

Klimatilpasning af den tæt-lave bebyggelse Gadekæret i Ishøj



Afgangsprojekt af:
Thomas Møller Bering
10. semester
Vand & Miljø
Aalborg Universitet



AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

Institut for Byggeri og Anlæg

Sofiendalsvej 9-11

9200 Aalborg SV

Telefon: 99 40 84 84

<http://www.byggeri.aau.dk/>

Titel:

Klimatilpasning af den tæt-lave
bebyggelse Gadekæret i Ishøj

Projektperiode:

10. semester
2. februar 2015 - 10. juni 2015

Forfatter:

Thomas Møller Bering

Vejledere:

Michael R. Rasmussen, AAU
Søren L. Thorndahl, AAU
Mikas S. Christiansen, Grontmij

Oplagstal: 4

Sideantal: 84

Projekt afsluttet den:

10. juni 2015

Synopsis:

Følgende rapport omhandler undersøgelse af oversvømmelsen af boligområdet Gadekæret under regnhændelsen d. 2. juni 2014, der var en 12 års regnhændelse, hvor store dele af området blev oversvømmet, samt løsningsforslag til løsning af problemet.

I første del af rapporten analyseres det nuværende afløbssystem i Ishøj By. Det undersøges om afløbssystemet lever op til gældende funktionspraksis samt hvor ofte de enkelte dele af afløbssystemet oplever opstuvning til terræn. Analysen viser at store dele af afløbssystemet ikke overholder nuværende funktionspraksis og at der dermed kan være risiko for opstuvning til terræn oftere end de 5 år, der er anbefalet. Desuden bliver det vist at store dele af Gadekæret oversvømmes under regnhændelsen d. 2. juni 2014, hvor der faldt 28,8 mm vand på 41 min. Det er specielt hovedvejene i boligområdet der er ramt af oversvømmelser, men også de mindre veje og stræder, hvor der ligger mange små haver er også oversvømmet.

I anden del af rapporten opstilles der tre forskellige løsningsprincipper, der opererer med klimatilpasning af området. Der udvælges et løsningsprincip, hvorudfra der laves yderligere fire løsningsforslag. Det vælges at arbejde med løsningsforslag 4, som indeholder forsinkelse af regnvandet i gadekæret, nedsivning i form af otte faskiner og permeabel belægning på alle veje i boligområdet, transport af regnvand i åbne render på hovedvejene samt anlæggelse af to mindre bassiner. De forskellige løsnings-elementer implementeres i MIKE URBAN og tilsammen reducerer de oversvømmelsesvolumenet på områderne omkring gadekæret med ca. 85%.

Forord

Denne rapport er udarbejdet af Thomas Møller Bering fra civilingeniøruddannelsen Vand og Miljø under institut Byggeri og Anlæg ved Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet på Aalborg Universitet. Rapporten er udarbejdet på 10. semester, som et afgangsspeciale, der udgør 30 ECTS. Projektperioden for udførelsen af rapporten er i perioden fra den 2. februar 2015 til den 10. juni 2015. Titlen for projektet er *Klimatilpasning af den tæt-lave bebyggelse Gadekæret i Ishøj*.

Rapporten er udarbejdet i samarbejde med ingeniørvirksomheden Grontmij A/S som et indledende projekt i forbindelse med en opgave for Ishøj Forsyning ApS. Rapporten er desuden udført under vejledning af Michael R. Rasmussen og Søren L. Thorndahl fra AAU, samt Mikas S. Christiansen fra Grontmij A/S.

Læsevejledning

Projektet består af en rapport med tilhørende bilag, der vil blive refereret til igennem rapporten. Der vil endvidere være elektroniske bilag, der er bestående af beregninger og modelleringsresultater, som er anvendt i rapporten. Referencerne til de elektroniske bilag vil blive lavet på følgende måde: CD-bilag *mappe-navn på fil*

Der fremtræder igennem rapporten litteraturreferencer, der er vist i kantede parenteser, [], og bruges enten som en passiv eller aktiv reference. I de passive referencer står navn eller efternavn på forfatter samt årstal i selve parentesen, som f.eks.: [Flindt, 2012]. I de aktive referencer er det kun årstal, der står i parenteserne, som f.eks.: Flindt [2012]. Alle litteraturreferencerne kan findes i litteraturlisten i slutningen af rapporten.

Tabeller, ligninger og figurer er nummereret med kapitelnummeret først, efterfulgt af et tal, der forklarer, hvilket nummer figuren, ligningen eller tabellen har i kapitlet. Dette kan se ud på følgende måde: Figur 2.1. Nummereringen af ligninger vil være markeret i parenteser til højre for ligningen, som vist her: (1.3).

Alle baggrundskort på figurene er fra Miljøministeriet/Geodatastyrelsen, hvis ikke andet er angivet. Baggrundsbilleder fra Miljøministeriet/Geodatastyrelsen er tilgængelige på <http://www.kortforsyningen.dk>.

Bagerst i rapporten findes en ordliste, hvor forklaringer på ord og begreber, der ikke er beskrevet i selve rapporten er defineret.

Abstract

The following report includes an investigation of the flooding of the residential area 'Gadekæret' during the rain event June 2, 2014, which was a rain event with a 12 year return periode, where large parts of the area were flooded. The report also includes a possible solution to the problem.

The first part of the report consists of an analysis of the existing drainage system in Ishøj City, and the residential area Gadekæret. The drainage system is examined to find out if it meets the existing function practice and to find out how often each part of the drainage system experience water to ground level. The analysis is made using the modeling program MIKE URBAN and the analysis shows that large parts of the drainage system does not comply with current function practices and thus there is a risk of getting water to ground level more often than the five years recommended. Furthermore, it is shown that large parts of Gadekæret is flooded during the rain event June 2, 2014, which gave 28.8 mm of water within 41 min. It is especially the main roads in the residential area that are affected by flooding, but also the smaller roads and alleys where there are many small gardens are also flooded.

In the second part of the report three different solution principles of climate adaption of the area are discussed. One of the solution principles are chosen to be the best and from here four new solutions are made. Each solution has a different approach to climate adaption of the areal. It is chosen to work with solution 4 which contains the following elements: delay of rainwater in a local pond; infiltration through eight gabions and permeable coating on all roads; transport of rainwater in open trenches on the main roads; and construction of two smaller pools. The different solution elements are implemented in MIKE URBAN and collectively reduce the flooding area by about 80 % and the flooding volume in the areas around the pond with about 85 %.

Indholdsfortegnelse

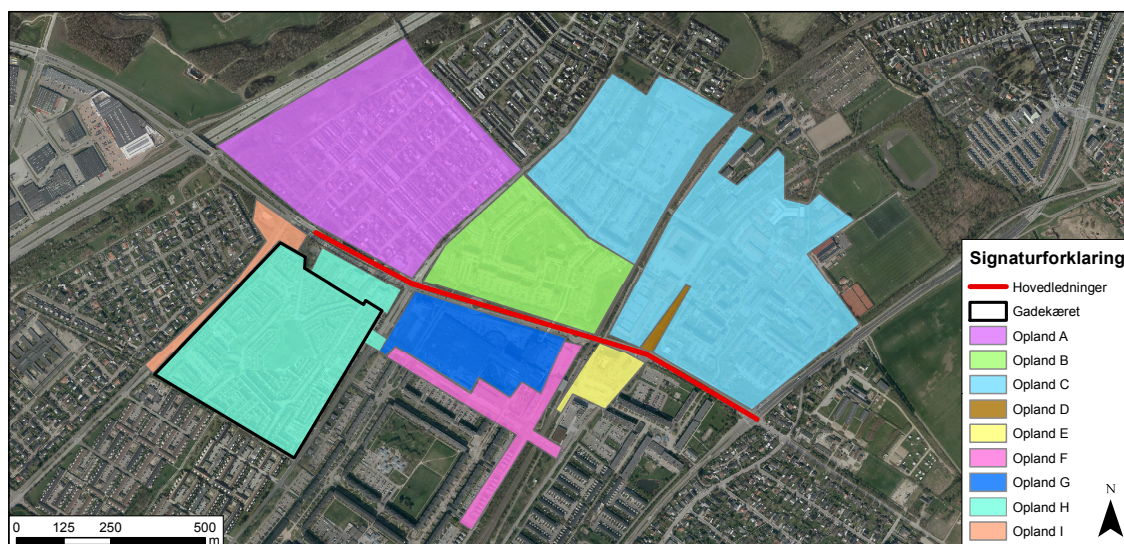
Kapitel 1	Indledning	1
Kapitel 2	Projektlokalitet	3
2.1	Arealanvendelse i Gadekæret	4
2.2	Topografi	6
2.3	Observationer d. 2. juni 2014	7
Kapitel 3	Analyse af det nuværende system	9
3.1	Beskrivelse af MU modellen	9
3.2	Digitalisering af Gadekæret	11
3.3	Regninput til MU model	14
3.4	Resultater	16
3.5	Opsummering	23
Kapitel 4	Oversvømmelsesanalyse af Gadekæret	25
4.1	Regndata fra d. 2. juni 2014	25
4.2	Antagelser/Input til MF model	27
4.3	Resultat af MF model	27
4.4	Opsummering	32
Kapitel 5	Problemformulering	33
5.1	Afgrænsning	33
Kapitel 6	Lokal afledning af regnvand (LAR)	35
6.1	Beskrivelse af LAR	35
Kapitel 7	Løsningsforslag	37
7.1	Principper for klimatilpasning af Gadekæret	37
7.2	Viderebearbejdning af princip 3	43
7.3	Implementering af løsningsforslag i MU	44
7.4	Opsummering	50
Kapitel 8	Analyse af løsningsforslag	51
8.1	Analyse af løsningsforslag 4	51
8.2	Diskussion og forslag til forbedring af løsningsforslag	54
8.3	Anbefaling af klimatilpasning i Gadekæret	55
Kapitel 9	Konklusion	57

Kapitel 10 Perspektivering	59
Referencer	61
Ordliste	62
A Udleveret kort over Gadekæret	I
B Resultat af CDS-regn uden klimafaktor	III
C Klimatilpasningselementernes påvirkning på oversvømmelsen	VII

Indledning 1

Ishøj Kommune har igennem de sidste 10 år oplevet flere kraftige skybrud med oversvømmelser til følge. De to mest markante oversvømmelser skete hhv. d. 2. juli 2011 og d. 2. juni 2014, hvor Ishøj blev ramt af regnhændelser, der statistisk set kun skulle ske én gang hvert 140. år for hændelsen i 2011 og hvert 12. år for hændelsen i 2014. Blandt andet på baggrund af disse oversvømmelser har Ishøj Forsyning arbejdet med klimatilpasning af byområderne i kommunen. I 2009 blev den første klimatilpasningsplan lavet og siden er tre kritiske oversvømmelsesområder, Strandområdet, Tranegilde og Centervej, blevet klimatilpasset samtidig med at dele af afløbssystemet er blevet optimeret.

Beliggende i det centrale Ishøj By, under Ishøj Stationsvej, er to hovedregnvandsledninger med hver en diameter på 900 mm. De to hovedledninger belastes hårdt under store regnhændelser, da de modtager regnvand fra ni store deloplande af Ishøj By. Den hydrauliske belastning af de to hovedledninger påvirker oplandene opstrøms og medfører en risiko for tilbagestuvning og dermed oversvømmelser. Endvidere findes der to flaskehalse på hovedledningerne – en underføring og en olieudskiller – som medfører energitab på strækningen. De ni deloplande og de to hovedledninger kan ses på figur 1.1.



Figur 1.1: Deloplande til hovedledningerne i Ishøj Stationsvej, samt placeringen af de to hovedledninger og Gadekæret.

Regnhændelsen d. 2. juli 2011 ramte det meste af hovedstadsområdet og dermed også Ishøj, og forårsagede oversvømmelser flere steder i hovedstadsområdet. D. 2. juni 2014 var derimod en lokal regnhændelse, hvor det primært var det centrale Ishøj, der blev ramt. Specielt boligområdet "Gadekæret" var udfordret af de store vandmængder, da afløbssystemet ikke kunne følge med og dele af området dermed lå under vand. Oversvømmelsen af Gadekæret d. 2. juni 2014 er vist på figur 1.2, hvor en af hovedvejene ses oversvømmet. Gadekæret er et boligområde beliggende i den øvre del af oplandet til hovedledningerne og er et lavt-tæt byggeri anlagt omkring et gadekær (mindre sø). Placeringen af Gadekæret er vist på figur 1.1.



Figur 1.2: Oversvømmelser i Gadekæret d. 2. juni 2014. Her ses en af hovedvejene oversvømmet.

Ishøj Forsyning er på baggrund af disse problematikker interesseret i at undersøge, hvad der skal til for at aflaste det hydrauliske pres på hovedledningerne og dermed frigive kapacitet - gerne i et sådant omfang, at man kan renovere hovedledningerne uden opgravning og samtidig kunne definere ledningerne som klimatilpasset. Samtidig ønsker Ishøj Forsyning at undersøge mulighederne for at lave terrænbaseret afvanding i Gadekæret.

