/grønne områder, men i dette projekt betegnes de blå/grønne områder for LAR-elementer.

LAR-elementer kan være et supplement eller en erstatning til afløbssystem, for eksempel i Augustenborg afstrømmer alt regnvandet til LAR-elementer. Ved implementering af LAR-elementer anbefaler Spildevandskomiteen, at LAR-elementer dimensioneres med en gentagelsesperiode på mindst 10 år. Anvendes en mindre gentagelsesperiode, skal det dokumenteres, at lavtliggende områder ikke oversvømmes med en hyppigere overbelastning. [IDA Spildevandskomiteen, 2011]

I områder, der er lavtliggende, eller hvor grundvandsspejlet står højt, vil nedsivningen ikke være optimal. Den hydrauliske ledningsevne har indflydelse på nedsivningspotentialet. Hvis grundvandsspejlet samtidig ligger højt, vil det yderligere reducere nedsivningspotentialet. LAR-elementer har mange fordele, men ulempen ved etablering er den plads elementerne kræver. I tætbebyggede bydele, vil nogle af LAR-elementerne kunne etableres grundet pladsmangel. [Anthonisen et al., 1992]

KAPITEL 3

VALG AF PROJEKTLOKALITET

I dette kapitel er en screeningsanalyse udarbejdet for, at undersøge nedsivnings- og afstrømningsforholdene i Aalborg. Screeningsanalysen er udført med henblik på at udvælge en projektlokalitet med væsentlige problematikker i forhold til klimaforandringerne og implementering af LAR-elementer.

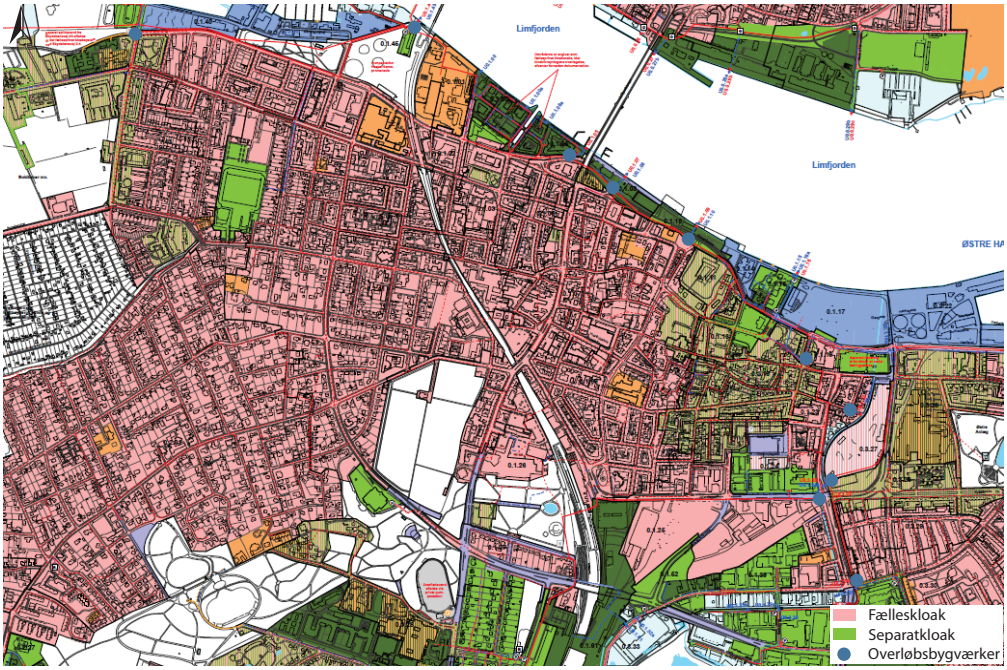
Aalborg står overfor nye udfordringer i fremtiden, såsom de forventede klimaændringer samt fornyelse af afløbssystemet. Aalborg er et tætbebygget område med lavtliggende terræn, som vil bevirke problemer i fremtiden. Dette er ikke kun repræsentativt for Aalborg, men ligeledes også andre storbyer i Danmark, såsom København og Aarhus. I de tætbebyggede områder er forsikringsværdien sat forholdsvis højt, derfor ønskes der ikke oversvømmelser. LAR-elementer vil derfor være en mulighed, der vil samtidig skabes byfornyelse i områderne. På denne baggrund er Aalborg valgt som overordnet projektlokalitet, hvor der senere hen udvælges et mindre område efter analysen, som skal repræsentere den resterende del af Aalborg.

På grund af tætte beliggenhed til Limfjorden, var Aalborg var førhen et handelscentrum. Efterfølgende blev Aalborg en af de mest industrialiserede byer udover København. Fabrikker såsom tekstil, sprit, tobak og råstofudvinding blev opført og industrialiseringen medførte en urbanisering. I slutningen af det 20. århundrede udviklede Aalborg sig til et servicesamfund med hovedsageligt bestående af service- og uddannelseserhverv. Det nuværende Aalborg er bestående af tæt bebyggelse med en høj befæstelsesgrad og ældre bygninger med bolig-, erhverv- og offentlige formål. Tidligere industribygninger er renoveret og indgår, som byfornyelse for at opretholde Aalborgs historie. [Dansk Center for byhistorie, 2013] I dag samt i fremtiden vil der være risiko for oversvømmelser i Aalborg, hvormed nye tiltag vil være nødvendige for eksempel i form af lokal afledning af regnvand. Aalborg er beliggende i Nordjylland, som ses på figur 3.1.



Figur 3.1: Aalborgs placering i Danmark.

Det nuværende Aalborg har cirka 107.000 indbyggere og er Danmarks 4. største by, med et areal på 77 km^2. [Aalborg Kommune, 2013a] Aalborg kommune har udarbejdet en Spildevandsplan, der belyser den eksisterende samt planlagte spildevandshåndtering og afklarer de miljømæssige- og økonomiske konsekvenser. I Aalborg Kommune er cirka 60 procent separatkloakeret og 40 procent er fælleskloakeret, hvor størstedelen af Aalborg Centrum er fælleskloakeret kloaksystemet (figur 3.2). [Aalborg Forsyning, Kloak A/S, 2008] Udledning af regnvandet forekommer forskellige steder i Østerå samt Limfjorden som vist på figur 3.2.



Figur 3.2: Inddelingen af fælles- og separatkloakering i Aalborg. [Aalborg Forsyning, Kloak A/S, 2008]

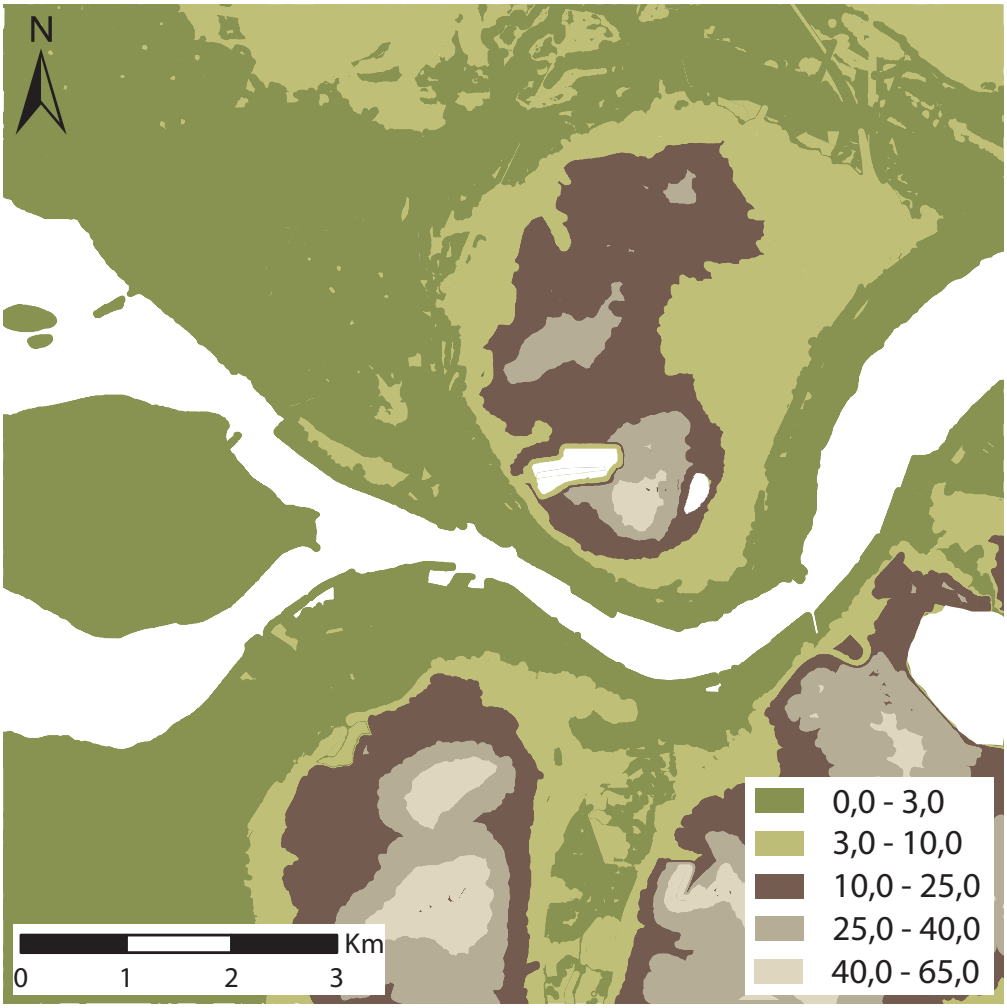
I Aalborg Kommune findes der i dag fem rensningsanlæg, men jævnfør Vision 2100 vil der i de kommende år kun foregå spildevandsbehandlingen på Renseanlæg Vest og Renseanlæg Øst. Spildevandet fra Aalborg Centrum bliver transporteret til Renseanlæg Vest i det vestlige Aalborg. På det nuværende tidspunkt behandler renseanlæg Vest spildevandet, der kommer fra den sydvestlige del i Aalborg Kommune samt Aalborg og Nørresundby samt spildevand fra Rebild Kommune. Renseanlæg Øst behandler spildevand i den østlige del af Aalborg Kommune samt fra byer i det nordlige- samt sydlige del af Aalborg Kommune. Renseanlæg Vest er den største af de to renseanlæg og er dimensioneret til 330.000 personækvivalenter, hvor Renseanlæg Øst er dimensioneret til 100.000 personækvivalenter. [Aalborg Forsyning, Kloak A/S, 2014b]

3.1 Screeningsanalyse

Forskellige screeninger er udført for at vurdere potentielle områder for implementering af LAR og dermed udvælge et mere specifikt projektlokalitet i Aalborg. I screeningsanalysen undersøges afstrømningsforholdene, nedsivningsforholdene samt hvilke parametre, der vil have indflydelse på mulige LAR-elementer. I screeningsanalysen er der ikke foretaget undersøgelser i forhold til fordampning, da det ikke er muligt. Derudover er der udarbejdet arealanvendelses- og værdikort, der giver et indblik i oversvømmelsernes konsekvenser i forhold til områdets værdi. I screeningsanalysen er der udarbejdet analyser for terræn, vandløb, lavninger, grundvandskort, geologi, hydraulisk ledningsevne, jordforurening, arealanvendelse samt værdikort.

Terræn

Terrænets topografi har indflydelse på afstrømningen i området. I Aalborg optræder en terrænforskel på cirka 65 meter henholdsvis vest og øst for Aalborg Centrum. Dette resulterer i, at overflade- samt ledningsafstrømningen strømmer mod nord til Limfjorden og derudover forekommer der også overflade- samt ledningsafstrømninger mellem de to højdekurver, som er illustreret på figur 3.3. Terrænets topografi er inddelt i 5 intervaller ud fra isolinier, som er fastlagt ud fra en digital højdemodel, DHM. [Geodatastyrelsen, 2013a]



Figur 3.3: Højdemodel over Aalborg med terrænkoter fra 0-65 m. Fremstillet ud fra data fra [Geodatastyrelsen, 2013a]

Lavninger

Ved naturlige lavninger vil der opstå en potentiel risiko for oversvømmelser, hvormed er lavningerne i Aalborg undersøgt. På figur 3.4 ses lavningerne fra 0,10-0,80 m i de centrale dele af Aalborg. Kortet er lavet ud fra en hydrologisk terrænmodel, hvor terrænet er fyldt med en regnmængde og efterfølgende er den oprindelige terrænmodel subtrahere. Særligt ses potentielle problemer i Aalborg Vestby vest for Aalborg Centrum, Øgadekvateret øst for Aalborg Centrum og Aalborg Centrum med væsentlige lavninger, hvorpå der er risiko for oversvømmelsesproblemer. [Naturstyrelsen, 2013a]



Figur 3.4: Lavninger med dybder fra 0,10-0,80 m. Fremstillet ud fra data fra [Naturstyrelsen og NIRAS, 2013]

Vandløb

Ligeledes undersøges vandløbene i Aalborg i forhold til afledning af regnvand. Førhen var der fem åløb i Aalborg, som var bestående af Hasseris Å, Vesterå, Østerå, Lilleå og Østergravens Å. Åerne er blevet omlagt flere gange for at optimere byudviklingen. På figur 3.5 ses de tidligere åløb gennem Aalborg. I det nuværende Aalborg er åløbene blevet drænet væk eller rørlagt. I dag er Østerå den eneste å, der strømmer gennem Aalborg. [Johansen et al., 1992]



Figur 3.5: Åernes forløb i Aalborg i 1859, 1. Hasseris Å, 2. Vesterå, 3. Østerå, 4. Lilleå, 5. Østergravens Å. [Aalborg Forsyning, Kloak A/S, 2014a]

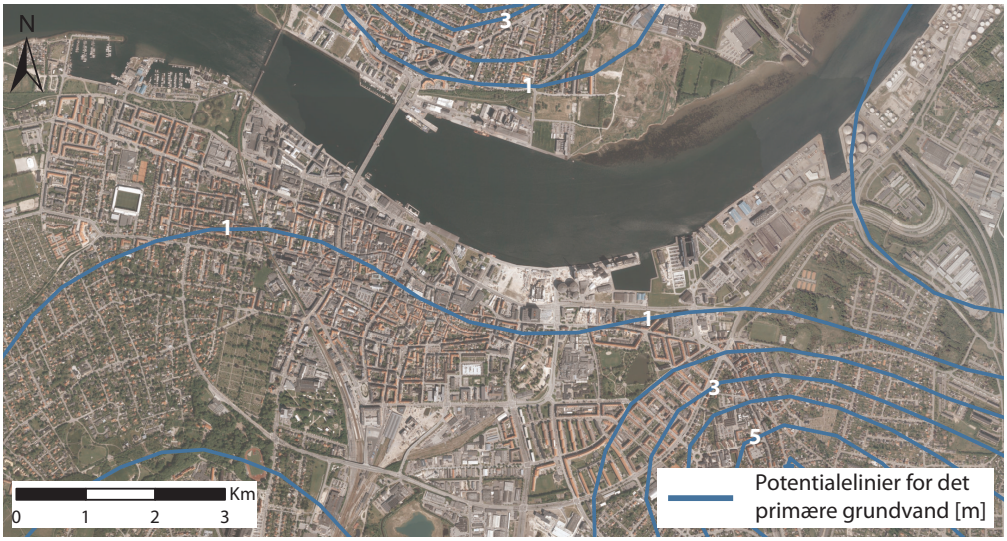
Østerå udspringer nordøst for Støvring. Sideløbende med Østerå forløber Østre- og Vestre Landgrøft, hvor Vestre Landgrøft er delvist rørlagt og udmunder i Østerå ved Kjærs Mølle. Venstre Landgrøft udmunder i Østerå ved fisketrappen ved Sønderbro. Efter Østerå har passeret fisketrappen, er åen rørlagt ud til udmundingen i Limfjorden. Østerå var inden det 19. århundrede åben og løb igennem Aalborg Centrum, men derefter blev Østerå ledt øst for centrum og rørlagt. Forløbet af Østerå, Østre Landgrøft samt Vestre Landgrøft er illustreret på figur 3.6. De to landgrøfter samt Østerå er det største samt mest betydningsfulde afvandingssystem i Aalborg, som modtager vand fra et opland på 146,5 km^2. Østerå har et opland på cirka 130 km^2, som hovedsagligt er åbent landskab, hvor Østre Landgrøft opland er cirka 10 km^2, som består af åbent land samt befæstede områder fra Gug sydøst for Aalborg. Vestre Landgrøft afvander fra Aalborg Vestby og Kærby syd for Aalborg Centrum bestående af et areal på ca. 5,2 km^2. [Aalborg Byråd, 2013]



Figur 3.6: Nuværende forløb i Aalborg Centrum af 1. Veste Landgrøft, 2. Østerå og 3. Østre Landgrøft. Fremstillet ud fra data fra [Danmarks Miljøundersøgelser et al., 2000]

Grundvand

Til vurdering af nedsivningselementernes funktioner ved etablering i Aalborg er et grundvandspotentialekort udarbejdet. Grundvandspotentialekort er udarbejdet af amtet i 2005 med trykniveauer for de primære grundvandsmagasiner med en kurveækvidistance på 1 m. På figur 3.7 ses fordelingen af det primære grundvandsmagasin. Grundvandet er højtliggende langs fjorden pga. lavtliggende terræn, hvorimod terrænet i Nørresundby og Vejgaard er højere. Det lave terræn samt den høje grundvandsstand medfører, at forskellige LAR-elementer ikke vil opnå en tilstrækkelig virkning såsom nedsivningselementer. I Aalborg Centrum er de tidligere aktive indvindingsboringer, som blev anvendt til industri, nu inaktive. De nuværende aktive indvindingsboringer, der anvendes til drikkevand, er placeret på Nørresundbysiden samt syd for Aalborg Centrum og har derfor ingen indflydelse på etablering af LAR-elementer.



Figur 3.7: Grundvandets potentiallinier i Aalborg med en kurveækvidistance på 1 m. Fremstillet ud fra data fra [Nordjyllands Amt, 2005]

Mulighedskort

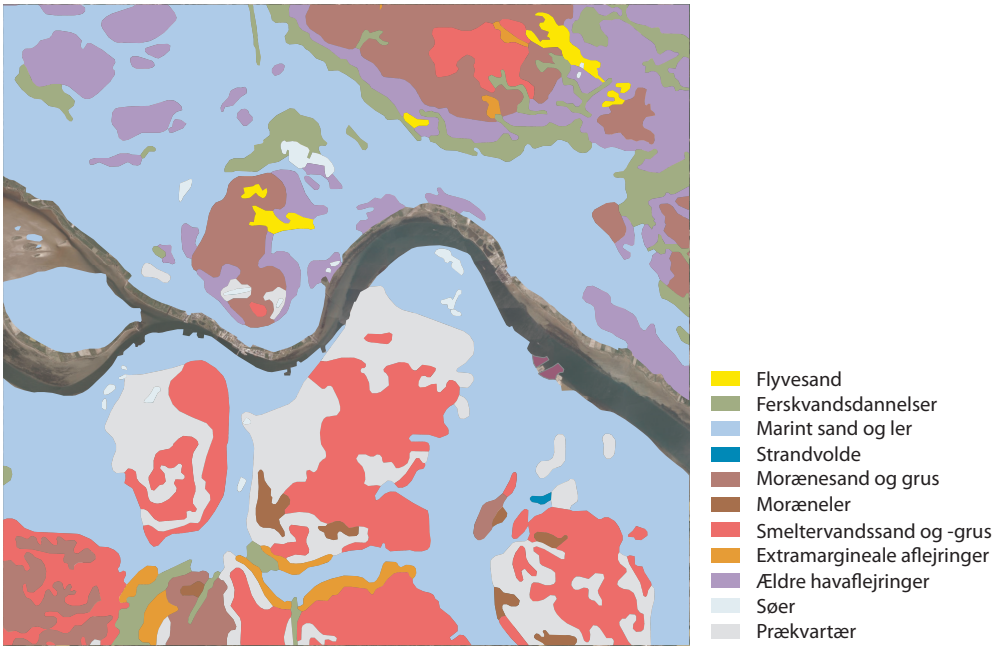
For at vurdere forholdene til etablering af nedsivningselementer i Aalborg Centrum er der udarbejdet et mulighedskort for at bestemme områder med størst potentiale til etablering af nedsivningselementer. Kortet er bestemt ved subtrahering af grundvandspotentialekortet og terrænets topografi. Mulighedskortet er illustreret på figur 3.8, der viser muligheden for etablering af nedsivningselementer i de bestemte områder, som ikke er egnede, muligt egnede eller egnede. Vurderingerne ud fra mulighedskortet viser, at der vil forekomme problemer ved etablering af nedsivningselementer langs fjorden grundet det lavtliggende terræn samt højt ligger at grundvandsspejlet ligger højt. Derfor vil det ikke være muligt at anvende nedsivningselementer.



Figur 3.8: Mulighedskortet for faskiner indenfor ikke egnet(0-1 meter), måske egnet(1-3 m) samt egnet(>3 m).

Geologi

Geologien har indflydelse på nedsivningen i Aalborg samt grundvandsforholdene. De geologiske forhold i Aalborg består hovedsageligt af smeltevandssand og –grus, marint sand og ler samt prækvartære lag, som primært er kalk, som det ses på figur 3.9. Ved havnefronten syd for Limfjorden ligger leret i en dybde på 2 til 6 m. Mere sydligt ligger leret i en dybde på 20 til 25 m. [De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland, 2013]



Figur 3.9: Geologiens opbygning i Aalborg med prøvetagning i cirka 1 meters dybde. Fremstillet ud fra data fra [De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland, 1999]

Hydraulisk ledningsevne

For at vurdere nedsivningspotentialet til grundvandet er et kort over den hydrauliske ledningsevne udarbejdet for Aalborg området. På figur 3.10 ses de hydrauliske ledningsevner fra 2,3 $\cdot 10^{-7}$ til 1,3 $\cdot 10^{-4}$ m/s i det øverste jordlag 0 til 0,25 m for den nærmættede del, hvor jordens makroporer ikke er medtaget i vandtransporten. Ved at sammenholde den hydrauliske ledningsevne med geologien, som er illustreret på figur 3.9, ses tydeligt en sammenhæng med marint sand og ler langs fjorden og smeltevandssand og -grus i højere terræn, hvor vandet har en lettere tendens til at nedsive med en høj hydraulisk ledningsevne. [Naturstyrelsen, 2013a]



Figur 3.10: Hydrauliske ledningsevner fra 2,3 $\cdot 10^{-7}$ til 1,3 $\cdot 10^{-4}$ m/s. Fremstillet ud fra data fra [Nationalt center for fødevarer og jordbrug - Århus Universitet, 2013]

Jordforureningsforhold

Jordbundsforholdene undersøges i forhold til forurening af undergrunden samt de mulige nedsivningsforhold af regnvand i det pågældende område. Folketinget vedtog en jordforureningslov i 1999, der skal forebygge, fjerne eller begrænse jordforurening i forhold til skadelige virkninger på grundvandet, menneskets sundhed samt miljøet. Lovgivningen fastlægger gennemførelsen af kortlægning af jordforureningen i to niveauer. Vidensniveau 1 (V1) kortlægges, hvis der er viden om aktiviteter på arealet, der kan være kilde til jordforureningen på arealet. Vidensniveau 2 (V2) kortlægges, hvis der er dokumentationsgrundlag for, at arealet med sikkerhed er forurenet i en sådan grad, at koncentrationen kan have skadelig virkning på mennesker samt miljøet. [Geodatastyrelsen, 2013b] Et andet begreb, indenfor jordforureningsloven er områdeklassificering, der omfatter områder med antagelser om lettere forurenet jord, som ofte ses ved byområder. Ved anvendelse af områder i områdeklassificering anbefales det at foretages jordprøver.

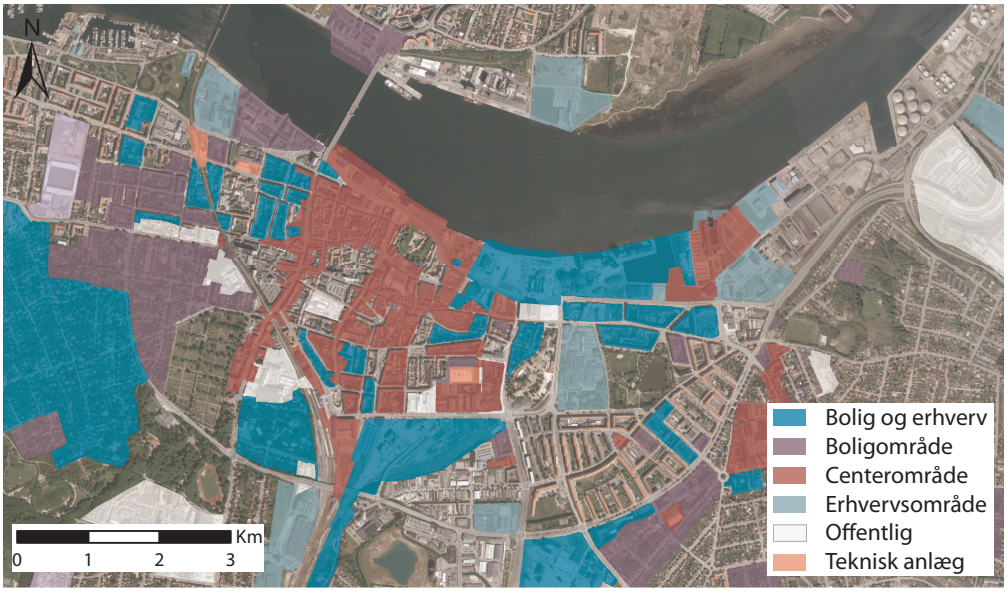
De fire områder indenfor jordforureningsloven er illustreret på figur 3.11. Vidensniveau 1 og vidensniveau 2 optræder flere steder på havnefronten, både på Nørresundby og Aalborg siden. Syd for Aalborg Centrum forekommer der to grunde med vidensniveau 1 og 2, som er tidligere farbriksarealer. Ellers optræder der mindre arealer med V1 og V2. Grundet til, at Aalborg er et byområde, hvor mange af steder områdeklassificeret. [Region Nordjylland, 2013b]



Figur 3.11: Jordfoureningsloven med de fire områder. Fremstillet ud fra data fra [Region Nordjylland, 2013a]

Arealanvendelse

For at vurdere de samfundsmæssige konsekvenser er et arealanvendelseskort og værdikort udarbejdet for Aalborg Centrum. Som tidligere nævnt består Aalborgs nuværende bystruktur af bolig-, erhverv- og offentlige formål, som ses på figur 3.12, hvor de forskellige anvendelsestyper er bestemt ud fra lokalplanerne for Aalborg. Størstedelen af anvendelsestyperne i Aalborg er kategoriseret som centerområde samt bolig og erhverv, hvor centerområde er en sammensætning af bolig, erhverv og offentlige formål.

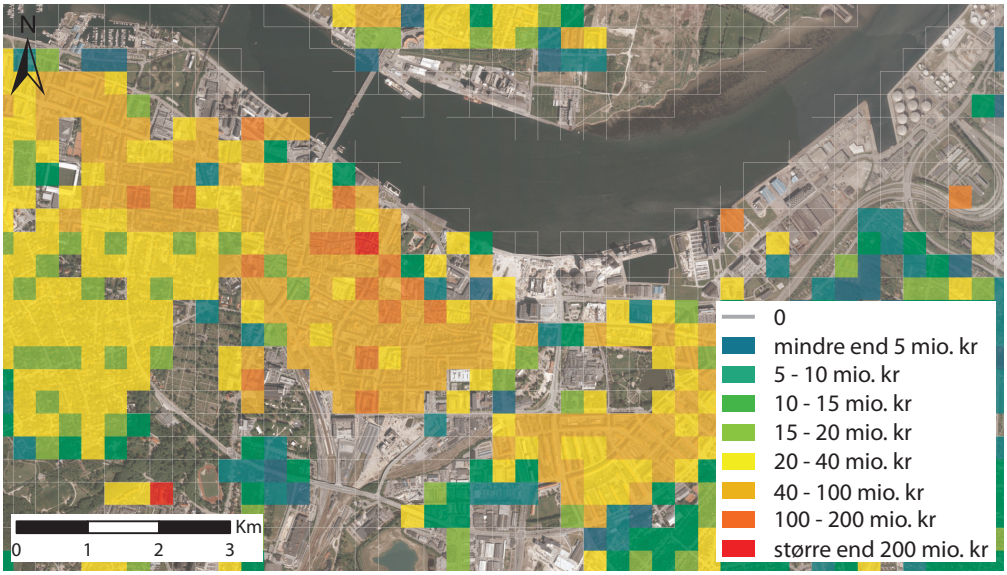


Figur 3.12: På figuren ses de forskellige anvendelsestyper i Aalborg indenfor centerområde, erhvervsområde, offentlig, teknisk anlæg, boligområder samt bolig og erhverv. Fremstillet ud fra data fra [PlansystemDK, 2013]

Værdikort

Områderne lokaliseret tæt på Limfjorden vil i fremtiden være udsat for fremtidige vandstandstigninger samt oversvømmelser. For at vurdere konsekvenserne, ved oversvømmelser samt vandsstandsstigninger af de enkle områder, er et værdikort udarbejdet for at vurdere de forventede økonomiske konsekvenser i de enkelte områder.

Værdikortet er lavet ud fra adresseoplysninger, ejendomsvurderinger og bygningsoplysninger i et 100 meters kvadrat med den summerende værdi for kvadrater med mere end fire adresser på grund af hensyntagen til beboeres privatliv. På figur 3.13 ses de forskellige områders værdier fra 0 til større end 200 millioner kr. [Naturstyrelsen, 2013b]



Figur 3.13: Værdikort for Aalborg. Fremstillet ud fra data fra [Naturstyrelsen og NIRAS, 2013]

Den procentmæssige fordeling er fundet ud fra figur 3.13 for de forskellige værdiklasser. Størstedelen af området har en forsikringssum ved oversvømmelser bestående af prisklasse 20-40 millioner kr. og 40-100 millioner kr. med en procentmæssig fordeling på 30 % og 25% af det viste udsnit på figur 3.13. I den inderste del af midtbyen ses en generel høj værdi, hvorimod gågader såsom Nytorv, Bispensgade, Algade og Søndergade, har en værdi der er højere end 100 millioner kr.. Generelt ses der lavere værdiklasser både vest og øst for Aalborg Centrum.

3.1.1 Opsummering

I screeningsanalysen er Aalborg undersøgt med henblik på at udvælge et område som projektlokalitet, hvor forskellige LAR-elementer er mulige, at implementere, primært i forhold til nedsivning.

Screeningsanalyse har givet et overblik over forholdene i Aalborg området. Ud fra terrænkortet ses et lavere terræn langs fjorden, hvorpå der vil opstå problemer i form af overfladeafstrømninger til Limfjorden på grund af et højere terræn sydøst og -vest for Aalborg Centrum. Ligeledes følger grundvandsmagasinerne områdets terræn, hvor grundvandspotentiale i højtliggende terræn afstrømmer til lavtliggende terræn til Limfjorden. I det lave terræn løber Østerå, hvor strækningen er rørlagt efter Sønderbro og udmunder i Østre Havn. Afledning af regnvand til åen eller grøfter er ikke muligt, så derfor tages Østerå ikke i betragtning til afledning. I Aalborg forekommer der forholdsvist dybe lavninger i intervallet 0,3 til 0,8 m i Vestbyen, Øgadekvarteret og sydlige del af Aalborg Centrum. Lavningerne giver et overblik over de potentielle oversvømmelsesområder, hvor vandet vil afstrømme naturligt og vil være en oplagt mulighed til anvendelse af LAR. I områder langs fjorden vil der opstå problemer ved at etablere faskiner, fordi grundvandet ligger højt.