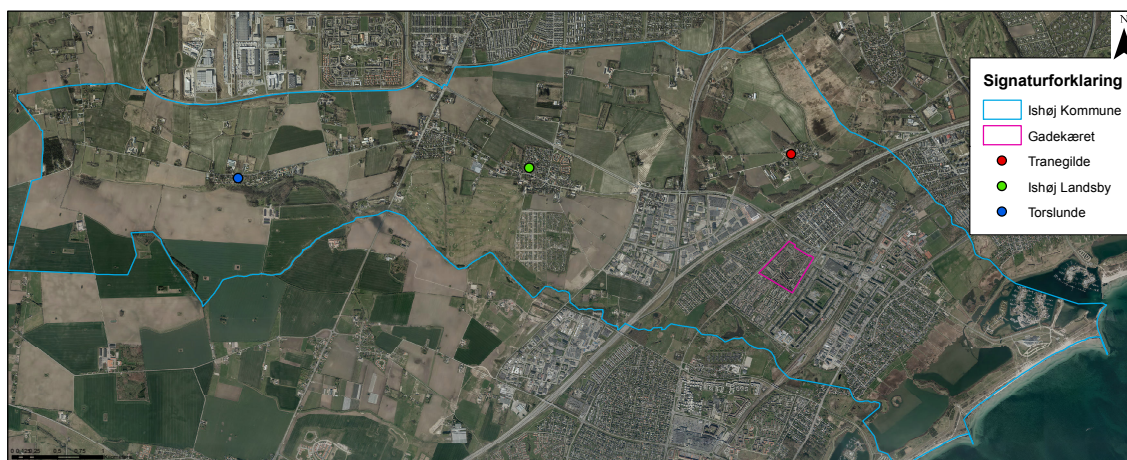
Afgangsprojektet tager derfor udgangspunkt i Gadekæret, hvor det gennem modellering skal undersøges hvilken del af systemet, der er årsag til de problemer, der findes i Gadekæret, samt hvordan dette problem kan løses. Hertil kan følgende initierende spørgsmål stilles:

- Overholder det nuværende afløbssystem i Ishøj de anbefalede funktionskrav?
- Hvad er årsagen til oversvømmelserne i Gadekæret, og kan problemet løses ved klimatilpasning af området?

Projektlokalitet 2

Gadekæret, som projektet tager udgangspunkt i, er beliggende i den centrale del af Ishøj By. Ishøj By hører under Ishøj Kommune og er placeret i den sydøstlige del af kommunen. Centralt i Ishøj By ligger Ishøj Stationsvej, der er hovedåren/hovedindfaldsvejen i byen. Under Ishøj Stationsvej er anlagt to Ø900 mm regnvandsledninger, der fungerer som hovedledninger og modtager dermed regnvand fra det meste af Ishøj Kommune. De dele af Ishøj Kommune, som ikke bidrager til hovedledningerne under Ishøj Stationsvej, afleder regnvand til de tre recipienter St. Vejle Å, Ll. Vejle Å eller Baldersbækken.

Ishøj Kommune er 26,3 km² stort, hvoraf ca. 1/3 er byzone og 2/3 er landzone. I første kvartal af 2015 blev der registreret 22.025 borgere i Ishøj Kommune. Størstedelen af borgerne i kommunen bor i selve Ishøj By, mens kun en lille del af borgerne bor i de mindre landsbyer, som f.eks. Ishøj Landsby, Tranegilde og Torslunde, vist på figur 2.1. Ishøj Kommune er 100 % separatkloakeret, og alt spildevand ledes til Renseanlæg Avedøre, mens regnvandet ledes til hovedrecipienten Køge Bugt. Regnvandet ledes til Køge Bugt via regnvandsledninger samt de tre førnævnte recipienter. Alle boligerne i kloakforsyningens oplande er tilsluttet Ishøj Forsynings kloaksystem. Hovedparten af boligerne er tilsluttet både en spildevandsledning og en regnvandsledning. De resterende er tilsluttet en spildevandsledning, og regnvandet nedsives lokalt eller ledes direkte til en recipient [Ishøj Kommune, 2014b].



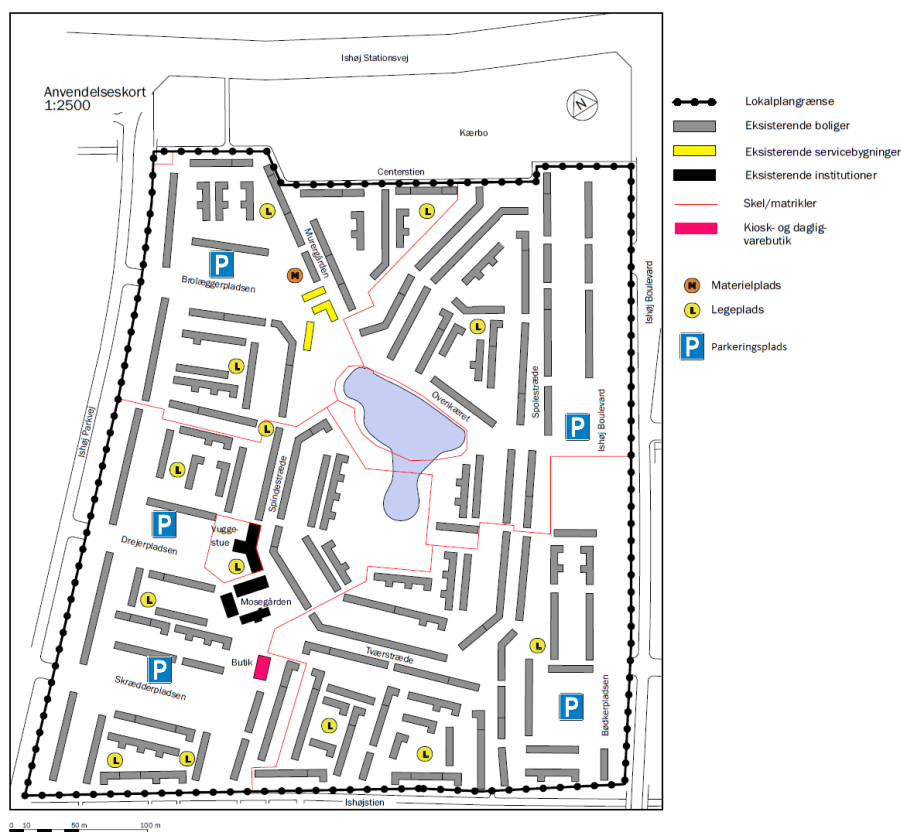
Figur 2.1: Oversigtskort over Ishøj Kommune samt placeringen af boligområdet Gadekæret og de tre landsbyer: Tranegilde, Ishøj Landsby og Torslunde.

2.1 Arealanvendelse i Gadekæret

Gadekæret blev bygget i begyndelsen af 1970'erne som et industrialiseret boligbyggeri med et ønske om at lave venlige og humane boligmiljøer, inspireret af gamle småbyers kvaliteter: det uregelmæssige gadenet, variationen og de lave hushøjder i bebyggelsen, intimiteten i gaderummene og fællesskabet [Ishøj Kommune, 2014a].

Gadekæret afgrænses af Ishøj Parkvej mod vest og Ishøj Boulevard mod øst, samt gang- og cykelstien "Ishøjstien" og den store rækkehusbebyggelse "Strandparken" mod syd. Mod nord afgrænses boligområdet af Ishøj Centersti og Omsorgscentret Kærbo. Afgrænsningen af området kan ses på figur 2.2. Gadekæret er 175.834 m² stort, og der er 674 almene boliger i området.

Som tidligere beskrevet er Gadekæret et boligområde, og boligerne dominerer derfor selvsagt arealanvendelsen i området. Der indgår dog derudover i bebyggelsen også kiosk og dagligvarebutik, flere børneinstitutioner, fællesvaskeri samt en gammel gård, der rummer forskellige fællesfaciliteter - blandt andet sportshal, varmecentral, materielgård og genbrugsplads med videre. Arealanvendelsen af området kan ses på figur 2.2.



Figur 2.2: Arealanvendelsen i Gadekæret som angivet i lokalplanen [Ishøj Kommune, 2014a].

I Gadekæret er der flere grønne områder, og der tilhører en have til næsten hver privat bolig. I den centrale del af Gadekæret er der lavet en rekreative grønning med gadekæret i midten, som fremstår som et grønt og parklignende areal - se figur 2.3. I de mindre stræder mellem husene og de private haver er der stor frodighed, og der er lavet en bred variation

af beplantning [Ishøj Kommune, 2014a].



Figur 2.3: Den rekreative grønning med gadekæret i midten.

Trafikalt er bebyggelsen organiseret om en central gade, der forløber rundt om gadekæret. Herfra stikker der gader og stræder ud i alle retninger og forbinder bebyggelsen med de omkringliggende hovedstier, tunneller og parkeringsarealer. Bebyggelsens gader og stræder fungerer desuden som brand- og redningsveje. De centrale gader (også kaldt hovedvejene) samt de små gader og stræder, der forløber i Gadekæret, er vist på figur 2.4, 2.5 og 2.6.



Figur 2.4: En af de centrale gader hvorfra mindre gader stikker ud fra.



Figur 2.5: En af de mindre veje der forløber mellem husene i Gadekæret.



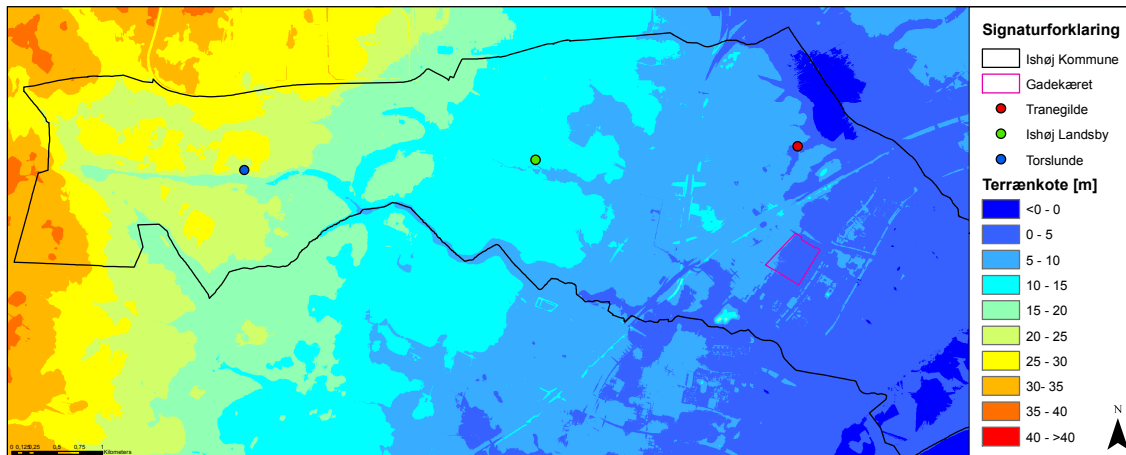
Figur 2.6: Lille sti/stræde der forløber mellem haverne i Gadekæret.

Det er ikke tilladt at færdes med biler i Gadekæret, så vejbetjening til området sker fra Ishøj Parkvej og Ishøj Boulevard via bebyggelsens fem samlede parkeringsarealer, der ligger i boligområdets ydreområder/periferi. "Hovedvejene" (Spolestræde, Tværstræde, Spindestræde, Murergården og Overkæret) i Gadekæret er store nok til, at brandbiler, ambulancer og andre servicebiler kan komme til, hvis dette skulle være nødvendigt. Alle køre- og parkeringsarealer i området er udlagt med asfalt. I området er der seks stitunneller, som skal benyttes, når gående og cyklister skal ud af området. De seks stitunneller er placeret under henholdsvis Ishøj Stationsvej, Ishøj Parkvej og Ishøj Boulevard.

Området betragtes som værende fuldt udbygget.

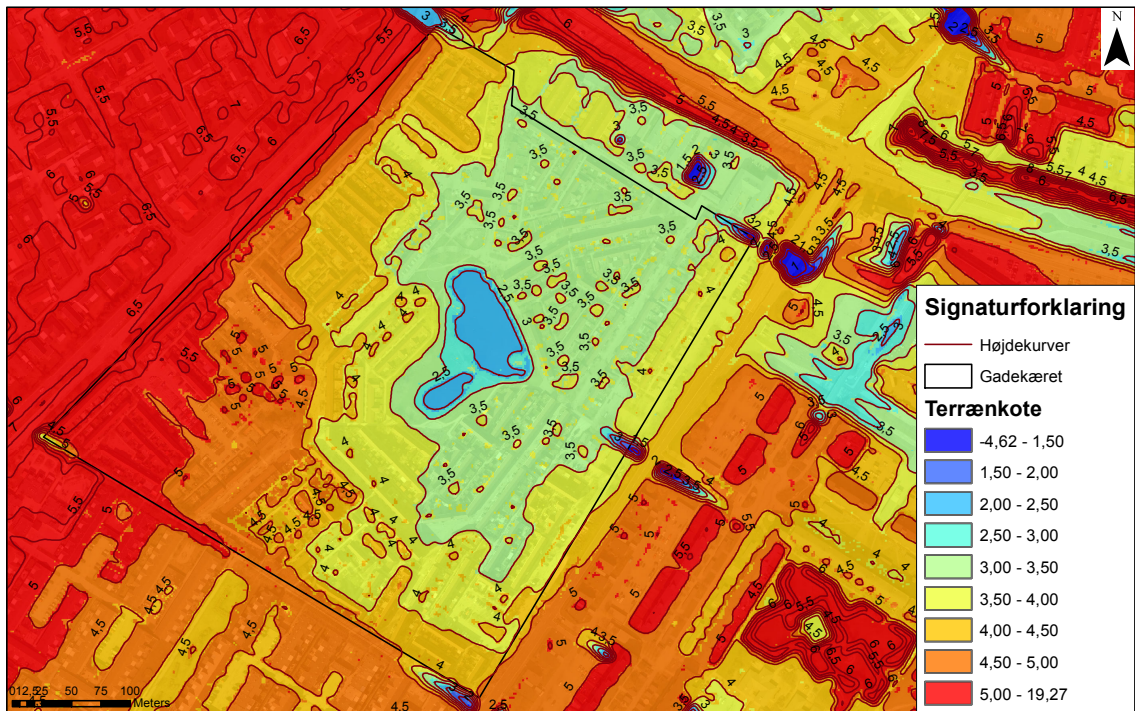
2.2 Topografi

Ishøj Kommune har overordnet set et meget varieret terræn. Generelt gælder det dog, at terrænet hælder fra vest mod øst. Dette medvirker til, at der er gode "forhold" for regnvandsledningerne i kommunen, da der er et naturligt fald mod Køge Bugt, der, som beskrevet, er recipient for regnvandet i kommunen. Topografien for Ishøj Kommune kan ses på figur 2.7.



Figur 2.7: Topografien i Ishøj Kommune. Der er et naturligt fald fra den vestlige del af kommunen og ned mod Køge Bugt mod øst.

Terrænet i Gadekæret er forholdsvis fladt, men ligesom terrænet for Ishøj Kommune, så er der en generel tendens til at terrænet hælder mod øst/nordøst. Disse terrænforhold giver gode faldforhold for kloaksystemet, da kloaksystemet for Gadekæret er tilsluttet det overordnede kloaksystem for Ishøj Kommune mod øst under Ishøj Stationsvej. Hældningen medvirker naturligvis også til, at anvendelsen af pumper herved kan minimeres. Terrænet i Gadekæret kan ses på figur 2.8.



Figur 2.8: Topografien i Gadekæret inkl. 0,5 m højdekurver. Kortet er lavet på baggrund af en terrænmodel med en celledørrelse på 1,6 meter.

2.3 Observationer d. 2. juni 2014

Da dette projekt er lavet som en del af et indledende projekt i forbindelse med en opgave for Ishøj Forsyning ApS, og dermed er i en tidlig opstartsfasen, har det ikke været tilladt fra Ishøj Forsynings side at kontakte beboerne i området. Det er derfor sparsomt med oplysninger angående oversvømmelserne d. 2. juni 2014.

En af driftmedarbejderne ved Ishøj Forsyning, Ole Niels Jørgensen, bor i Gadekæret. Han mener at have observeret, at hans have stod med 20 cm vand, efter at det havde regnet i ca. en halv time d. 2. juni 2014. Han mener desuden at have observeret, at vandet efter nogen tid samlede sig i den nordøstlige del af Gadekæret omkring en tunnel. [Jørgensen, 2015]

Foruden disse observationer findes der to billeder, der dokumenterer oversvømmelserne i Gadekæret d. 2. juni 2014. Figur 2.9 og 2.11 viser disse oversvømmelser.



Figur 2.9: Oversvømmelse på en af hovedvejene [Danmarks Radio, 2014].



Figur 2.10: En af hovedvejene i tørvejr.



Figur 2.11: Oversvømmelse af et rekreativt areal beliggende i den sydlige del af Gadekæret [Danmarks Radio, 2014].



Figur 2.12: Samme rekreative areal i tørvejr. De to billeder er taget fra forskellige vinkler.

Det vides ikke præcist, på hvilken hovedvej figur 2.9 er taget, men figur 2.10, der er taget under en tur i Gadekæret, kunne umiddelbart godt ligne det samme sted. Figur 2.10 er taget på Spolestræde, som kan ses på figur 2.2. Det er derimod sikkert at figur 2.11 og 2.12 er taget samme sted, dog fra forskellige vinkler. De to stole, der kan ses i midten af figur 2.11, er gemt bag den forreste store sten til højre på figur 2.12.

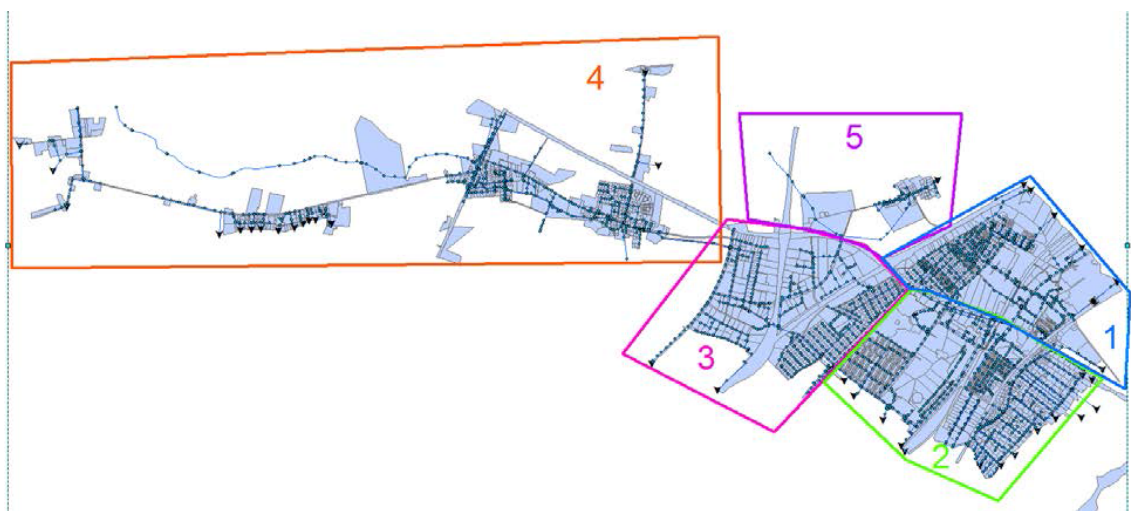
Analyse af det nuværende system 3

Dette kapitel er en forlængelse af forrige kapitel, hvor projektlokaliteten Gadekæret blev beskrevet. I dette kapitel vil der blive gået et skridt dybere i beskrivelsen af området, idet det overordnede afløbssystem i Ishøj vil blive analyseret. Det vil blive undersøgt hvorvidt afløbssystemet i Ishøj By lever op til den gældende funktionspraksis ift. fyldtløbende rør samt opstuvning til terræn. Funktionskravene bliver ligeledes undersøgt for Gadekæret.

3.1 Beskrivelse af MU modellen

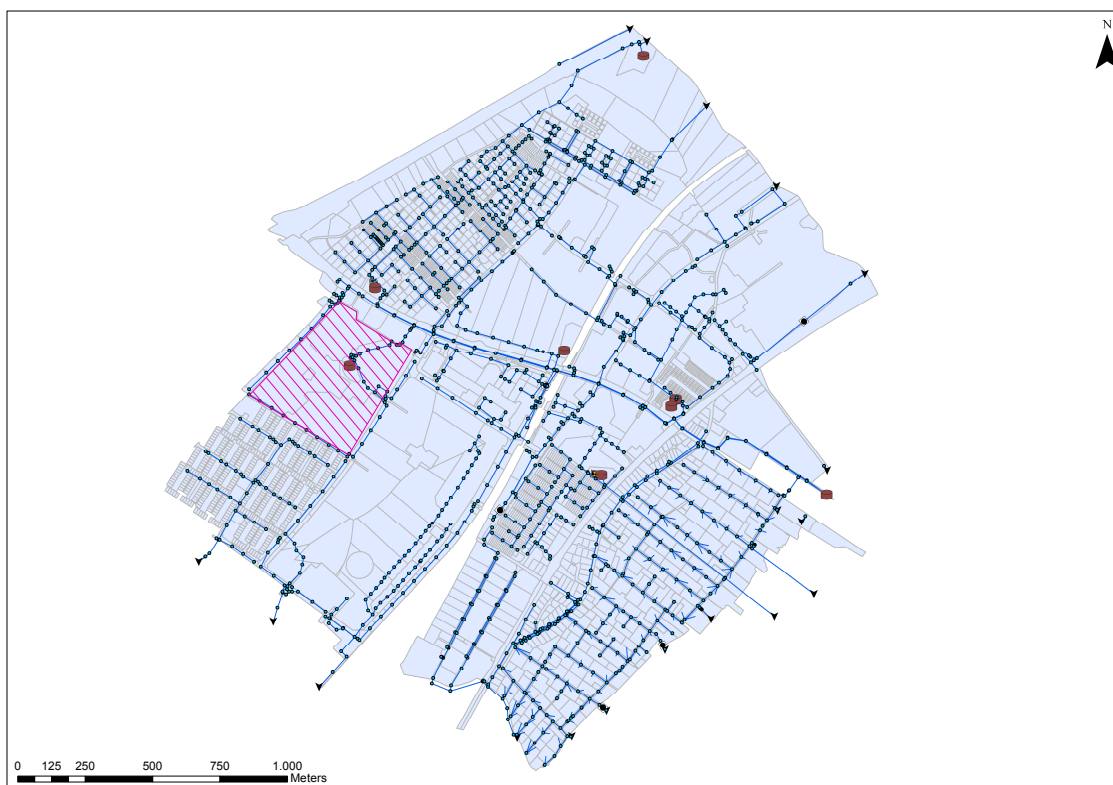
Modellen brugt i dette projekt er udleveret af Grontmij [2015], der står for opdatering af modellen for Ishøj Forsyning.

Modellen for hele Ishøj Kommune er delt op i to dele. Groft sagt er de inddelt efter byzonen og landzonen. På figur 3.1 er hele MIKE URBAN (MU) modellen for Ishøj Kommune vist. Modellen for byzonen er sammensat af område 1 og 2, mens modellen for landzonen er sammensat af område 3, 4 og 5. Den anvendte model i dette projekt består derfor af område 1 og 2.



Figur 3.1: MIKE URBAN modellen for Ishøj Kommune. De inddelte områder på figuren er anvendt til en overordnet MIKE FLOOD beregning lavet af Grontmij A/S for Ishøj Forsyning [2013]. Område 1 og 2 er MU modellen for byzonen og område 3, 4 og 5 er MU modellen for landzonen.

I den udleverede model for det centrale Ishøj findes der kun få ledninger og brønde i Gadekæret. Dette skyldes, at afløbssystemet i Gadekæret er privatejet af grundejerforeningen. Idet systemet er privatejet, og der kun findes et gammelt kort fra 1970'erne med lednings- og brøndoplysninger, er området aldrig blevet digitaliseret. MU modellen med de manglende ledninger og brønde i Gadekæret er vist på figur 3.2. Ledningen, der går gennem Gadekæret i MU modellen, er ejet af Ishøj Forsyning, og i modellen er det antaget, at alle arealer i Gadekæret afleder regnvand til én brønd, der er tilsluttet ledningen ejet af Ishøj Forsyning. Dette er vist på figur 3.3.



Figur 3.2: Den udleverede MIKE URBAN model for det centrale Ishøj. Gadekæret er det rødt skraverede areal. Afløbssystemet i Gadekæret er ikke digitaliseret og er derfor ikke med i modellen. Kun en større ledning, der er ejet af Ishøj Forsyning, der går gennem området, er vist på figuren.

Den udleverede model for Ishøj By er meget stor og indeholder mange forskellige elementer og parametre. I tabel 3.1 ses en oversigt over nogle af de elementer og parametre, der er inkluderet i den udleverede model.

Modellen består af 2.934 oplande med et samlet areal på 390,7 ha. Befæstelsesgraden for den udleverede model er meget varierende. Den laveste befæstelsesgrad er på 4 %, mens den højeste befæstelsesgrad er på 95 %. Den gennemsnitlige befæstelsesgrad for de 2.934 oplande ligger på ca. 64 %.

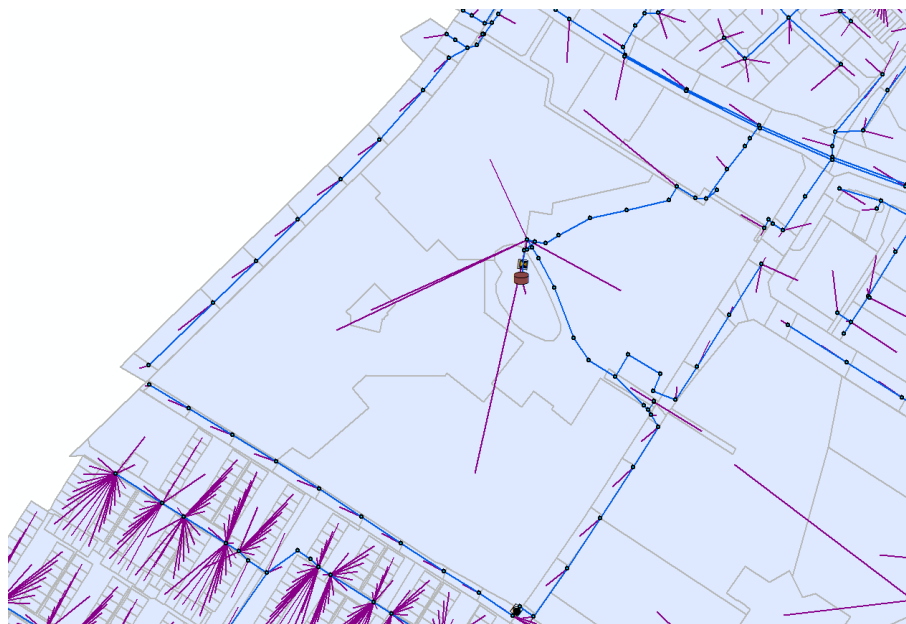
Modellen består i alt af 1.415 brønde, 1.403 ledninger, 18 udløb, 8 bassiner, 25 overløbsbygværker og 30 pumper. Der er en samlet ledningslængde på ca. 53 km. Af de 18 udløb er der tre, der udleder vand til Baldersbækken (mod sydvest), fem der udleder til St. Vejle Å (mod nordøst) og de resterende ti udløb leder vand ud i Køge Bugt. Seks af de otte bassiner er åbne regnvandsbassiner, mens de sidste to er lukkede bassiner, som begge er placeret under en parkeringsplads.

Den udleverede model kan findes i CD-bilag *Udleveret model*.

Element	Antal
Antal oplande	2.934
Totalt oplandsareal	390,7 ha
Antal brønde	1.415
Antal ledninger	1.403
Total ledningslængde	53,1 km
Antal bassiner	8
Antal udløb	18
Antal overløbsbygværker	25
Antal pumper	30
Befæstelsesgrad	4-95 %
Gennemsnitlig befæstelsesgrad	63,66 %

Tabel 3.1: Oversigt over elementer i den udleverede MU model. Den gennemsnitlige befæstelsesgrad er *ikke* beregnet som et vægtet gennemsnit (ift. befæstelsesgrad og oplandsareal).

Inden funktionskravene undersøges for Ishøj By, skal Gadekæret digitaliseres. Dette gøres derfor i næste afsnit.



Figur 3.3: Tilkoblingen af Gadekærets arealer til afløbssystemet i den udleverede MIKE URBAN model.