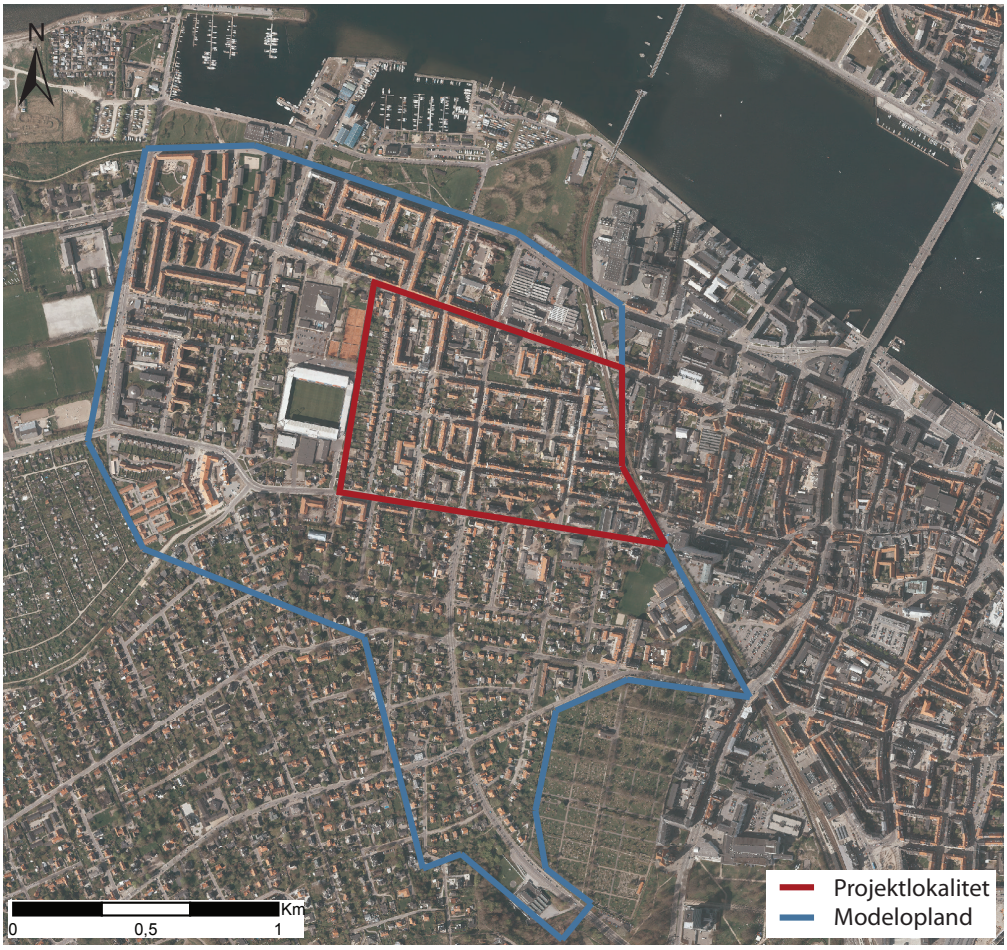
Geologien samt den hydrauliske ledningsevne har betydning for nedsivningen i det pågældende område. Geologien i Aalborg består af marint sand og ler fra tidligere istider. Boringer fra området viser en variation af lerets dybde fra 2 til 20 m. Variationen af leret medfører, at den hydrauliske ledningsevne ligeledes varierer fra 1,9 $\cdot 10^{-5}$ til 3,1 $\cdot 10^{-5}$ m/s, svarende til jordarter som sand og silt. Udover geologien og den hydrauliske ledningsevne, har jordforurening også en betydning for nedsivningsforholdene. Jordforureningen i Aalborg er hovedsagelig præget af områdeklassificering, da Aalborg er et byområde. Enkelte steder optræder vidensniveau V1 og V2 såsom langs havnefronten optræder større områder med V1 og V2 grundet tidligere erhverv.

For at vurdere de samfundsmæssige konsekvenser, er et arealanvendelses- og værdikort udarbejdet. Arealanvendelseskortet giver et overblik over Aalborg, som hovedsageligt er præget af bolig-, erhverv- og centerområder med høj forsikringsværdi på 20 til 100 millioner kroner. Ud fra screeningsanalysen er projektlokaliten udvalgt i Aalborg. Projektlokaliten har karakteristik svarende til en større del af Aalborg Centrum og vil være repræsentativ for et større område.

3.2 Projektlokalitet

Projeklokaliteten er udvalgt for et mindre område i Aalborg Vestby. Den er illustreret på figur 3.14 med en mørkerød farve samt den blå markering på figur 3.14 illustrer modeloplandet. I modellen er et større modelopland tilkoblet for at få det tilhørende kloakopland til projektlokalitet og dermed opnå en mere korrekt lednings- og overfladeafstrømning.

Vestby er et ældre boligområde hovedsagligt med boligblokke samt enkelte villaområder hvorfor en byfornyelse vil være eftertragtet og skabe samfundsmæssigværdier ved at implementere LAR-elementer i form af grønne områder. LAR-elementerne vil også kunne implementeres i villahaverne. I projektlokaliteten er der mange ældre lejlighedskomplekser samt huse beliggende, hvor der ofte er tilhørende kældre, som vil være i risikozone for oversvømmelser under de kraftige regnhændelser.



Figur 3.14: Markering af udvalgt projektlokalitet samt modelopland.

Aalborg Vestby bærer præg af nedslidte boligområder, hvor der er brug for tiltag som byfornyelse samt rekreative områder som eksempel på dette er på figur 3.15 og figur 3.16, vist de eksisterende forhold i Vestby. Samtidig er der mangel på sammenhæng mellem den ny renoverede havnefront og Aalborg Vestby. På figur 3.15 illustreres forholdene i gadebilledet, hvor figur 3.16 illustrerer forholdene i baggårdene, som ikke er renoveret. I følge lokalplanerne for Vestby vægtes den arkitektoniske kvalitet meget højt. Derfor skal der lægges vægt på dette ved etablering af LAR-elementerne. Der er samtidig behov for trafikdæmpende foranstaltninger, da Vestby er meget trafikbelastet.



Figur 3.15: Eksisterende forhold ved Ryes passage i Aalborg Vestby.



Figur 3.16: Eksisterende forhold i en baggård ved Fredericiagade i Aalborg Vestby.

Et eksempel, på tidligere problemer, med oversvømmelser forekom under en kraftig regnhændelse, der indtraf den 6. august 2012 med en gentagelsesperiode på 36 år. I denne forbindelse forekom der oversvømmelser mange steder i Aalborg Centrum. Aalborg Vestby er valgt som projektlokalitet på grund af de mange indberetninger om opstuvning af kloakvand, der indtraf den 6. august 2012. I projektlokaliteten var der 29 borgerindberetninger om opstuvning af kloakvand, som er illustreret på figur 3.17. [Flemming Lapertis, 2012] I fremtiden vil der muligvis forekomme flere og mere kraftigere skybrud, hvor der vil være mulighed for oversvømmelser særligt i viadukterne mere ofte.

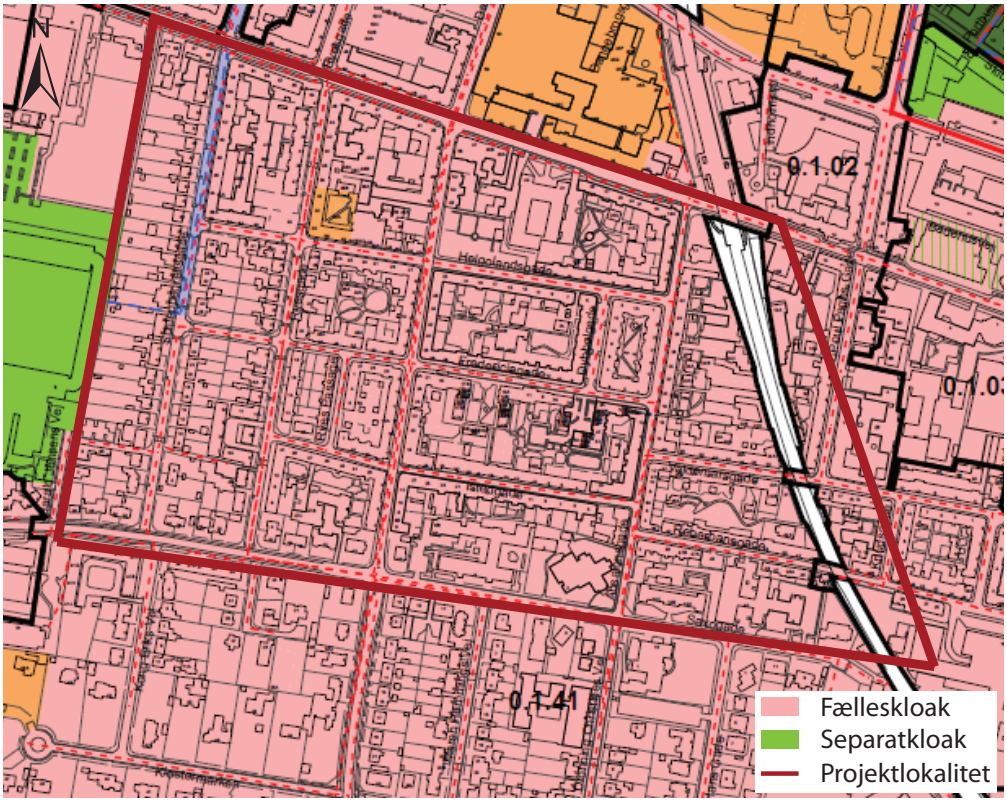


Figur 3.17: De 29 borgerindberetninger om opstuvning af kloakvand i projektlokalitet. [Flemming Lapertis, 2012]

Projektlokaliteten har et lavtliggende terræn, hvor der optræder adskillige områder med lavningsdybder på 0,3 til 0,8 m. Grundet det lavtliggende terræn står grundvandspejlet højt med en potentialelinie på 1 meter. Dermed vil der opstå forskellige problematikker ved at anvende faskiner i området. Der vurderes, at etablering af regnbede i området vil være optimal med nedsivning, fordi regnbedene etableres på terræn og dermed vil der ikke opstå problematikker med hensyn til det højtliggende grundvandsspejl. I forhold til nedsivning, er der marint sand i området med en hydraulisk ledningsevne på $1{,}9 \cdot 10^{-5}$ m/s, hvilket medfører gode nedsivningsforhold for LAR-elementer. I projektlokaliteten er det ikke muligt at aflede til nærliggende vandløb. Derfor vil det være oplagt, at aflede til et grønt areal inden udledningen til Limfjorden. I projektlokaliteten optræder der enkle steder med vidensniveau V1 og V2 samt nuancering af V2, mens den resterende del er områdeklassificeret, hvilket kræver en undersøgelse af jordbundsforholdene, der kan angive om jorden er forurenet eller ej.

Projektlokaliteten er præget af boligområder samt erhvervsområder langs den nordlige del af projektlokaliteten. Størstedelen af områderne ligger i prisniveauet fra 40-100 millioner kroner og enkle områder med 20-40 og 100-200 millioner kroner. Derfor vil det være relevant at sikre mod oversvømmelserne, når prisniveauet er forholdsvis højt. Grundet de fremtidige klimaændringer, er klimastrategien for den udvalgte projektlokalitet undersøgt.

I projektlokaliteten er spildevandsplanen gældende, og området er fælleskloakeret. Projektlokaliteten er beliggende i to kloakoplande med et mindre område, der er fælleskloakeret privat (orange), som ses på figur 3.18. Vest for projektlokaliteten er Aalborg Stadion (grøn) beliggende.



Figur 3.18: Inddelingen af fælles- og separatkloakering i projektlokaliteten. [Aalborg Forsyning, Kloak A/S, 2008]

Projektlokaliteten skal repræsentere den resterende del af Aalborg i forhold til de økonomiske aspekter. Nogle af LAR-elementerne kan give inspiration til etablering af LAR-elementer i den resterende del af Aalborg, da grundvandet samt forureningen er repræsentativt for den resterende del af Aalborg.

KAPITEL 4

PROBLEMFORMULERING

De forventede klimaændringer vil i fremtiden resultere i flere ekstreme regnhændelser og det vil medføre kapacitetsproblemer i det eksisterende afløbssystem. Dette vil forårsage flere oversvømmelser i lavtliggende områder. For at minimere oversvømmelserne og deres ødelæggelser skal kapaciteten i afløbssystemet øges. Kapaciteten øges ved traditionelle løsninger såsom separatkloakering, større fælledledninger, store forsinkelsesbassiner med mere eller der kan etableres LAR-elementer. Ved etablering af LAR-elementer i Aalborg Vestby, er det ud fra tidligere feltundersøgelse af projektlokaliteten, undersøgt om det er muligt at etablere grønne tage, permeabel belægning, regnbede, grøfter samt render i området. Der kan forekomme nedsivning fra permeabel belægning samt regnbede, da elementerne etableres ovenpå terrænet og overholder kravet 1 m ned til grundvandsspejlet for at LAR-elementet fungere optimalt. Ved etablering af LAR-elementerne i tæt bebyggede områder forekommer der ofte problemer i forhold til pladsen i byerne og derfor fremkommer følgende problemformulering:

Hvordan klimatilpasses Aalborgs tætbebyggede Vestbyen i forhold til ekstremregn ved anvendelse af lokal afledning af regnvand og hvad er de samlede omkostninger set over en 75 års afskrivningsperiode sammenholdt med traditionelle løsningsmetoder?

Den nuværende status for Aalborg Vestby undersøges i forhold til funktionskravet for opstuvning til kritisk niveau samt udbredelsen af oversvømmelser i området. Med udgangspunkt i vurderingen af den nuværende status i forhold til opstuvning til kritisk niveau samt oversvømmelsesudbredelsen udvælges der områder i Aalborg Vestby, hvor LAR-elementer kan etableres samt fungere mest optimalt. Dette er afgørende for det enkelte LAR-elements egenskab samt kvalitet. Effekten af de enkelte LAR-elementer, det er muligt at implementere i Aalborg Vestby, undersøges i forhold til reduktionen af afstrømningsmængden, hvor en CDS-regn anvendes samt en LTS simulering for at bestemme effekten af det enkle LAR-element

over et år. For at udnytte LAR-elementerne optimalt vil der blive udarbejdet en illustrationsplan, der viser samt beskriver de forskellige LAR-elementers placering i Aalborg Vestby. De udvalgte LAR-elementer i projektlokaliteten dimensioneres. For at kontrollere hvilken effekt LAR-elementerne har i området, foretages der simuleringer i MIKE Urban, hvor en CDS-regn anvendes. De fremtidige forhold undersøges, med en sikkerhedsfaktor der multipliceres på CDS-regn med en valgt gentagelsesperiode, hvor der simuleres forskellige scenarier i MIKE Urban. I de fremtidig scenarier er LAR-elementerne tilkoblet, som en såkaldt trappetrinsløsning, hvor de forskellige LAR-elementer er sammenkoblet. Der undersøges i forhold til opstuvning til terræn samt hvilken effekt LAR-elementerne vil have på udløbsvolumen.

Yderligere sammenlignes LAR-elementerne, der etableres i projektlokaliteten, med den traditionelle løsning i forhold til de samlede omkostninger, såsom anlægs-, vedligeholdelse- og driftsomkostninger i forhold til en afskrivningsperiode på 75 år. For der kan den mest optimale løsning bestemmes samt hvilken løsning der kan håndtere ekstreme regnhændelser.

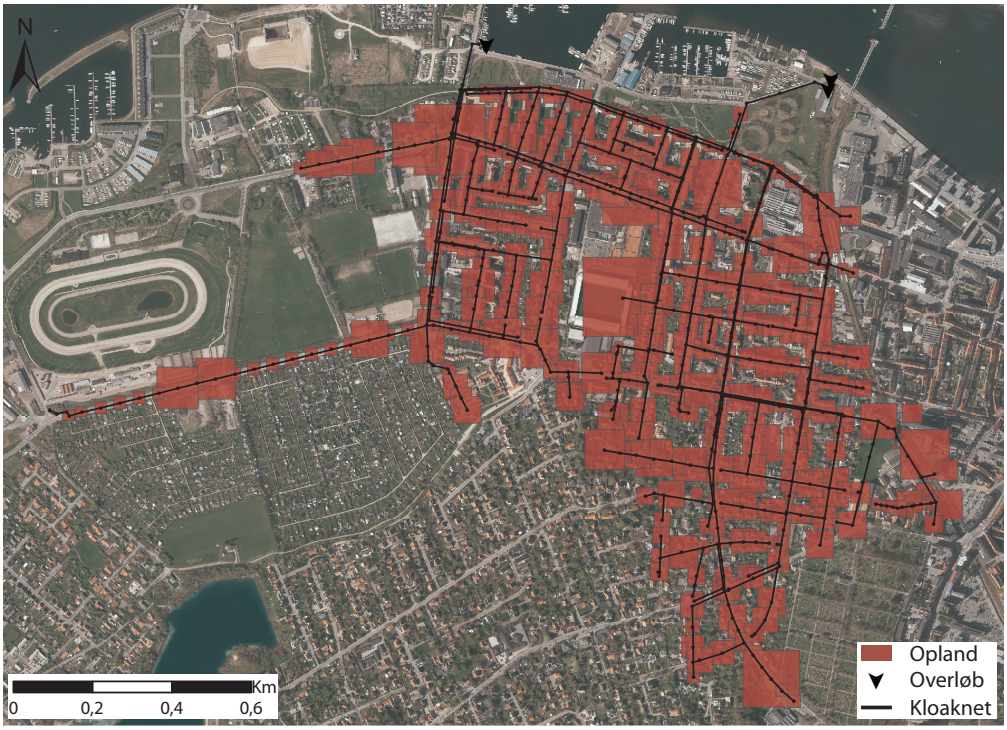
KAPITEL 5

STATUS

I dette kapitel undersøges den nuværende status for Aalborg Vestby, hvor gentagelsesperioderne for opstuvning til kritisk niveau simuleres i en MIKE Urban derefter simuleres en MIKE Urban Flood model for at belyse de mulige oversvømmelsesområder.

De forventede klimaforandringer vil medføre hyppigere og kraftigere nedbørshændelser, hvormed belastningen af kloaksystemet øges og forårsager opstuvning til kritisk niveau og eventuelle oversvømmelser. Ligeledes vil aflastningen til recipienterne øges og optræde oftere, hvilket vil medføre til mere forurening fra fælleskloakering til recipienterne, hvormed rekommandationen om en gentagelsesperiode ikke overholdes i forhold til opstuvning til kritisk niveau.

For at verificere, hvilke problemer der forekommer i den udvalgte projektlokalitet Aalborg Vestby, analyseres den nuværende situation, hvor opstuvning til kritisk niveau samt oversvømmelse med oversvømmelseskort undersøges. For at inddrage regnvandsafstrømningerne til modellen, inddrages et større kloakopland af Aalborg Vestby, hvor projektlokaliteten er inkluderet. På figur 5.1 ses projektlokaliteten og kloakoplandet med de tilhørende oplande, for en given MIKE Urban model udarbejdet af rådgivende ingeniørvirksomhed EnviDan.



Figur 5.1: Projektlokaliteten samt det tilhørende kloakopland.

På figur 5.1 ses kloakoplandet med et overløb ved Vestre Bådehavn, samt to overløb ved Kloakforsyningen, hvorpå spildevandet transporteres til Rensningsanlæg Vest med en lokalitet vest for kloakoplandet.

Overordnet set er MIKE Urban modellen fra EnviDan en hydrodynamisk afløbsmodel, der beskriver afstrømning, opstuvning til terræn samt oversvømmelser. I modellen indgår en overflade- samt rørmodel med forskellige detaljeringsgrader. Overflademodellen anvender en tid-areal metode og derudover er en fuld dynamisk bølgeteori anvendt i rørmodellen.

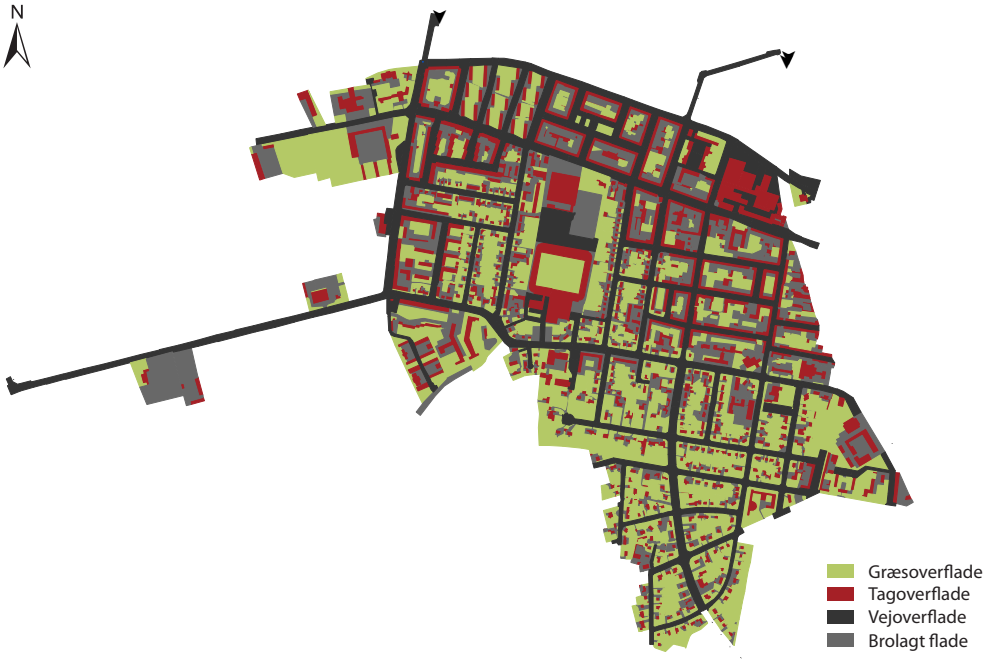
Den oprindelige model er opdateret i henhold til oplandsbeskrivelse samt antal personækvivalenter, hvilket muliggør beregningen af LAR-elementer i løsningsforslagene. I modellen er der antaget, at et parcelhus svarer til tre personækvivalenter og derudover er lejlighedskomplekserne opdateret ud fra antal beboer i lejlighederne. Normalt tilkobles bygningerne med stikledningerne til rørsystemet, men i modellen er områderne tilkoblet opstrøms for brøndene. Tilkobling er gjort ud fra en simulering af strømningen fra den oprindelige MIKE Urban model.

Oplandsbeskrivelsen i den oprindelige model var inddelt i brønde med tilkoblet opland med en gennemsnitlig befæstelsesgrad, initialtab og koncentrationstid. Derimod er den opdaterede model i stedet inddelt i brolagt-, græs-, tag- og vejoverflader med tids-areal metoden som hydrologisk model. For hvert areal er en pågældende befæstelsesgrad, initialtab og koncentrationstid, som er vist i tabel 5.1.

Oplandstype	Brolagt	Græs	Tag	Vej
Befæstelsesgrad [%]	70	1	100	100
Intialtab [m]	0,0011	0,005	0,0008	0,0009
Reduktionsfaktor [-]	0,9	0,9	0,9	0,9
Koncentrationstid [min]	7	7	3	7

Tabel 5.1: Inddeling af oplandstyper.

Resultatet af ændringen af oplandsbeskrivelsen er vist på figur 5.2, hvor farverne illustrer oplandstyperne.



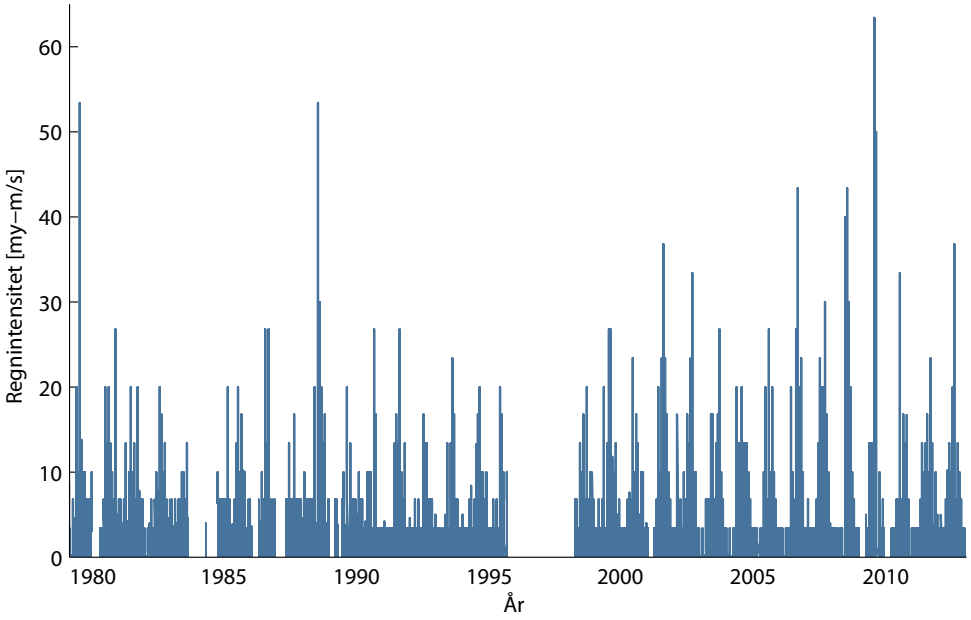
Figur 5.2: Modelområde med opdateret oplandsbeskrivelse.

Efterfølgende er de to modeller sammenlignet for at undersøge den opdaterede models anvendelighed. Modellerne er sammenlignet i forhold til det totale areal samt det befæstede areal, hvilket ses i tabel 5.2. Ved sammenligning af det totale areal ses et større areal i den opdaterede model end i den oprindelige model. Dette skyldes hovedsageligt, at de grønne arealer i den opdaterede model er inddraget. I befæstede arealer, der beskriver befæstelsesgrader ses der ikke en væsentlig forskel, hvorfor modellen er vurderet anvendelig.

Model	Oprindelig	Opdateret
Total areal [ha]	119	121
Befæstet areal [ha]	70	70

Tabel 5.2: Sammenligning af total- og befæstet arealer.

I MIKE Urban modellen påføres en regnserie, hvilket i dette tilfælde er valgt Sulsted regnen med en regnserie fra 1979-2014, hvor Sulsted regnen er valgt på grund af den lange tidsperiode. Sulsted måleren er en af de ni regnmålere omkring Aalborg, som er opstillet af Aalborg Forsyning i samarbejde med Danmarks Spildevandskomité, men drevet af DMI, i Sulsted, Aalborg(Østerport), Nørresundby(Søvangen), Mølholm(Renseanlæg Vest), Frejlev Syd, Frejlev Nord, Gistrup, Vodskov og Svenstrup. De ni regnmålere er vippekarsmålere, der registrerer et vip for hvert 0,2 mm. Sulsted regnserien er illustreret på figur 5.3. På figuren ses en ophørsperiode på otte år, grundet en nedlæggelse af regnmåler, hvor der efterfølgende er opsat en ny. [Rikke Sjølin Thomsen, 2013]



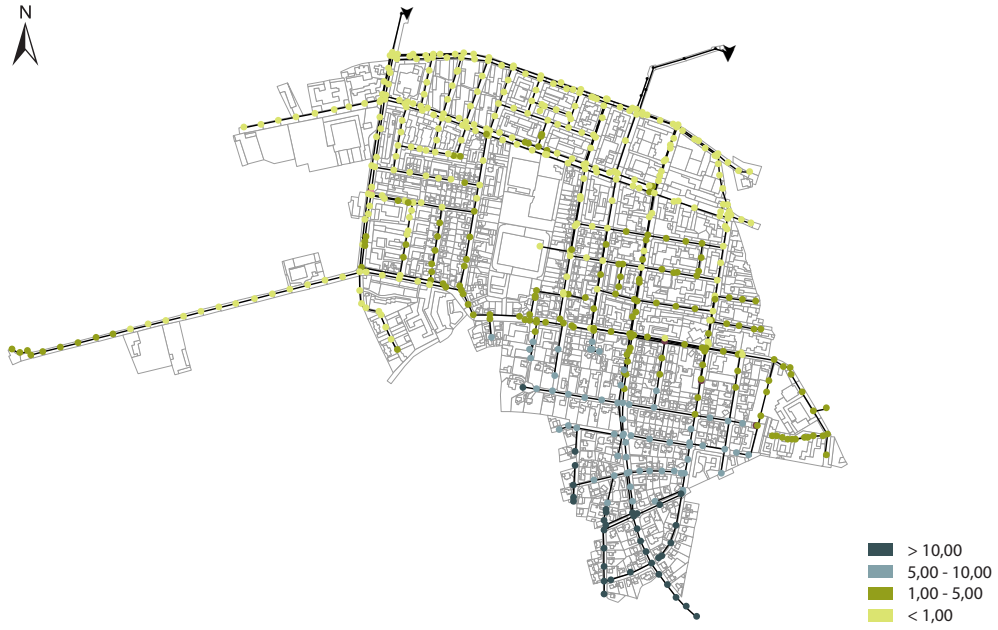
Figur 5.3: Sulsted regnserien fra 1979-2014.

I modellen er MOUSE LTS (Long Time Statistics) anvendt til simulering af regnhændelserne, der beskriver start- og stopkriterier for regnens forløb. Ved LTS reduceres datamængden signifikant uden tab af væsentlig information, hvormed irrelevante hændelser, der ikke bidrager til opstuvning til terræn, frasorteres i LTS såsom tørvejr og mindre regnhændelser. I startkriteriet er threshold sat til 0,8574 mm/min med en varighed på 10 minutter, hvilket

fastsætter begyndelsen på en regnhændelse, under denne værdi antages at regnen ikke bidrager til afløbssystemet. Ligeledes er stopkriteriets threshold sat til 0,01 m^3/s ved 30 minutter for hvornår modellen antager at regnen ophører, hvormed 'halen' af regnhændelsen ikke medtages. I LTS modellen fås 426 hændelser ud fra de valgte start- og stopkriterier, hvormed de 250 største hændelser anvendes til analyse.

5.1 Opstuvning til kritisk niveau

For at undersøge de kraftige hændelser for den nuværende situation, anvendes en MIKE Urban model ved at simulere opstuvning til kritisk niveau i forhold til de gældende rekommandationer fra Spildevandskomiteens Skrift 27 med en gentagelsesperiode på 10 år for fælleskloakeret i perioden fra 1979-2014, som er beskrevet i afsnit 1.1 på side 3. Det kritiske niveau er i modellen sat til 1,5 m under terrænniveau, svarende til kælderniveau, se appendiks app:elektroniske - *MIKE Urban - Kritisk niveau kælder*. På figur 5.4 ses et horisontalt snit for ledningsstrækningerne og for at undersøge det kritiske niveau er brøndenes gentagelsesperioder undersøgt.



Figur 5.4: Gentagelsesperioder for opstuvning til kritisk niveau (kælder) i kloakoplandet.

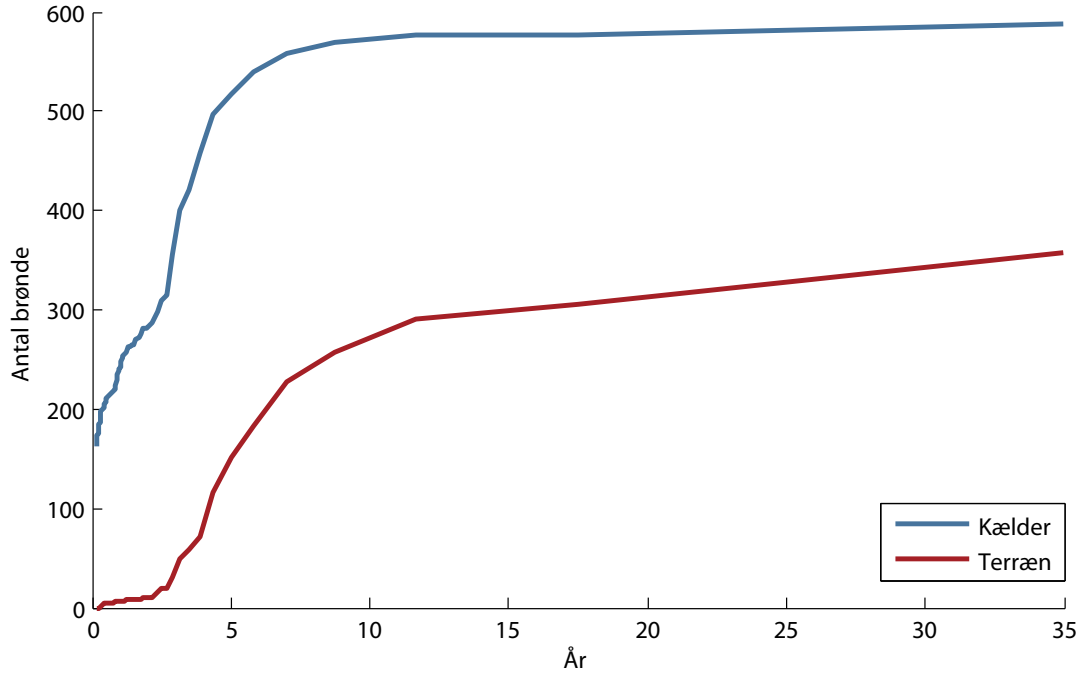
På figur 5.4 ses brøndene i projektlokaliteten efter en LTS simulering af Sulsted-regnserien med gentagelsesperioder for 1 til over 10 år. Generelt ses der, at de større veje overholder gentagelsesperioden på 10 år for fælleskloakering, hvorimod der i mindre områder hyppigt ses tendens til opstuvning til kælderniveau. Ligeledes er det kritiske niveau i forhold til terræn undersøgt, hvilket ses i appendiks app:elektroniske - *MIKE Urban - Kritisk niveau terræn*.