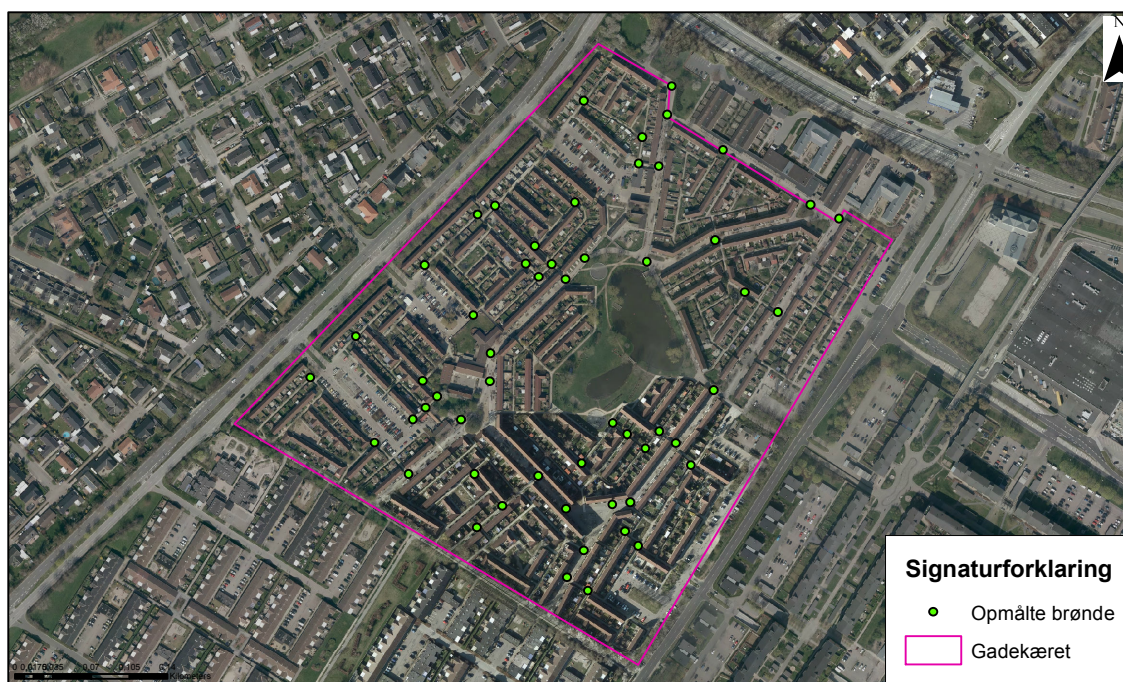
3.2 Digitalisering af Gadekæret

Som tidligere beskrevet er ledninger og brønde i Gadekæret ikke indsat i den udleverede MU model. Derfor skal det dette digitaliseres, så området kan blive medtaget i modelleringen af afløbssystemet, og så der senere kan laves en MIKE FLOOD modellering af Gadekæret.

Afløbssystemet i Gadekæret blev, som tidligere beskrevet, lavet samtidig med, at området

blev bygget. Som følge af en dyr tilslutningsafgift, hvis hver bolig skulle tilsluttes Ishøj Forsynings afløbssystem, blev det besluttet at lave et privat afløbssystem i Gadekæret og dermed kun tilslutte Gadekæret nogle enkelte steder på det offentlige afløbssystem og derved betale en langt mindre tilslutningsafgift. Dette betyder, at grundejerforeningen selv skal stå for vedligeholdelse af afløbssystemet i området. Desværre betyder dette også, at der kun findes et gammelt kort fra dengang afløbssystemet blev anlagt. Kortet er udleveret af Ishøj Forsyning, der havde hentet det på Ishøj Kommunes arkiv. Kortet er et udprint fra et scan af det oprindelige kort, og desværre er det scannet ved en dårlig opløsning, hvorfor mange af de oplysninger, der står på kortet, er umulige at læse. Samtidig er der mange af oplysningerne, der er skrevet oveni hinanden, hvilket gør det endnu mere vanskeligt at læse. Kortet indeholder oplysninger på brønde, regn- og spildevandsledninger. Kortet kan ses i bilag A.

Som følge af de(n) ringe data blev det besluttet at måle bund- og topkote på brønde i området. Der blev udvalgt 55 brønde, så der var brønde placeret forholdsvis jævnt fordelt over hele Gadekæret. De målte brønde er vist på figur 3.4. Topkoterne blev målt med en Leica GPS og blev udlånt af Ishøj Forsyning. Bundkoten blev målt ved at løfte brønddækslet af, og fra topkoten blev afstanden ned til bunden af brønden målt med en lasermåler eller et stadie, hvis der var vand i brønden, og laseren dermed ikke kunne bruges.



Figur 3.4: Placering af de opmålte brønde i Gadekæret. De opmålte brønde er valgt, så området er forholdsvis jævnt fordelt med brønde.

Ledningerne mellem brøndene er indsat på baggrund af den antagelse, at bundkoten på indløbet svarer til bundkoten på hver enkelt brønd. Ledningerne i området har en diameter på 110 og 160 mm jf. Jørgensen [2015]. Ø110 ledningerne er placeret under de mindre veje i området og Ø160 ledningerne er placeret under hovedvejene i området. Figur 3.5 viser ledningsdimensionerne i området. Det ses på billedet, at dele af det offentlige afløbssystem,

der løber igennem området, fungerer som et rørbassin.



Figur 3.5: Oversigt over ledningsdimensionerne i Gadekæret.

Efter at brøndene og ledningerne fra Gadekæret er indsat i MU, er området inddelt i mindre oplande, så hvert opland kan tilsluttes de nye brønde. Opdelingen af Gadekæret er lavet ved at se på terrænhældningen i området (se afsnit 2.2). Gadekæret er inddelt i ialt 46 oplande.

Befæstelsesgraden på hvert opland er beregnet ved at indsætte fire polygoner i MU. Ét polygon for veje, ét for parkeringspladser, ét for bygninger og ét for græs på det resterende område. På baggrund af disse fire polygoner er der genereret en gennemsnitlig befæstelsesgrad for hvert opland. De anvendte befæstelsesgrader for de fire polygoner kan ses i tabel 3.2. De angivne værdier på befæstelsesgraderne i tabellen er værdier der normalt anvendes af Grontmij [2015].

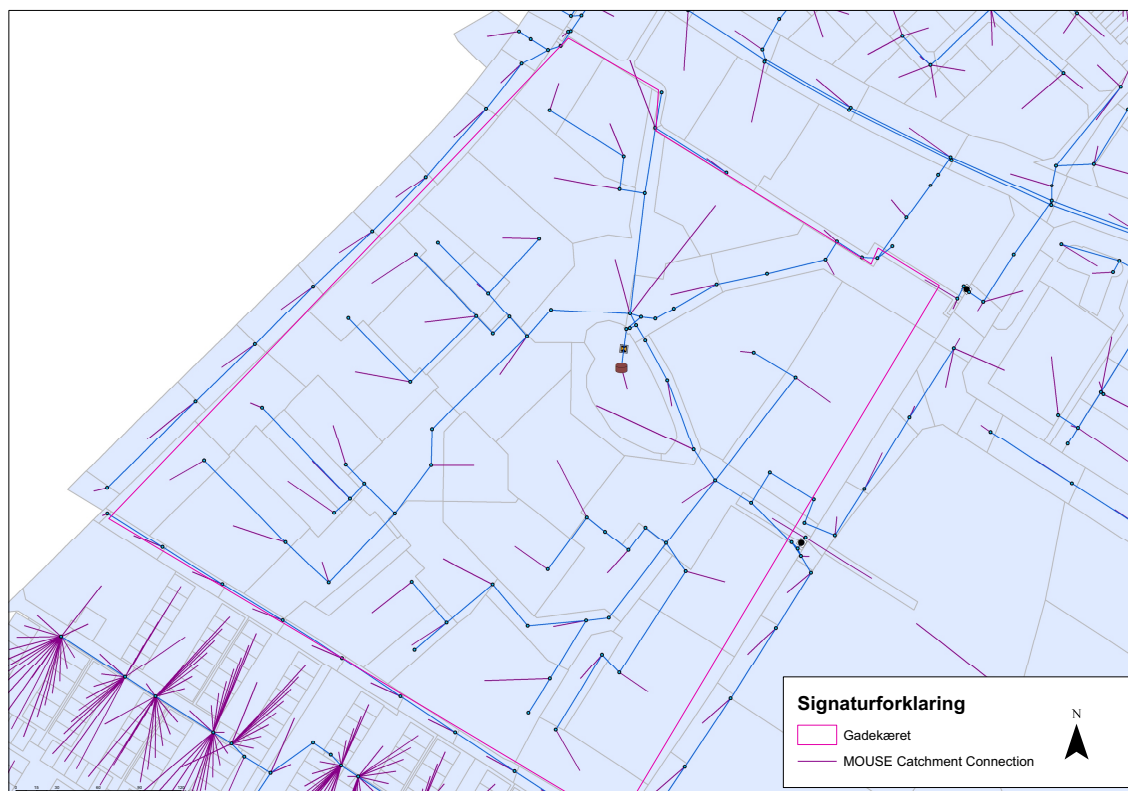
Område	Befæstelsesgrad
Veje	0,90
Parkeringspladser	0,90
Bygninger	1,00
Græs	0,02

Tabel 3.2: De valgte befæstelsesgrader for de tre shapefiler brugt til at beregne gennemsnitlig befæstelsesgrad for oplandene i Gadekæret. De angivne værdier er valgt efter konsultations hos Jézéquel [2015].

Den gennemsnitlige befæstelsesgrad for hele Gadekæret, der er beregnet på baggrund af

polygonerne, ligger på ca. 50 %. Den gennemsnitlige befæstelsesgrad for Gadekæret i den udleverede model er ca. 40 %. Den beregnede befæstelsesgrad er derved 25 % højere end befæstelsesgraden i den udleverede model.

De inddelte oplande er efterfølgende tilsluttet til nærliggende brønde, vurderet ud fra terrænhældningen omkring de enkelte oplande. Inddelingen af Gadekæret i de 46 oplande og tilslutningen af hvert opland til brønde kan ses på figur 3.6.



Figur 3.6: Tilslutningen af Gadekærets arealer til regnvandsledningerne.

Modellen med det digitaliserede Gadekær kan findes i CD-bilag *Efter digitalisering*.

Efter at Gadekæret er implementeret i den udleverede model, er modellen kørt igennem for at undersøge funktionskravene i Ishøj By. De følgende afsnit omhandler derfor input til modellen samt resultaterne heraf.

3.3 Regninput til MU model

I dette afsnit vil de forskellige regn der anvendes som belastning på oplandene i modellen blive beskrevet.

3.3.1 CDS-regn

Modellen er kørt igennem med fire forskellige CDS-regn. To CDS-regn med en gentagelsesperiode på 1 år, henholdsvis med og uden klimafaktor. Derudover er der anvendt yderligere to CDS-regn med en gentagelsesperiode på 5 år, ligeledes med og uden

klimafaktor. CDS-regn med en gentagelsesperiode på 1 og 5 år er valgt, for at undersøge om afløbssystemet lever op til nutidens dimensionspraksis.

Ishøj Forsyning anbefaler at bruge de, i tabel 3.3, viste sikkerhedsfaktorer. De valgte værdier har baggrund i Spildevandskomiteens anbefalede sikkerhedsfaktorer i skrift 27-29.

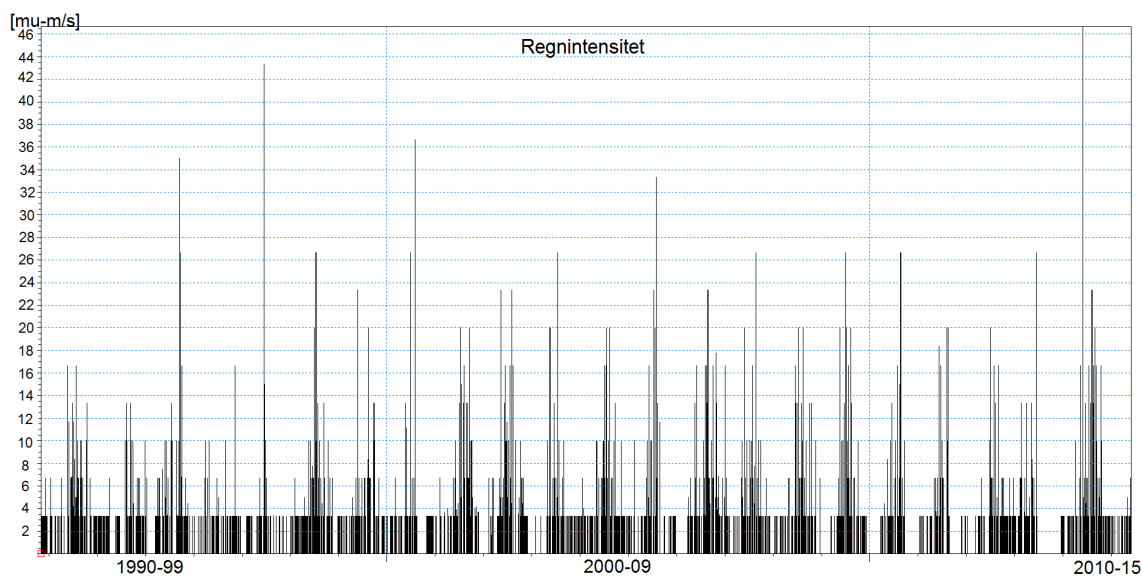
Område	Sikkerhedsfaktorer
Klima	1,3
Fortætning	1,1
Modelusikkerhed, kalibreret model	1,0
Modelusikkerhed, ukalibreret model	1,2
Samlet sikkerhedsfaktor, kalibreret model	1,43
Samlet sikkerhedsfaktor, ukalibreret model	1,72

Tabel 3.3: Sikkerhedsfaktorer, der skal bruges i forbindelse med dimensionering af fremtidige regnvandsledninger [Ishøj Kommune, 2014b].

Til de valgte CDS-regn *uden* klimafaktor er der anvendt en samlet sikkerhedsfaktor på 1,32. For CDS-regn *med* klimafaktor er der anvendt en samlet sikkerhedsfaktor på 1,72. Det er valgt at anvende faktorer for ukalibreret model, da det sandsynligvis kun er dele af den udleverede model, der er kalibreret.

3.3.2 Historisk regn

Til undersøgelse af om afløbssystemet overholder det gældende serviceniveau er der desuden anvendt en historisk regn. Den historiske regn er målt ved stationnummer 5805 som er placeret ved Ishøj Varmeværk og regnen er målt over en 22-årig periode fra 1992-2015. Regnserien er vist på figur 3.7. Til simulering med den lange regnserie er modellen kørt som en LTS (Long Term Statistics) simulering, hvor forskellige regnhændelser udvælges ud fra en række kriterier. Da det ønskes at lave årsstatistik for hhv. fuld udnyttelse af rørkapacitet og opstuvning til terræn skal der udvælges så mange regnhændelser fra den 22-årige periode som mulig. Dette gøres ved at sætte et såkaldt startkriterie der beskriver hvornår en regnhændelse medtages. Startkriteriet er sat således, at når vandføringen i alle brønde har været 10 l/s i mindst 10 minutter, så vil regnen blive medtaget. Ligeledes er der sat et stopkriterie for hvornår regnhændelsen ikke skal medtages længere. Stopkriteriet er sat til at flowet skal være under 10 l/s i mindst 10 minutter.



Figur 3.7: Den målte regnserie for perioden 1992-2015 på 22 år. Regnen er målt ved Ishøj Varmeværk, stationsnummer 5805 [DMI, 2015].

Det defineres endvidere at der skal være 120 min uden regn imellem to regnhændelser, for at regnhændelserne netop anses som værende to forskellige. Udfra disse kriterier genereres der en såkaldt jobliste, hvor de regnhændelser der opfylder de omtalte kriterier indsættes. På baggrund af den 22-årige regnserie og kriterierne er de 2371 største regnhændelser blevet udvalgt.

Resultaterne af beregningerne fra langtidssimuleringen kan altså vise gentagelsesperioden. Hver enkelt resultatserie - f.eks. maksimale stuvningsniveauer i en brønd - rangordnes således, at den statistiske gentagelsesperiode kan bestemmes for ethvert sted i systemet. Langtidssimuleringen giver altså alle resultater som funktion af en gentagelsesperiode inden for det interval, regnserien gør det muligt, hvilket her er 22 år. Langtidssimuleringen med historisk regn bruges som alternativ til CDS-regnen for at finde ud af hvad den egentlige gentagelsesperiode for fuldtløbende rørkapacitet og opstuvning til terræn er for hver enkelt ledning og brønd.

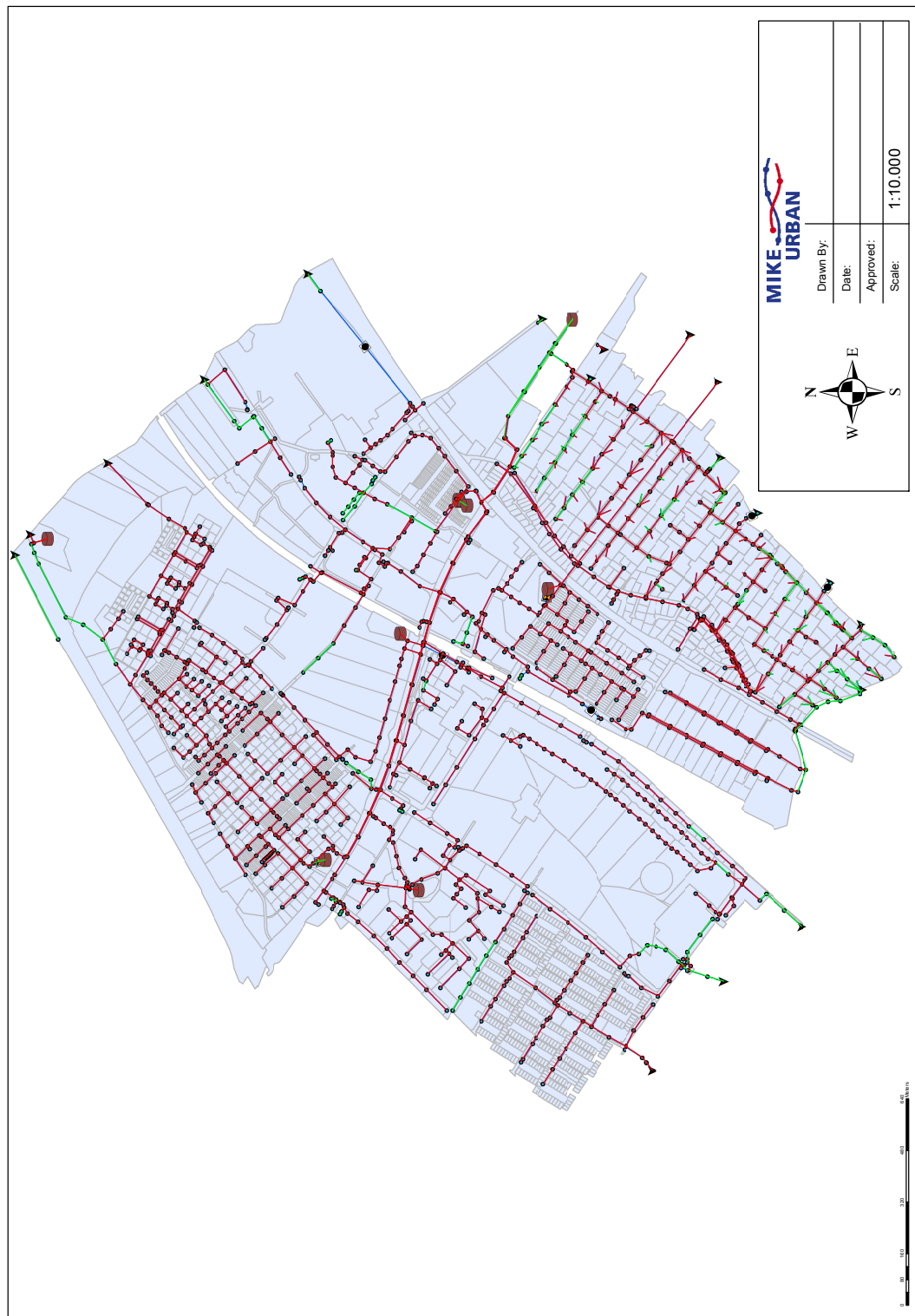
3.4 Resultater

Ishøj Forsyning stræber efter at overholde de anbefalede minimumfunktionskrav angivet i Spildevandskomiteens skrift 27 [Ishøj Kommune, 2014b]. Skrift 27 anbefaler, at der for separatkloakerede bolig- og erhvervsområder minimum sker opstuvning til kritisk kote hvert 5. år, samt at gentagelsesperioden for fuld udnyttelse af rørkapaciteten er 1 år [Spildevandskomiteen, 2005]. Den kritiske kote er i modellen sat til brøndtop (terrænkote) for den enkelte brønd. I det følgende vil det blive undersøgt om afløbssystemet overholder disse anbefalinger.

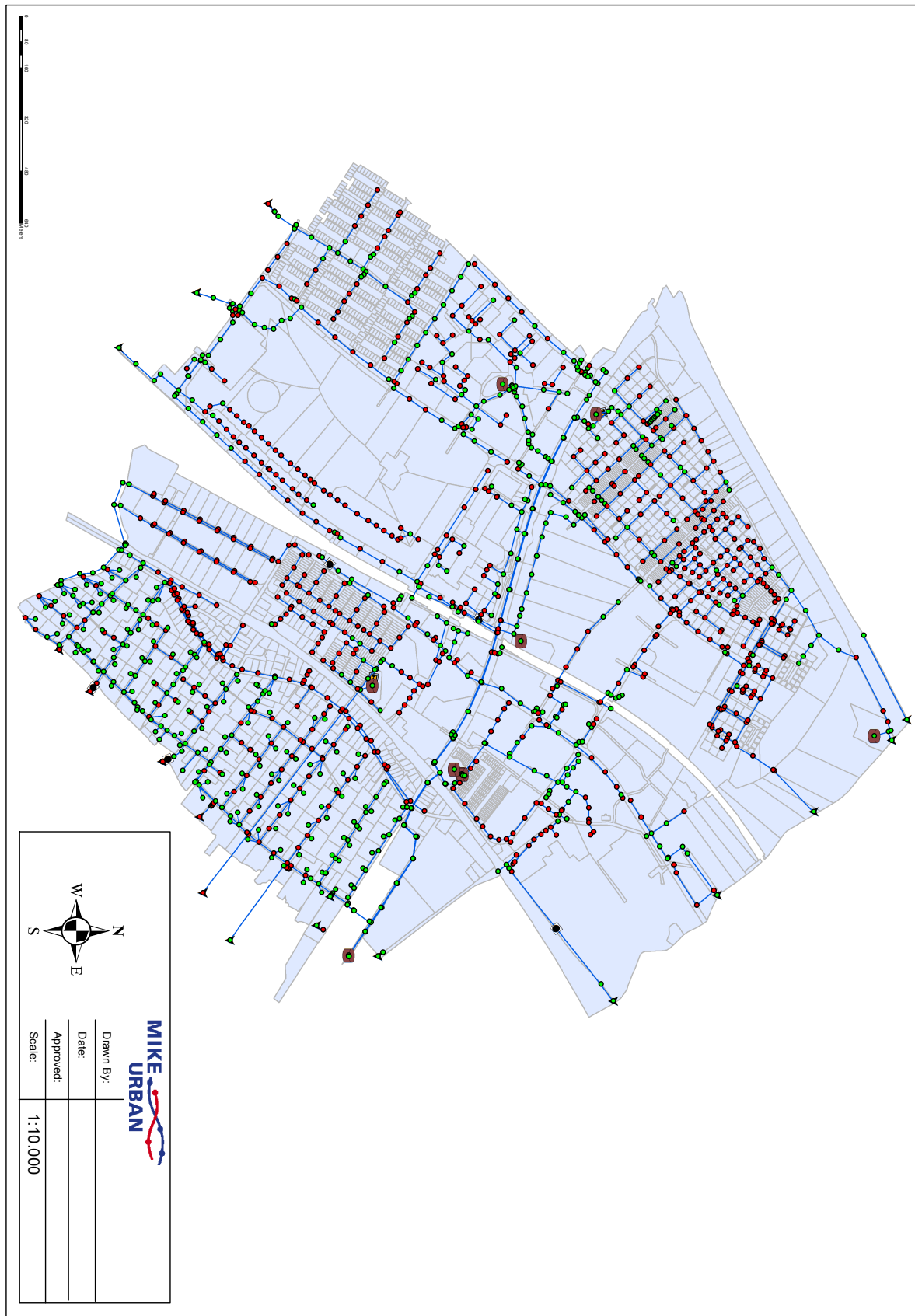
3.4.1 Undersøgelse af funktionskrav

Resultatet af modellerne, der er beregnet med CDS-regn for 1 og 5 års gentagelsesperiode med klimafaktor, kan ses på figur 3.8 og 3.9. Det er valgt at simulere modellen med CDS-

regn for at verificere om det eksisterende afløbssystem overholder de optalte funktionskrav.



Figur 3.8: Fyldningsgraden af ledninger i Ishøj By ved en CDS-regn med 1 års gentagelsesperiode og med klimafaktor. De røde ledninger repræsenterer at ledningerne er fyldtløbende i simuleringsperioden. De grønne ledninger repræsenterer at ledningerne ikke er fyldtløbende i simuleringsperioden.



Figur 3.9: Opstuvning til terræn ved en CDS-regn med 5 års gentagelsesperiode og med klimafaktor. De røde punkter repræsenterer at vandstanden i brønden er over kritisk niveau i løbet af simuleringsperioden. De grønne punkter repræsenterer at vandstanden i brønden ikke kommer over kritisk niveau i løbet af simuleringsperioden.

Det ses på resultatet af modellen simuleret med 1 års gentagelsesperiode (med klimafaktor), at stort set alle ledninger er fuldtløbende i løbet af simuleringsperioden. Den samme situation ses også på resultatet af modellen, der er simuleret med 5 års gentagelsesperiode (med klimafaktor), hvor der er opstuvning til terræn i omkring halvdelen af brøndene i modellen.

Resultatet af disse to simuleringer virker tvivlsomt, da separatsystemet burde være dimensioneret til at kunne klare en 1 og 5 års hændelse. Samtidig ses det på Figur 3.9, der viser opstuvning til terræn, at der i flere yderpunkter (i starten af en ledningsstrækning) er opstuvning til terræn. Hvis der allerede er problemer i starten af en ledningsstrækning, så kunne det godt tyde på, at der er nogle ledningsstrækninger, befæstelsesgrader, el. lign. i modellen som ikke passer. Da afløbssystemet er lavet omkring 1970'erne, er afløbssystemet i Ishøj højst sandsynligt dimensioneret efter en kasseregn med den rationelle metode eller tid-areal metoden, hvilket kan forklare hvorfor der er så mange fuldtløbende ledninger samt opstuvning til terræn i de mange brønde.

Resultatet af de to simuleringer kørt igennem for CDS-regn uden klimafaktor kan findes i bilag B. De to figurer i bilaget viser stort set samme situation som de ovennævnte.

I skrift 27 [Spildevandskomiteen, 2005] beskrives det, at beregningsniveau 2, der anvender CDS-regn, kun bør benyttes for systemer, der er ukomplicerede, og hvor afstrømningsbilledet er forholdsvis enkelt. Samtidig beskrives det at beregningsniveau 2 ikke bør benyttes, hvis der i modellen findes:

- Store ledninger med ringe fald der virker mere som magasineringsvolumen end som transportledninger
- Bassiner, der i dominerende grad bestemmer afstrømningen
- Vandbremsere
- Automatisk styring
- Ledningsstrækninger, der er permanent vandfyldte

Da den udleverede model er meget stor og indeholder mange forskellige elementer er der ikke dannet et overblik over hvilke af de ovenstående elementer der indgår i modellen. Desuden anbefales det ved systemer der involverer andet end blot brønde og ledninger, at niveau 3 bør tages i anvendelse. Derfor er det valgt også at bruge beregningsniveau 3, der bruger historisk regn, da der ikke findes nogen begrænsning på anvendelse af beregningsniveau 3 [Spildevandskomiteen, 2005].