Gentagelsesperioden for opstuvning til terræn er forholdsvis større end ved opstuvning til kælderniveau. I den sydlige del af området overholdes gentagelsesperioden for opstuvning til terrænniveau ikke, hvilket hovedsageligt er præget af villakvarterer. Gentagelsesperioderne for opstuvning til kritisk niveau, er illustreret på figur 5.5.



Figur 5.5: Gentagelsesperioder for opstuvning til kritisk niveau (terræn) i kloakoplandet.

For at sammenligne opstuvning til terræn- og kælderniveau i forhold til gentagelsesperioden, er en funktion af gentagelsesperioderne opstillet, hvilket er illustreret på figur 5.6. Der forekommer opstuvning til terræn i 271 brønde ud af 602 brønde, som ikke overholder funktionspraksis på 10 år svarende til 45 %. Ved opstuvning til kælderniveau forekommer der opstuvning i 572 brønde, der ikke overholder funktionspraksis på 10 år, hvilket svarer til 95 % af brøndene.



Figur 5.6: Opstuvning til kritisk niveau af en funktion af gentagelsesperioden.

5.2 Oversvømmelsesmodel

For at få en formodning om, hvilke steder der vil forekomme oversvømmelser i projektlokaliteten, er der simuleret en overflademodel i MIKE Urban, se appendiks app:elektroniske - *MIKE Urban - Oversvømmelsesmodel*. I MIKE Urban anvendes værktøjet 2D Overland, der genererer en overflademodel. I 2D Overland implementeres en digital højdemodel (DHM), der illustrerer terrænets højde over havniveau, hvor alle objekter på terrænets overflade er blevet fjernet. DHM filen, som anvendes har en opløsning på 1,6 m, som er datagrundlag for 2D Overland. Opløsningen på DHM filen har indflydelse på, hvor præcis oversvømmelserne bliver. For at sammenkoble 1D- og 2D overflademodellen, er der foretaget ændringer på overløbene i afløbsmodellen. Problemerne opstod ved overløbene, der illustrerer, hvor vandet transporteres til Renseanlæg Vest. Der forekom kraftige oversvømmelser på terræn i dette område, grundet udledning på terrænet. Derfor er de to overløb nu placeret med udledning ud til Limfjorden.

Derudover er der foretaget en ændring af overløbenes bundkote for at tilpasse overløbne med terrænniveauet på overflademodellen. Der implementeres et grid i overflademodellen til sammenkobling af 1D- og 2D overflademodellen, som er sat til 1,6 m ud fra DHM filen. I overflademodellen er der angivet hvilke dybder, som skal medtages ud fra flood depth parameteren, som er sat til 0,003 m og simulerer vandet, der forekommer på terræn. Sammenkoblingen af 1D- og 2D overflademodellen foregår ud fra brøndene i afløbsmodellen og kobles sammen med terrænet fra 2D overflademodellen, som er illustreret på figur 5.7.

Der er angivet en definition på vanddybde af oversvømmelserne ved simuleringer af oversvømmelsesmodellerne. Det vil sige, at vanddybden er angivet til 5 cm, så en oversvømmelse på terræn angives, hvis den maksimale dybde er over 5 cm. Eftersom det antages 5 cm vand op terræn ikke har nogen betydning i henhold til oversvømmelse af kælder eller genere på terræn, fordi regnvandet på terrænet under 5 cm vil afstrømme til andre steder. Derfor er vanddybder under 5 cm ikke illustreret på oversvømmelseskortene.



Figur 5.7: Den digitale højdemodel implementeret i MIKE Urban.

Efterfølgende er oversvømmelsesmodellen simuleret med en CDS (Chicago Design Storm) regn og en historisk regn den 6. august 2012. CDS-regnen anvendes i oversvømmelsesmodellen for at simulere om det eksisterende afløbssystem overholder service niveauet, hvor den historiske regnserie anvendes til at sammenligne de simulerede oversvømmelser med borgernes indberetninger.

CDS-regnen tager udgangspunkt i en regnkurve med forskellige varigheders maksimum middelintensitet. Den valgte CDS-regn er fastsat ud fra et regneark fra [Spildevandskomiteens regnudvalg, 2008], som tager udgangspunkt fra regndata fra Skrift 28, se appendiks F - *SVK CDS regneark*. For en valgt gentagelsesperiode har CDS-regnen tilknyttet information for alle varighedernes maksimale middelintensitet. CDS-regnen, der er implementeret i

afstrømningsmodellen, er en gentagelsesperiode på 10 år valgt, hvor der ikke er tilføjet en sikkerhedsfaktor. Årsmiddelnedbøren i CDS-regnen sat til 650 mm med en varighed på 240 minutter med et tidsskridt på 1 minut.

I afstrømningsmodellen er den maksimale dybde simuleret samt udbredelsen af oversvømmelserne i Vestbyen med CDS-regnen. Udbredelsen af oversvømmelserne er illustreret på figur 5.8, hvor der forekommer oversvømmelser på de befæstede arealer såsom veje.



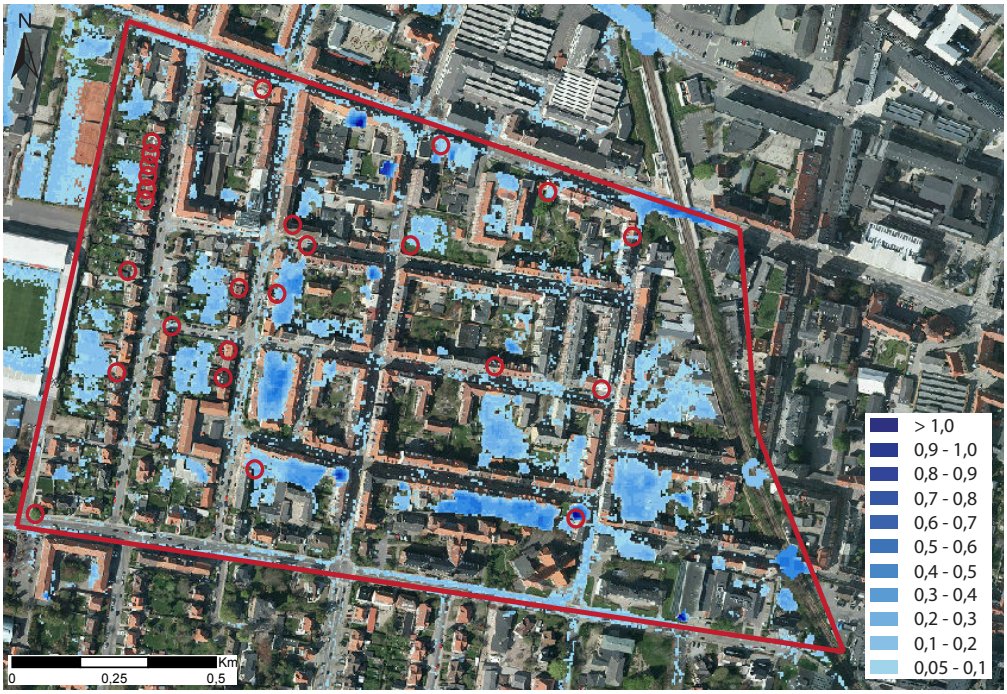
Figur 5.8: Den maksimale dybde samt udbreddelsen af oversvømmelserne i Aalborg Vestby med CDS-regnen simuleret i MIKE Urban.

På figur 5.8 ses at de maksimale dybder ligger i intervallet fra under 0,05 m til 0,2 m og der hovedsageligt er oversvømmelse på vejoverfladerne og i diverse baggårde. Det samme gør sig gældende i projektlokalitet, hvilket skyldes et lavtliggende terræn med flere lavninger end i det omkringliggende område. Oversvømmelserne omfang i projektlokaliteten, er illustreret på figur 5.9.



Figur 5.9: Den maksimale dybde samt udbredelsen af oversvømmelserne i projektlokaliteten med CDS-regnen, er simuleret i MIKE Urban.

Efterfølgende er en tilsvarende oversvømmelsesmodel lavet med en historisk regnserie. Den historiske regnserie, der er anvendt i oversvømmelsesmodellen, er fra den 6. august 2012, hvor større områder i Aalborg blev oversvømmet med 36 års regn med en varighed på 252 minutter. Oversvømmelsesmodellen med den historiske regn, er kalibreret ud fra indberetningerne om opstuvning af kloakvand, som er vist på figur 3.17 på side 32 i kapitel 3 på side 15. Indberetninger om opstuvning af kloakvand er sammenlignet med oversvømmelserne og angivet efter den maksimale dybde. Udbredelsen af oversvømmelsen den 6. august 2012, som er simuleret i MIKE Urban samt de tilhørende indberetninger, er illustreret på figur 5.10.



Figur 5.10: Den maksimale dybde samt udbredelsen af oversvømmelserne i projektlokaliteten ud fra regnhændelsen den 6. august 2012 med de tilhørende indberetninger.

Oversvømmelsesmodellen er simuleret for regnhændelsen fra den 6. august 2012, hvor den største udbredelse af de maksimale dybde ligger i intervallet fra under 0,05 m til 0,2 m ligesom med CDS-regnen. Ved sammenligning af borgerindberetningerne samt oversvømmelsesmodellen, ses en sammenfattende tendens, hvorpå modellen antages at stemme overens.

Ud fra de to oversvømmelsesmodeller vurderes, at en løsning i form af opstuvning til kritisk niveau samt oversvømmelser på terræn, er nødvendig. Blandt andet ud fra tidligere erfaringer fra den historiske hændelse ses en høj skadesforekomst, hvor der alene i projektlokaliteten var 30 indberetninger om problemer med kloakvand. Højst sandsynligt vil der i fremtiden forekomme flere ekstreme regnhændelser, der vil give anledning til oversvømmelser, hvormed der vil være et behov for nye tiltag. Et af tiltagene kunne være et samspil mellem forskellige LAR-elementer, der vil være mulige at etablere i området med hensyntagen til de omkringliggende forhold og afløbssystemet. For at kunne etablere de mulige LAR-elementer i området, skal LAR-elementernes opbygning, funktion, lovgivning samt dimensionering undersøges. Ligeledes skal der også foretages undersøgelser i forhold til, hvorvidt LAR-elementerne har en mulig effekt på afstrømningen til afløbssystemet.

KAPITEL 6

ANVENDELIGE LAR-ELEMENTER

I dette kapitel beskrives de anvendelige LAR-elementer, der kan anlægges i tæt bebygget områder. Efterfølgende er den tilhørende lovgivning og dimensionering for de pågældende LAR-elementer beskrevet. Herefter undersøges effekten af implementering af LAR-elementer i området. Til at kontrollere LAR-elementerne er der opstillet en simpel model, som er et udsnit af oplandsmodellen

For at optimere de forskellige LAR-elementer, så de fungerer mest optimalt, undersøges anlægningen, lovgivning og dimensionering. LAR-elementerne, der er muligt at etablere i Vestby er regnbede, grønne tage, permeable belægning samt grøfter og render, hvilket skyldes de lokale forhold såsom tæt bebyggelse, højt grundvandsspejl, forurening og lignende. Forholdene i området tillader, at der vil forekomme nedsivning ved etablering af LAR-elementerne tæt på terrænet, hvilket er gældende for regnbede og permeabel belægning, hvorimod fordampning optræder ved alle LAR-elementer.

Ved etablering af LAR-elementerne i området, er der forskellige krav samt vejledninger, der skal overholdes. Miljøbeskyttelsesloven bekendtgørelse nr. 879 *'Bekendtgørelse af lov om miljøbeskyttelse'* fra 2010, Spildevandsbekendtgørelsen nr. 1448 *'Bekendtgørelse om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 41'* 2007, samt vejledninger fra SBI-anvisninger og DS-normer har udstedt anbefalinger og standarder i forhold til etablering af LAR-elementer. Tilladelsen til anlæggelse af LAR-elementer gives af den pågældende kommune til nedsivning af overfladevand ifølge Miljøbeskyttelsesloven, hvilket i dette tilfælde er Aalborg Kommune. Eksempelvis ved permeabel belægning, gives der tilladelse til at regnvandet ledes videre til et andet LAR-element. Tilladelsen præciserer hvilke former for nedgravning, udledning og afledning af regnvand, der må foretages. Ydermere gives der ikke tilladelse til nedsivning i områder, der er V1 eller V2 kortlagt i forhold til jordforurening.

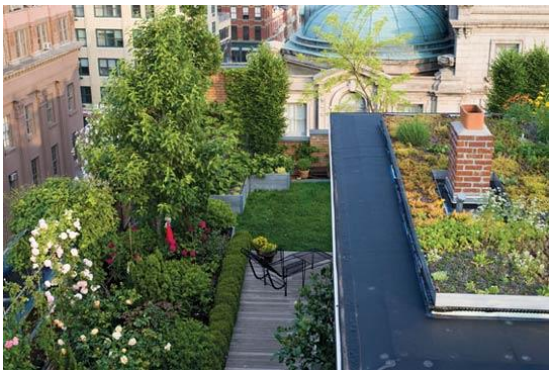
Ligeledes står Aalborg Kommune for tilladelsen af tilslutning af nedsivningsanlæg til kloaksystemer og udledning af overfladevand til nærliggende recipienter ifølge Miljøbeskyttelseslovens § 28. I Områder med dårlige jordbundsforhold vil kommunen have mulighed for at give tilladelse til at udføre et nedsivningsanlæg med et nødoverløb til det tilhørende afløbssystem. Ved LAR-elementer hvorpå vandet transporteres videre til nærliggende recipienter, accepteres en naturlig afstrømning på 1 l/s pr. ha [Aalborg Forsyning, Kloak A/S, 2008].

6.1 Grønne tage

Grønne tage er den enkleste form for tagkonstruktion med vegetation, hvor typer anvendes til inddeling af vedligeholdelse samt udformning som intensive, semi-intensive og ekstensive. Intensive tage består af et tykt vækstlag, som kan rumme et bredt spektrum af planter, som kræver stor pleje samt vedligeholdelse. Vægtbelastningen ved intensive tage er relativ høj, samtidig er der mulighed for ophold på tage også kaldet taghaver. Eksempel på et intensivt tag er vist på figur 6.1.

Ekstensive tage består af et tyndt vækstlag, som kan bestå af stenurter, græs eller mos, som ikke kræver den samme mængde pleje eller vedligeholdelse som intensive tage. Ekstensive tage er ikke udformet til at opholde sig på, dette bevirker en relativ lav vægt af taget i forhold til det intensive tag og kan derfor anlægges på et eksisterende tag. Eksempel på et ekstensivt tag er vist på figur 6.2.

Semi-intensive tag er en mellemting af intensive- og ekstensive tag, hvor vækstlaget samt vegetationen er en begrænsning af det intensive tag og kræver en moderat plejning samt vedligeholdelse. De tre forskellige typer giver forskellige udtryk af det grønne tag.



Figur 6.1: Intensive tag i New York. [Goode green, 2014]



Figur 6.2: Ekstensive tag i Ørestaden.

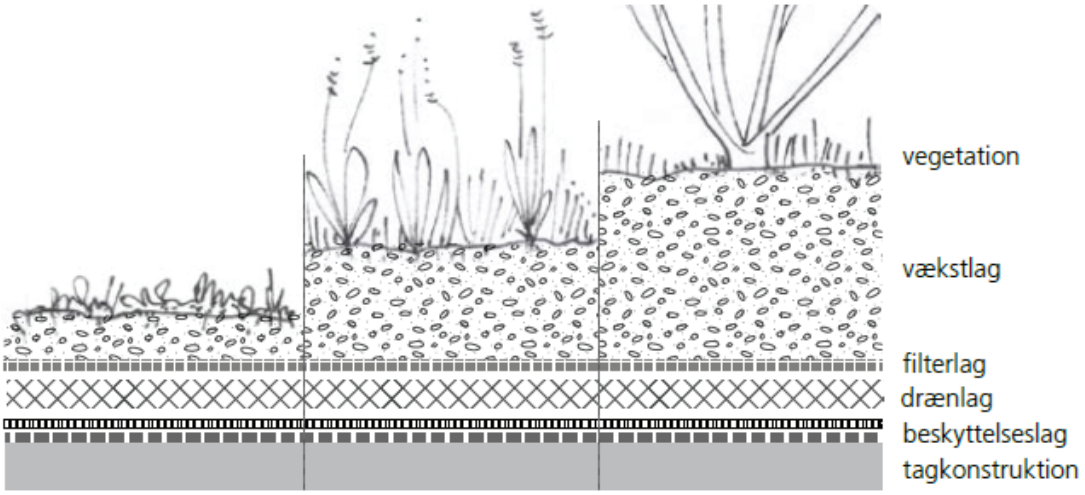
Oftest anlægges grønne tage på nyetablerede bygninger, fordi anlæggelsen af grønne tage skal tage hensyn til underliggende konstruktion, da konstruktionens bæreevne skal være dimensioneret til at bære tagplantningens samlede vægt i våd tilstand. Samtidig må

beplantningen og regnvandet ikke beskadige konstruktionen og derfor etableres et system af flere lag for at optimere det grønne tag. Konstruktionen under det grønne tag er ofte etableret med loftbeklædning, dampspærre, isolering, undertag af vandtæt krydsfiner samt to lag asfaltpap, hvor det øverste lag asfaltpap er rod- og vandtæt. [Rambøll Danmark A/S et al., 2011]

Vækstlag forekommer i forskellige tykkelser samt sammensætning afhænger af typen. Vækstlaget er sammensat af substrater, som indeholder nærringsstoffer, luft, vandoptag samt dræning. Der anvendes ikke almindelig havejord til grønne tage på grund af belastningen og jorden er næringsrig. Under vækstlaget lægges et filterlag, der afskærer de fine partikler fra drænlaget, for ikke at mindske permeabiliteten i drænlaget. Det overskydende regnvand fra vækstlaget ledes videre til drænlaget, hvor det afledes til afløbssystemet eller et andet LAR-element. Ved tagnedløb og render etableres der vækstfrie zoner. [Rambøll Danmark A/S et al., 2011]

Grønne tages renseeffekt afhænger af beplantningen, fordi planterne optager stofferne og bliver derefter nedbrudt af mikroorganismer samt solens stråler. Nogle beplantninger har ingen rodnet og derfor optager de næring fra luften. Dette fjerner forureningen, der ellers vil ramme tagoverfladen, når det regner. Grønne tages rensningsevne af regnvandet er høj i forhold til tungmetaller, oliestoffer samt pesticider, hvor der forekommer en middel rensning af suspenderende stoffer. [Rambøll Danmark A/S et al., 2011]

Forår til sommer optager beplantningen større mængder vand end resten af året. Samtidig er fordampningen også størst i denne periode og dermed egner grønne tage sig bedst til placering i sollys fremfor skygge, hvor skyggeperioden øger væksten af fremmedplanter.[Lösken et al., 2002] Et eksempel på opbygningen for de grønne tage, er vist på figur 6.3.



Figur 6.3: Den traditionelle opbygning af et grønt tag, inddelt i intensive, semi-intensive og ekstensive. [Møller og Jensen, 2013]

Ved grønne tage er der afstandskrav jævnfør Bygningsreglementet, hvor grønne tage indgår som stråtage og medfører brandfare ved tørre beplantninger. Derfor er der opstillet forskellige afstandskrav til nærliggende bygninger, naboskel, sti- og vejmidte, hvor der mindst skal være 10 m. Ved anlæggelse af to bygninger på samme grund, hvor den ene bygning har et grønt tag, skal afstanden mindst være 12,5 m. Ligeledes ved anlæggelse af to bygninger med grønne tage, skal afstanden mindst være 20 m. Anlæggelse af grønne tage med mos eller/og stenurt angives der ingen afstandskrav, da brandmodstanden er svarende til teglsten. I lokalplanerne er grønne tage integreret i planlægningen, men afhænger af hvilket tagmateriale, der er angivet i lokalplanen. [Rambøll Danmark A/S et al., 2011]

Taghældingen på et grønt tag skal minimum være 3 grader og må ikke overstige 45 grader, da taghældningen har indflydelse på magasineringsvolumet. Tagets hældning anbefales 10-15 grader for at undgå at tagets vegetation skrider, ligeledes anbefales det ikke at anvende grønne tage ved en tagkonstruktion på 1 grad eller mindre også kaldet fladt tag. Derudover skal et grønt tag med en taghældning større end 15-20 grader forankres.[Lösken et al., 2002] Tagets opbygning har ligeledes betydning for dimensioneringen af grønne tage i forhold til tagkonstruktionens bæreevne. Efter etableringen af grønne tage, påføres ledningerne hvorpå det overskydende vand afstrømmes. Det anbefales at ledningerne efter det grønne tag dimensioneres med en regnintensitet på 140 l/s · ha eller eventuelt 183 l/s · ha med en sikkerhedsfaktor på 1,3 for at undgå problemer i lokale forhold ved større regnhændelser. [Rambøll Danmark A/S et al., 2011]

Den procentvise reduktion af afstrømningen varierer meget ved grønne tage i forhold til tidligere forsøg, der er fortaget. Dette skyldes ofte lokale forhold som for eksempel vejrforholdene samt længden af forsøgsperioden, hvor der indtræffer forskellige regnhændelser. Forsøgene med grønne tage viser at der forekommer en sammenhæng i tilbageholdelsesmængden af grønne tage ved en varighed samt regnintensitet.

Ifølge kilde [Kristin L. Gettera et al., 2007] afhænger tilbageholdelse af taghældningen. Tilbageholdelsen forringes ved en forøgelse taghældningen. For eksempel med en taghældning på 7 % med en regnhændelse på under 2 mm vil tilbageholdelsen være 94 %, hvor tilbageholdelse i taget med en regnhændelse på over 10 mm er 66,4 %. Ifølge kilde [Timothy L. Carter og Todd C. Rasmussen, 2006] forringes tilbageholdelsen af regnvand i grønne tage i forhold til større regnintensiteter, hvor en regnhændelse på 25,4 mm vil cirka 88 % tilbageholdes. I forhold til en regnhændelse på 25,4 til 76,2 mm vil grønne tage tilbageholde 54 % og forekommer der regnhændelser større end 76,2 mm vil taget tilbageholde 48 %. Samme tendens ses ved forsøget udført af kilde [Edgar L. Villarreal og Lars Bengtsson, 2005]. Tilbageholdelsen af regnvandet i taget forringes ved forøgelse af taghældningen. For eksempel hvis taget etableres med en taghældning på 14 grader med en regnintensitet på 0,4 mm/min vil taget have en tilbageholdelse på 39 %, hvis regnintensiteten øges til 1,3 mm/min vil taget have en tilbageholdelse på 10 %. Derfor er der stor usikkerhed omkring, hvor meget grønne tage kan tilbageholde.

6.2 Permeabel belægning

Ved permeabel belægning nedsives regnvandet gennem fugerne i belægningen eller regnvandet nedsives gennem belægningen. Den primære funktion i forhold til permeabel belægning er at reducere eller forsinke regnvandet til den omkringliggende recipient eller afløbssystemet, dog afhænger infiltrationskapaciteten af terrænet, grundvandsstanden og de forureningsmæssige forhold. I nogle tilfælde designes belægningens underbygning som et forsinkelsesbassin. Hvis forholdene ikke tillader nedsivning, ledes vandet videre til en nærliggende recipient eller afløbssystemet. Den sekundære funktion er fordampningen, hvor der forekommer fordampning på belægningen samt vedligeholdelsen og forekommer ved nedsivning, tilbageholdelse i belægningen eller underbygningen. Permeable belægninger kan erstatte andre belægningsarealer såsom veje, cykelstier, parkeringspladser, indkørsler. [Rambøll Danmark A/S et al., 2011]

Effekten af permeable belægninger med flisebelægning med et underlagt dræn til den tilhørende recipient eller afløbssystem, reducerer 5-30 % af den maksimale vandføring i forhold til en traditionel afledning. I forhold til belægninger, hvor underbygningen er drevet af nedsivning forekommer der sjældent overfladiske afstrømninger under kraftige regnhændelser og ud fra den årlige regndybde er det svarende til 5 %. Ved den sekundære funktion optræder en fordampning på 0,2-5,5 mm/dag målt under den permeabel flisebelægning, hvilket afhænger af årstiden. Eksempler på forskellige permeable belægninger er illustreret på figur 6.4 og figur 6.5 [Rambøll Danmark A/S et al., 2011]



Figur 6.4: Permeabel belægning med græsarmeringssten i Ørestad. [Rambøll Danmark A/S et al., 2011]



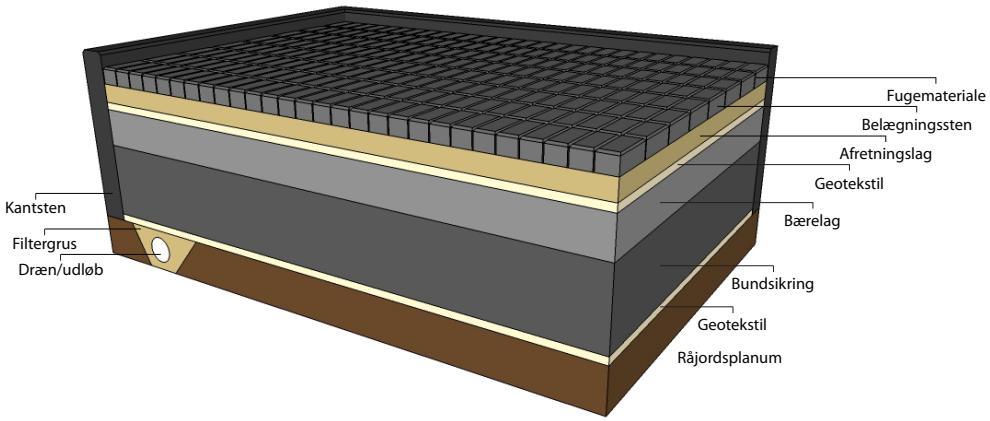
Figur 6.5: Permeabel belægning med belægningssten med porøse fuger. [Rambøll Danmark A/S et al., 2011]

I tæt bebyggede områder er der ofte pladsmangel, derfor anlægges der et større magasineringsvolumen under belægningen ved hjælp af plastkassetter. I vejkasser anlægges der singels. Anlægning af permeable belægninger i områder med trafikbelastning forekommer der ofte et armeringsnet for at fordele lasten. Ved anvendelse af permeable- og impermeable flader, hvor vandet afstrømmer til for eksempel en parkeringsplads, anlægges der plastkassetter eller singels. [Rambøll Danmark A/S et al., 2011]

Indenfor permeabel belægning optræder der to typer, lav- samt højpermeabel overflade, hvor der anlægges forskellige belægningstyper. Lavpermeable overflader anlægges ofte med stabilgrus direkte på råjorden, som er en traditionel underbygning. Overfladen anlægges med græsarmeringssten, græsarmeringsnet eller grusbelægning, og ved græsarmeringssten samt græsarmeringsnet med større mellemrum etableres et vækstmedie med funktionen dræn. Højpermeable overflader kan anlægges med porøs asfalt, porøs beton, belægningssten med afstrømning gennem porøse fuger, porøse belægningssten, græsarmeringssten eller -net med speciel underbygning. [Rambøll Danmark A/S et al., 2011]

Ved lav- og højpermeable overflader anlægges underbygningen forholdsvis ens, hvor forskellen forekommer ved belægningsdelen samt det nederste lag. Det nederste lag varierer mellem et permeabel-, semipermeabel- og impermeabel underbund. Ved anlæggelse af en semipermeabel underbund skal råjordsplanum have en form for nedsivning samtidig etableres der et dræn. Ved anlægning af en impermeabel underbund etableres der et dræn samt en tæt membran mellem underbygningen og råjordsplanum.

Drænrenden etableres ved semi- samt impermeabel underbund, hvor det enten ikke er muligt eller tilladt at nedsive. Fra drænrenden kan regnvandet ledes videre ved hjælp fra et tilkoblet LAR-element eller til en tilhørende recipient. Inden udledningen etableres der et sandfang og i nogle tilfælde etableres der en vandbremse. Opbygning af underbygningen er illustreret på figur 6.6 [Rambøll Danmark A/S et al., 2011]



Figur 6.6: Opbygning af underbygningen med belægningssten og porøse fuger.

Renseeffekten af permeable belægninger afhænger af udformningen af belægningen. Rensningen af regnvandet forekommer gennem belægningen samt underbygningen. Den primære rensning optræder i underbygningen, hvor partiklerne i regnvandet filteres og absorberes. Dette afhænger af opbygningen af vejkassetterne samt den underliggende råjord. Den sekundære rensning optræder i biofilmen, hvor der forekommer en nedbrydning. Ved anlæggelse af græsarmeringsbelægning vil der i vækstlaget forekomme filtrering samt nedbrydning.

Der forekommer også filtrering samt dannelse af biofilm ved porøst asfalt, hvilket optræder i asfaltens porestruktur. Ved anlæggelse af permeabel belægning vil de suspenderede stoffer tilbageholdes i det øverste lag. I forhold til andre LAR-elementer, har permeabel belægning et mellem rensningsniveau i forhold til suspenderede stoffer, tungmetaller, oliestoffer samt pesticider. [Rambøll Danmark A/S et al., 2011]

Ved etablering af nedsivningsanlæg forekommer der lovgivning, der tager hensyn til gener i form af oversvømmelser og fugt. Jævnfør Spildevandsbekendtgørelse § 30 skal kvaliteten af regnvandet sikres for at beskytte grundvandet ved nedsivning, hvorfor specifikke afstandskrav er opsat. Ved drikkevandsboringer og recipienter er afstandskravet 25 m for at undgå indflydelse fra omkringliggende forureningskilder. Anvendelsen af overfladevand er accepteret fra tage, privatveje og parkeringspladser med mindre end 20 biler, hvorimod offentlige veje, jernbaner og så videre udelades. For vandindvindingsanlæg bør afstanden mindst være 300 m for at sikre drikkevandskvaliteten, dog er der ingen vandingsanlæg i projektlokaliteten. [Miljøministeriet, 2007]

Permeabel belægning er som tidligere nævnt et nedsivningsanlæg og dimensioneres ud fra gentagelsesperiode, lokale forhold, årsmiddelnedbør, befæstet areal, sikkerhedsfaktor og hydraulisk ledningsevne. Den dimensionsgivende gentagelsesperiode er en indflydelsesrig parameter i forhold til dimensionering af permeabel belægning, der ved nedsivning afhænger af overfladens anvendelse og er afgørende for de lokale forhold. Spildevandskomiteen anbefaler mindst en dimensionsgivende gentagelsesperiode på 10 år. Dimensioneres der med en gentagelsesperiode under 10 år, skal der redegøres for, at der ikke forekommer flere oversvømmelser i lavtliggende områder.

Ved etablering af permeabel belægning, er det vigtigt at tage hensyn til de lokale forhold f.eks. vejvand, der indeholder tungmetaller, der vil have betydning for områdets anvendelse såsom rekreative formål såsom legepladser. Ved anlæggelse er det en fordel at anlægge nedsivningsanlæg med små fald såsom 7-10 promille for at forsinke og opmagasineret vandet, dog bør vandet sikres en jævn tilstrømning til den ønskede infiltrationsoverflade, hvormed nedsivning ved pågældende bygning undgås. [Rambøll Danmark A/S et al., 2011]

Ligeledes er årsmiddelnedbøren, størrelsen på det befæste areal og sikkerhedsfaktoren vigtige parametre. Årsmiddelnedbøren er 650 mm i Aalborg med en sikkerhedsfaktor på 1,1, befæstelse og modelusikkerhed. Disse data er anvendt som input til regnearket *'SVK LAR-dimensionering'* fra Spildevandskomiteen 2011 se appendiks F - *SVK LAR-dimensionering*, hvilket muliggør beregningen af forskellige LAR-elementer såsom faskiner, regnbede, grøfter og permeabel belægnings volumener. Årsagen til at regnearket anvendes til dimensionering af de forskellige LAR-elementer, skyldes at der i projektet regnes på nedsivning. Ved nedsivning medtages den hydrauliske ledningsevne for området, hvilket er bestemt ud fra screeningsanalysen i afsnit 3.2 på side 29, som er på $1{,}9 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Regnearket beregner det ønskede volumen ved de forskellige LAR-elemeter med udgangspunkt i bassindimensionering ved kendskab til overstående parameter såsom gentagelsesperiode, årsmiddelnedbør, befæstede arealer samt sikkerhedsfaktorer. Bassindimensionerin-

gen er baseret på en statistisk regnrække, hvilket er en fiktiv regn, der er lavet ud fra statistik fra tidligere målte hændelser, baseret på Skrift 28. Regnearket bestemmer voluminet ud fra kendskab til den maksimale regnvarighed, hvorpå det største volumen fås.

6.3 Regnbede

Regnbede er i enklest form en lavning i terrænet, der er formet til at modtage, fordampe, opstuve samt afstrømme regnvand. Regnbedene vil fungere som rekreative elementer i det offentlige byrum samt i private haver. Regnbede er designet til at opmagasinere, nedsive samt fordampe, hvor fordampningen er styrende af temperaturen samt strækkes over en længere periode. Regnvand der afledes til regnbede forekommer ofte fra tagflader, gang- og parkeringsarealer og kan forekomme i forskellige udformninger, som er illustreret på figur 6.7 og figur 6.8. Dette har betydning for udformning af regnbedet, derfor findes der forskellige undergrupper af regnbede som almindelige regnbede, vejkantsbede, regnbedkummer, plantetrug samt havebække. Nedenfor er de fem forskellige undergrupper af regnbede beskrevet. [Rambøll Danmark A/S et al., 2011]



Figur 6.7: Regnbed placeret ved en vejkant. [Iron age designs, 2014]



Figur 6.8: Regnbed placeret i en have. [This old house, 2011]

Det almindelige regnbed etableres i områder, hvor nedsivningsforholdene er optimale. Det almindelige regnbed kan designes med hurtig samt langsom nedsivning, hvilket spiller en væsentlig rolle i forhold til planterne, der plantes. Ved det almindelige regnbed forekommer der også fordampning.

Vejkantsbede er designet til at aflede regnvandet til den øvre del af bede, hvor bedet er opdelt i flere niveauer, som opmagasinerer og nedsiver regnvandet. Fyldes de øverste bede i vejkantsbedet, vil regnvandet ledes videre til næste bed, hvor der i den nedre del er placeret et afløb. Bunden af vejkantsbedene vil ofte være muld belagt og planterne skal kunne tåle fugtigheden, hvilket samtidig bidrager til rensning af regnvandet inden det nedsives. Vejvand indeholder større koncentrationer af forurenede stoffer end tag- og overfladevand og derfor er der sammensat en filtermuld bestående af kalk og sand i vejkantsbede, der binder stofferne i vejvandet.

Et kummebed etableres ofte i forbindelse med tagoverfladevand. Kummebed designes oftest som vejkantsbede, men jordlaget skal designes til at tilbageholde meget regnvand. Regnvandet fra kummebedet kan ledes videre til et almindeligt bed eller ud på en græsoverflade, hvor de nedsives.

Plantetrug er en beplantet grøft, hvor vandet opmagasineres indtil det fordampes eller nedsives.

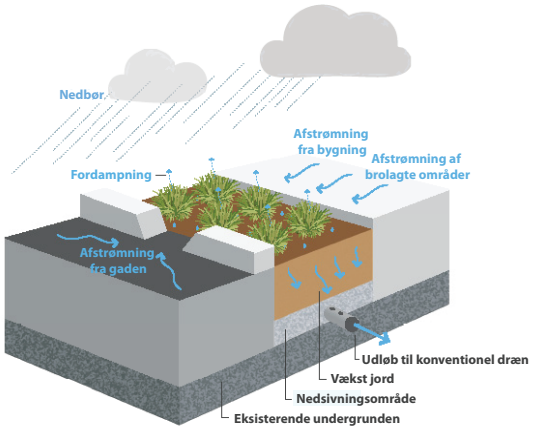
Havebæk etableres ofte som et bindeled mellem en overflade og et almindelig regnbed, men designes med fordampning og nedsivning.

Anlægsdelene til et regnbed er tilløb, fordybning i terrænet, vækstjord, overløb og beplantning, hvor alle delene dimensioneres efter den aktuelle vandmængde. Tilløbet til regnbedet afhænger af hvilken overflade, der afstrømmes fra. Tilløbet skal placeres fladt for at sænke hastigheden på regnvandet, så der ikke forekommer ødelæggelser af beplantningen samt den omkringliggende jord. Ved tilløbet vil der oftest etableres en græs- eller grusoverflade, hvor blade, sand med videre tilbageholdes og fjernes. Ved større regnbede anlægges der bundfældning ved indløbet, hvor der samtidig etableres flere indløb for at mindske vandstrømningerne. [Rambøll Danmark A/S et al., 2011]

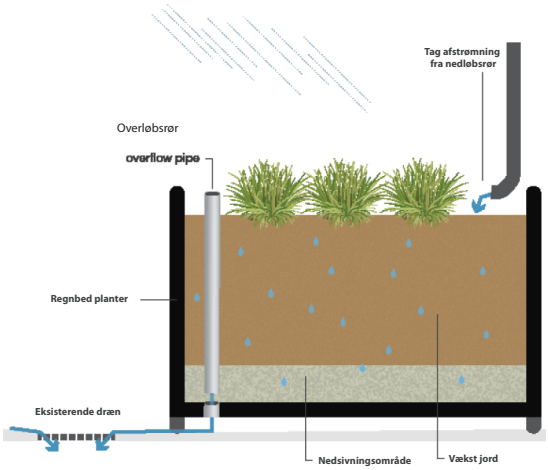
Fordybningen i terrænet magasinerer og forsinker regnvandet før det nedsives. Nedsivningen af det tilstrømmende regnvand skal foregå i løbet af 2-3 døgn for at undgå gener af myg. Den maksimale vanddybde i regnbedet må maksimal være 15-20 cm. De omkringliggende områder til fordybningen må ikke have fald større end 3:1. [Rambøll Danmark A/S et al., 2011]

I udgravningerne til regnbede anvendes der sand og grus under vækstjorden for at styrke nedsivningen. For at øge regnbedets kapacitet kan en faskine tilkobles under regnbedet eller ved siden af regnbedet. Efter udgravningen pålægges vækstjorden eventuelt med 1/3 sand for at styrke infiltrationen og plantevæksten i en tykkelse på 50-75 cm afhængigt af valget af planter. Vækstjorden anbefales at bestå af 20-30 % organisk materiale, 50 % grovkornet sand samt 10 % ler, hvor pH bør være 5,5-6,5 for at øge den mikrobiologiske aktivitet. Ovenpå vækstlaget placeres et muldlag på 5-10 cm, der transporterer ilt til vækstlaget.

Under vækstlaget er der nedsivningsområder, der består af sand, grus samt større sten eller regnvandskassetter. Det overskydende vand afstrømmer ved et overløb, hvilket er en vigtig faktor ved en begrænset nedsivningsevne for at undgå skader på de omkringliggende områder. [Rambøll Danmark A/S et al., 2011] Eksempler på opbygning af regnbede, er illustreret på figur 6.9 og figur 6.10. På figur 6.9 er der tilkoblet et dræn, hvilket senere hen vil anvendes i en trappetrinsløsning, hvor forskellige LAR-elementer er sammenkoblet, hvorimod et regnbed uden sammenkobling sjældent tilkobles et dræn.



Figur 6.9: Regnbed anlagt ved vej med anlægsdelene [Bob Bray et al., 2010].



Figur 6.10: Regnbed anlagt i have med anlægsdelene [Bob Bray et al., 2010].

Ved valg af beplantning bør planterne både kunne tåle tørkeperioder og perioder med større vandmængder, hvilket skyldes mulige dræningsforhold og nedbør. Særligt i de lavere dele af regnbedet, skal beplantningen kunne tåle at stå under vand i flere døgn. Ligeledes tåler planterne ofte ikke høje saltkoncentrationer, som forringer tilbageholdelsen af de forurenede stoffer. Derfor bør et hensyn tages i forhold til det omkringliggende miljø ved valg af beplantning.

Planterne i regnbedet er i forskelligt omfang med til at optage og nedbryde stoffer der tilstrømmer fra overfladerne. Der vil yderligere forekomme optagelse og nedbrydelse i jordlaget, og med en lerholdig jord vil de forurene stoffer binde sig til leret og fremme rensningen. For at øge optagelsen og nedbrydningen plantes der ofte træer i regnbede. I nogle tilfælde må regnvandet ikke nedsives, derfor kan der i disse tilfælde etableres en tæt membran under regnbedet, så regnbedets primære funktion er forsinkelse. Regnbede kræver samme vedligeholdelse som andre bede, mens ved anvendelse af sten under vækstjorden vil der kræves mindre vedligeholdelse, men sand og mindre stykker affald vil tilstoppe hulrummene og herefter vil dette forringe nedsivningsforholdene. [Rambøll Danmark A/S et al., 2011]

Stofferne i overfladevandet der afstrømmer til regnbedet bliver optaget i planterne og nedbrudt af mikroorganismer samt solens stråler. I vækstlaget samt det underliggende lag filteres stofferne fra regnvandet. Rensningen i regnbedene er høj/middel ved rensning af suspenderende stoffer, oliestoffer og pesticider, men ved tungmetaller optræder der kun en middel rensning. [Rambøll Danmark A/S et al., 2011]

Regnbede er nedsivningsanlæg svarende til permeabel belægning og derfor tilhører regnbede samme lovgivning og dimensionering som permeabel belægning, som er beskrevet i afsnit 6.2.

6.4 Render og grøfter

Grøfter og render opsamler tilstrømmede vand fra tage-, belægning- samt vejoverflader, hvor der forekommer en fordampning under transporten. I nogle tilfælde forekommer der nedsivning, men dette afhænger af anlægningen af grøften eller renden. Grøfter samt render kan forekommer naturligt som lavninger i terrænet eller som en gravet rende, hvor bunden er bestående af sand/grus for at opnå den største magasinering.

Anlæggelse af grøfter eller render kan etableres på forskellige måder for eksempel som en naturlig lavning i terrænet, udgravet grøft med bund af grus/sand, udgravet grøft med bund bestående af grus/sand med et opsamlingsrør til overskydende vand samtidig etableres der en membran, udgravet grøft med fast bund og tætte kanaler eller render etableret med naturmaterialer såsom beton, granit også videre. For at grøften eller renden får den mest optimale afstrømning anbefales den ideelle hældning på 15-20 promille jævnfør de danske vejregler. [Rambøll Danmark A/S et al., 2011]

Eksempelvis anlægges vegetationsdækkede grøfter eller render ofte med store sten for at opnå en god forsinkelse, iltning samt fordeling af vandet, hvilket ses på figur 6.11. Ligeledes i tætbebyggede områder anlægges renderne ofte med beton, som er vist på 6.12.



Figur 6.11: Grøft anlagt med sten for at forsinke, ilte og fordele vandet. [Rambøll Danmark A/S et al., 2011]



Figur 6.12: Rende udført i beton i Ørestad.

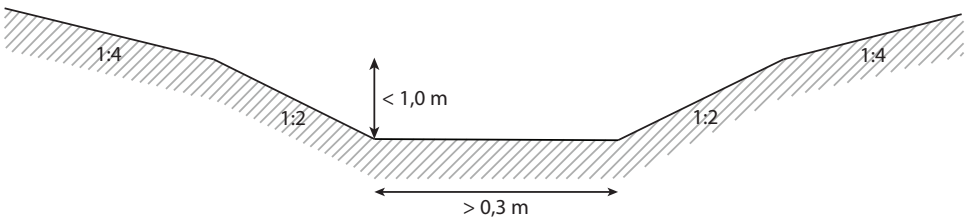
Anlægges der grøfter eller render med dræn etableres det med en drænledning samt et drænlag bestående af sand/grus. For at drænet skal fungere optimalt og der ikke forekommer tilstopning, etableres der en drænbrønd i kanten af grøften eller renden, hvormed der sikres adgang til rengøring. Dermed undgås opgravning af grøften eller renden under tilstopning.

Udformningen samt opbygningen af grøfter/render har betydning for renseeffekten af regnvandet. Rensning af regnvandet forekommer ved at regnvandet strømmer på overfladen

samt i de tilfælde hvor der er nedsivning. Ved opbygning af grøfter/render med græs samt planter fremkommer der en yderligere rensning af vandet, da græsset samt planterne optager stoffer, der bindes til sandet og filteres gennem filtergruset og jordlaget. Renseeffekten af naturlige samt gravede grøfter er middel og høj ved rensning af suspenderende stoffer, tungmetaller, oliestoffer og pesticider. Ved anlæggelse af tætte render forekommer der en dårligere rensning af regnvandet, fordi de tætte renders primære funktion er at transportere vandet. Til gengæld er renseeffekten ved tætte render enten lav eller ikke eksisterende hvad angår rensning af suspenderede stoffer, tungmetaller, oliestoffer samt pesticider.

På nuværende tidspunkt er der ikke udarbejdet en lovgivning for render og grøfter, hvilket der er for permeabel belægning og regnbede. Forekommer render og grøfter som et nedsivningselement, vil render og grøfte indgår under den tidligere beskrevne lovgivning for nedsivningselementer, som tidligere nævnt i afsnit 6.2.

For at opnå en større vanddybde samt flow ved rendernes sider anbefales det, at siderne i render har en skråning med en hældning på 1:2. Anbefalingerne vil medføre at der hyppigere vil optræde vand i systemet og medvirke til en rekreativ værdi. For at opnå den mest optimale vedligeholdelse af grøfter og render anbefales det at bunden er bredere end 0,3 m. Anlægges der en rende, der måler en meter fra det eksisterende terræn til rendens bund, anbefales det at skråningen ved terrænet anlægges med en hældning mindst på 1:4, som er illustreret på figur 6.13. Anlæggelsen af render og grøfter afhænger derfor af pladsforholdene i det pågældende område. I visse tilfælde ses der bort fra anbefalingerne ved lave dybder, hvorpå renden anlægges med lodrette sider for at opnå et mere visuelt udtryk, som er illustreret på figur 6.12.



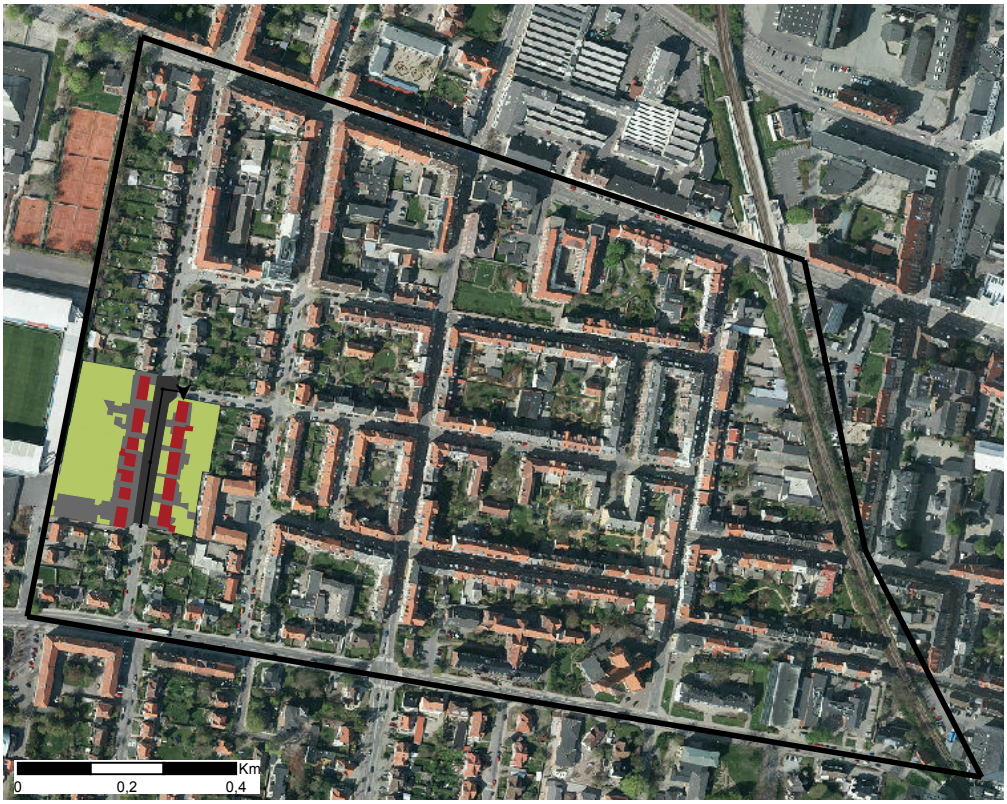
Figur 6.13: Anbefalingerne af siderne i en grøft.

Dimensionering af render og grøfter foregår tilsvarende permeabel belægning i forhold til nedsivning, som er beskrevet i afsnit 6.2. Render og grøfter dimensioneres ud fra den fulde vandmængde, der transporteres videre i systemet.

6.5 Effekten af implementering af LAR

Implementering af LAR i området, undersøges med henblik på at vurdere effekten af LAR under kraftige regnhændelser samt den daglige nedbør. Derfor opstilles tre forskellige scenarier for at undersøge effekten, hvilket er grønne tage, permeabel belægning samt regnbede. Der undersøges i forhold til, hvilken effekt de tre scenarier har på afstrømningsmængdens peak værdi, som undersøges med en 4 timers CDS-regn med en gentagelsesperiode på 10 år. Samtidig undersøges hvilken effekt de tre scenarier vil årsbasis, hvilket undersøges med en LTS simulering ud fra en historisk regn i 2012 fra Sulsted. I det første scenarie undersøges, hvilken effekt grønne tage har under de kraftige regnhændelser, hvormed alle eksisterende tagoverflader udskiftes med grønne tage. I det andet scenarie undersøges permeabel belægning, hvor eksisterende brolagte overflader udskiftes med permeabel belægning. I det tredje scenarie etableres der regnbede for hver matrikel i området. Ved anvendelse af permeabel belægning og regnbede forekommer der fordampning og infiltration igennem det tilkoblede udløb. Der udføres ikke et scenarie for grøfter og render, da grøfter og render kun fungere som et transportelement til andre LAR-elementer, hvorved der ikke forekommer nedsivning i området. Den potentielle fordampning, der implementeres i MIKE Urban anvendes middelen af den potentielle fordampning, som er 52,30 mm/måned tilsvarende 1,74 mm/døgn.

For at undersøge hvilken effekt de tre typer LAR-elementer vil have i et givet område under kraftige regnhændelser samt den daglige nedbør, anvendes en simpel model, som er angivet i appendiks F - *MIKE Urban - Effekten af implementering af LAR*. Den simple model er et udsnit fra modeloplandet bestående af de 4 arealanvendelser (Græs-, brolagt-, tag- og vejoverflader), hvor det tilhørende opland er fjernet og i stedet tilkobles et udløb. For de tre scenarier anvendes en 4 timers CDS-regn med en gentagelsesperiode på 10 år samt en LTS simulering, som beskrevet i afsnit 5.2. For at undersøge effekt af de forskellige LAR-elementer på årsbasis anvendes som tidligere nævnt en LTS simulering, hvor start og stop kriteriet indstilles så de små hændelser simuleres med. Derfor simuleres LTS med et startkriterie på 0,001 m^3/s og et stopkriterie på 0,0001 m^3/s. Den simple model samt det omkringliggende område er illustreret på figur 6.14.



Figur 6.14: Udsnittet af den simple model i modeloplandet.

Et mindre udsnit af projektlokaliteten er udvalgt til dimensionering af LAR-elementerne med henblik på at undersøge, hvilken effekt de enkelte elementer har på reduktion af peakflowet samt hvilken reduktion elementerne har på den årlige afstrømningsmængde. Den simple model er illustreret på figur 6.15, hvor ledningsstrækning ved udløbet er markeret med blåt. Implementering af LAR-elementer i den simple model er effekt undersøgt i forhold til den maksimale implementering af LAR-elementer for hver matrikel. Eksempelvis for grønne er matrikels traditionelle tag udskiftet med et grønt tag. Ledningstrækningen anvendes til at sammenholde resultaterne fra grønne tage, permeabel belægning samt regnbede i forhold til afstrømningsmængde peakværdi samt LAR-elementernes effekt på årsbasis.



Figur 6.15: Modeloplandet til den simple model.

Den simple model er frakoblet den eksisterende del af modeloplandet, så derfor er der ikke nogen øvre eller nedre rand, men i stedet er der tilkoblet et udløb. Den simple models opland består af et areal på 1,24 ha i et villakvarter i den vestlige del af projektlokaliteten og derfor består størstedelen af området af græs med et areal på cirka 0,60 ha som er svarende til cirka 48 %. De brolagt flader i området består af cirka 0,27 ha svarende cirka 22 % og vejflader med et samlet areal på 0,14 ha svarende til 11 % og derudover består området cirka af 0,21 ha tagoverflader, hvilket er 17 %.

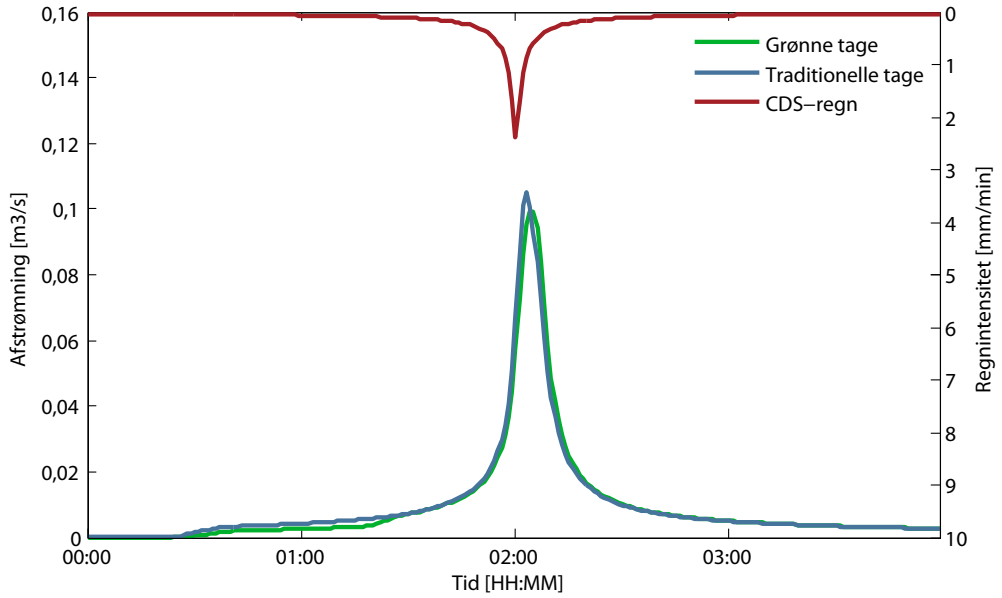
6.5.1 Grønne tage

For at kontrollere effekten af implementering af grønne tage, sammenlignes en simulering af den simple model med grønne tage og med traditionelle tage, hvorpå der ikke er foretaget nogen ændringer af overfladerne. Implementeringen af grønne tage i MIKE Urban forekommer under parametrene initialtab samt koncentrationstiden.

Normalt beskrives grønne tages fysiske påvirkning på afløbssystemet med tre parametre, nemlig magasinkapacitet, permeabilitet samt udtørringsevnen. Tilbageholdelsen af regnvandet i pågældende grønne tage er afhængig af magasinkapaciteten i de enkle materialer i taget,

men afhænger samtidig af den tilstedeværende vandmængde i taget før en ny regnhændelse. Derfor forekommer der tre betegnelser indenfor vandindholdet i grønne tage nemlig fuldmætning, markkapacitet samt visnegrænse. De grønne tages modstand mod vandstrømningerne beskrives ved permeabiliteten, som afhænger af porestørrelsen, forbindelsen mellem store samt små pore og porernes snørklethed. Grønne tages opbygning har indflydelse på permeabiliteten, hvis taget er opbygget i flere lag med forskellige permeabiliteter, vil laget med lavest permeabilitet være en styrende faktor på den samlede permeabilitet. Den sidste parameter er udtørringsevnen som er styrende af vejrforholdene samt hvilken vegetation der er lagt på taget, fordi nogle arter har større fordampningspotentiale. Det grønne tag tilbageholder regnvandet samt forsinker regnvandet til afløbssystemet under kraftige regnhændelser, derfor skal der implementeres en forsinkelse til systemet. [Michael R. Rasmussen et al., 2013]

De tre overstående parametre forekommer ved implementering af en tidserie for det grønne tage med en forsinkelse på 7 minutter under koncentrationstiden, hvor den førhen var 3 minutter, som har indflydelse på afstrømningsforholdene til afløbssystemet for at simulere den forsinkelse grønne tage vil bibrage med til afløbssystemet. [Carina Winther og Jasper Jensen, 2013]. I MIKE Urban er initialtabet ændret fra 0,8 mm til 4 mm [NIRAS, 2012], hvorimod der ikke er foretaget nogen ændringer i forhold til reduktionsfaktoren. Ligeledes er ikke foretaget ændringer på befæstelsesgraden, som er sat til 100 %, da de grønne tage ikke kan optage regnvand under de kraftige regnhændelser, hvorved alt regnvandet vil afstrømme til afløbssystemet, men vil blive forsinket. For at sammenligne simuleringen af grønne- og traditionelle tage i den simple model med en CDS-regn, er en ledningsstrækning valgt, hvor afstrømningsmængde for hele den simple model, hvilket er illustreret på figur 6.16.

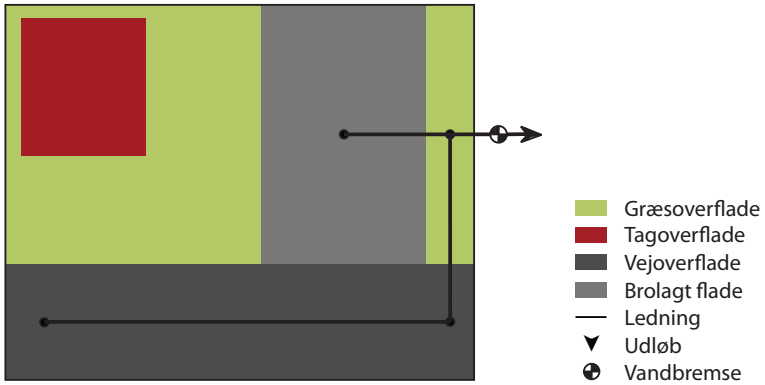


Figur 6.16: Afstrømningsmængde til udløbet med traditionelle tage samt grønne tage.

For at undersøge, hvilken effekt de grønne tage har på afløbssystemet sammenlignes peakflowet i afløbssystemet med traditionelle tage og om hvorvidt en reduktion af peakflowet optræder. Ved simulering af oplandet med traditionelle tage fås et peakflow på 0,1050 m^3/s, sammenholdt med et peakflow på 0,0992 m^3/s for grønne tage. Reduktionskoefficienten på peakflowet er 5 %, hvilket angiver den mulige effekt grønne tage vil have på peakflowet. Det undersøges også hvilken effekt grønne tage vil have på årsbasis ud fra afstrømningsflowet i udløb af den simple model. Undersøgelserne viser at flowet ved nuværende tilstand blev 2088 m^3 og ved implementering af grønne tage i den simple model blev flowet 105 m^3, som resultat af grønne tages afstrømningsflow udgør 5 % af den akkumuleret afstrømningsflow ved nuværende tilstand.

6.5.2 Permeabel belægning

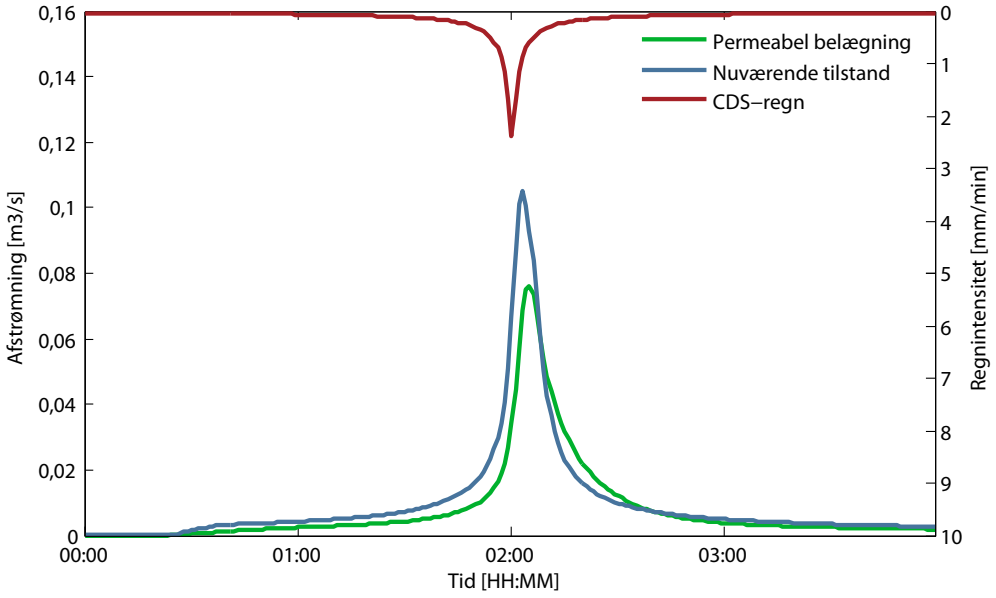
Implementering af permeabel belægning med en flisearmering i MIKE Urban udføres en simplificering, da det ikke er muligt at modellere af permeabel belægning direkte. For at opnå fordampningen samt infiltrationen, der vil finde sted ved etablering af permeabel belægning, er der i modellen påsat en vandbremse samt et udløb. Eksempel på hvordan permeabel belægning er implementeret i MIKE Urban er illustreret på figur 6.17.



Figur 6.17: Permeabel belægning opbygning i MIKE Urban.

Vandbremsens effekt afhænger af fordampningen samt nedsivning, som adderes. Nedsivningen er dimensioneret for permeabel belægning, for hvert befæstet areal ud fra afløbstallet i regnearket *'LAR Dimensionering'*, se appendiks F - *LAR-dimensionering* , som er afhængig af det gennemsnitlige drænkapacitet, arealet af permeabel belægning samt arealet af det tilstødende afvandingsareal er bestemt i appendiks C samt appendiks F - *LAR-dimensionering simpel model*. Ved dimensionering af permeabel belægning er der anvendt en gentagelsesperiode på 10 år, da LAR-elementerne er et supplement til afløbssystemet og fællessystemer dimensioneres med et service krav på 10 år. Sikkerhedskravet i forhold til dimensionering af permeabel belægning er indstillet til 1,1, for at tage højde for modelusikkerheden. Fordampningen, der er påført vandbremsen, er bestemt ud fra den potentielle fordampning for et frit vandspejl på projektlokaliteten, som afhænger af det befæstede areal og er bestemt i appendiks B samt appendiks F - *Potentiel fordampning*.

For at kontrollere om permeabel belægning vil have en mulig effekt på de kraftige regnhændelser, som i dette tilfælde er en 4 timers CDS-regn med en gentagelsesperiode på 10 år, sammenlignes en givet ledningsstrækning med og uden permeabel belægning, hvilket er illustreret på figur 6.18.

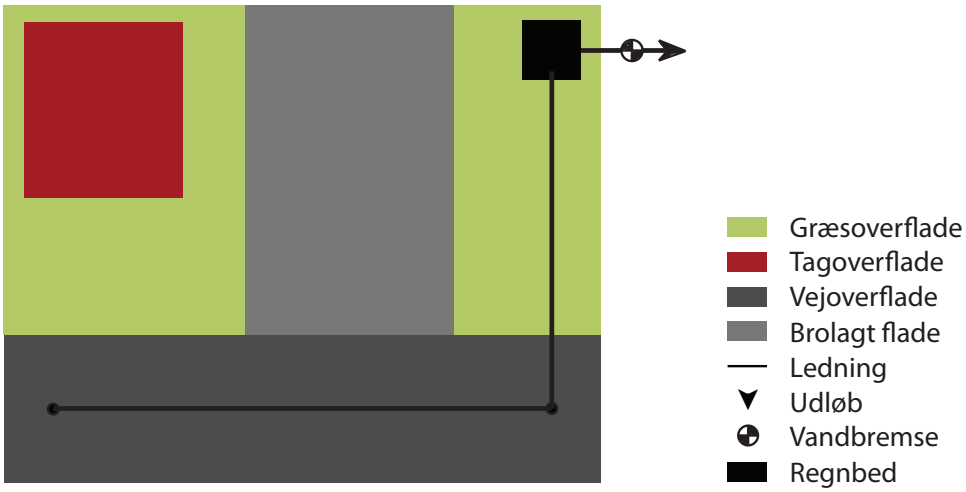


Figur 6.18: Afstrømningsmængden til udløbet med nuværende tilstand samt med implementering af permeabel belægning.

For at undersøge om permeabel belægning har effekt på afløbssystemet, undersøges på samme vis som grønne tage, hvor peakflowet ved en givet ledningsstrækning sammenlignes. Ved nuværende tilstand gives et peakflow 0,1050 m^3/s, hvor peakflowet ved implementering af permeabel belægning er 0,0761 m^3/s. Reduktionskoefficient på peakflowet ved permeabel belægning er 27 %, som angiver effekten ved at implementere permeabel belægning i et område. Sammentidig kontroleres der hvilken effekt permeabel belægning vil have på årsbasis ved anvendelse af en LTS simulering. Effekten undersøges ud fra afstrømningsflowet i udløbet i den simple model, hvor de nuværende tilstand har et afstrømningsflow på 2088 m^3 og ved implementering af permeabel belægning fås et afstrømningsflow på 314 m^3. Ved implementering af permeabel belægning udgør afstrømningsflowet 15 % af den akkumuleret afstrømningsflow i nuværende tilstand.