Gentagelsesperiode ved historisk regn

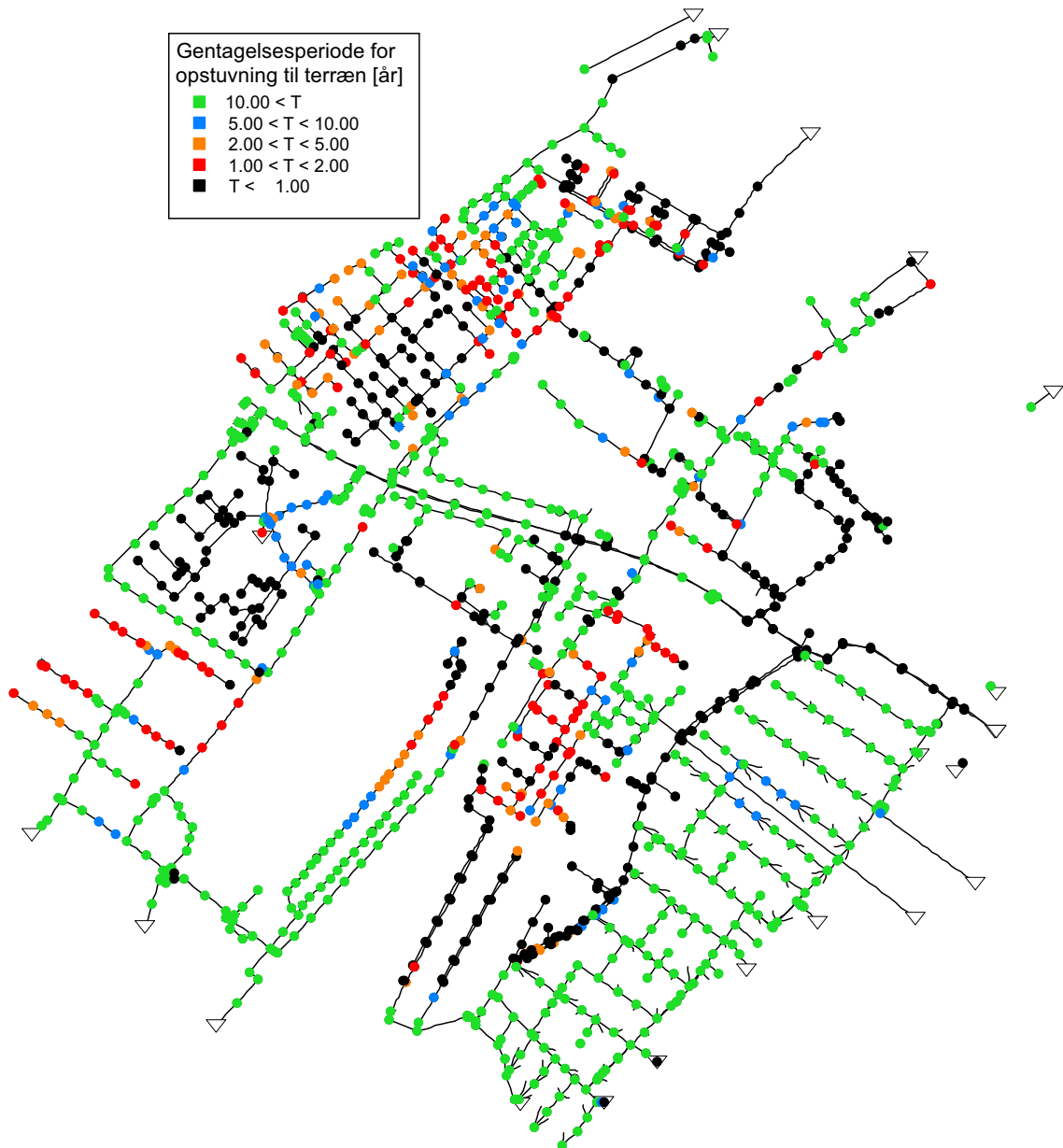
På figur 3.10 ses resultatet af LTS simuleringen, hvor gentagelsesperioden for fuldtløbende rør vises. Det fremgår, at der på flere strækninger forekommer fuldtløbende rør oftere end minimumskravet anbefaler, hvor det nogle steder er med en gentagelsesperiode under ét år. Dette betyder, at afløbssystemer på enkelte strækninger er underdimensioneret, hvilket kan give anledning til opstuvning på de kritiske strækninger. Der skal dog tages højde for, at de givne minimumskrav gælder for dimensionering ved beregningsniveau 1, hvortil der anvendes kasseregn. Derfor er de simulerede gentagelsesperioder ikke fuldstændig sammenlignelige med minimumskravet herfor.

Specielt afløbssystemet i Gadekæret er underdimensioneret, idet størstedelen af regnvandsledningerne i boligområdet er fuldtløbende oftere end det anbefalede funktionskrav.



Figur 3.10: Gentagelsesperioder for fuld udnyttelse af rørkapacitet i Ishøj.

På figur 3.11 ses resultatet af LTS simuleringen, hvor gentagelsesperioden for opstuvning til terræn for de enkelte brønde vises. Det ses, at størstedelen af brøndene overholder kravene, men at der på enkelte strækninger er problemer med opstuvning til terræn - nogle steder årligt. Der ses tydeligt en sammenhæng mellem overskridelse af fuldtløbende rør og opstuvningsproblemer, da de kritiske strækninger forekommer de samme steder. Den samme situation er gældende for Gadekæret, hvor der i størstedelen af brøndene er opstuvning til terræn oftere end hvert år.



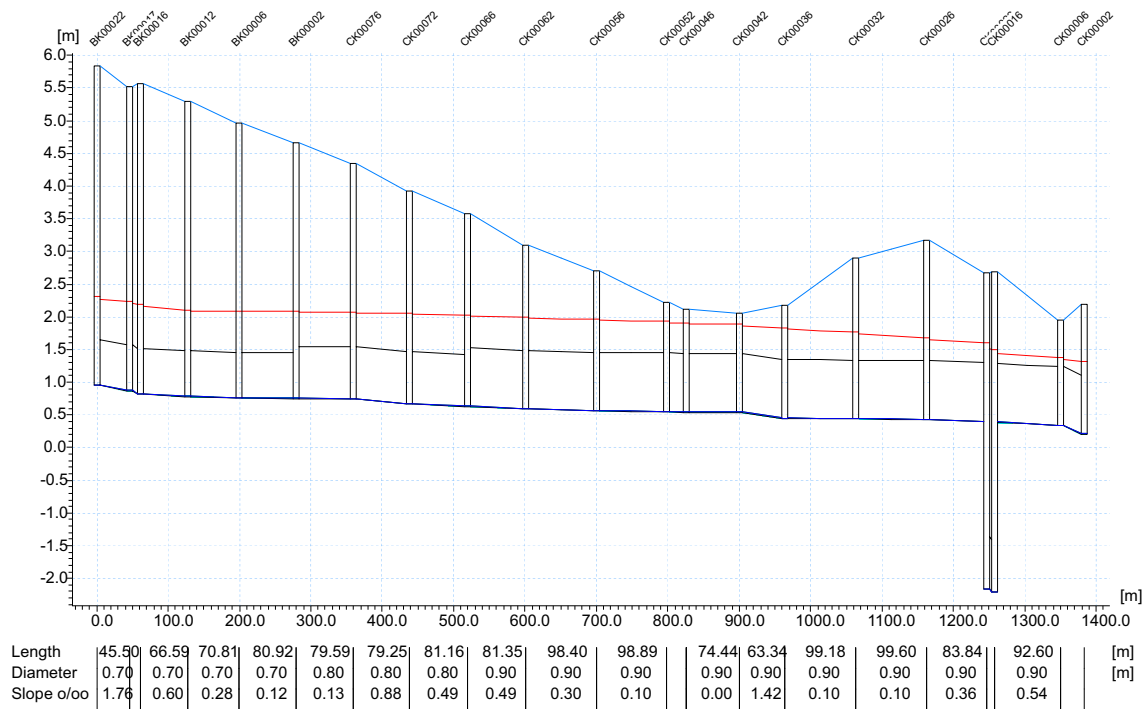
Figur 3.11: Opstuvning til terræn ved gentagelsesperioder på 1, 2, 5 og 10 år for brøndende i Ishøj By.

For de rørstrækninger, som ikke overholder de gældende krav for opstuvning til terræn, kan det være nødvendigt at ændre på afløbssystemet. Det kan dog diskuteres, hvorvidt der er en usikkerhed omkring de udregnede gentagelsesperioder. Selvom simuleringen er lavet på baggrund af regndata fra en periode på 22 år, så bør regnsrækkerne være 3-10 gange så lange som gentagelsesperioden, der ønskes undersøgt. Dette er nødvendigt for, at det statistiske grundlag er i orden [Nielsen og Thorndahl, 2013]. Dette er dog kun gældende for gentagelsesperioderne 5 og 10 år, da det statistiske grundlag er i orden for gentagelsesperioderne 1 og 2 år.

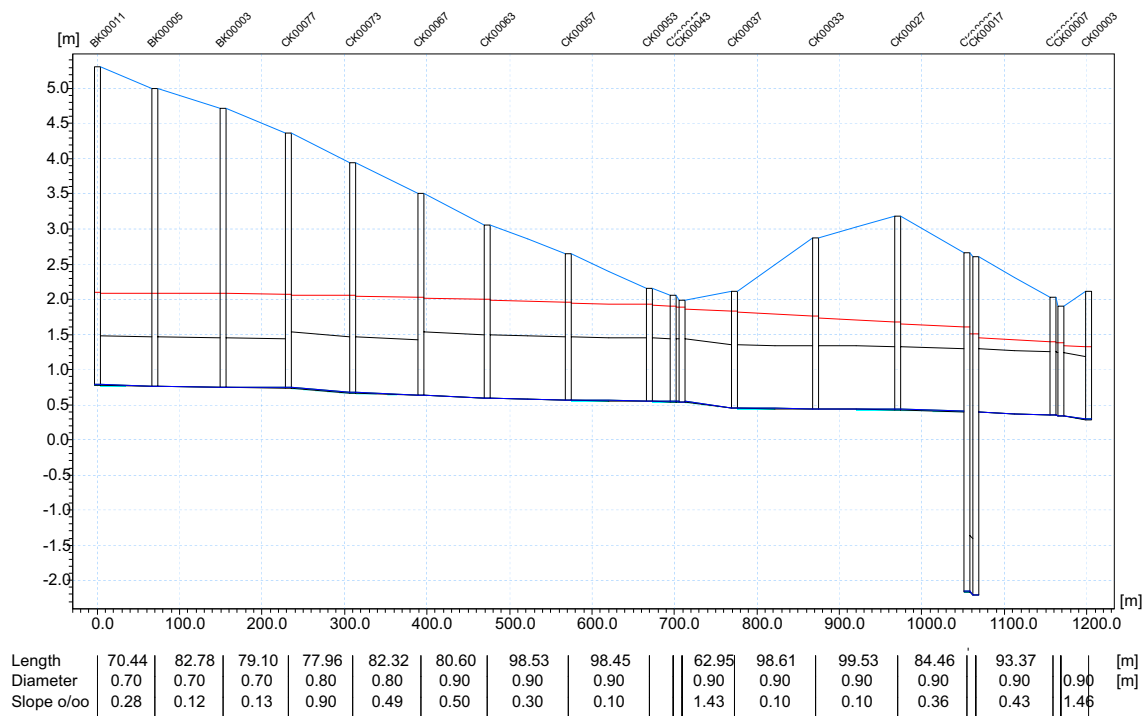
3.4.2 Flaskehalse på hovedledningen

Længdeprofilen på de to hovedledninger betragtes - se figur 3.12 og 3.13. Den røde streg på figurerne viser det maksimale trykniveau (peak trykniveauet) der forekommer

i løbet af simuleringen beregnet med en CDS-regn med gentagelsesperiode på 1 år og med klimafaktorer.



Figur 3.12: Længdeprofil af den nordlige hovedledning. Den røde streg viser peak trykniveauet for simuleringen med CDS-regn ($T = 1$ år, med klimafaktor).



Figur 3.13: Længdeprofil af den sydlige hovedledning. Den røde streg viser peak trykniveauet for simuleringen med CDS-regn ($T = 1$ år, med klimafaktor).

Det ses af de to figurer, at trykniveauet i nærheden af de ”midterste” brønde er meget tæt på terræn. Dette må anses som værende en flaskehals, da det er svært at få meget mere vand igennem uden at der kommer opstuvning på terræn. Derudover ligger hovedledningerne generelt over hele strækningen med et meget lille fald, hvilket også må antages at være en flaskehals i sig selv.

Da de to figurer er lavet på baggrund af peakniveauet, så kan man ikke nødvendigvis tage to punkter ved siden af hinanden og sige at der her løber vand imellem. Dette skyldes, at det ikke nødvendigvis forgår på samme tidspunkt. Derfor kan selve dynamikken i hovedledningerne ikke aflæses ud af figuren, men man kan blot konstatere hvor den højeste vandstand bliver i løbet af hændelsen/simuleringen.

3.5 Opsummering

I dette kapitel blev det nuværende afløbssystem i Ishøj analyseret. Det viste sig, at afløbssystemet ikke overholder de gældende dimensioneringspraksis, idet der på flere strækninger forekommer fuld udnyttelse af rørkapacitet oftere end hvert år der er det anbefalede, samt at der ligeledes i flere af brøndene forekommer opstuvning til terræn oftere end det anbefalede serviceniveau på 5 år. Samme situation er gældende i Gadekæret, hvor hoveddelen af ledninger og brønde ikke overholder det anbefalede serviceniveau.