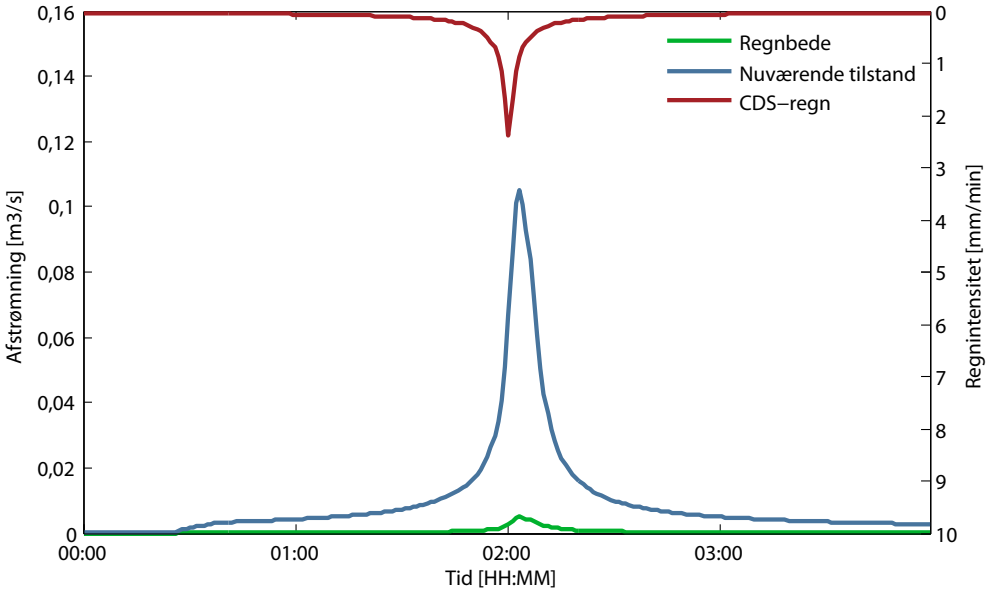
6.5.3 Regnbede

Etablering af regnbede i området bliver der som tidligere nævnt tilkoblet et regnbed til hver martikel, hvor regnvandet fra belægning samt tagoverflader afstrømmer til det tilhørende regnbed. Der etabeleres også to regnbede ved vejoverflader, der skal optage vandet fra vejoverfladerne. Ved implementering af regnbede i områder undersøges det hvilken effekt regnbede vil have på afstrømningen til afløbssystemet. Grundet manglende funktioner i MIKE Urban opbygges regnbedet som et bassin med et tilhørende indløb samt et udløb i bunden af bassinet. Ved implementering af regnbede i MIKE Urban er der foretaget nogle simplificeringer i for af udformningen. Regnbedet i MIKE Urban er udformet som et bassin, hvor oplandene er tilsluttet. Der er tilkoblet et udløb samt en vandbremse til bassinet, hvor vandbremsen fungere som nedsivning samt fordampning. Dette er illustreret på figur 6.19



Figur 6.19: Opbygning af et regnbed i MIKE Urban.

I det mindre udsnit af projektlokaliteten etableres regnbede på hvert matrikel med tilhørende udløb for at simulere effekten af regnbede ved fordampning og infiltration. Fordampningen samt infiltrationen er bestemt på samme vis som permeabel belægning, hvor bestemmelserne er vist i appendiks B og appendiks C. Derudover etableres der to vejbede i den simple model for at optage afstrømningen fra vejstrækningen. Regnbedets volumen er udregnet ud fra Spildevandskomiteens *'LAR-dimensionering'* regneark, som tidligere nævnt i afsnit 6.3. Gentagelsesperioden samt sikkerhedsfaktoren, som blev anvendt til dimensionering af permeabel belægning, er også anvendt til at dimensionere regnbede. Derfor er gentagelsesperiode på 10 år og sikkerhedfaktoren er på 1,1. For hver matrikel anvendes det tilhørende befæstede areal og den hydrauliske reduktionsfaktor. Efterfølgende er det muligt at fastsætte hvert matrikels bassingeometri. Simulering af effekten af regnbede ved en 4 timers CDS-regn med en gentagelsesperiode på 10 år viser, at der ved etablering af regnbede vil afstrømningen til udløbet være væsentligt faldende, hvilket er illustreret på figur 6.20.



Figur 6.20: Afstrømningsmængden til udløbet med nuværende tilstand samt med implementering af regnbede.

Undersøgelserne om implementering af regnbede i området vil have en effekt på afløbssystemet ud fra resultaterne er vist på figur 6.20, er undersøgt på samme vis som grønne tage samt permeabel belægning, hvor peakflowet for et givet ledningsstrækning sammenlignes. I forhold til nuværende tilstand gives et peakflow på 0,1050 m^3/s, hvor peakflowet ved implementering af regnbede er 0,0049 m^3/s. Reduktionskoefficient på peakflowet ved nuværende tilstand samt implementering af regnbede er cirka 95 %, som angiver den effekt regnbede vil have på afstrømningen til afløbssystemet i området. Bemærkelsesvist optager regnbedene den maksimale afstrømning fra de befæstede arealer, som bidrager til afstrømningsvolumen. For at kontrollere hvilken effekt regnbede vil have på årsbasis anvendes LTS simuleringen. Effekt ved at implementere regnbede i den simple model kontrolleres ved afstrømningsflowet ved udløbet i den simple model, hvor afstrømningsflowet ved nuværende tilstand blev 2088 m^3 og ved implementering af regnbede i den simple model blev afstrømningsflowet 343 m^3, så effekten af regnbede udgør 16 % af den den akkumuleret afstrømningsflow.

6.5.4 Opsummering

Der ses generelt at alle LAR-elementer mindsker afstrømningen ved fordampning, forsinkelse og transport. Ved sammenligning af peakflowet med en 4 timers CDS-regn med en gentagelsesperiode på 10 år, fås den største reduktion ved regnbede 95 %, dernæst permeabel belægning på 27 % og til sidst grønne tage på 5 %. Taget i betragtning vil alle tre LAR-elementer bidrage til en reduktion ved kraftige regnhændelser, men set over årsbasis vil procentfordelingen muligvis være en anden, da grønne tage vil have en mulighed for at

bidrage med en større fordampning. For at undersøge hvilken effekt grønne tage, permeabel belægning og regnbede vil have på afstrømningsmængden set over et år. Til at simulere afstrømningsmængden, er der simuleret med en LTS for Sulsted regnserie i 2012. For at undgå numerisk vand anvendes LTS, som tidligere er beskrevet i kapitel 5 på side 37, hvor der samtidig fås en diskontinuert tidsserie.

For at undersøge effekten af LAR-elementer i forhold til årsmiddelnedbøren i Aalborg, hvor den akkumuleret årsnedbøren er på 394 mm i Sulsted 2012. Til sammenligningen anvendes det reducerede areal i den simple model. Afstrømningen per år er bestemt ved at dividere den akkumulerede afstrømningsvolume i udløbene med det reduceret areal. Ved grønne tage fås en afstrømning per år på 32 mm/år og ved permeabel belægning fås en afstrømning per år på 95 mm/år, hvor regnbede er afstrømningen per år 104 mm/år. LAR-elementernes effekt på den akkumuleret årsnedbør på 394 mm er at permeabel belægning har den største reduktion på årsnedbøren. I tabel 6.1 er procentafvigelsen af afstrømning per år for de enkle LAR element samt den akkumuleret årsnedbør.

	Afstrømning per år [m^3]	Afstrømning per år [mm/år]	Procentafvigelse [%]
Grønne tage	105	32	8
Permeabel belægning	315	95	24
Regnbede	343	104	26

Tabel 6.1: Resultater for simulering af en historisk regn med LTS.

Effekten ved implementering af LAR i den simple model i forhold til den akkumuleret årsnedbør har regnbede den største effekt på den akkumuleret årsnedbør som udgør 26 %. Dernæst er det permeabel belægning, som udgør 24 % af den akkumuleret årsnedbør, hvor grønne tage kun udgøre 8 %, men i forhold til grønne tages reduktion på peakflowet er der forekommet en forbedring. Grønne tages effekt på afstrømningen øges i forhold til årsbasis.

Overordnet set vil det være en fordelagtig metode at anvende LAR-elementer til reduktion af både den daglige nedbør samt de kraftige regnhændelser ud fra undersøgelsen af effekten af LAR-elementer i mindre områder. Ved at modellere projektlokaliteten med en kombination af forskellige LAR-elementerne, vil det være muligt at klimatilpasse området og minimere de økonomiske- og samfundsmæssige konsekvenser i form af ødelæggelser.

KAPITEL 7

PLAN

I dette kapitel undersøges implementering af LAR-elementer i projektlokaliteten i forhold til en gentagelsesperiode på 10 år i et scenarie 2025, hvormed en klimafremskrivning på 10 år foretages med henblik på at reducere fremtidig ekstremregn samt oversvømmelser i projektlokaliteten Aalborg Vestby.

Etablering af LAR-elementer i Vestby vil forbedre byrummet rekreativt, derfor udføres de anvendelige LAR-elementer tilkoblet også kaldet trappetrinsløsningen. Trappetrinsløsningen kommer til udtryk ved at koble forskellige LAR-elementer sammen, det vil sige at LAR-elementerne bliver afhængige af hinanden. Eksempelvis kan en tagoverflades udløb tilkobles et regnbed, hvor vandet videretransporteres ved hjælp af en rende og ligeledes kan udløbet fra regnbedet tilkobles permeabel belægning. Formålet med trappetrinsløsningen er, at LAR-elementernes udløb ikke behøver at tilsluttes afløbssystemet, men et andet LAR-element i stedet, hvormed regnvandet lokalt nedsives.

I projektlokaliteten er der mulighed for at anvende trappetrinsløsninger, hvor placeringen af trappetrinsløsningerne er bestemt ud fra observationer i området. I projektlokaliteten er der mulighed for at etablere forskellige former for LAR-elementer i form af udskiftning af eksisterende parkeringsareal langs veje med permeabel belægning, hvor de eksisterende parkeringsarealer er afskilt med et plantet træ og kan dermed udskiftes med et regnbed. Samtidig optræder der større overflader med brolægning, hvor det er muligt at udskifte overfladerne med permeabel belægning. Endvidere er der mulighed for at etablere trafikdæmpende foranstaltninger i form af regnbede. I forhold til baggårdene i projektlokaliteten, grundet de mange lejlighedskomplekser, vil der være mulighed for etablering af LAR-elementer. Dog er størstedelen af baggårdene renoveret, men der er stadig enkelte baggårde, der har mulighed for renovering i fremtiden, hvorpå LAR-elementer kan indarbejdes i renoveringen. På figur 7.1 ses de mulige LAR-elementer, der kan etableres i Vestby.



Figur 7.1: Kort over projektlokaliteten.

Mange af områderne i projektlokaliteten er det muligt at etablere en kombination af permeabel belægning samt regnbede i forskellige gader, som er i Ryesgade, Schleppegrellsgade, Fredericiagade, Istedgade, Helgolandsgade og Dybbølgade. De eksisterende parkeringsarealerne omkring Ryesgade og Schleppegrellsgade er opdelt med eksisterende bede. Helgolandsgade øst for Dannebrogsgade er ensrettet, derfor er der gode pladsforhold til etablering af permeabel belægning i den ene side. Ved Absalonsgade og Saxogade er det muligt at etablere permeabel belægning samt regnbede. Baggårdene omkring Schleppegrellsgade og Kastetvej samt baggården i Absalonsgade og Saxogade er ikke renoveret, hvilket muliggør etableringen af LAR-elementer ved renovering og derudover kan trafikdæmpende foranstaltninger anvendes på Annebergvej, vil det være oplagt på grund af den nærliggende skole. For at undersøge, hvilke konsekvenser der vil forekomme i fremtiden med henblik på ekstremregn samt oversvømmelser, undersøges hvilken effekt de implementerede LAR-elementer i Aalborg Vestby vil have på oversvømmelserne. Dette gøres ved anvendelse af MIKE Urban, hvorpå der i projektlokaliteten implementeres LAR-elementer med en klimafremskrivning til år 2025 og en gentagelsesperiode på 10, hvorefter MIKE Urban modellen med og uden LAR-elementer sammenlignes i forhold til længdeprofiler og udløbsvolumen.

7.1 Klimafremskrivning

Ved klimafremskrivning af LAR-elementer og afløbssystemer tages hensyn til fremtidens forventelige klimaændringer samt ændringer af modelusikkerhed, befæstelsesarealer og dimensionsgivende nedbør. Ved forudsigelse af klimaændringer i Danmark anvendes klimamodellen HIRHAM4 med en spatial opløsning 12 x 12 km med randbetingelser fra den globale klimamodel HadAM3H. Ud fra den danske klimamodel er det muligt at give et skøn over den fremtidige udvikling af ekstremregn med en simuleringsperiode fra 1961-1990 og fremtidsscenarie 2071-2100, hvilket er baseret på FN's klimapanel IPCCs klimascenarie A2, som tidligere nævnt i afsnit 1.1. Klimascenariet A2 beskriver en middel til høj udledning af drivhusgasser med lav økonomisk integration, voksende befolkning og langsom teknologisk udvikling. [Karsten Arnbjerg-Nielsen, 2008]

Ved etablering af LAR-elementer og afløbssystemer funktionspraksis, anbefaler Spildevandskomiteen skrift 29 at påføre en klimafremskrivningsfaktor, der beskriver forholdet mellem den nuværende nedbørsintensitet samt den forventelige. I Danmark anvendes klimafaktor med en fremskrivningshorisont på 2, 10 og 100 år for en 100 års periode, hvilket er illustreret i tabel 7.1.

Fremskrivningshorisont	2 år	10 år	100 år
Klimafaktor	1,2	1,3	1,4

Tabel 7.1: Værdier for klimafaktoren ved forskellige fremskrivningshorisonter. [Karsten Arnbjerg-Nielsen, 2008]

Ved nydimensionering anvendes overstående tabel med klimafaktorerne for de forskellige fremskrivningshorisonter, hvor en klimafaktor på 1,3 med en gentagelsesperiode på 10 år anbefales, hvilket medføre en forøgelse af nedbørsmængderne, hvorfor større dimensionerne og tiltag vil være nødvendige. I projektet anvendes en scenarieusikkerhed, der fremskriver den sandsynlige udvikling over en 10 og 100 års periode. Scenarieusikkerheden er bestående af den samlede usikkerhed, der forekommer ved dimensionering samt analyse. I scenarieusikkerheden er faktorerne modelusikkerhed, fortætning og klimafaktor inddraget. I forhold til de afløbstekniske beregninger er der en væsentlig usikkerhed, der angiver modelusikkerheden. Modelusikkerheden er sat til 20 % svarende til faktorer på 1,2. Endvidere forventes at det befæstede areal i området at øges med 10 % i løbet af den forventede afskrivningsperioden på anlæggets tekniske levetid, som er svarende til en faktor på 1,1. Klimafaktoren er bestående af gentagelsesperioden, varighed samt fremskrivningshorisonten, der tages højde for den dimensionsgivende nedbør, der forventes at øges i den forventede afskrivningsperiode på anlæggets tekniske levetid. Klimafaktoren for en 10 års periode forventes at forekomme en forøgelse på 30 % i løbet af de 10 år, som tilsvarende er en faktor på 1,3. Den samlede dimensionsgivende belastning over en 10 årige er dermed $1{,}2 \cdot 1{,}3 \cdot 1{,}1 = 1{,}72$, der multipliceres CDS-regnen. Ligeledes for en 100 års fremskrivning anvendes en klimafaktor på 1,4, hvormed den samlet dimensionsgivende belastning for 100 år er $1{,}2 \cdot 1{,}4 \cdot 1{,}1 = 1{,}85$.

Arealanvendelsen i Vestbyen er som tidligere nævnt opdelt i flader som brolagt-, græs-, tag- og vejflader. Modeloplandet i Vestbyen er svarende til 121 ha, hvor brolagte flader er bestående af et areal på cirka 25 ha, som er tilsvarende cirka 21 % og græsarealer er svarende til et areal på cirka 39 ha, som svare til cirka 31 %. Arealanvendelsen af tag og vejflader er ens og består af et areal på cirka 29 ha, som svarer til cirka 24 % af det samlede areal. Projektlokaliteten udgør 24,2 ha af modeloplandet, hvor cirka 5,5 ha er bestående af vej-, græs-, brolagte overflader og tagoverflader udgør cirka 7 ha.

Efterfølgende er scenarie 2025 og 2100 opstillet, med en fremskrivningshorisont på 10 og 100 år, med henblik på at undersøge hvilke konsekvenser de ekstreme regnhændelser vil have af oversvømmelser. Ekstrem regnhændelserne, der er blevet anvendt, er en CDS-regn med forskellige gentagelsesperioder samt sikkerhedsfaktorer. Scenarierne har en gentagelsesperiode på 10 år med en samlet sikkerhedsfaktor på henholdsvis 1,72 og 1,85 for at undersøge om området vil overholde funktionspraksis. Scenarierne er opstillet i tabel 7.2.

Fremskrivningshorisont	2025	2100
Sikkerhedsfaktor	1,72	1,85
Gentagelsesperiode	10	10

Tabel 7.2: Fremskrivningsscenarier for 2025 og 2100

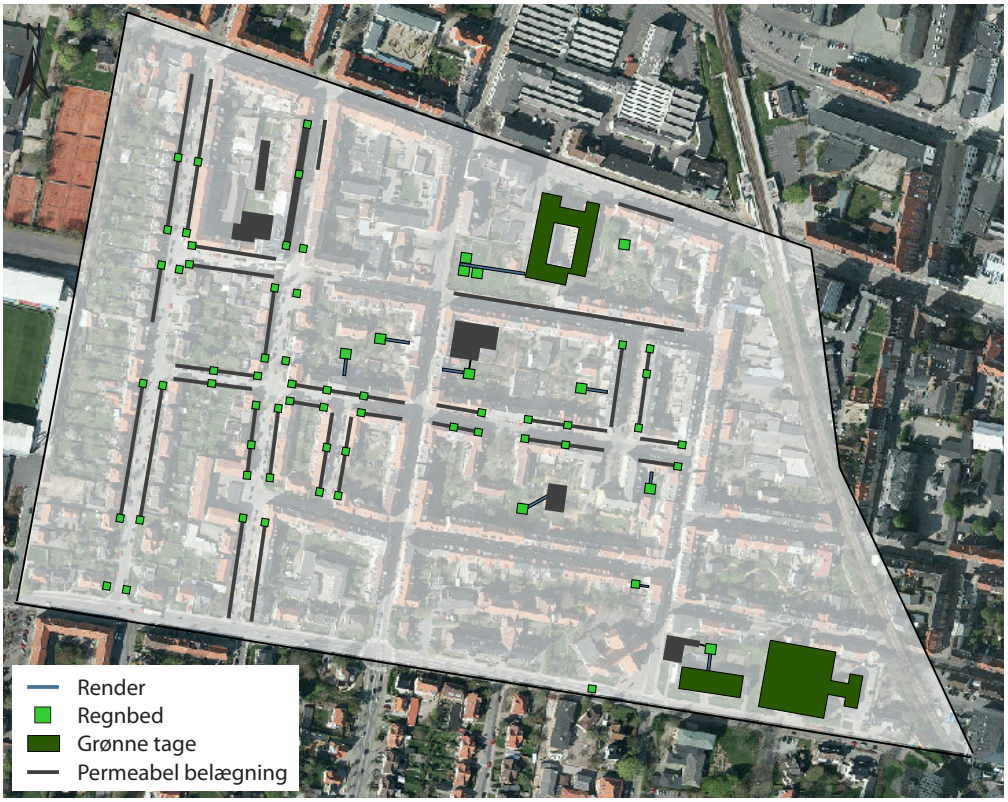
7.2 Illustrationsplan

Ved implementering af LAR i Aalborg Vestby er der taget hensyn til de eksisterende forhold såsom pladsforhold samt de indberetninger, der forekom den 6. august 2012. Derudover er der taget hensyn til lavningerne i området, der blevet bestemt i afsnit 3.1 på side 17 samt hvilke oversvømmelser der forekom ved simuleringer i MIKE Urban, som blev bestemt i afsnit 5.2 på side 43. Ud fra disse hensyn er der valgt forskellige områder, hvor der implementeres LAR. Implementering af LAR i større områder såsom baggårde samt parkeringspladser er illustreret på figur 7.2, hvor områderne er nummereret. Område 1, er en ældre baggård, hvor der ikke er sket renovering i de senere år, derfor vil det være muligt at etablere regnbede ved renovering. I område 2 implementeres der grønne tage på de offentlige bygninger, hvor regnvandet afstrømmer til render, der er etableret ved terræn og videre til regnbede i den nærliggende have. I område 3 er en nyrenoveret baggård med eksisterende legeplads, hvor det er muligt at sænke legepladsen og anvende legepladsen som bassin under ekstreme regnhændelser. Der etableres samtidig en sammenkobling af regnbede, permeabel belægning samt render. I område 4 er der mulighed for etablering en sammenkobling af regnbede, permeabel belægning og render i baggården under renovering. Det er ligeledes gældende for område 5 at de eksisterende bygninger er offentlige, så der er mulighed for at implementere grønne tage, hvor vandet afstrømmes til et etableret regnbed i området. Den nuværende parkeringsplads med asfalt belægning i område 5 reetableres til permeabelbelægning. Placeringen af LAR-elementerne i projektlokaliteten er valgt på baggrund af pladsforhold, lavninger og indberetninger fra den 6. august 2012. Alle ovenstående tiltag er implementeret i MIKE Urban modellen.



Figur 7.2: Større områder, hvor der kan implementeres LAR-elementer. 1. etablering af regnbede, 2. etablering af grønne tage, render samt regnbede, 3. sænkning af legeplads samt etablering af regnbede, permeabel belægning og render, 4. etablering af regnbede, permeabel belægning og render, 5. etablering af grønne tage, render, regnbede samt permeabel belægning. Legeplads: [Saugmann, 28. september 2011] Regnbed: [Sisson Landscapes, 2014]

I Aalborg Vestby reetableres parkeringspladser samt eksisterende bede til henholdsvis permeabel belægning samt regnbede. På strækningerne langs Fredericiagade og Schleppegrelsgade reetableres parkeringspladserne langs vejene. De eksisterende parkeringspladser langs Fredericiagade og Schleppegrelsgade er opdelt med vejbede med eksisterende træer, som fungerer som trafikdæmpende foranstaltninger. Dette gælder for mange eksisterende steder med parkeringsforhold, men i Fredericiagade ved Absalonsgade etableres der nye regnbede. Etablering af grønne tage, permeabel belægning, regnbede og render er illustreret på figur 7.3.



Figur 7.3: Implementering af grønne tage, permeabel belægning, regnbede samt render i projektlokaliteten.

Eksempelvis kan der forekomme reetablering af parkeringspladserne samt vejbede langs Schleppegrellsgade, som tidligere nævnt. Hvordan permeabel belægning samt regnbedene vil komme til udtryk i Schleppegrellsgade er illustreret på figur 7.4. For eksempel i Ryesgade tæt på Kastetvej er der større belægningsoverflader af beton, hvor det vil være muligt at reetablere belægningen til permeabel belægning, som er illustreret på figur 7.5.



Figur 7.4: Implementering af permeabel belægning i området. Eksempel fra Ryesgade.



Figur 7.5: Implementering af permeabel belægning samt regnbede i området. Eksempel fra Schleppegrellsgade.

7.2.1 Dimensionering

Dimensionering af grønne tage, permeabel belægning, regnbede samt render er dimensioneret på samme vis som i afsnit 6.5 på side 61 ud fra Spildevandskomiteen LAR regneark. Til dimensioneringen er der anvendt samme hydraulisk ledningsevne på $1{,}9 \cdot 10^{-6}$ m/s samt en årsmiddelnedbør på 650 mm. I henhold til fremskrivningen til år 2025 anvendes sikkerhedsfaktoren 1,72, hvor der i projektlokaliteten er implementeret 3 grønne tage, som udgør 4417 m^2, hvor der i henhold til permeabel belægning er der implementeret 50, som udgør 4661 m^2. I forhold til regnbede er der implementeret 68, som er dimensioneret med forskellige højder i henholdsvis 0,3 m og 0,4 m, som afhænger af de eksisterende forhold, hvor regnbedene udgør et samlet volumener på 1808 m^3. I projektlokaliteten er der implementeret render for at sammenkoble LAR-elementer, hvor renderne er implementeret som rektangulære rør uden fordampning. Dimensionerne på renderne er $0{,}3 \cdot 0{,}3$ m, hvor renderne er angivet til 156 m, som er tilsvarende 13 render der er implementeret i projektlokaliteten. Dimensioneringerne på grønne tage, permeabel belægning, regnbede og render er opstillet i appendiks F - *Implementering af LAR* samt den tilhørende fordampning ses i appendiks appendiks F - *Potentiel fordampning.*

7.3 Resutater

De implementerede LAR-elementer i projektlokaliteten undersøges i forhold til effekt ved implementering af LAR-elementer. Der undersøges i forhold til vandstanden i længdeprofilerne ved nuværende tilstand samt ved implementering af LAR. Der undersøges også hvilke effekt implementering af LAR-elementerne i projektlokaliteten vil have på udløbsvolumener i modeloplandet samt effekt af den samlet effekt af nedsivning samt fordampning. MIKE Urban modellerne for resultaterne ses i appendiks F - *MIKE Urban - Nuværende tilstand* samt i appendiks F *MIKE Urban - Implementering af LAR.*

LAR-elementer i projektlokaliteten undersøges i forhold til effekten på afløbssystemet, hvor der opstille fire længdeprofiler fra forskellige lokaliteter i projektlokaliteten. Længdeprofilerne for de fire lokaliteter sammenlignes i forhold til vandstanden for den nuværende tilstand samt ved implementering af LAR-elementer. Der opstilles længdeprofiler for en gentagelsesperiode på 10 år for at kontrollere om der forekommer opstuvning til terræn for de fire strækninger i projektlokaliteten.

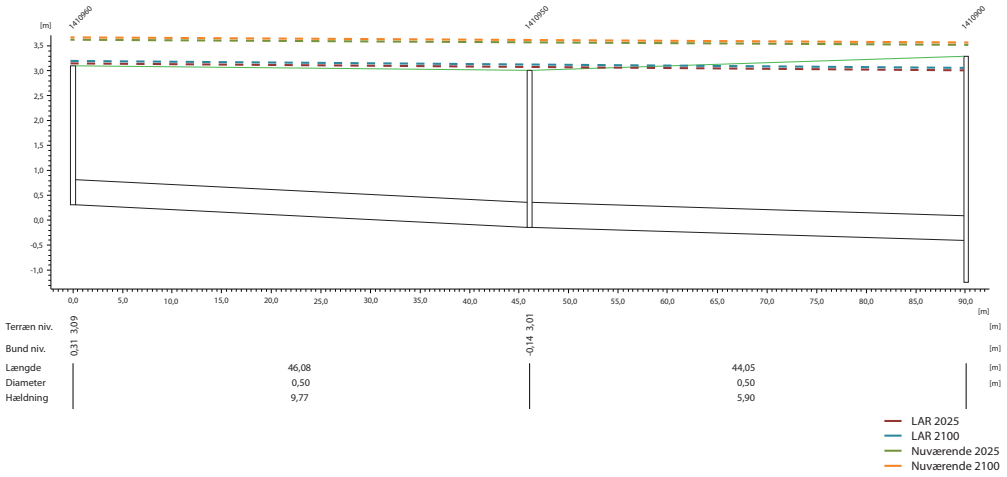
LAR-elementerne der er implementeret i projektlokaliteten med trappetrinsløsningen undersøges i forhold til, hvilken effekt LAR-elementerne har på udløbene i den nuværende tilstand. Endvidere simuleres der to MIKE Urban modeller henholdsvis den nuværende tilstand samt med implementering af LAR i projektlokaliteten. For at undersøge om der forekommer en reduktion i udløbene ved implementering af LAR-elementer, simuleres der med en ny CDS regn for at få 'halerne' af regnhændelsen med i udløbet. Regnserien der anvendes til simuleringerne har en årsmiddelnedbør på 650 mm med en varighed på 360 minutter samt et tidskridt på 1 minut. Regnserien er ikke asymmetrisk i forhold til de tidligere anvendte CDS-regnserier, da regnserien er forskudt til venstre, så peakværdien optræder før, for at 'halerne' er med i udløbet.

For at undersøge resultatet af implementeringen af LAR-elementerne i projektlokaliteten, er længdeprofiler for udvalgte områder samt udløb sammenlignet for med og uden LAR-elementer i 2025 og 2100 med en gentagelsesperiode på 10 år med samme fremskrivning. Ved sammenligning af længdeprofiler anvendes 4 udvalgte strækninger. De fire udvalgte strækninger ses på figur 7.6 samt de tidligere nævnte indberetninger i afsnit 5.2 fra oversvømmelsen den 6. august 2012 for hver strækning.



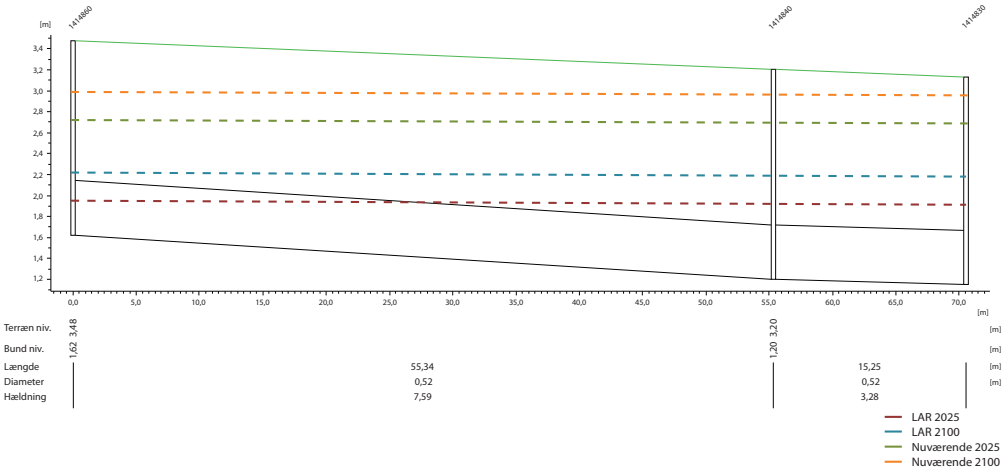
Figur 7.6: De fire udvalgte strækninger for sammenligning af længdeprofiler samt indberetninger fra den 6. august 2012..

På figur 7.7 ses længdeprofilerne for strækning 1 med og uden LAR-elementer i 2025 og 2100. Endvidere ses at vandstandene ved et fuldtløbende rør vil opstige i brøndene, hvilket ligeledes er gældende for de resterende længdeprofiler. På figur 7.7 ses at den nuværende tilstands kapacitet overskrides i systemet i år 2025 og 2100 uden LAR-elementer, hvormed det omkringliggende område oversvømmes. Ligeledes ses at ved etablering af permeabel belægning på begge vejsider samt regnbede, vil vandstanden i rørsystemet blive reduceret, hvormed oversvømmelsensdybden er reduceret med 0,5 m. Årsagen til at scenarierne ligger forholdsvist tæt skyldes beliggenheden i projektlokaliteten, hvor strækning 1 er en mindre sidegade.



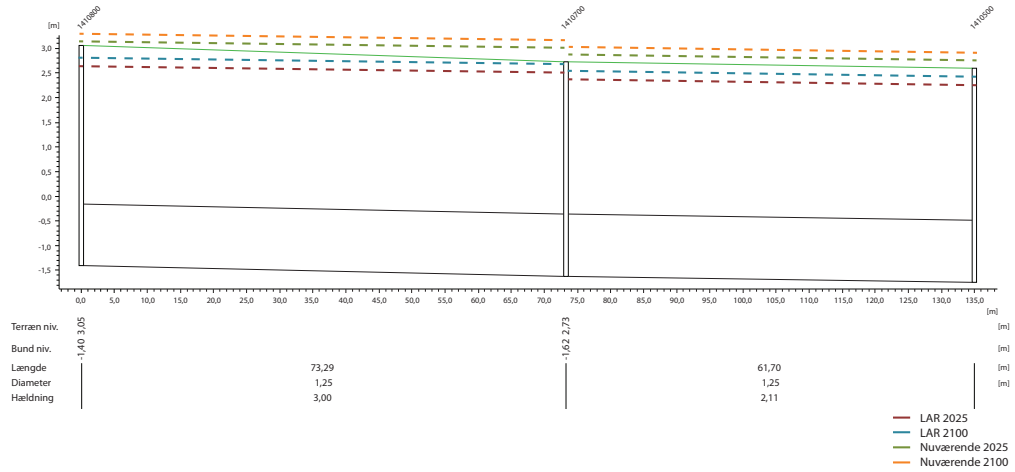
Figur 7.7: Længdeprofil for strækning 1 med og uden LAR-elementer.