Oversvømmelsesanalyse af Gadekæret 4

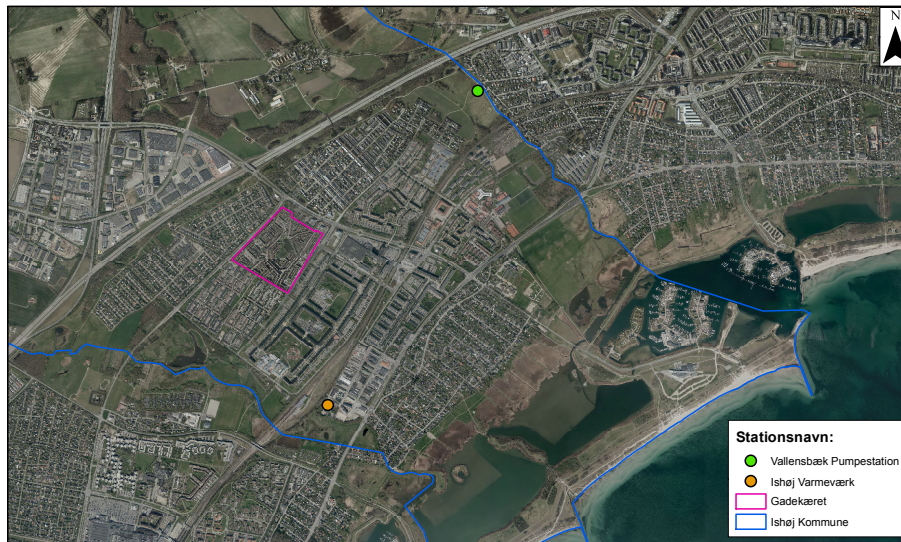
I forrige kapitel blev det nuværende afløbssystem i Ishøj By analyseret. Det blev vist at der på dele af strækningerne på hovedledningerne er flaskehalse, som medvirker til den hydrauliske belastning af systemet.

I dette kapitel skal det forsøges at eftervise de oversvømmelser der ramte Gadekæret som følge af skybruddet d. 2. juni 2014. Simulering af oversvømmelserne i Gadekæret laves med programmet MIKE FLOOD (MF) og skal bruges til videre bearbejdning af klimatilpasning af området. MF består af en række af forskellige modelleringsværktøjer; herunder MIKE URBAN, MIKE 11 og MIKE 21.

Modellen anvendt til MF simuleringerne findes i CD-bilag *Efter digitalisering*.

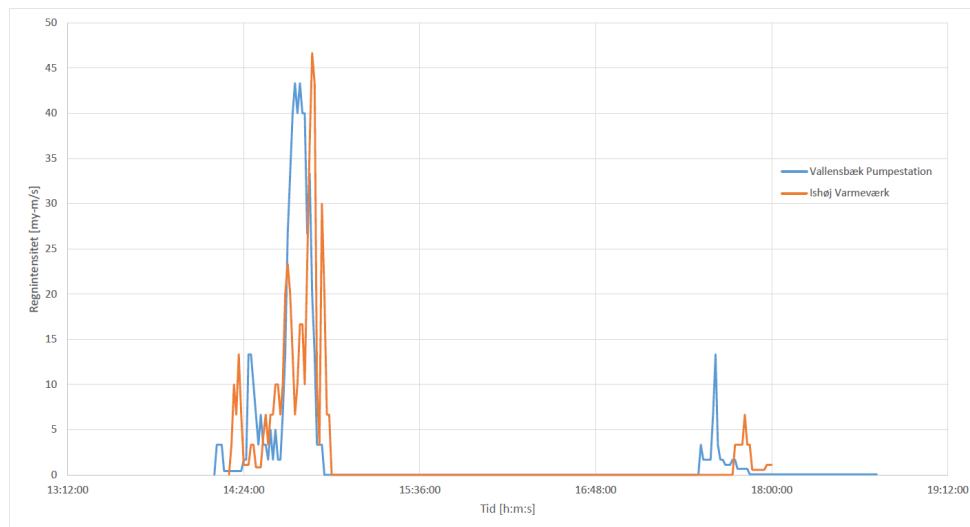
4.1 Regndata fra d. 2. juni 2014

Der er til simulering af regnhændelsen d. 2. juni 2014 hentet regndata fra Spildevandskomitéens regnmålersystem [DMI, 2015]. Der er placeret to regnmålere indenfor Ishøj Kommunes grænse. De to regnmålere er placeret hhv. ved Vallensbæk Pumpestation og ved Ishøj Varmeværk. Deres placering i forhold til Gadekæret kan ses på figur 4.1. De to regnmålere er placeret forholdsvis tæt på Gadekæret, men regnmåleren ved Ishøj Varmeværk er dog placeret lidt tættere på Gadekæret end regnmåleren ved Vallensbæk Pumpestation.



Figur 4.1: Placering af de to regnmålere i forhold til Gadekæret. De to regnmålere er placeret ved hhv. Ishøj Varmeværk og Vallensbæk Pumpestation.

Sammenlignes regndataen fra regnhændelsen d. 2. juni 2014 for de to regnmålere, se figur 4.2, ses det, at de to regndata er forskudt lidt fra hinanden, men ellers ligner hinanden meget. Da regnmåleren ved Ishøj Varmeværk er tættest på Gadekæret, og da regndataen ligner hinanden, anvendes regndataen fra Ishøj Varmeværk til MF simuleringen.



Figur 4.2: Regndata fra regnhændelsen d. 2. juni 2014 for regnmålerne ved hhv. Ishøj Varmeværk og Vallensbæk Pumpestation. To regnhændelser forekom denne dag.

Den første af de to regnhændelser fra d. 2. juni 2014, vist på figur 4.2, har en regnvarighed på 41 minutter, og der blev målt ca. 28,8 mm nedbør ved Ishøj Varmeværk. Gentagelsesperioden for skybruddet svarer til en ca. 12 års hændelse (ved en 10 minutters regnvarighed og en intensitet på 240 l/(s ha)).

4.2 Antagelser/Input til MF model

Terrænmodel

I MF kobles ledningsnetværket og en overflademodel sammen til én model, og derfor skal der indsættes en terrænmodel, som MF bruger til at beregne, hvordan vandet samles/ledes oven på terræn. Der er en række forskellige terrænmodeller tilgængelige med forskellige cellestørrelser. Den mest anvendte terrænmodel har hidtil været med en cellestørrelse på 1,6 m, men terrænmodeller med cellestørrelser på 0,4 m er efterhånden ved at være tilgængelige (dog kun på Sjælland i skrivende stund). MF modellen bliver kørt igennem med både en terrænmodel på 1,6 m og 0,4 m; både for at kunne sammenligne resultaterne for de to, men også for at kunne undersøge om det er den ekstra beregningstid værd at køre med en meget finere terrænmodel. Den anvendte terrænmodel med en cellestørrelse på 1,6 er lavet på baggrund af terrænmodellen med 0,4 m cellestørrelse. Dette gøres automatisk i MU, hvor der laves en midling af terrænkoten for hver celle. Grunden til at det er valgt at benytte 0,4 m terrænmodellen som grundlag for 1,6 m terrænmodellen frem for den tilgængelige 1,6 m terrænmodel fra Miljøministeriet [2015] er, at udgangspunktet derved er det samme, når de to resultater skal sammenlignes.

Vand i modellen

For at reducere beregningstiden af modellen er det valgt at ændre på, hvornår modellen skal medtage de enkelte celler i modellen. Dette gøres ved at ændre på 'Drying depth' og 'Flooding depth'. *Drying depth* beskriver, hvornår den enkelte celle skal regnes som tør og dermed ikke medtages i beregningen af overfladestrømningen. *Flooding depth* beskriver modsat, hvornår den enkelte celle skal regnes som oversvømmet og dermed medtages i beregningen. Standardværdierne og de anvendte værdier kan ses i tabel 4.1.

	Standardværdi	Anvendt værdi
Drying depth [m]	0,002	0,02
Flooding depth [m]	0,003	0,05

Tabel 4.1: Ændringen af de to parametre; Drying depth og flooding depth, for at reducere simuleringstiden.

Tidsskridt

Der er til simulering af de to modeller valgt at bruge små tidsskridt. For modellen med 1,6 m terrænmodel er der brugt et tidsskridt på 0,2 s, mens der for modellen med 0,4 m terrænmodel er anvendt tidsskridt på 0,1 s. Grunden hertil er, at de to modeller er ustabile (for meget vand i systemet), hvis de køres med højere tidsskridt.

4.3 Resultat af MF model

Resultat af model med cellestørrelse på 1,6 m

Resultatet for MF modellen med terrænmodel på 1,6 m kan ses på figur 4.3. Figuren viser den maksimale oversvømmelse i simuleringstiden. Modellen er simuleret i en periode, der svarer til den samlede regnvarighed af de to regnhændelser målt ved Ishøj Varmeværk d. 2. juni 2014, hvilket er 3 timer og 42 minutter.



Figur 4.3: Maksimal oversvømmelse i Gadekæret ved regnhændelsen d. 2. juni 2014. Terrænmodellen brugt i denne simulering har en cellestørrelse på 1,6 m.

Da figuren viser den maksimale oversvømmelse i hver celle, betyder det at oversvømmelsen ikke er et udtryk for hvordan oversvømmelsen vil se ud til ét specifikt tidspunkt, men rettere at det er den maksimale vandstand for hver celle til mange forskellige tidspunkter.

Det ses af figur 4.5, at store dele af Gadekæret er oversvømmet af vand. Stort set alle hovedveje i Gadekæret har mellem 2 cm og 20 cm vand liggende. Samtidig er der en stor samling af vand ved hhv. den vestlige og den nordlige parkeringsplads. Det ses også tydeligt, at den nordlige tunnel, der går under Ishøj Parkvej, er oversvømmet. Her ligger mellem 10 cm og 50 cm vand på overfladen. I den sydlige del af Gadekæret, i et kryds mellem tre hovedveje, er der en stor ansamling af vand. Denne observation blev også gjort d. 2. juni 2014, som vist på figur 4.4, hvor fællesarealet blev oversvømmet som beskrevet i afsnit 2.3.



Figur 4.4: Oversvømmelse af et fællesareal i den sydlige del af Gadekæret d. 2. juni 2014 [Danmarks Radio, 2014].

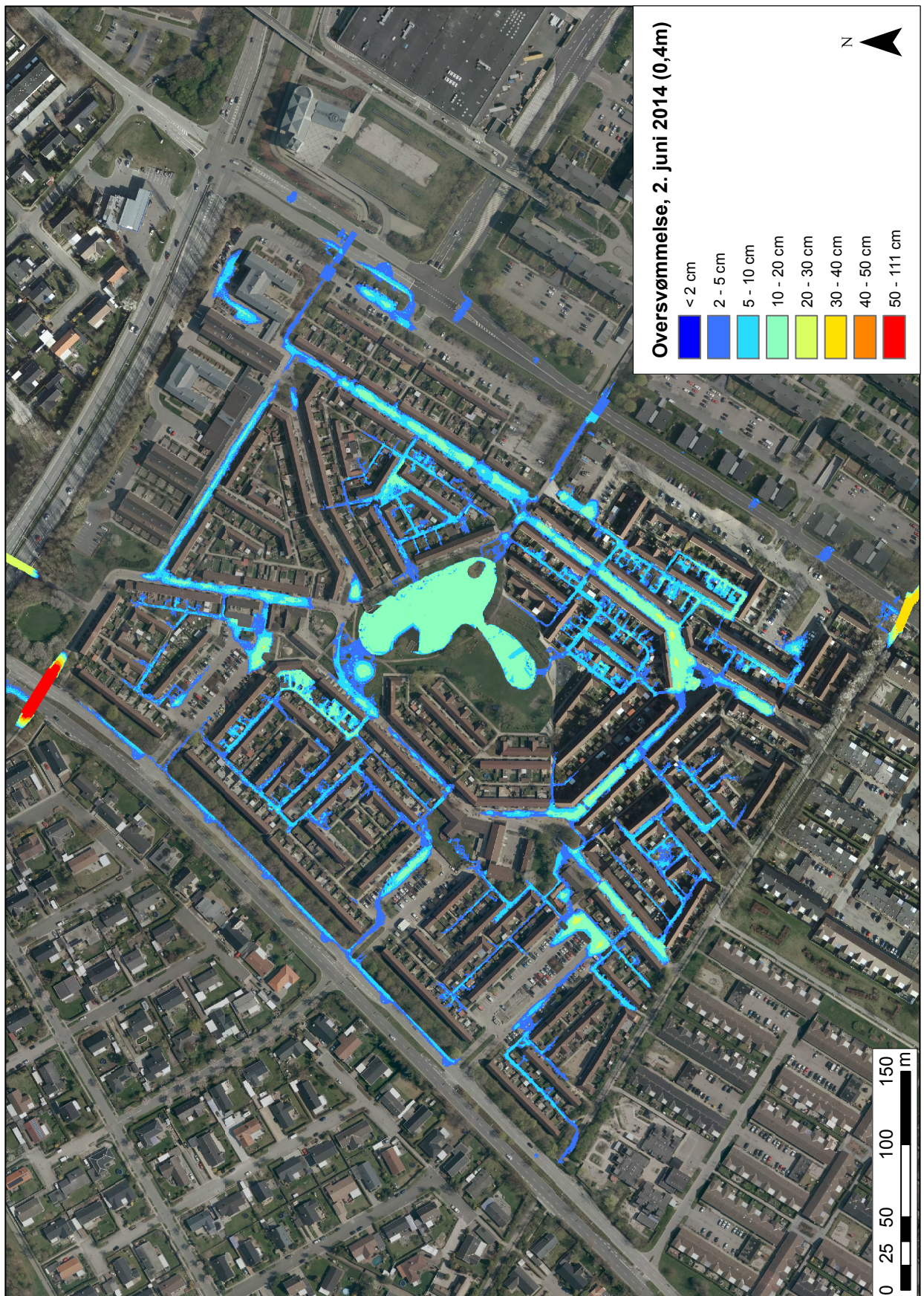
Sammenlignes resultatet af MF simuleringen med topografien beskrevet i afsnit 2.2, der viste, at der overordnet set var en hældning fra vest mod øst/nordøst, så burde det umiddelbart forventes, at vandet ville samles i den nordøstlige del af Gadekæret. Dette er dog umiddelbart ikke tilfældet. Årsagen hertil er formentligt, at terrænhældningen er så lille, at vandet blot vil fordele sig på arealerne omkring brøndene. En anden forklaring kunne også være, at den første regnhændelse var overstået forholdsvis hurtigt - efter ca. 40 minutter - og vandet derfor har kunnet strømme tilbage i afløbssystemet, inden det har samlet sig mod øst. Dette virker dog mindre realistisk, da der er faldet 28,8 mm vand på 41 minutter og afløbssystemet derfor har været overbelastet i lang tid efterfølgende.