Længdeprofilet for strækning 2 er illustreret på figur 7.8, hvor vandstanden i ledningsstrækningen samt brøndene er ligeledes reduceret ved implementering af LAR med en reduktion på cirka 0,8 m i begge scenarier. Funktionspraksis overholdes for 10 års gentagelsesperiode, men ved øget regnhændelser med en gentagelsesperiode over 10 år, vil systemet ikke have tilstrækkelig kapacitet ved nuværende tilstand. Ved implementering af LAR vil systemet overholde funktionspraksis ved øget gentagelsesperioder.



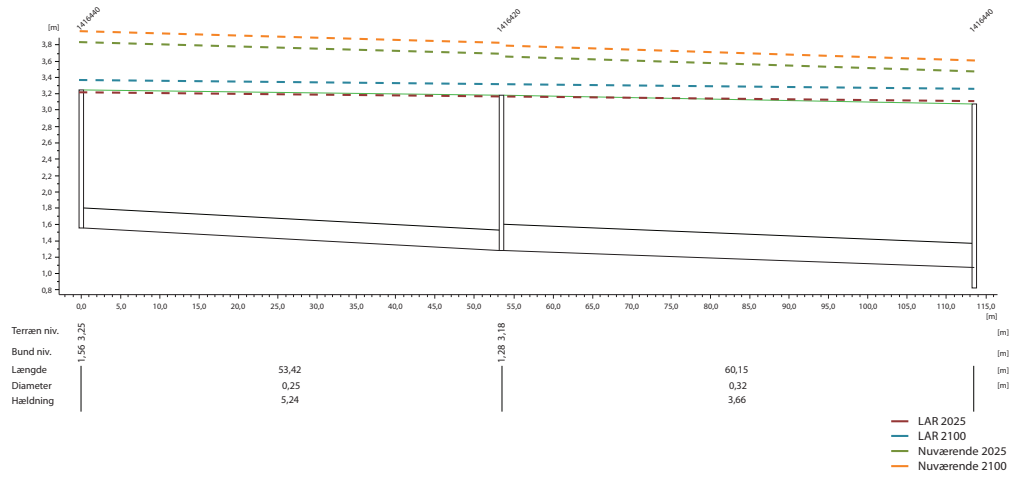
Figur 7.8: Længdeprofil for strækning 2 med og uden LAR-elementer.

På figur 7.9 ses strækning 3, hvor kapaciteten overskrides i den nuværende tilstand og vandstanden reduceres med 0,5 m. Ved implementering af LAR reduceres opstuvningen til terræn, hvormed kapaciteten ikke overskrides. Dette er gældende for begge scenarier.



Figur 7.9: Længdeprofil for strækning 3 med og uden LAR-elementer.

Længdeprofilet for strækning 4 ses på figur 7.10, ligeledes ses at kapaciteten overskrides og der forekommer oversvømmelse på terræn og ved implementering af LAR reduceres vandstanden med 0,6 m. I på denne strækning er der behov for nye tiltag i form af øget en ledningskapacitet eksempelvis ved implementering af flere LAR-elementer, da der forekommer opstuvning til terræn.



Figur 7.10: Længdeprofil for strækning 4 med og uden LAR-elementer.

Generelt ses der, at vandstanden er reduceret i intervallet 0,5 til 0,8 m for hver strækning ved implementering af LAR i scenarie 2025 og 2100. I størstedelen af tilfældene er oversvømmelsen på terræn reduceret til ikke forekommende.

Udover længdeprofilerne undersøges ligeledes udløbsvolumener for at undersøge implementering af LAR i Aalborg Vestby. I modeloplandet er der implementeret tre udløb, der henholdsvis leder vandet til rensanlæggget samt udledning til Limfjorden. Udløbene er illustreret på figur 7.11 og er angivet som Uny, U0141 samt U0144.



Figur 7.11: Placering af udløbene Uny, U0141 samt U0144 i modeloplandet.

Afstrømningsvolumenerne for udløbene er opstillet i tabel 7.3 i forhold til nuværende tilstand for scenarie 2025 og 2100 samt ved implementering af LAR. Det samlede udløbsvolumen for den nuværende tilstand i 2025 er 58.547 m^3, hvor implementering af LAR reducerer afstrømningsvolumen med 34,5 %. For den nuværende tilstand i 2100 er det samlede udløbsvolumen 60.781 m^3, hvilket resulterer i en reducering ved implementering af LAR på 34 %. I modeloplandet er det reduceret areal 70 ha, hvormed den akkumulerede afstrømning for den nuværende tilstand i 2025 er 83 mm. Ved implementering af LAR i projektlokaliteten reduceres den akkumulerede afstrømning til 54 mm. Det samme er gældende for scenarie 2100, hvor den nuværende tilstand reduceres fra 86 mm til 56 mm ved implementering af LAR. Udløbsvolumenerne ses i appendiks F - *Plan udløbsvolmuner*.

	Volume [m^3]	Afstrømning [mm]	Procentafvigelse [%]
Nuværende tilstand 2025	58.547	83,04	34,5
LAR-elementer 2025	38.313	54,55	
Nuværende tilstand 2100	60.781	86,21	34
LAR-elementer 2100	40.084	56,85	

Tabel 7.3: Samlede udløbsvolumen for scenarie 2025 og 2100

Ud fra overstående analyse af implementering af LAR, ses en reduktion i vandstanden i intervallet 0,5 til 0,8 m i afløbssystemet ved en klimafremskrivning på 10 og 100 år med en gentagelsesperiode på 10 år ved sammenligning af længdeprofilerne med og uden LAR-elementer. Det samme er gældende ved sammenligning af udløbsvolumenerne, hvor de samlede udløbsvolumenerne er reduceret 34,5 % samt 34 %. Ved implementering af LAR overholdes gentagelsesperioden på 10 år delvist, hvorimod i det eksisterende system overholdes gentagelsesperioden ikke ved kraftige regnhændelser. Det vil derfor være nødvendigt at foretage nye tiltage i Aalborg Vestby for at minimere fremtidige oversvømmelser.

KAPITEL 8

DRIFT OG VEDLIGEHOLDELSE

Dette kapitel omhandler drift og vedligeholdelse af grønne tage, permeabel belægning, regnbede samt grøfter og render.

For at opnå den bedste funktion af de forskellige LAR-elementer, er det vigtigt at opretholde en god drift og vedligeholdelse af elementerne, hvormed levetiden forlænges og samtidig omkostningerne mindskes.

8.1 Grønne tage

Drift og vedligeholdelse af grønne tage er generelt dyrere end traditionelle tage. Opbygningen af de grønne tage har indflydelse på, hvor regelmæssigt der skal foretages vedligeholdelse. Forskellen på de ekstensive tage og de intensive tage er kravene til vedligeholdelsen, hvor de intensive tage betragtes som almindelig haver og kræver derfor samme vedligeholdelse. De ekstensive tage har et lavt plejeniveau i forhold til de intensive tage, der kræver en regelmæssig plejning samt vanding.

Planlægning af vedligeholdelse af grønne tage afhænger af forskellige faktorer, såsom hvornår de kraftige regnhændelser forekommer samt det er sæsonbestemt. Samtidig kræves der, at der forekommer en regelmæssig vedligeholdelse af de grønne tage i forhold til udløb, bladfang, tagbrønde samt tagrender efter årligt nedfald af løvfald samt efter kraftige regnhændelser. Ved tæt placering af store træer på bygninger med grønne tage, kan der være behov for fjernelse af blade med mere 2 til 4 gange om året. Ligeledes kræves en regelmæssig kontrol af tagnedløb gennem tagfladen samt kontrolering af utætheder i taget, som skal foretages 1 gang om året. [Rambøll Danmark A/S et al., 2011]

I mange tilfælde udarbejdes der en drift- og vedligeholdelsesplan for de grønne tage, hvor planen typisk vil tage udgangspunkt i rengøring af vandingsudløb, kanter samt udgange. Planter kontrolleres og erstattes efter behov, hvilket er mest nødvendigt i opstartsperioden. Derudover bestemmes hvilken metode, der anvendes til skadedyrsbekæmpelse i forhold til anvendelse af økologisk midler eller pesticider.[Rambøll Danmark A/S et al., 2011]

I nogle tilfælde kræver vegetationslaget gødning, hvilket afhænger af beplantningstypen og giver beplantningen en større blomstring. I forhold til gødning, skal der tages hensyn til, hvor ofte planterne skal gødes, samt hvilken gødning, der skal anvendes. Nogle mosarter kræver ingen form for gødning, da det optager næringen fra luften. [Rambøll Danmark A/S et al., 2011]

Grønne tage med beplantningen såsom mosser samt stenurter kræver minimal vedligeholdelse og tåler udtørring i modsætning til forskellige græsarter, der ellers vil udtørre i de tørre perioder. I forhold til vanding af de grønne tage, tages der stilling til om det er nødvendigt at etablere et vandingsanlæg, samt hvilke procedure anlægget skal have. Hvis der vælges at vande manuelt, tages der stilling til vandhanens placering. Etableres der mekanisk udstyr, bestemmes hvor ofte udstyret skal kontrolles.

De forskellige tiltag i forhold til de grønne tage er nødvendige, for at de grønne tage vil fungere optimale og er afgørende for længden af de grønne tages levetid. Forekommer der manglende vedligeholdelse af taget, vil det have konsekvenser i forhold til opholdelse på taget, samt tætheden af membranen. Det forventes, at levetiden på de grønne tage, er længere end de traditionelle tage. Samtidig reduceres afløbsbidraget, så det samlede totaløkonomiske regnskab vil blive anderledes. Derudover vil de grønne tages omkostninger have en øget brugsværdi. [FrederiksenArchitects et al., 2013]

8.2 Permeabel belægning

Drift og vedligeholdelse af permeabel belægning kræver i nogen grad samme vedligeholdelse som traditionel belægning. Vedligeholdelsesarbejdet ved permeabel belægning er anderledes i form af oprensning af belægningen. Er vedligeholdelsen ikke optimal, vil det risikere at afvandingens overflade forringes i løbet af få år, da fugerne samt belægningen vil tilstoppes med støv, trafikslid, jord samt nedbrudte organismer.

Drift og vedligeholdelsen af permeable belægninger afhænger af hvilken belægningstype. I forhold til belægningssten med porøse fuger, anbefales regelmæssigt støvsugning af belægning for at den fungerer optimal. Der skal fortages fjernelse af resterne fra vintervedligeholdelsen, i foråret. Støv og græsfrø skal fjernes i sommerperioden og i det sene efterår fjernes blade. Der skal fortages regelmæssigt efterfugning af de porøse fuger og derudover foretages udskiftning af skadet sten samt lugning af ukrudt i de tilfælde, det er nødvendigt.

Ved drift og vedligeholdelsen, af porøse belægningssten, foretages en regelmæssig fejning i løbet af året. For at opretholde porøsiteten anbefales det, at belægning højtryksspules årligt. Udskiftning af skadede sten skal foretages, når det er nødvendigt. Med hensyn

til græsarmeringssten anbefales det, at der foretages en regelmæssig støvsugning samt græsslåning, flere gange om året.

Vintervedligeholdelse af permeabel belægning er vigtigere i forhold til traditionel belægning, da is samt sne ophober sig i hulrummene i belægningen. Dette har mindre indflydelse på belægningssten med porøse fuger samt græsarmering. Samtidig vil permeabel belægning have lettere ved at fryse end traditionel belægning. Fordelen ved permeabel belægning i vinterperioden er under glatføringsbekæmpelse, da varmen fra jorden fordeler sig bedre gennem kasserne. I vinterperioden anvendes der ikke grus, som vil tilstoppe de porøse fuger.

8.3 Regnbede

Drift og vedligeholdelse af regnbede, bør udføres for at opnå det bedst mulige resultat i form af nedsivning og rensning ved regnbede. Ved en god pleje og dermed vedligeholdelse, vil driftsudgifterne reduceres.

Regelmæssigt bør plantedækket sikres ved at fjerne affald, ukrudt og blade fra regnbede og dermed sikre en god nedsivning. Derudover beskæres beplantningerne om foråret og de syge eller døde planter fjernes og erstattes om foråret og efteråret. For at mindske vedligeholdelsen, anbefales det at anvende hjemmehørende danske planter, der tåler det omkringværende miljø. Derudover skal planterne vandes efter behov i tørre perioder særligt i de første år og eventuelt gødes. For at undgå forurening af regnvandet, bør pesticider, herbicider og kunstgødning ikke anvendes. En gang om året tilføjes et nyt lag kompost på cirka 0,5 - 1 cm. [Rambøll Danmark A/S et al., 2011]

En anden mulighed end beplantning er at erstatte plantedækket med stenlag for eksempel grus, hvorved vedligeholdelsen mindskes. Dog vil der kunne nedsive sand og andre små affaldsrester igennem stenlaget og medføre tilstoppe af regnbedet.

Efter større regnskyl bør regnvandet være bortledt i løbet af 72 timer. Hvis ikke bør regnbedets afvanding forbedres eller tilkobles eksempelvis en faskine eller til kloaksystemet. Ligeledes anbefales det at teste jordens dræningsevne, ved at grave et hul og hælde 10 liter vand i og efterfølgende undersøge hvor lang tid, det tager for at vandet nedsive. Ved ind- og udløb i et regnbed bør tilsyn føres, for at undgå at regnbedet tilstopper. Derudover anbefales gadefejning af de omkringliggende arealer, for at mindske forureningen fra forureningskilderne. [Rambøll Danmark A/S et al., 2011]

8.4 Render og grøfter

Render og grøfters konstruktion og udformningen varigere meget og derfor varigere driften samt vedligeholdelsen også. Ved etablering af renderne i tæt belægning, vil driften og vedligeholdelsen være mindre. Derimod ved render med lavt fald anbefales der at spuling foretages med faste intervaller. Regelmæssigt for alle udformninger af render samt grøfter, er at der skal fortages fjernelse af affald, sand samt blade 2 til 4 gange i løbet af en måned.

Der skal samtidig fortages fejning samt spuling af omkringlæggende belægninger 1 gang om måneden. Fælles for alle render samt grøfter er, at tilsynet af brønde samt rensning, skal fortages 1 gang årligt og derudover spules opsamlingsrørene efter behov. Anvendes der filtergrus under renden eller grøften, kræves der en udskiftning hvert 10. til 20. år for at renden eller grøften fungerer optimalt.

8.5 Opsummering

Ud fra de ovenstående opgaver ved drift og vedligeholde af grønne tage, permeabel belægning, regnbede samt grøft og render er der udarbejdet en oversigt over, hvor ofte drift og vedligeholdelsen af LAR-elementerne skal udføres i månedligt, 1 gang årligt, 1-2 gange årligt samt 2-4 gange årligt, som er vist i tabel 8.1.

	Månedligt	1 - 2 gange årligt	2 - 4 gange årligt	1 gang årligt
Regnbede	Fjernelse af affald og blade	Behandling af planter Vanding af beplantning (tørre perioder)	Fjernelse af ukrudt og løsne jord	Tilføje kompost (Forår) Trimme/beskære planter (forår) Gødning af beplantning
Grønne tage		Erstatning af beplantning	Inspektion / rengøring Fjernelse af blade	Inspektion af utætheder
Render og grøfter			Fjernelse af affald, sand og blade	Feje/spule belægning Brøndene renses eftertjek Opsamlingsrør spules
Permeabel belægning		Fjernelse af støv og græsfrø Udskiftning af skadet sten		Fjernelse af vintervedligeholdelse (forår) Fjernelse af blade Efterfugning Spuling af fuger

Tabel 8.1: Antal gange drift og vedligeholdelse bør udføres.

Tabel 8.1 viser, at der forekommer mest drift og vedligeholdelse ved regnbede og mindst ved grønne tage, men i projektlokaliteten er der bedst mulighed for at etablere regnbede, som også er beskrevet i kapitel 3 på side 15. Udover selve udførelsen af driften og vedligeholdelsen ved de forskellige LAR-elementer, skal økonomien for anlægs- og driftsomkostningerne af LAR-elementerne sammenlignes med separatkloakering, for at undersøge hvilken løsning, der er mest anvendelig og rentabel.

KAPITEL 9

ØKONOMI

I dette kapitel sammenholdes de økonomiske aspekter i forhold til anlægs- samt driftsomkostningerne i et prisoverslag ved separatkloakering samt sammenkobling af separatkloakering og etablering af LAR-elementer.

For at sammenholde de økonomiske aspekter ved separatkloakering samt sammenkobling af separatkloakering og etablering af LAR-elementer undersøges anlægs- samt driftsomkostningerne for de forskellige scenarier. Det første scenarie er separatkloakering i hele området, ved andet scenarie etableres der LAR-elementer såsom grønne tage, permeabel belægning, regnbed og render i området samt der separatkloakeres, som er beskrevet i afsnit 7.2 på side 74. Ved reetablering af afløbssystemet med separatkloakering forventes levetiden på 75 år, hvor der ved etablering af LAR-elementer forventes en levetid på 25 år. Derfor skal LAR-elementerne reetableres hvert 25. år for at opnå samme levetid som separatkloakering i 75 år. Som tidligere nævnt skal permeabel belægning, regnbed og render reetableres hvert 25. år, hvor grønne tage reetableres hvert 50. år.

Ved første scenarie ved etablering af separatkloakering i området anvendes en spildevandsledning på Ø160 PVC samt regnvandsledninger af forskellige diametre. Der er afgrænset fra dimensionering af separatkloakering, men det antages, at en øget dimension på fællesledningen i det eksisterende afløbssystem vil svare til nyetableret regnvandsledninger. Ved separatkloakering forekommer der spuling hvert 10. år i afløbssystemet. Anlægsomkostningerne til etablering af separatkloakering er inkluderet grundvandssænkning, asfalt, kantsten, fortov, udskiftning af bundsikring, stabilt grus, opfyldningsmateriale samt etablering. Enhedspriserne for en dobbeltledning per meter til en angivet regnvandsledningens dimension er angivet i tabel 9.1.

Regnvandsledning, dimension [ø]	Enhedspris dobbeltledning [kr./m]
200	5200
250	5200
315	5200
400	5300
500	5500
600	5900
700	6300
800	6700
900	7100
1000	7700
1200	8400

Tabel 9.1: Enhedspriserne for en dobbeltledning for en givet regnvandsledningens dimension, priserne er eksklusiv moms.

Driftsomkostningerne ved separatkloakering antages det, at der skal forekomme spuling af rørene hvert 10. år, hvor omkostningerne er 2.000 kr. per år.

Ved andet scenarie sammenkobles separatkloakering og LAR-elementer, som er illustreret i afsnit 7.2 på side 74. Separatkloakering i andet scenarie etableres som en spildevandsledning, hvor enhedsprisen antages at være 1000 kr./m. Anlægs- samt driftsomkostningerne er bestemt ud fra Københavns Kommune metodekatalog for LAR [Rambøll Danmark A/S et al., 2011], som tager udgangspunkt i prisniveauet i 2011. Driftsomkostningerne ved henholdsvis grønne tage, permeabel belægning, regnbede samt render og grøfter er udført af eksterne folk og derfor regnes der med en timepris på 325 kr. LAR-elementernes drift er beskrevet i kapitel 8 på side 85, hvor anlægs- og driftsomkostningerne bygger på kilden [Rambøll Danmark A/S et al., 2011], hvor der henholdsvis er en kvadratmeterpris og meter pris på henholdsvis grønne tage, permeabel belægning, regnbede samt render

Etablering af grønne tage i området anlægges med et dræn- og vækstlag, hvor vækstlaget er på 20 mm med beplantningen mos og stenurt vil anlægningsomkostningerne for et grønt tag være 575 kr./m^2. Anlægningsomkostningerne kan reduceres i forhold til tagarealet, hvor der henholdsvis forekommer en reduktion på 15 % med et tagareal på 2000 m^2 samt en reduktion på 20 % med et tagareal på 5700 m^2. I forhold til drift og vedligeholdelse antages det, at tidsforbruget til vedligeholdelse af det grønne tag i det første år er 4 timer per 100 m^2. Derefter antages det, at tidsforbruget til vedligeholdelse er faldende og derfor 1,5 time per 100 m^2. Eksempel på bestemmelse af et overslag for grønne tage, anvendes et tagareal på 1802 m^2. Anlægsomkostningerne for, at etablere et grønt tag er 575 kr/m^2, derfor vil de samlede anlægsudgifter være 1.036.150 kr. Driftsomkostningerne for et grønt tag vil det første år være 1300 kr./100 m^2 og derefter vil driftsomkostningerne være 487 kr./100 m^2. Derfor vil de samlede driftsudgifter være 78.936 kr./år. De resterende overslag for grønne tage er opstillet i appendiks E på side 131.

Ved etablering af permeabel belægning med belægningssten og porøse fuger skal der anlægges en underbygning, før permeabel belægning kan etableres. Overslaget for de samlede anlægningsudgifter er 540 kr./m^2, hvor belægningssten med porøse fuger udgør 400 kr./m^2 og underbygningen er angivet til 140 kr./m^2. I forhold til drift og vedligeholdelse af belægningssten med porøse fuger er overslaget for driftsudgifterne på 30 kr./m^2/år. Forudsætningerne for drift og vedligeholdelse er at der foretages rensning af belægningen 4 gange årligt og 1 gang om året foretages der efterfugning. I løbet af belægningens levetid antages det, at 10 % af fliserne udskiftes. Udgifter for belægningssten med porøse fuger ved drift og vedligeholdelse er beregnet med et areal på 1000 m^2. Eksempel på overslagsberegninger for permeabel belægning med et areal på 250 m^2 anvendes der anlægsomkostninger på 540 kr./m^2, så de samlet anlægsomkostninger for permeabel belægninger er 135.000 kr. I forhold til driftsomkostningerne ved permeabel belægning med et areal på 250 m^2 er de samlet driftsomkostninger 7500 kr./år. De resterende overslag for permeabel belægning er opstillet i appendiks E på side 131.

Anlægs- og driftsomkostningerne ved etablering af regnbede er angivet ved oplandsstørrelser på henholdsvis 140 m^2, hvor anlægsudgiften er 4200 kr. og driftsudgiften er 3000 kr. Dette omregnes så anlægs- og driftsudgifterne er angivet til en kvadratmeter pris, hvor den samlede anlægsudgift er 30 kr./m^2 og driftsudgiften er 21 kr./m^2. Eksempel på anlægs- og driftsomkostninger for etablering af et regnbed med et befæstet areal på 70 m^2. Samlet anlægningsomkostninger for et regnbed er 2100 kr. og de samlede driftsomkostninger er 1500 kr./år. De resterende overslag for regnbede er opstillet i appendiks E på side 131.

Anlægningsomkostningerne af render afhænger meget af de lokale forhold samt hvilken længde renden etableres med. Overslagsprisen for etablering af render udført i beton er cirka 225 kr./lbm. Driftsomkostningerne er angivet til 244 kr./lbm, hvor eksterne personer anvender 45 minutter per meter i løbet af et år. Eksempel på bestemmelse af anlægs- og driftsomkostningerne for en rende på 8 m, hvor de samlede anlægsomkostninger er 1598 kr. Driftsomkostningerne for en rende på 8 m er 1731 kr./år. De resterende overslag for render er opstillet i appendiks E på side 131.

Ud fra ovenstående anlægs- og driftsomkostningerne for henholdsvis separatkloakering, spildevandsledninger, grønne tage, permeabel belægning, regnbede og render er tabel 9.2 opstillet for de tre scenarier, se appendiks F - *Økonomi*. De samlede anlægs- og driftsomkostningerne for afskrivningsperioden er bestemt ud fra en afskrivningsperiode på 75 år. Rensning af henholdsvis grønne tage, permeabel belægning, regnbede og render er spuling medtaget i driftsomkostningerne. Der antages, at der ved reetablering af permeabel belægning, regnbede og render forekommer en reduktion på 65 % af det ny etableret permeabel belægning, regnbede og render. Denne reduktion er angivet, da der ved reetablering ikke skal foretages nye udgravninger samt nye tilkoblinger.

	1. Scenarie	2. Scenarie
Anlægspris:		
Separatkloakering	29.465.777	4.519.734
Grønt tag	-	2.539.200
Renovering af grønne tage efter 50 år	-	2.539.200
Permeabel belægning	-	2.684.340
Renovering af permeabel belægning efter 25 år	-	958.693
Renovering af permeabel belægning efter 50 år	-	958.693
Regnbed	-	54.240
Renovering af regnbed efter 25 år	-	19.371
Renovering af regnbed efter 50 år	-	19.371
Grøfter og render	-	35.235
Renovering af grøfter og render efter 25 år	-	12.536
Renovering af grøfter og render efter 50 år	-	12.536
Anlæg samlet	29.465.777	14.353.724
Afskrivning:		
Afskrivningsperiode	75	75
Drift per år:		
Spuling	2000	2.000
Rensning mm. Grønt tag	-	78.936
Rensning mm. Permeabel belægning	-	149.130
Rensning mm. Regnbed	-	38.743
Rensning mm. Render og grøfter	-	
Driftomkostninger per år	2.000	306.980
Totalomkostninger (anlæg og drift):	29.615.777	37.377.251
Anlæg og drift per år i afskrivningsperioden:	394.877	498.363

Tabel 9.2: Anlægs- og driftsomkostninger for de to scenarier med en afskrivningsperiode på 75 år.

Ved sammenligning af de to scenarier ses en højere pris i Scenarie 1 ved anlæggelse af separatkloakering i projektlokaliteten på 29.465.777 kr., hvor prisen er over dobbelt så høj som ved Scenarie 2 på 14.353.724 kr. Dog ved tillæg af driftsomkostningerne for hovedsageligt spuling ved Scenarie 1 på 2000 kr. og rensning af diverse LAR-elementer ved Scenarie 2 på 306.980 kr., fås dermed i alt højere omkostninger Scenarie 2. Derpå konkluderes at separatkloakering af hele systemet vil være billigere end at anvende Scenarie 2 med få områder med separatkloakering og trappetrinsløsninger med LAR-elementer. Dog vil LAR-elementer have en ekstra fordel, da LAR-elementerne bidrager med samfundsmæssige værdier i forhold til ren separatkloakering, da området vil blive mere attraktivt i form af grønne opholds- og legearealer. I henhold til timefaktoren på det eksterne folk er ikke fremskrevet over afskrivningsperioden.

Driftsomkostningerne af de enkelte LAR-elementer kan forekomme i forskellige former. Drift og vedligeholdelse i projektlokaliteten bliver udført af eksterne folk og i andre tilfælde er det private folk, som opretholder drift og vedligeholdelsen. Eksempler på hvordan LAR-elementer bliver vedligeholdt, så driften er optimal, er 8-tallet i Ørestaden samt Portland i USA. I 2010 var 8-tallet i Ørestaden klar til fremvisning af boligerne, hvor området omkring om 8-tallet er der etableret LAR i form af brede kanaler, render, grønne tage samt legepladser som forsinkelsesbassiner. For at LAR-elementerne fremstår pænt og rent skal driften og vedligeholdelsen være i top, derfor er der ansat personale til at opfylde dette ønske. Der er ansat en gartner på fuldtid hele året, hvor der om sommer ansættes en medhjælper på deltid. Et andet eksempel på hvordan drift og vedligeholdelse af LAR-elementer bliver udført, er i Portland i USA, hvor der er etableret en kombination af LAR-elementer samt den traditionelle afløbsløsning, hvor driften og vedligeholdelsen af LAR-elementerne bliver foretaget af borgerne. Borgernes hensigt er at sikre grønne områder samt et bedre vandmiljø til Portland samt skabe en bedre kontakt mellem naboerne. Beboerne i området skal gennemføre et træningsprogram før de passer regnbedene i området. Driftsomkostningerne kan reduceres med henblik på private folk, som udfører drift og vedligeholdelsen.

KAPITEL 10

DISKUSSION

I dette kapitel vurderes antagelserne samt resultaterne, der er foretaget i denne rapport i forhold til dimensionering, modellering, drift, vedligeholdelse samt de økonomiske aspekter.

Ved dimensionering af LAR-elementer er klimaforandringerne implementeret i permeabel belægning samt regnbede igennem sikkerhedsfaktoren, men ved grønne tage er klimaforandringerne ikke medtaget. Dette vil medføre at dimensioneringen af de grønne tage ikke tager hensyn til klimaforandringer, der vil resulterer i længere perioder med tørke samt kraftigere regnhændelser over korte perioder. Undersøgelserne viser, at de grønne tages effekt på regnhændelserne er mest optimal på den daglige nedbør, hvorpå de grønne tage tilbageholder regnvandet og fordampningsprocessen optræder. De grønne tages effekter mindskes ved kraftigere regnhændelser, da taget fuldmættes og en overfladisk afstrømning påbegyndes.

I forhold til dimensionering, af permeabel belægning og regnbede, er den potentielle fordampning implementeret. Den potentielle fordampning, der anvendes til permeabel belægning samt regnbede, er en midling af den årlige fordampning, hvormed resultaterne, for permeabel belægning og regnbede, resulterer i en gennemsnitlig effekt fremfor den maksimale effekt i sommerperioderne. Ved bestemmelse af den potentielle fordampning, anvendes et frit vandspejl. Den potentielle fordampning, for permeabel belægning bør i stedet bestemmes for en landoverflade, hvorpå en mindre fordampning vil optræde i modsætning til det frie vandspejl.

Ved klimafremskrivning anvendes en sikkerhedsfaktor på 1,72 og 1,85 for henholdsvist 10 og 100 år. I sikkerhedsfaktoren er en klimafaktor, modelusikkerhed samt fortætningsfaktor medtaget, hvor fortætningsfaktoren er angivet til 1,1. Fortætningsfaktoren forudsætter at befæstelsesgraden øges med 10 %, hvilket muligvis ikke er gældende ved en fremskrivningshorisont på 10 år i 2025, derfor vil en sikkerhedsfaktor på 1,56 være tilstrækkelig uden for-

tætningsfaktoren på 1,1. Klimafremskrivningen er foretaget med en gentagelsesperiode på 10 år, som anvendes til dimensionering af LAR-elementerne, hvorpå en mindre gentagelsesperiode kan anvendes grundet trappetrinsløsninger samt sammenkobling af LAR-elementer og separatkloakering. I funktionspraksis anvendes en gentagelsesperiode på 5 år for separatkloakering, hvilket muliggør anvendelsen af en mindre gentagelsesperiode end 10 år for LAR-elementer.

LAR-elementerne i projektlokaliteten er valgt på baggrund af projektgruppens vurdering af pladsforhold, lavninger samt indberetninger fra tidligere oversvømmelser. LAR-elementernes placering samt størrelse kunne ligeledes vælges ud fra andre synspunkter eksempelvis hvis LAR-elementerne dimensioneres til at optage den årlige nedbør. Dermed vil resultaterne af LAR-elementerne være anderledes ved implementering af flere eller færre LAR-elementer.

I forhold til simulering, af modellen i MIKE Urban forudsættes antagelser, der tilnærmer modellen virkeligheden. Ved implementering af grønne tage, permeabel belægning, regnbede og render er der foretaget simplificeringer i forhold til etablering af LAR-elementerne i MIKE Urban. I MIKE Urban er LAR-elementerne implementeret simpelt, da MIKE Urban ikke simulerer nedsivningen. I stedet er nedsivningen og fordampningen for permeabel belægning samt regnbede implementeret ved tilkobling af et ekstra udløb samt en vandbremse. Ved implementering af mindre regnbede samt permeabel belægninger, er oplandene tilkoblet LAR-elementet, men i virkeligheden vil et afløb være sammenkoblingen. Forsinkelsen samt fordampningen ved grønne tage i MIKE Urban er implementeret ved ændring af koncentrationstiden samt initialtabet i modsætningen til traditionelle tage. For at opnå virkelighedsnære resultater af LAR-elementerne, bør der foretages eksperimenter, der øger detaljeringsgraden til LAR opbygningen i MIKE Urban. Ligeledes bør der foretages en kalibrering af LAR-elementerne.

I modellen er de anvendte regnserier kun regn, hvormed der ses bort fra nedbør, der falder som sne. I vinterperioden, med frossen jord, vil grønne tage, regnbede og render fungere anderledes og ikke fungere optimalt. Eksempelvis vil sneen ophobe sig på de grønne tage, hvormed effekten af LAR-elementet mindskes. Ligeledes vil regnbedene ikke opnå den tilstrækkelige effekt, da den hydrauliske ledningsevne samt magasineringsvolumen reduceres, grundet den frosne jord, men peakværdien vil reduceres. Effekten ved permeable belægninger i vinterperioderne reduceres grundet den frosne jord. Derimod ved etablering af permeable belægninger med kassetter, vil jordvarmen forhindre reduktion af effekten ved optimal vintervedligeholdelse.

Det økonomiske overslag for separatkloakering, er bestemt ud fra den eksisterende fælles-ledning med større diametre. Ved dimensionering af separatkloakering vil dimensionerne være større grundet sikkerhedsfaktoren. Dette vil have indflydelse på det økonomiske overslag, som vil øge anlægsomkostningerne. Det samme er gældende ved etablering af render i projektlokaliteten, da forløbet ikke anlægges som angivet i modellen. I stedet vil renderne udformes efter stier og veje, som vil ændre anlægs- og driftsomkostningerne.

Ved implementering af LAR bør forskellige forbeholde tages i forhold til drift, vedligeholdelse og de økonomiske aspekter. En ide vil være at foretage nye tiltag ved etablering af LAR-elementer i private eller offentlige områder for at lettere gøre processen samt retningslinjerne for partnerne i form af kommunen, forsyningen, grundejerforeningen med flere. Driftsomkostningerne for etablering af LAR i offentlige områder, vil det oftest være kommunen eller forsyningen, der foretager driften samt vedligeholdelsen af LAR-elementet. Derimod vil det være muligt at kombinere partnerne ved drift og vedligeholdelse af LAR-elementer i private områder, eksempelvis ved, at uddelegere vedligeholdelsen til grundejerforeningen. Endvidere vil det være muligt, at kommunen eller forsyningen tager ansvaret for anlægs- og driftsomkostninger.

KAPITEL 11

KONKLUSION

I fremtiden vil de for modne klimaforandringer forårsage ekstremregn, som medfører oversvømmelser i kældre og på terræn. For at mindske de økonomiske og samfundsmæssige omkostninger, der forekommer ved oversvømmelser, vil det være nødvendigt med nye tiltag. En alternativ til den traditionelle løsningmetode, vil være at anvende LAR-elementer. Ved implementering af LAR-elementer i projektlokaliteten Aalborg Vestby, forekommer der problematikker såsom tæt lokalitet til fjorden med lavtliggende terræn samt højt grundvandsspejl, hvilket ligeledes er gældende for andre større danske byer.

I forbindelse med klimatilpasning af Aalborg Vestby ved implementering af LAR, er der foretaget en analyse af afløbssystemet i forhold til ekstremregn. Den nuværende tilstand ved fremskrivning til år 2025 og 2100 vil serviceniveauet, med en gentagelsesperiode på 10 år, ikke længere overholdes, hvormed nye tiltag er nødvendige. Ved implementering af LAR med samme fremskrivningshorisonter, forekommer en reduktion af vandstanden i intervallet fra 0,5 til 0,8 m ved sammenligning af udvalgte ledningsstrækninger. Endvidere ses en reduktion af det samlede udløbsvolumen af de tre eksisterende udløb. Resultaterne viser, at der forekommer en reduktion på 34,5 % ved implementering af LAR i år 2025 tilsvarende en reduktion i udløbsvolumener fra 83 mm til 54,5 mm. Ligeledes forekommer en reduktion i 2100 på 34 % med en reduktion af udløbsvolumener fra 86 mm til 57 mm. Scenariet i år 2025 medtages fortætningsfaktoren i sikkerhedsfaktoren på 1,1, hvormed der simuleres med en sikkerhedsfaktor på 1,72. Fortætningsfaktoren medfører, til en forøgelse af befæstelsesgraden på 10 % over 10 år, hvilket danner grundlag for en højere fremskrivningshorisont fremfor 10 år. I forhold til områdets nuværende befæstelse, vil det ikke være realistisk, at øge befæstelsesgraden yderligere 10 %.

Overordnet ses en reduktion ved implementering af LAR i modeloplandet med 121 ha, hvorpå LAR-elementerne er implementeret i projektlokaliteten tilsvarende 24 ha. Implementering af LAR i den resterende del af modeloplandet opnås en større reduktion af afstrømningen, hvormed risikoen for oversvømmelser på terræn mindskes ved kombinering af forskellige LAR-elementer. I forhold til andre større danske byer med tæt placering til vandet samt høj bebyggelsesprocent, vil der ligeledes være høj risiko for oversvømmelse grundet de for modne klimaforandringer. Derfor vil det også være nødvendigt med nye tiltage, hvorpå en kombination af LAR-elementer vil være et godt alternativ grundet reduktionen af afstrømningen i projektlokaliteten. Ved reducering af oversvømmelser, vil det være muligt, at minimere de økonomiske- og samfundsmæssige konsekvenser i form af ødelæggelser.

Anlægs- og driftsomkostninger for en traditionel løsningsmetode, separatkloakering samt implementering af LAR med spildevandsledninger sammenholdes. De samlede anlægsomkostninger for separatkloakering i projektlokaliteten resulterer i en overslagspris på 29.465.777 kr., hvor implementering af LAR samt spildevandsledning er væsentlig lavere på 14.353.724 kr.. I forhold til driftsomkostningerne fås lavere overslagspris, ved separatkloakering for spuling på 2000 kr./år, hvorimod ved implementering af LAR er de samlede driftsomkostninger væsentligt højere på 306.980 kr./år. De samlede anlægs- og driftsomkostninger per år i afskrivningsperioden på 75 år er for separatkloakering 394.877 kr. og 498.363 kr. for implementering af LAR med spildevandsledninger og dermed en procentafvigelse på 21 % per år.

Implementering af LAR-elementerne resulterer i en højere overslagspris, men bidrager med samfundsmæssige værdier i forhold til separatkloakering. Eksempelvis vil implementering af LAR være fordelagtige i form af grønne områder, hvor det er muligt at sænke legepladser og skaber magasineringsvolumener. Ligeledes opføres, der i den nærmeste fremtid, en letbane igennem Aalborg, hvor underbygningen kan anvendes som et magasineringsvolumen, hvormed der opnås to løsninger i en.

Generelt ses, at mange spildevandsselskaber foretrækker den traditionelle løsning, separatkloakering i forhold til implementering af LAR. Derimod foretrækker de fleste kommuner, at implementere LAR-elementer, grundet de samfundsmæssige værdier i forhold til byfornyelse og rekreative miljøer. Udenlandske erfaringer viser, at implementering af LAR-elementer styrker den lokale identitet og er derfor en attraktiv metode at klimatilpasse i forhold til Danmark. For at lettere gøre implementering af LAR, anbefales det at inddrage implementering af LAR i planlægningsprocessen ved etablering af nye områder samt ved renovering.

LITTERATUR

Aalborg Byråd, **2013**. Aalborg Byråd. *Åbning af Østerå gennem byen som en åben og ren å i eget forløb*, Aalborg Kommune, 2013.

Aalborg Forsyning, Kloak A/S, **2014a**. Aalborg Forsyning, Kloak A/S. *Historien om kloakken*. URL: http://www.aalborgforsyning.dk/aalborg-forsyning/kloak/historien-om-kloakken.aspx, 2014. Downloadet: 07-01-2014.

Aalborg Forsyning, Kloak A/S, **2014b**. Aalborg Forsyning, Kloak A/S. *Velkommen til renseanlæggene i Aalborg Forsyning, Kloak A/S*. URL: http://www.forsyning.dk/aalborg-forsyning/kloak/spildevandsrensning.aspx, 2014. Downloadet: 07-01-2014.

Aalborg Forsyning, Kloak A/S, **2008**. Aalborg Forsyning, Kloak A/S. *Spildevandsplan 2008-19*, Aalborg Forsyning, Kloak A/S, 2008.

Aalborg Forsyning, Kloak A/S, **2007**. Aalborg Forsyning, Kloak A/S. *Vision 2100 - samt udviklingsplan frem til år 2025*, Aalborg Forsyning, Kloak A/S, 2007.

Aalborg Kommune, **2013a**. Aalborg Kommune. *Aalborg i tal 2013*, Aalborg Kommune, 2013a.

Aalborg Kommune, **2013b**. Aalborg Kommune. *Tillæg H.029 Klimatilpasningsplan*, Aalborg Kommune, 2013b.

Anders Brandt, **2006**. Anders Brandt. *Kraftigt regnvejr i Nord og Østjylland*. URL: http://galleri.tv2.dk/Vejret/4676915/8/:I-kajak-gennem-Tornh%C3%B8jparken-i-aalborg-den-15.-august/, 2006. Downloadet: 06-01-2014.

Anthonisen, Faldager, Hovgaard, Jacobsen, og Mikkelsen, **1992**. Ulla Anthonisen, Inge Faldager, Jes Hovgaard, Per Jacobsen, og Peter Steen Mikkelsen. *Lokal afledning af regnvand nr. 36*. ISBN: 87-7810-058-5, 1. udgave. Miljøstyrelsen, 1992.

Antje Backhaus, **2008**. Antje Backhaus. *Lokal afledning af regnvand (LAR) som merværdi og synergi*, Københavns Universitet, 2008.

Bob Bray, Dusty Gedge, Gary Grant, og Lani Leuthvilay, **2010**. Bob Bray, Dusty Gedge, Gary Grant, og Lani Leuthvilay. *Rain garden guide*, RESET Development, 2010.

Carina Winther og Jasper Jensen, **2013**. Carina Winther og Jasper Jensen. *Håndtering af regnvand i Nye Grønne tage og bassiner*, Aalborg Universitet, 2013.

Danmarks Miljøundersøgelser, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, Forskningscentret for Skov Landskab, Skov- og Naturstyrelsen, Miljøstyrelsen, Energistyrelsen, Kort Matrikelstyrelsen, Landsplanafdelingen, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, Amterne, Københavns Kommune, og Farvandsvæsenet, **2000**. Danmarks Miljøundersøgelser, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, Forskningscentret for Skov Landskab, Skov- og Naturstyrelsen, Miljøstyrelsen, Energistyrelsen, Kort Matrikelstyrelsen, Landsplanafdelingen, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, Amterne, Københavns Kommune, og Farvandsvæsenet. *Arealinformationsystemet*, Aalborg Universitet, 2000.

Dansk Center for byhistorie, **2013**. Dansk Center for byhistorie. *Byhistorie*. URL: `http://dendigitalebyport.byhistorie.dk/koebstaeder/by.aspx?koebstadID=73`, 2013. Downloadet: 10-12-2013.

De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland, **1999**. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland. *GEUS' digitale jordartskort*, Aalborg Universitet, 1999.

De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland, **2013**. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland. *National boringsdatabase (Jupiter)*, De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland, 2013.

Edgar L. Villarreal og Lars Bengtsson, **2005**. Edgar L. Villarreal og Lars Bengtsson. *Response of a Sedum green-roof to individual rain events*, Ecological engineering 25, 2005.

European Flood Directive, **2007**. European Flood Directive. *Europa Parlamentets og Rådets Direktiv 2007/60/EF af 23. oktober 2007 om vurdering og styring af risikoen for oversvømmelser*, European Flood Directive, 2007.

Field, Barros, Stocker, Dahe, Dokken, Plattner, Ebi, Allen, Mastrandrea, Tignor, Mach, og Midgley, **2012**. Christopher B. Field, Vicente Barros, Thomas F. Stocker, Qin Dahe, David Jon Dokken, Gain-Kasper Plattner, Kristie L. Ebi, Simon K. Allen, Michael D. Mastrandrea, Melinda Tignor, Katharine J. Mach, og Pauline M. Midgley. *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*. ISBN: 978-1-107-02506-6, 1. udgave. Cambridge University Press, 2012.

Flemming Lapertis, **2012**. Flemming Lapertis. *Regnhændelsen den 6. august 2012*, EnviDan, 2012.

FrederiksenArchitects, Alectia, Finn Jørsboe, Leila Tolderlund, og Frederiksberg Kommune, **2013**. FrederiksenArchitects, Alectia, Finn Jørsboe, Leila Tolderlund, og Frederiksberg Kommune. *Grønne tage og taghaver kombineret med klimatilpasning i form af LAR og energibesparende tiltag*, Frederiksberg Kommune, 2013.

Geodatastyrelsen, **2013a**. Geodatastyrelsen. *Kortforsyningen/Download*, Miljøministeriet, 2013a.

Geodatastyrelsen, **2013b**. Geodatastyrelsen. *Kortlægning af jordforurening i matriklen*, Miljøministeriet, 2013b.

Goode green, **2014**. Goode green. *Downtown residence*. URL: http://www.goodegreennyc.com/projects.html, 2014. Downloadet: 30-04-2014.

IDA Spildevandskomiteen, **2011**. IDA Spildevandskomiteen. *Dimensionering af LAR-anlæg*, IDA Spildevandskomiteen, 2011.

Iron age designs, **2014**. Iron age designs. *Catch Basin Grates*. URL: http://www.ironagegrates.com/installation-gallery/catch-basin-grates, 2014. Downloadet: 16-04-2014.

Johansen, Knudsen, og Kock, **1992**. Erik Johansen, Bodil Møller Knudsen, og Jan Kock. *Aalborgs Historie 1 - Fra Aalborg fødsel til Grevens Fejde 1534*. ISBN: 87-982530-1-8, 1. udgave. Aalborg Kommune, 1992.

Karsten Arnbjerg-Nielsen, **2008**. Karsten Arnbjerg-Nielsen. *Forventede ændringer i ekstremregn som følge af klimaændringer*, IDA Spildevandskomiteen, 2008.

Kristin L. Gettera, D. Bradley Rowea, og Jeffrey A. Andresenb, **2007**. Kristin L. Gettera, D. Bradley Rowea, og Jeffrey A. Andresenb. *Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention*, Ecological engineering 31, 2007.

Lösken, Adam, Appl, Bohlen, Fischer, Hämmerle, Henneberg, Henseleit, Hofmann, Kist, König, Krupka, Liesecke, Marrett-Fossen, Michels, Neumann, Nott, Raisch, Roth-Kleyer, Ruttensperger, Schade, Schenk, Schuhmann, Siegert, Tebart, og Wittke, **2002**. G. Lösken, H. J. Adam, R. Appl, R. Bohlen, P. Fischer, F. Hämmerle, M. Henneberg, R. Henseleit, H. U. Hofmann, R. Kist, P. König, B. Krupka, H. J. Liesecke, M. Marrett-Fossen, K. Michels, K. Neumann, D. Nott, W. Raisch, S. Roth-Kleyer, S. Ruttensperger, C. Schade, D. Schenk, V. Schuhmann, P. Siegert, W. Tebart, og K. Wittke. *Guideline for the planning, execution and Upkeep of Green-Roof Sites*. ISBN: 3-934484-81-6, 6. udgave. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, 2002.

Martin Olesen, Tina Christensen, Ole Bøssing Christensen, Kristine Skovgaard Madsen, Katrine Krogh Andersen, Jens Hesselbjerg Christensen, og Anne Mette Jørgensen , **2012**. Martin Olesen, Tina Christensen, Ole Bøssing Christensen, Kristine Skovgaard Madsen, Katrine Krogh Andersen, Jens Hesselbjerg Christensen, og Anne Mette Jørgensen . *Fremtidige klimaforandringer i Danmark*, Danmarks Meteorologiske Institut, 2012.

Michael R. Rasmussen, Hanne Kjær Jørgensen, Per Bjerager, Lotte Fjendbo Møller, Ole Mark, og Marina Bergen Jensen, **2013**. Michael R. Rasmussen, Hanne Kjær Jørgensen, Per Bjerager, Lotte Fjendbo Møller, Ole Mark, og Marina Bergen Jensen. *Grønne tages hydrauliske egenskaber*, Vand i byer, 2013.

Miljøministeriet, **2010**. Miljøministeriet. *Bekendtgørelse om miljøkvalitetskrav for vandområder og krav til udledning af forurenende stoffer til vandløb, søer eller havet.* URL: https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=132956&exp=1, 2010. Downloadet: 09-01-2014.

Miljøministeriet, **2007**. Miljøministeriet. *Bekendtgørelse om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4.* URL: https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=113752, 2007. Downloadet: 04-02-2014.

Møller og Jensen, **2013**. Lotte Fjendbo Møller og Marina B. Jensen. *Grønne tage – typologi og opbygning.* Videnblade Park og Landskab, 4.9-3, 2013.

Nationalt center for fødevarer og jordbrug - Århus Universitet, **2013**. Nationalt center for fødevarer og jordbrug - Århus Universitet. *Geodataprodukter*, Miljøstyrelsen, 2013.

Naturstyrelsen, **2013a**. Naturstyrelsen. *Nedbør.* URL: http://www.klimatilpasning.dk/kommuner/klimatilpasningsplaner/kortlaegning/nedboer.aspx, 2013. Downloadet: 09-12-2013.

Naturstyrelsen, **2012**. Naturstyrelsen. *FNs klimascenarier.* URL: http://www.klimatilpasning.dk/viden-om/klima/klimascenarier.aspx, 2012. Downloadet: 01-11-2013.

Naturstyrelsen, **2012**. Naturstyrelsen. *Sådan håndterer vi skybrud og regnvand- Handlingsplan for klimasikring af Danmark.* ISBN: 978-87-7279-574-4, 1. udgave. Miljøministeriet, 2012.

Naturstyrelsen, **2013b**. Naturstyrelsen. *Værdikort.* URL: http://www.klimatilpasning.dk/kommuner/klimatilpasningsplaner/kortlaegning/vaerdikort.aspx, 2013. Downloadet: 09-11-2013.

Naturstyrelsen og NIRAS, **2013**. Naturstyrelsen og NIRAS. *Klimatilpasningsplaner*, Miljøministeriet, 2013.

Niels Brauer og Martin Frandsen, **2012**. Niels Brauer og Martin Frandsen. *Skybrud får kloaker til at strømme over.* URL: http://nordjyske.dk/nyheder/kloaker-stroemmer-over-efter-skybrud/4f1c0be8-103d-4473-8593-0049d37e672f/1/1513#/0, 2012. Downloadet: 06-01-2014.

NIRAS, **2012**. NIRAS. *Håndtering af regnvand i byens overflade - Eksempel fra Aalborg Godsbaneareal.* URL: http://www.atv-jord-grundvand.dk/Afholdte_moeder/260412moede82/Jan%20Scheel.pdf, 2012. Downloadet: 03-02-2014.

Nordjyllands Amt, **2005**. Nordjyllands Amt. *Grundvand - Potentialekort*, Aalborg Universitet, 2005.

Peter Riddersholm Wang, **2013**. Peter Riddersholm Wang. *Teknisk rapport no. 13-09*, Danmarks Meteorologiske Institut, 2013.

PlansystemDK, **2013**. PlansystemDK. *PlansystemDK*, Miljøministeriet, 2013.

Rambøll Danmark A/S, Erling Holm ApS, KU, Skov og Landskab, DTU Miljø, og Orbicon A/S, **2011**. Rambøll Danmark A/S, Erling Holm ApS, KU, Skov og Landskab, DTU Miljø, og Orbicon A/S. *Metodekatalog til lokal afledning af regnvand*, Københavns Kommune, 2011.

Region Nordjylland, **2013a**. Region Nordjylland. *Jordforurening*, Danmarks Miljøpotal, 2013a.

Region Nordjylland, **2013b**. Region Nordjylland. *Nuancering af V2-kortlægningen på boliggrunde*. URL: http://www.kvalitetsbog.rn.dk/Sagsbehandling/Nuancering+af+V2/, 2013. Downloadet: 09-12-2013.

Rikke Sjølin Thomsen, **2013**. Rikke Sjølin Thomsen. *Drift af Spildevandskomitéens Regnmålersystem*, Danmarks Meteorologiske Institut, 2013.

Saugmann, **28. september 2011**. Flemming Saugmann. *Brug dit regnvand kreativt*. Valby bladet, 28. september 2011.

Sisson Landscapes, **2014**. Sisson Landscapes. *drainage*. URL: http://sissonlandscapes.com/drainage/, 2014. Downloadet: 19-05-2014.

Spildevandskomiteens regnudvalg, **2008**. Spildevandskomiteens regnudvalg. *Regneark til bestemmelse af Regnkurver, CDS regn og bassinvoluminer - Teknisk dokumentation og brugervejledning*, Spildevandskomiteen, 2008.

Teknologisk Institut, **2012a**. Teknologisk Institut. *Lokal afledning af regnvand - LAR*. URL: http://www.teknologisk.dk/lokal-afledning-af-regnvand-lar/28273, 2012. Downloadet: 21-10-2013.

Teknologisk Institut, **2012b**. Teknologisk Institut. *LAR - Lokal afledning af regnvand*. URL: http://www.laridanmark.dk/lar-lokal-afledning-af-regnvand/om-metoden/27950, 2012. Downloadet: 17-10-2013.

This old house, **2011**. This old house. *How to Build a Rain Garden*. URL: http://www.thisoldhouse.com/toh/how-to/intro/0,,20517496,00.html, 2011. Downloadet: 16-04-2014.

Timothy L. Carter og Todd C. Rasmussen, **2006**. Timothy L. Carter og Todd C. Rasmussen. *Hydrologic behavior of vegetated roofs*, Journal of the american water resources association, 2006.

Winther, Linde, Jensen, Mathiasen, og Johansen, **2006**. Leif Winther, Jens Jørgen Linde, H. Thorkild Jensen, Leo Lund Mathiasen, og Niels Bent Johansen. *Afløbsteknik*. ISBN: 87-502-0975-2, 5. udgave. Polyteknisk Forlag, 2006.

Del I

Appendiks

APPENDIKS

A

WORKSHOP REFERAT D. 4. DECEMBER 2013

Den 4. december 2013 blev der afholdt en workshop om hvordan Aalborg centrum vil kunne klimatilpasses i fremtiden med fokus på separatkloakering samt lokal afledning af regnvand. Workshoppen skulle lægge op til en diskussion om løsningsmuligheder, der er mulige i forhold til forsinkelse og tilbageholdelse af regnvand i Aalborg Centrum. Der blev yderligere diskuteret projektlokaliteten samt udvælgelsen af et mindre område for at sammenligne separatkloakering og lokal afledning af regnvand i forhold til drift og økonomi.

Deltagerne der var til workshoppen er følgende: Peter Plejdrup Poulsen (Niras), Jan Scheel (Niras), Jesper Christensen (Niras), Kasper Førby Laden (Niras), Jakob Badsberg Larsen (Niras), Henriette Wøhlk-Poulsen (Forsyningen), Michael Glerup Jørgensen (Forsyningen), Søren Thorndahl (AAU), Maria Simonsen (AAU), Pernille Knudsen (AAU), Anne Brogaard (Trafik & Veje/Park & Natur), Leif Bach (Trafik & Veje), Ann Sofie G. Christensen (Plan & Byg), Jens Bøgh Vinther (Borger Miljø), Tina Kitchen (Borger Miljø) og Kim Skals (EnviDan)

Referat fra workshop:

A.1 Økonomi

- Samfundsværdi i form af grønne arealer og byfornyelse
- På nuværende tidspunkt vægtes drift højst, i forhold til økonomi, men i fremtiden ses der også på anlægsomkostninger ved valg af løsningsmetoder
- Mulighed for at beboere på en villavej kan etablere LAR på egen grund

- Klimareglerne åbner op for muligheder ved at samarbejde med bygherre for at klimatilpasse
- Mulighed for takstregulering

Projektlokalitet

- Katedralskolen, der er grønne arealer med store muligheder for løsninger
- Kildeparken og Østre anlæg, som kan anvendes til at oversvømme og anvendes til forskellige LAR-løsninger
- Budolfi plads, tætbebyggelse, hvor der er mulighed for at lede regnvandet væk, der er ingen planer for området, derfor vil det være nødvendigt at lave nogle forudsætninger
- Godsbanearealet, mulighed for at efter prøve tingene rent økonomisk i forhold til anlægningsomkostningerne
- Karolinelund, Svært at lede vandet derhen
- Nørresundby, gode terrænforhold, tætbebyggelse, gode nedsivningsforhold
- Østerbrogade, tidligere problemer med oversvømmelser ved Superbest parkeringsplads
- Vestbyen, Brug for byfornyelse
- Aalborg Øst, Store grønne områder med mulighed for at oversvømme vandløbene
- Aalborg midtby er pælefunderet og ønsker ikke at vandet nedsives, der vil være begrænsninger for nedsivningselementer
- Parkeringspladser som gåsepigen eller Aalborg hallen
- Vendsysselsgade, baggården ikke er renoveret endnu og kunne være mulighed for LAR

Lokal afledning af regnvand

- Se på både økonomi og rekreative værdier, som kan være svære at kvantificere økonomisk
- Grønne tage fin til dagligt brug og det mindsker 50 %, men ved ekstreme hændelser regnes der med en optagelse på 4-5 mm
- Decentral separatkloakering med små rør, med udledning til fjorden, med mange små udledninger.

- Mulighed for at etablere regnbede, billigt at anlæg, men høj drift, en mulighed for at uddelegere driften til beboere, jorden/planterne skal udskiftes 3-4 gange i løbet af 100 år, dette kan blive dyrt.
- Mulighed for at åbne vandløbene, anvendelse af LAR om sommeren og oversvømmelse om vinteren.
- Implementering af LAR i forbindelse med nyt letbanetrace
- Permeable belægning, ved placering af fliser med for stor en fuge vil der være risiko for at sandet bliver revet op, derfor kunne der anvendes porøst fuge, men det vil være for dyrt
- Permeable belægning lave forsænkning, der funger som et bassin med overløb der leder vandet væk
- I Aalborg Øst er gennemstrømningen øget ved anvendelse af ny type rist ligeledes tilbageholdes mere suspenderende stof, ved at forøge sandfanget.
- Løsninger i midtbyen, plus ved permeable belægning, hvor regnbede, grøfter og trug skal man være opmærksom på oversigtsforhold for trafikanter.
- Trappeløsning, at anvende flere LAR løsninger på en gang
- Grønne facader, det vil give byen rekreativ samt byfornyelse

Rensning

- Tagvand må ledes direkte ud og vejvand skal renses inden det udledes.
- Anvende tagvand i stedet for vejvand i forhold til driften i regnbedene

Oversvømmelsesområder

- Oversvømmelseskort med 18 lokaliteter, hvor der skal laves indsatsplaner. Der menes at være to i Nørresundby, som er valgt ud fra erfaring, hvor metoden er godkendt ud fra naturstyrelsen.
- Selve vandstandsstigningerne er ikke taget i betrækning.
- Erfaringsanvendelser ses der ingen forskel på kælder eller terræn ved opstuvning, ligeledes er det ikke alle opstuvninger der bliver anmeldt.

Eksempler på LAR i byer

- H. C. Andersens boulevard, Københavns indre by skybrudsplan
- Vandplus konference i Århus
- Silkeborg, Gødvad Enge, Ved ske af oversvømmelse, skal beboeren selv etablere nyt regnbed
- Middelfart, Stiklingen
- Augustenborg, fordampning, vand der recirkuler og nogle af pumperne drives ved hjælp af solceller
- Atletik stadion, opsamler vandet til vanding af område
- Sammenligne med de andre store byer, de har samme problemer
- Toftevej, bremser vandet i forskellige punkter, så en 1 års regn sendes videre hvormed der opnår en mindre oversvømmelse lokalt og undgår en stor oversvømmelse i bunden, med et serviceniveau 5-10 cm over terræn

APPENDIKS

B

POTENTIEL FORDAMPNING

I dette appendiks bestemmes den potentielle fordampning til forskellige befæstede arealer.

Den potentielle fordampning implementeres i MIKE Urban, for at få et mere realistisk syn på regnbede og permeabel belægnings virkning på kraftige regnhændelser samt den daglige regn. Den potentielle fordampning er bestemt ud fra Makkinks formel, som ses i formel B, som tager udgangspunkt i temperaturen samt den globale stråling. Den potentielle fordampning er bestemt med en overflade med frit vandspejl både for regnbede samt permeabel belægning. Der afgrænses for beregning af overflade på land.

$$E_m = \beta_{M0} + \beta_{M1} \cdot \frac{s \cdot S_i}{\lambda \cdot (s + \gamma)} \tag{B.1}$$

hvor

E_m	Potentiel fordampning	[mm $\cdot$ døgn^{-1}]
λ	Vands fordampningsvarme	[MJ $\cdot$ kg^{-1}]
γ	Psykrometerkonstant	[hPa $\cdot$ °C^{-1}]
$\beta_{M0} + \beta_{M1}$	Empiriske konstanter	[-]
s	Damptrykskurvens hældning	[hPa $\cdot$ °C^{-1}]
S_i	Global stråling	[MJ $\cdot$ m^{-2} $\cdot$ døgn $^{-1}$]

Bestemmelse af den potentielle fordampning indgår konstanterne som vandsfordampnings-varme, psykrometer- og de empiriske konstanter. Vandsfordampningsvarme er sat til hen-

holdsvis 2,465 MJ $\cdot$ kg^{-1} samt psykrometerkonstanten er sat til 0,667 hPa $\cdot$ °C^{-1}. De empiriske konstanter, $\beta_{M0} og \beta_{M1}$ sættes henholdsvis til 0 og 7. Damptrykskurven er givet ud fra formel B.2 med tilhørende konstanter. [Peter Riddersholm Wang, 2013]

$$s = c_1 + 2 \cdot c_2 \cdot t + 3 \cdot c_3 \cdot t^2 + 4 \cdot c_4 \cdot t^3 + 5 \cdot c_5 \cdot t^4 + 6 \cdot c_6 \cdot t^5 \tag{B.2}$$

hvor

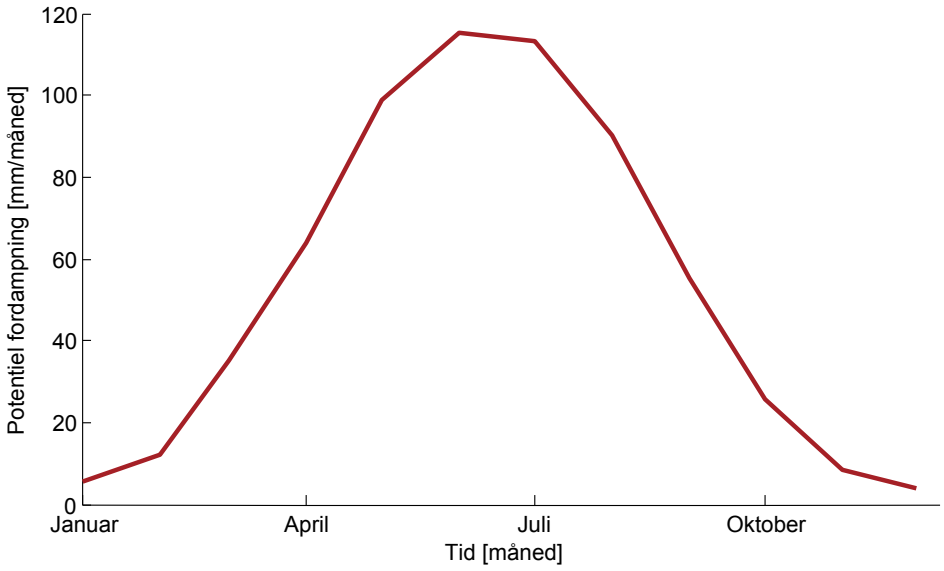
t	Døgnmiddeltemperatur	[°C]

Konstanterne er givet ud fra temperature over og under nul. Til bestemmelse af den gennemsnitlige potentielle fordampning per måned, anvendes konstanterne med temperature over nul. For at bestemme den potentielle fordampning per dag, anvendes både konstanter over og under nul. Konstanterne er givet i tabel B.1. [Peter Riddersholm Wang, 2013]

	t $\geq$ 0	t $\leq$ 0
c_0	6,108	6,109
c_1	$4{,}437 \cdot 10^{-1}$	$5{,}035 \cdot 10^{-1}$
c_2	$1{,}429 \cdot 10^{-2}$	$1{,}886 \cdot 10^{-2}$
c_3	$2{,}651 \cdot 10^{-4}$	$4{,}176 \cdot 10^{-4}$
c_4	$3{,}031 \cdot 10^{-6}$	$5{,}825 \cdot 10^{-6}$
c_5	$2{,}034 \cdot 10^{-8}$	$4{,}839 \cdot 10^{-8}$
c_6	$6{,}137 \cdot 10^{-11}$	$1{,}839 \cdot 10^{-10}$

Tabel B.1: Konstanterne til bestemmelse af damptrykskurvens hældning. [Peter Riddersholm Wang, 2013]

Bestemmelse af den potentielle fordampning i projektlokaliteten, er der anvendt data fra DMI med referenceværdier i perioden 2001 til 2010. Den potentielle fordampning per måned er illustreret på figur B.1.



Figur B.1: Gennemsnitlig potentiel fordampning fra 2001-2010.

Implementering af den potentielle fordampning i MIKE Urban anvendes en midling af den potentielle fordampning, som er 52,30 mm/måned tilsvarende 1,74 mm/døgn. I MIKE Urban implementeres den potentielle fordampning i m^3/s, derfor multipliceres det tilhørende befæstede areal og medfører at regnbede og permeabel belægning til hvert opland har forskellige potentielle fordampninger. Udregningerne af potentiel fordampning til MIKE Urban er vist i bilag F - *Potentiel fordampning*.

Implementering af potentiel fordampning i MIKE Urban for permeabel belægning i den simple model, som er vist i tabel B.2.

Opland	Befæstede areal [mm^2]	Potentiel fordampning [l/s]
A	140	0,0028
B	190	0,0038
C	150	0,0030
D	140	0,0028
E	110	0,0022
F	870	0,0176
G	150	0,0030
H	110	0,0022
I	130	0,0026
J	80	0,0016
K	430	0,0087
L	230	0,0046

Tabel B.2: Potentiel fordampning for regnbede i den simpel model.

Implementering af potentiel fordampning i MIKE Urban for regnbedene i den simple model, som er vist i tabel B.3.

Opland	Befæstede areal [m^2]	Potentiel fordampning [l/s]
A	350	0,0071
B	360	0,0073
C	320	0,0065
D	340	0,0069
E	270	0,0054
F	1020	0,0206
G	240	0,0048
H	220	0,0044
I	240	0,0048
J	190	0,0038
K	600	0,0121
L	410	0,0083
Vejbed 1	560	0,0113
Vejbed 2	870	0,0176

Tabel B.3: Potentiel fordampning for regnbede i simpel model.

Implementering af potentiel fordampning i MIKE Urban for permeabel belægning i projektlokaliteten, som er vist i tabel B.4 for opland 4 til 39 og i tabel B.5 er opland 40 til 53 vist.

Oplande	Befæstede areal [m^2]	Potentiel fordampning [l/s]
4	250	0,0050
5	250	0,0050
6	80	0,0016
7	160	0,0032
8	140	0,0028
9	110	0,0022
10	160	0,0032
11	90	0,0018
12	120	0,0024
13	60	0,0012
14	60	0,0012
15	36	0,0007
16	126	0,0025
17	64	0,0012
18	120	0,0024
19	126	0,0025
20	40	0,0008
21	40	0,0008
22	40	0,0008
23	40	0,0008
24	130	0,0026
25	50	0,0010
26	30	0,0006
27	120	0,0024
28	120	0,0024
29	60	0,0012
30	60	0,0012
31	50	0,0010
32	50	0,0010
33	50	0,0010
34	120	0,0024
35	30	0,0006
36	30	0,0006
37	36	0,0007
38	60	0,0012
39	60	0,0012

Tabel B.4: Potentiel fordampning for permeabel belægning i projektlokaliteten.

Opland	Befæstede areal [m^2]	Potentiel fordampning [l/s]
40	50	0,0010
41	50	0,0010
42	30	0,0006
43	30	0,0006
44	30	0,0006
45	30	0,0006
46	36	0,0007
47	154	0,0031
48	140	0,0028
49	370	0,0074
50	400	0,0080
51	170	0,0034
52	238	0,0048
53	75	0,0015

Tabel B.5: Potentiel fordampning for permeabel belægning i projektlokaliteten.

Implementering af potentiel fordampning i MIKE Urban for regnbede i projektlokaliteten, som er vist i tabel B.6.

Opland	Befæstede areal [m^2]	Potentiel fordampning [l/s]
vejbede	18	0,0003
54	70	0,0014
55	70	0,0014
56	80	0,0016
57	80	0,0016
58	80	0,0016
59	70	0,0014
60	70	0,0014
61	70	0,0014
62	70	0,0014
63	31	0,0006
64	70	0,0014
65	40	0,0008
66	17	0,0003

Tabel B.6: Potentiel fordampning for regnbede i projektlokaliteten.

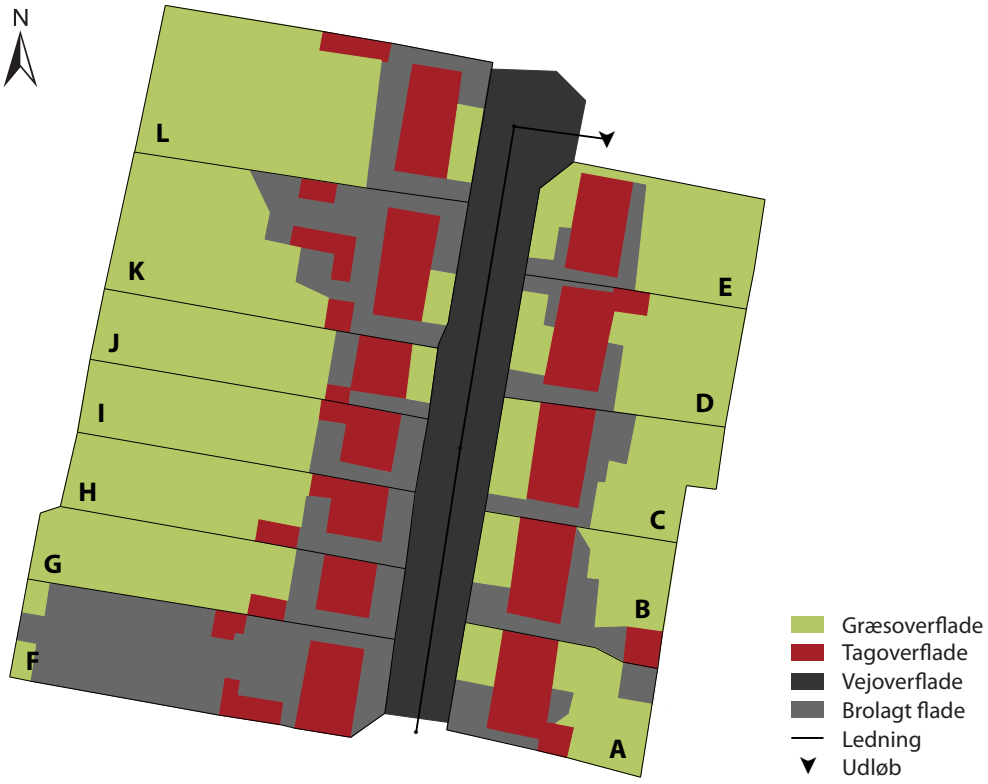
APPENDIKS C

SIMPEL MODEL

I dette appendiks er LAR-dimensionering samt udformning for den simple model beskrevet og de tilhørende resultater for permeabel belægning samt regnbede.

Dette appendiks bygger på dimensioneringer fra appendiks F - *LAR-dimensionering* og appendiks F - *LAR-dimensionering simpel model.*

Bestemmelse af permeabel belægning samt regnbedens udformning og dimensionering anvendes Spildevandskomiteens *'LAR-dimensionering'* regneark. Overordnet for beregningerne anvendes nedbørs-, design- og nedsivningskriterier. Nedbørskriteriet består af en årsmiddelnedbør på 650 mm, som årsmiddelnedbørsfordelingen for Aalborg i perioden 1961 til 1990. I designkriteriet er gentagelsesperioden på 10 år med en sikkerhedsfaktor på 1,1 svarende til 10 %, hvormed klimafaktoren, modelusikkerheden samt en øget befæstelsesgrad indgår. Derudover indgår den hydraulisk ledningsevne i nedsivningskriteriet, hvilket er på $1{,}9 \cdot 10^{-5}$ m/s svarende til marint sand, men grundet ugunstige forhold, er den hydrauliske ledningsevne ændret til $1{,}9 \cdot 10^{-6}$ m/s.



Figur C.1: Opland i den simple model.

C.1 Permeabel belægning

Implementering af permeabel belægninger i MIKE Urban, skal de permeable overflader dimensioneres i forhold til de eksisterende forhold. Dimensionering af permeabel belægning skal arealerne, der tilstøder op til området med permeabel belægning, bestemmes samt arealet af permeabel belægning. I MIKE Urban implementeres afløbstallet i vandbremsen, for at få effekt af nedsivning med. Dimensionerne på permeabel belægning med nedsivning i den simple model, er vist i tabel C.1, hvor opstuvningsvolume er over samt under belægningen.

Oplande	Areal af permeabel belægning [m^2]	Areal af tilstødende afvandingsarealer [m^2]	Opstuvnings volume [l/m^2]	Tømnings tid [HH]	Lednings kapacitet [l/s pr. h]
A	98	210	105	15	0,1862
B	133	170	68	10	0,2527
C	105	170	82	12	0,1995
D	98	200	100	15	0,1862
E	77	160	102	15	0,1463
F	261	150	41	6	0,4959
G	105	90	51	8	0,1995
H	77	110	74	11	0,1463
I	91	110	65	10	0,1729
J	56	110	97	14	0,1064
K	301	170	41	6	0,5719
L	161	180	61	9	0,3059

Tabel C.1: Resultater for permeabel belægning med nedsivning.

Implementering af afløbstallet i MIKE Urban for permeabel belægning er afhængig af nedsivning samt fordampning. Afløbstallet i tabel C.1 er kun for nedsivning. Derfor adderes fordampning, der er bestemt i appendiks B og implementeres i MIKE Urban for hvert opland.

C.2 Regnbede

Implementering af regnbede i den simple model i MIKE Urban, skal regnbedet dimensioneres i forhold til de arealer, der tilstøder regnbedet. I MIKE Urban implementeres regnbedene som bassiner og derfor er dimensionerne for regnbedene en betydende faktor i forhold til længden, bredden og dybden. For at få effekten af nedsivning implementeres afløbstallet på samme vis som permeabel belægning, nemlig i vandbremsen. Tømningstiden i forhold til regnbede afhænger af dybden af regnbedet og derfor har regnbedene i den simple model samme tømningstid. Resultaterne for regnbede med nedsivning i den simple model er vist i tabel C.2.

Opland	Befæstet areal [m^2]	Volume [m^3]	Dimensioner [m]			Tømningstid [h]	Ledningskapacitet [l/s pr. h]
			L	B	H		
A	308	15,79	10	5,3	0,3	44	0,0999
B	303	15,53	10	5,2	0,3	44	0,0983
C	275	13,49	11	6,2	0,2	44	0,1282
D	298	15,27	10	5,1	0,3	44	0,0966
E	237	11,63	9	6,5	0,2	44	0,1105
F	411	21,06	10	7,1	0,3	44	0,1334
G	195	9,43	11	5,8	0,15	44	0,1194
H	187	9,05	10	6,1	0,15	44	0,1145
I	201	9,73	9	7,2	0,15	44	0,1231
J	166	8,03	9	6	0,15	44	0,1017
K	471	24,14	11	7,4	0,3	44	0,1529
L	341	17,47	10	5,9	0,3	44	0,1107
Vejbed 1	560	28,69	14	6,9	0,3	44	0,1818
Vejbed 2	870	44,59	16	9,3	0,3	44	0,2824

Tabel C.2: Resultater for regnbede med nedsivning

Implementering af afløbstallet for regnbede i MIKE Urban er det samme gældende som permeabel belægning, hvormed afløbstallet afhænger af nedsivning samt fordampning. Derfor adderes afløbstallet fra tabel C.2 med den potentielle fordampning i appendiks B og implementeres i MIKE Urban for hvert opland.

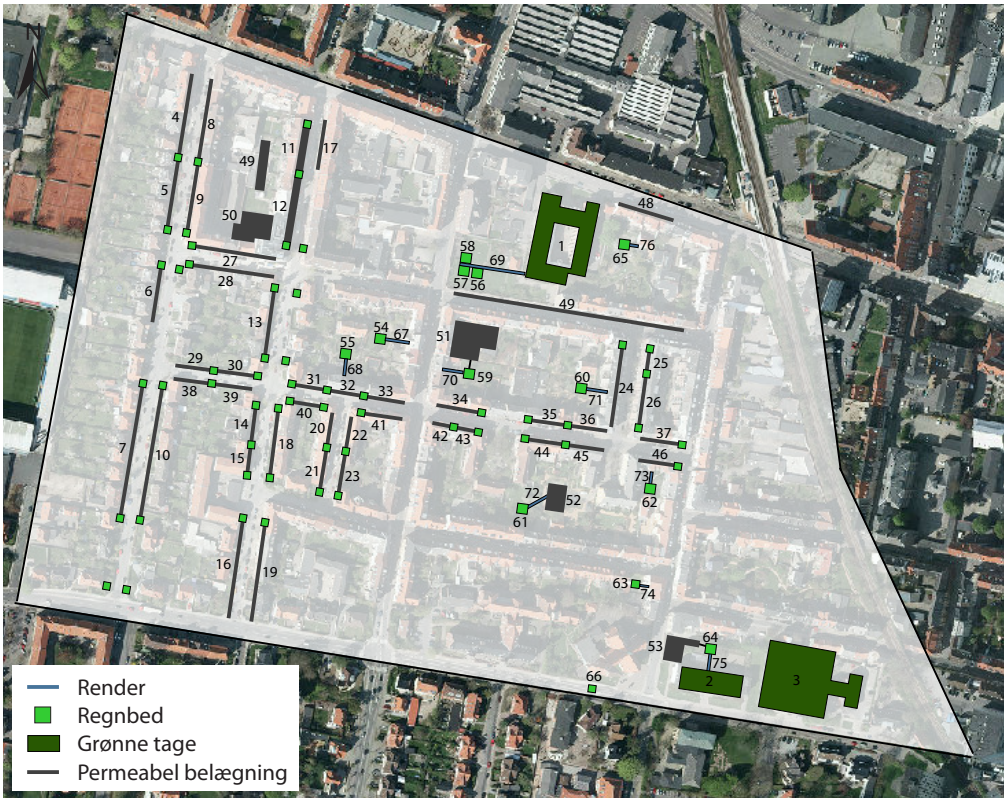
APPENDIKS D

PLAN MODEL

I dette appendiks er LAR-elementernes dimensionering samt udformning beskrevet for projektlokaliteten samt resultaterne for grønne tage, permeabel belægning, regnbede og render.

Dette appendiks bygger på dimensioneringer fra appendiks F - *LAR-dimensionering* og appendiks F - *LAR-dimensionering plan*.

Spildevandskomittens *'LAR-dimensionering'* regneark er anvendt til bestemmelse af udformning samt dimensionering af permeabel belægning og regnbede. Overordnet anvendes nedbørs-, design- og nedsivningskriteriet til dimensionering af permeabel belægning og regnbede. Nedbørskriteriet inddrages årsmiddelnedbør på 650 mm, som er årsmiddelnedbørensfordelingen for Aalborg i perioden 1961 til 1990. Designkriteriet er bestående af gentagelsesperioden på 10 år samt en sikkerhedsfaktor på 1,72 svarende til 72 %, hvormed klimafaktoren, modelusikkerheden samt en øget befæstelsesgrad indgår. Nedsivningskriteriet er bestående af den hydraulisk ledningsevne er $1{,}9 \cdot 10^{-6}$ m/s. Grønne tage i projektlokaliteten er implementeret på offentlige bygninger, men er der er ikke foretaget dimensioneringer på grønt tag. Renderne, der er implementeret i projektlokaliteten, er dimensioneret efter observeret størrelser på render fra Ørestanden. Implementeringen af grønne tage, permeabel belægning, regnbede og render er illustreret på figur D.1, hvor grønne tage, permeabel belægning, regnbede og render er nummeret.



Figur D.1: Implementering af grønne tage, permeabel belægning, regnbede samt render i projektlokaliteten med nummereringer.

Dimensioneringen på grønne tage, permeabel belægning, regnbede og render er beskrevet nedenfor, hvor tømningstiden og ledningskapaciteten er dimensioneret for permeabel belægning og regnbede.

D.1 Grønne tage

Grønne tage implementeres på to plejeboliger samt handelskolen i området, som er angivet på figur D.1 med henholdsvis 1, 2 og 3. De grønne tage markeret med 1 har arealet 1808 m^2, hvor tagarealet på de grønne tag i område 2 er 535 m^2. Tagarealet i område 3 er 4417 m^2.

D.2 Permeabel belægning

Implementering, af permeabel belægning i projektlokaliteten i MIKE Urban, etableres der permeable flader på eksisterende belægninger, hvor de permeabel belægning er dimensioneret efter de eksisterende forhold. Dimensionering af permeabel belægning anvendes den implementeret permeabel belægning til at bestemme de arealer, der tilstøder op til området

med permeabel belægning. Effekt af nedsivning er implementeret i vandbremse, hvor ledningskapaciteten er den gældende nedsivning. Dimensioneringerne for permeable belægningerne i projektlokaliteten er vist i tabel D.1 for henholdsvis område 4 til 35, hvor i tabel D.2 er for henholdsvis område 40 til 53. Områderne er illustreret på figur D.1.

Oplande	Areal af permeabel belægning [m^2]	Areal af tilstødende afvandingsarealer [m^2]	Opstuvnings volume [l/m^2]	Tømnings tid [HH]	Lednings kapacitet [l/s pr. h]
4	250	160	80	12	0,475
5	250	160	80	12	0,475
6	80	50	79	11	0,152
7	160	100	79	11	0,304
8	140	90	80	12	0,266
9	110	70	79	12	0,209
10	160	100	79	11	0,304
11	90	55	78	11	0,171
12	120	75	79	11	0,228
13	60	35	76	11	0,114
14	60	35	76	11	0,114
15	36	23	79	12	0,068
16	126	80	79	12	0,239
17	64	40	79	11	0,122
18	120	75	79	11	0,228
19	126	80	79	12	0,239
20	40	25	79	11	0,076
21	40	25	79	11	0,076
22	40	25	79	11	0,076
23	40	25	79	11	0,076
24	130	85	80	11	0,247
25	50	17	75	11	0,095
26	30	30	77	11	0,057
27	120	75	79	11	0,228
28	120	75	79	11	0,228
29	60	35	76	11	0,114
30	60	35	76	11	0,114
31	50	30	77	11	0,095
32	50	30	77	11	0,095
33	50	30	77	11	0,095
34	120	75	79	11	0,228
35	30	17	75	11	0,057

Tabel D.1: Resultater for permeabel belægning med nedsivning for opland 4 til 35.

Oplande	Areal af permeabel belægning [m^2]	Areal af tilstødende afvandingsarealer [m^2]	Opstuvnings volume [l/m^2]	Tømnings tid [HH]	Lednings kapacitet [l/s pr. h]
36	30	17	75	11	0,057
37	36	23	79	12	0,068
38	60	35	76	11	0,114
39	60	35	76	11	0,114
40	50	30	77	11	0,095
41	50	30	77	11	0,095
42	30	17	75	11	0,057
43	30	17	75	11	0,057
44	30	17	75	11	0,057
45	30	17	75	11	0,057
46	36	23	79	12	0,068
47	154	95	78	11	0,293
48	140	90	80	12	0,266
49	370	220	77	11	0,703
50	400	250	79	11	0,760
51	170	110	80	12	0,323
52	238	150	79	12	0,452
53	75	50	81	12	0,143

Tabel D.2: Resultater for permeabel belægning med nedsivning for opland 36 til 53.

Permeabel belægning er afhængig af nedsivning samt fordampning og implementeres i MIKE Urban i vandbremse ved udløbet. Det er ledningstallet, som implementeres i MIKE Urban, som er vist i tabel **??** og tabel D.2, men er kun for nedsivning. Derfor adderes fordampning, som er bestemt i appendiks B og implementeres i MIKE Urban for hvert permeabel belægning.

D.3 Regnbede

De regnbede, som er implementeret i projektlokaliteten i MIKE Urban, er dimensioneret efter forholdene til placering af regnbede og derefter bestemmes det tilstødende areal. Regnbedene i MIKE Urban er implementeret som bassiner og derfor er dimensionerne for regnbedene en betydende faktor i forhold til længden, bredden og dybden. Nedsivningseffekten for regnbedet er implementeret ved ledningskapaciteten i udløbet ved en vandbremse, som er på samme vis som permeabel belægning. Tømningstiden af regnbedet afhænger af dybden, derfor varigere tømningstiden ikke meget. I projektlokalitet er der implementeret vejbede langs vejene, som består af samme dimensioner da længden, bredden og dybden er den samme, derfor ses dimensionerne på de 55 vejbede i tabel D.3 under vejbede. De restende regnbede i projektlokaliteten er illustreret på figur D.1 og dimensionererne er vist i tabel D.3.

Opland	Befæstet areal [m^2]	Volume [m^3]	Dimensioner [m]			Tømningstid [h]	Ledningskapacitet [l/s pr. h]
			L	B	H		
Vejbede	18	1,6	2	2	0,4	58	0,007
54	70	6,3	5	3,2	0,4	44	0,030
55	70	6,3	5	3,2	0,4	44	0,030
56	80	7,2	6	3	0,4	58	0,034
57	80	7,2	6	3	0,4	58	0,034
58	80	7,2	6	3	0,4	58	0,034
59	70	6,3	5	3,2	0,4	44	0,030
60	70	6,3	5	3,2	0,4	44	0,030
61	70	6,3	5	3,2	0,4	44	0,030
62	70	6,3	5	3,2	0,4	44	0,030
63	31	2,8	3,5	2	0,4	58	0,013
64	70	6,3	5	3,2	0,4	44	0,030
65	40	3,5	4	3,2	0,4	44	0,023
66	17	2,2	1,5	5	0,3	44	0,014

Tabel D.3: Resultater for regnbede med nedsivning

Nedsivningseffekt implementerer ledningskapaciteten for regnbedene i MIKE Urban, hvor det samme er gældende for permeabel, hvormed ledningskapaciteten afhænger af nedsivning samt fordampning. For at få den samlet ledningskapacitet adderes ledningskapaciteten fra tabel D.3 med den potentielle fordampning i appendiks B, hvor det derefter implementeres i MIKE Urban for hvert regnbed.

D.4 Render

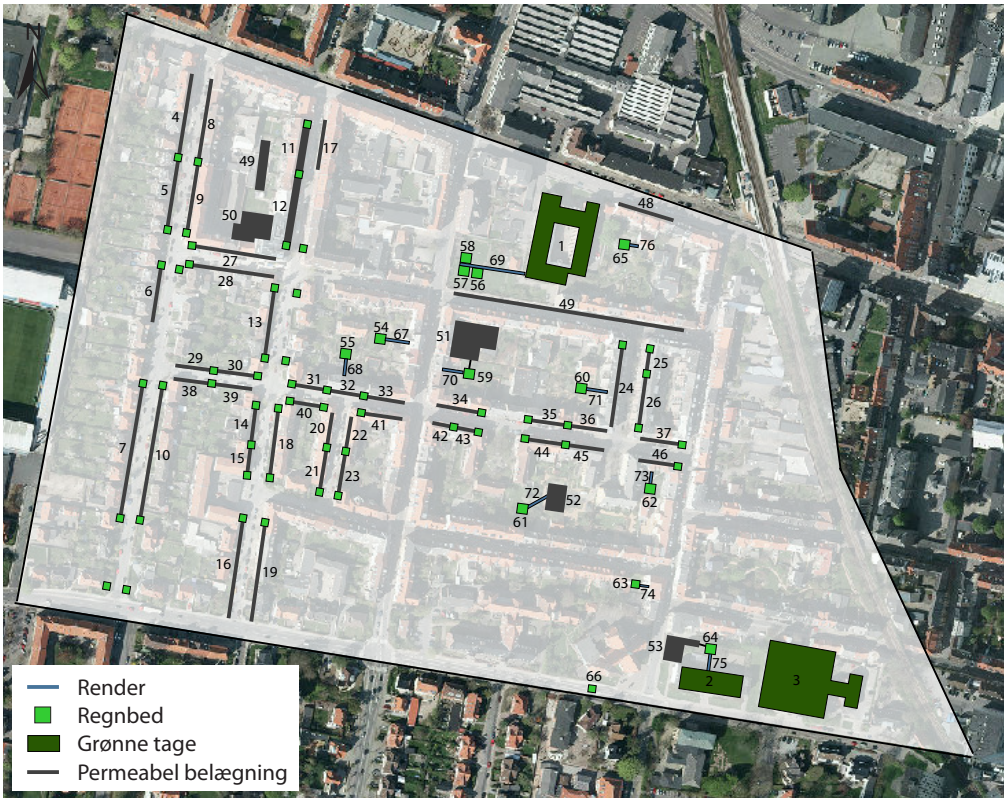
Renderne, som er implementeret i projektlokaliteten i MIKE Urban, er dimensioneret efter forholdene i området, men renderne er dimensioneret til 0,3 · 0,3 m. Renderne i MIKE Urban er implementeret som rektangulære rør uden nedsivning samt fordampning. I projektlokaliteten er der implementeret 13 render, hvor 3 af renderne er koblet som en på figur D.1, nemlig rende 69. De andre 9 render, der er implementeret i projektlokaliteten er illustreret på figur D.1 med numrene 67 til 76.

APPENDIKS E

ØKONOMI

I dette appendiks er anlægs- og driftsomkostningerne opstillet for hvert element, der er implementeret i projektlokaliteten.

Anlægs- og driftsomkostningerne er bestemt for hvert element i projektlokaliteten for henholdsvis grønne tage, permeabel belægning, regnbede samt render. Anlægs- og driftsomkostningerne er bestemt ud fra kilden [Rambøll Danmark A/S et al., 2011].



Figur E.1: Implementering af grønne tage, permeabel belægning, regnbede samt render i projektlokaliteten med nummereringer.

E.1 Grønne tage

Grønne tage er implementeret på 3 eksisterende tage i projektlokaliteten, som er offentlige bygninger. De grønne tage etableres med et vækstlag på 20 mm med beplantning af mos og stenurt vil anlægsomkostningerne for de grønne tage være 575 kr./m^2. I forhold til driftsomkostningerne vil det først års driftsomkostningerne være 1300 kr./100 m^2 og derefter vil driftsomkostningerne være 487,5 kr./100 m^2. I tabel E.1 er anlægs- og driftsomkostninger opstillet for de 3 etableret tage.

Opland	Grønne tages areal [m^2]	Anlæg [kr.]	Drift [kr]
1	1.802	1.036.150	32.211
2	535	307.625	9.563
3	2.079	1.195.425	37.162
Sum	4.416	2.539.200	78.936

Tabel E.1: Anlægs- og driftsomkostninger for grønne tage i projektlokaliteten.

E.2 Permeabel belægning

Der er implementeret 50 permeable belægninger i projektlokaliteten, hvor de eksisterende belægninger reetableres med belægningssten med porøse fuger, hvor der anlægges en underbygning. Anlægsomkostningerne for belægningssten med porøse fuger er 540 kr./m^2. Driftsomkostningerne for belægningssten med porøse fuger er på 30 kr./m^2/år. Anlægs- og driftsomkostningerne for implementering af permeabel belægning i projektlokaliteten er angivet i tabel E.2 for henholdsvis opland 4 - 29 og i tabel E.3 er henholdsvis opland 30 - 53.

Opland	Areal af permeabel belægning [m^2]	Anlæg [kr.]	Drift [kr.]
4	250	135.000	7.500
5	250	135.000	7.500
6	80	43.200	2.400
7	160	86.400	4.800
8	140	75.600	4.200
9	110	59.400	3.300
10	160	86.400	4.800
11	90	48.600	2.700
12	120	64.800	3.600
13	60	32.400	1.800
14	60	32.400	1.800
15	36	19.440	1.080
16	126	68.040	3.780
17	64	34.560	1.920
18	120	64.800	3.600
19	126	68.040	3.780
20	40	21.600	1.200
21	40	21.600	1.200
22	40	21.600	1.200
23	40	21.600	1.200
24	130	70.200	3.900
25	50	27.000	1.500
26	30	16.200	900
27	120	64.800	3.600
28	120	64.800	3.600
29	60	32.400	1.800

Tabel E.2: Anlægs- og driftsomkostninger for permeabel belægning i projektlokaliteten.

Opland	Areal af permeabel belægning [m^2]	Anlæg [kr]	Drift [kr]
30	60	32.400	1.800
31	50	27.000	1.500
32	50	27.000	1.500
33	50	27.000	1.500
34	120	64.800	3.600
35	30	16.200	900
36	30	16.200	900
37	36	19.440	1.080
38	60	32.400	1.800
39	60	32.400	1.800
40	50	27.000	1.500
41	50	27.000	1.500
42	30	16.200	900
43	30	16.200	900
44	30	16.200	900
45	30	16.200	900
46	36	19.440	1.080
48	140	75.600	4.200
49	370	19.9800	11.100
49	154	83.160	4.620
50	400	21.6000	12.000
51	170	91.800	5.100
52	238	12.8520	7.140
53	75	40.500	2.250
Sum	4971	2.684.340	149.130

Tabel E.3: Anlægs- og driftsomkostninger for permeabel belægning i projektlokaliteten.

E.3 Regnbede

I projektlokaliteten er der implementeret 68 regnbede, hvor størstedelen er bestående af vejbede. Der er implementeret 55 vejbede med sammen dimensioner. Anlægsomkostningerne for etablering af regnbede i projektlokaliteten er 30 kr./m^2 for tilkobling af befæstet areal. Driftsomkostningerne for regnbede er 21 kr./m^2 for tilkobling af befæstet areal. Anlægs- og driftsomkostningerne for de etableret regnbede i projektlokaliteten er angivet i tabel E.4, hvor de 55 vejbede er samlet angivet under vejbede samlet.

Opland	Befæstet areal [m^2]	Anlæg [kr.]	Drift [kr.]
Vejbede	18		
Vejbede samlet	990	29.700	21.214
64	70	2.100	1.500
56	80	2.400	1.714
57	80	2.400	1.714
58	80	2.400	1.714
65	40	1.200	857
60	70	2.100	1.500
59	70	2.100	1.500
54	70	2.100	1.500
55	70	2.100	1.500
62	70	2.100	1.500
61	70	2.100	1.500
63	31	930	664
66	17	510	364
Sum	1.808	54.240	38.743

Tabel E.4: Anlægs- og driftsomkostninger for regnbedene i projektlokaliteten.

E.4 Render

I projektlokaliteten er der implementeret 12 render, som er etableret, som tætte render med dimensionerne 0,3 · 0,3. Anlægsomkostningerne for render er 225 kr./m og driftsomkostningerne er 244 kr./m. Anlægs- og driftsomkostningerne for render er angivet i tabel E.5, hvor rende nummer 69 er illustreret med en render på figur E.1, men er implementeret som 3 adskilte render i MIKE Urban.

Oplande	Render længde [m]	Anlæg [kr]	Drift [kr]
67	8	1.757	1.903
68	7	1.598	1.731
69	25	5.580	6.045
69	25	5.625	6.094
69	25	5.513	5.972
70	19	4.379	4.744
71	7	1.670	1.809
72	8	1.773	1.921
73	6	1.329	1.440
74	4	889	963
75	15	3.354	3.633
76	8	1.771	1.918
	157	35.235	38.171

Tabel E.5: Anlægs- og driftsomkostninger for render i projektlokaliteten.

APPENDIKS F

ELEKTRONISKE APPENDIKS

- *SVK CDS regneark* - Spildevandskomiteens CDS regneark
- *MIKE Urban - Kritisk niveau kælder* - MIKE Urban model for nuværende tilstand uden fremskrivning ved kritisk niveau kælder
- *MIKE Urban - Kritisk niveau terræn* - MIKE Urban model for nuværende tilstand uden fremskrivning ved kritisk niveau terræn
- *MIKE Urban - Oversvømmelsesmodel* - Oversvømmelsesmodel for nuværende tilstand uden fremskrivning
- *SVK LAR-dimensionering* - Spildevandskomiteens LAR-dimensionering regneark
- *MIKE Urban - Effekten af implementering af LAR* - Simulering af simpel model med LAR-elementer i MIKE Urban
- *Simpel model dimensionering* - LAR-dimensionering for den simple model
- *Simpel model* - Afstrømningsmængder for henholdsvis CDS samt historisk regn
- *Potentiel fordampning* - Beregninger af potentiel fordampning til implementering i MIKE Urban
- *Implementering af LAR* - LAR-dimensionering for projektlokaliteten
- *MIKE Urban - Nuværende tilstand* - MIKE Urban model for nuværende tilstand i scenarie 2025 og 2100
- *MIKE Urban - Implementering af LAR* - MIKE Urban model med LAR-elementer implementeret

- *Plan udløbsvolumener* - Udløbsvolumener for modeloplandet ved scenarierne 2025 og 2100
- *Økonomi* - Økonomisk overslag for separatkloakering samt spildevandsledning samt LAR-elementer