Oversvømmelsesberegningen bekræfter derfor ikke umiddelbart den observation, som Ole Niels Jørgensen fra Ishøj Forsyning havde lavet d. 2. juni 2014, der lød på at vandet samlede sig primært om den østlige del af Gadekæret, hvor der er placeret en tunnel.

Resultat af model med cellestørrelse på 0,4 m

Figur 4.5 viser den maksimale oversvømmelse for MF modellen med en terrænmodel

på 0,4 m. Resultatet af denne simulering viser stort set det samme som resultatet af simuleringen med 1,6 m; dog er detaljeringsgraden noget bedre, hvilket selvfølgelig skyldes opløsningen af terrænmodellen, der er langt mere præcis (16 gange bedre opløsning) end 1,6 m modellen. Resultatet på figur 4.5 viser desuden flere små oversvømmelser på enkelte af de mindre veje i området end figur 4.3, hvilket også kan skyldes den mere detaljerede terrænmodel.



Figur 4.5: Maksimal oversvømmelse i Gadekæret ved regnhændelsen d. 2. juni 2014. Terrænmodellen brugt i denne simulering har en celledørrelse på 0,4 m.

I tabel 4.2 ses endvidere forskellige data af de to modeller kørt igennem med en cellestørrelse på hhv. 0,4 m og 1,6 m, for at vise forskellen i resultatet af de to. Tabellen viser antallet af celler der er oversvømmet, middel oversvømmelsesdybden for alle cellerne, arealet af oversvømmelsen samt volumen af oversvømmelsen. Det ses at der kun er 39 m³i forskel mellem modellen beregnet med en cellestørrelse på 0,4 m og modellen beregnet med en cellestørrelse på 1,6 m, hvilket svarer til en forskel på ca. 1,5 %. Denne forskel må anses som værende ubetydelig og styrker påstanden om at forskellen mellem anvendelse af 0,4 m frem for 1,6 m er for lille til at det kan svare sig at anvende de lange simuleringstider.

	Oversvømmelse (0,4 m)	Oversvømmelse (1,6 m)
Antal oversvømmede celler [-]	204.512	12.420
Middel oversvømmelsesdybde [m]	0,074	0,077
Areal af oversvømmelse [m ²]	32.722	31.795
Volumen af oversvømmelse [m ³]	2.417	2.456

Tabel 4.2: Oversigt over antallet af oversvømmede celler for modellen kørt igennem med en cellestørrelse på 0,4 m og 1,6 m, samt middel oversvømmelsesdybde, areal af oversvømmelse og volumen af oversvømmelse. Forskellen i oversvømmelsesvolumenet er ca. 1,5 %.

Modellen med 1,6 m cellestørrelse tager ca. to timer at køre igennem, mens modellen med 0,4 m cellestørrelse tager ca. 24 timer at køre igennem, og det kan derfor diskuteres hvorvidt resultatet ved den ekstra simuleringstid opvejer den mere end 10 gange så lange simuleringstid. Hvis man samtidig ser på de generelle usikkerheder, der er ved hele modellen, så vil det kunne argumenteres for, at det ville være fint at benytte 1,6 m modellen frem for 0,4 m modellen.

4.4 Opsummering

Uanset hvilken terrænmodel der bruges til MF simuleringen, så kan det konkluderes, at Gadekæret vil have problemer med opstuvning til terræn ved større regnhændelser. Det vil derfor være nødvendigt enten at mindske mængden af regnvand, der ledes til regnvandssystemet, eller at øge kapaciteten i ledningssystemet for at undgå lignende tilstande, som ved skybruddet d. 2. juni 2014.

Problemformulering 5

I de foregående kapitler er afløbssystemet i Ishøj blevet analyseret, og udbredelsen af oversvømmelserne i Gadekæret blev undersøgt for regnhændelsen d. 2. juni 2014. Modellen blev simuleret for CDS-regn og en historisk regnserie, og det blev vist, at afløbssystemet efter nutidens normer ikke overholder serviceniveauet. Dette skaber problemer, specielt ved store regnhændelser, hvor afløbssystemet ikke kan følge med. Flere ledningsstrækninger er fuldtløbende årligt, mens mange brønde har opstuvning til terræn oftere end det anbefalede serviceniveau.

Oversvømmelsesanalysen viste, at store dele af Gadekæret blev oversvømmet under regnhændelsen d. 2. juni 2014. Årsagen til oversvømmelsen skulle findes både i den manglende kapacitet i de to hovedledninger under Ishøj Stationsvej, der modtager regnvand fra ni store oplande, men også i de meget små rørdimensioner i afløbssystemet i Gadekæret.

På baggrund af de omtalte problemstillinger er følgende problemformulering opstillet:

”Hvordan kan Gadekæret klimatilpasses, således at området ikke oversvømmes ved store regnhændelser?”

Hertil kan følgende underspørgsmål stilles:

- *Hvilke mulige typer af anlæg til lokal nedsivning af regnvand (LAR) findes der, og hvilke kan anvendes i området?*
- *Er området egnet til nedsivning af regnvand?*
- *Er der mulighed for udvidelse af gadekæret eller anlæggelse af nye regnvandsbassiner?*
- *Hvordan integreres klimatilpasningselementerne i modellen?*
- *Hvilken effekt har klimatilpasningen på oversvømmelserne i Gadekæret?*

5.1 Afgrænsning

På trods af at analysen af afløbssystemet viste, at der flere steder rundt omkring i Ishøj er opstuvning til terræn, er det i rapportens løsningsdel valgt kun at se på Gadekæret. Det skyldes også at Ishøj Forsyning har et ønske om at bevare de to Ø900 ledninger,

hvorfor det kun anses som relevant at se på Gadekæret. Der afgrænses derfor fra at se på klimatilpasning af de otte andre oplande, der bidrager med regnvand til de to Ø900 mm hovedledninger.

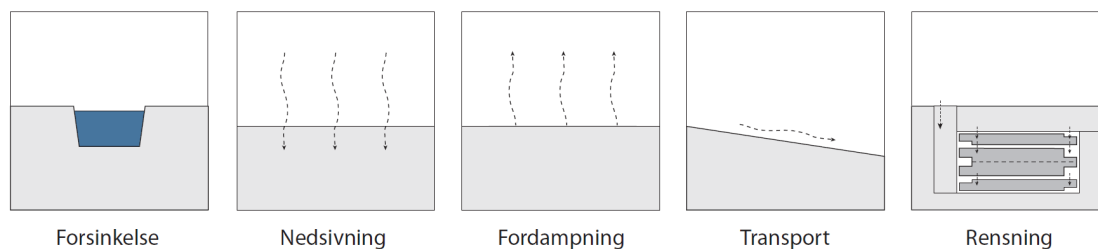
Lokal afledning af regnvand (LAR) 6

I kapitel 4 blev det eftervist, at store dele af Gadekæret stod under vand ved skybruddet d. 2. juni 2014. For at undgå lignende situationer i fremtiden vil der blive undersøgt forskellige muligheder ved lokal håndtering af regnvand. Dette kapitel vil derfor omhandle forskellige løsninger indenfor lokal afledning af regnvand (LAR). Kapitlet er skrevet på baggrund af Backhaus [2008] og Teknologisk Institut [2012].

6.1 Beskrivelse af LAR

Formålet med LAR er at afskære regnvandet fra kloakken, hvorved afløbskapaciteten sikres ved at anvende lokal afledning af regnvand. LAR dækker over et princip for håndtering af regnvand, hvor de traditionelt lukkede rørsystemer suppleres med eller erstattes af forskellige teknikker til lokal afledning af regnvand, såkaldte LAR-elementer. 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 [Backhaus, 2008]. LAR-elementerne kan implementeres alene eller i kombination, som en såkaldt trappeløsning, hvor forskellige LAR-elementer sammenkobles. Hvis LAR-elementerne etableres som grønne områder såsom grøfter, regnbede eller grønne tage i et område, virker de som naturelementer i byrummet.

LAR-elementer er primært baseret på forsinkelse og nedsivning, og det er alene disse to mekanismer, afvandingsløsninger dimensioneres efter. Fordampning foregår for langsomt til at spille nogen rolle for håndteringen af de dimensionsgivende regn, omend fordampning fra f.eks. infiltrationsplæner og grønne tage kan spille en vigtig rolle for et områdes samlede vandbalance, herunder grundvandsstand. Ved design af LAR-løsninger har man udover forsinkelses- og nedsivningselementer brug for elementer til transport af vandet, og i nogle tilfælde desuden særlige elementer til rensning af vandet. Udover de tekniske elementer indeholder LAR nærliggende muligheder for at udnytte regnvandet mere fremadrettet end konventionel bortledning; dels til at opnå en mere naturlig vandbalance, dels til at skabe stærke blå og grønne strukturer i byen. De tekniske principper, der overordnet beskriver LAR-elementer, er illustreret på figur 6.1.



Figur 6.1: Opbygning af LAR-løsninger baserer sig på elementer til (fra venstre): forsinkelse (midlertidig magasinering, opstuvning), nedsivning i jord (infiltration), fordampning, transport, og rensning [Teknologisk Institut, 2012].

Forsinkelselementer indenfor LAR er tilbageholdelse af det regnvand, der afstrømmer til afløbssystemet. Ved at benytte forsinkelselementer reduceres peakflowet, hvorved oversvømmelser samtidig mindskes. Som eksempel på forsinkelselementer kan nævnes tørre, våde eller lukkede bassiner. Forsinkelselementerne 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. I nogle tilfælde tilkøbes et forsinkelselement. For eksempel kan et bassin etableres i forbindelse med nedsivningselementet, så vandet ikke infiltreres med tilsvarende hastighed, som det tilstrømmes til elementet. Eksempler på nedsivningselementer er regnbede, faskiner, infiltrationsbassiner, kunstige vådområder, nedsivning på grønne arealer, permeable belægninger, vadier samt grøfter.

Fordampningselementet er, som tidligere nævnt, primært grønne tage, hvor der sker en fordampning af det regnvand, 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, som navnet antyder, regnvandet til et andet sted, hvor der f.eks. er bedre mulighed for nedsivning eller forsinkelse. Det er derfor oplagt at bruge transportelementer på steder, hvor der ikke er mulighed for de ovennævnte elementer. Der findes forskellige muligheder til at lede vandet, f.eks. 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 forurenede regnvand ikke afledes til recipienten. Derfor skal regnvandet renses, inden det bortledes. Eksempler på renserelementer er sandfang, filtrering, bassiner og olieudskillere. [Backhaus, 2008]

Løsningsforslag 7

I forrige afsnit blev forskellige LAR-elementer beskrevet. Med afsæt i disse elementer samt oversvømmelsesanalysen i kapitel 4, vil der i dette kapitel blive lavet nogle forslag til, hvordan oversvømmelserne i Gadekæret kan reduceres.

7.1 Principper for klimatilpasning af Gadekæret

Ud fra de i kapitel 6 nævnte LAR-principper er der lavet tre forskellige principper for de løsningsforslag, der senere skal bearbejdes. De tre principper til klimatilpasning af Gadekæret dækker over:

1. Forsinkelse og nedsivning
2. Transport og forsinkelse
3. Transport, forsinkelse og nedsivning

De to første forslag dækker hver over henholdsvis nedsivning og transport, mens de begge har forsinkelse som et LAR-element. Det tredje forslag er en kombination af de to forrige og indeholder derfor både transport, forsinkelse og nedsivning. En skitse af hvert princip kan ses på figur 7.1, 7.2 og 7.3.



Figur 7.1: Første princip for klimatilpasning af Gadekæret: Forsinkelse og nedsivning.



Figur 7.2: Andet princip for klimatilpasning af Gadekæret: Transport og forsinkelse.



Figur 7.3: Tredje princip for klimatilpasning af Gadekæret: Transport, forsinkelse og nedsivning.

Tanken bag *princip 1* er, at man ved at lave nedsivning i store dele af området kan reducere oversvømmelserne i Gadekæret. Nedsivningen skal primært foregå ved at anlægge permeabel belægning på de større veje og faskiner i de haver, der har størst risiko for at blive oversvømmet.

Det blev vist i oversvømmelsesanalysen (i kapitel 4), at der ligger der rigtigt meget vand på de større veje i Gadekæret. Derfor er tanken i *princip 2*, at man ved at anlægge render/kanaler/trug i vejene kan lede vandet ned til gadekæret, hvor det kan opmagasineres. Det vil muligvis være nødvendigt at udvide gadekæret.

I *princip 3* kombineres de to forrige forslag; transport af regnvand ved hjælp af render/kanaler/trug i vejene ned til gadekæret, hvor det kan opmagasineres. På de mindre veje og i baghaver laves der nedsivning i form af faskiner og/eller permeabel belægning.

Inden der kan arbejdes videre med de tre principforslag til klimatilpasning af Gadekæret, er det nødvendigt at undersøge følgende; er der plads til at lave en rende i vejene? Kan gadekæret udvides, så det kan modtage mere vand? Hvordan er forholdene ift. nedsivning? Disse spørgsmål undersøges derfor i de følgende afsnit inden videre bearbejdning af løsningsprincipperne.

7.1.1 Anlæggelse af transportelement

For at der kan anlægges en rende/kanal/trug, er det selvfølgelig en nødvendighed, at vejen er bred nok. Figur 7.4 viser bredden på en af hovedvejene i Gadekæret. Disse veje er næsten 7 meter bredde, og det må derved antages, at der er god plads til at anlægge et transportelement i hovedvejene - selvfølgelig afhængig af bredden på transportelementet. Ser man derimod på de mindre veje og stier, vist på figur 7.5 og 7.6, ses det tydeligt, at der ikke er plads til anlæggelse af større transportelementer.



Figur 7.4: Vejbredden på de hovedvejene i Gadekæret.



Figur 7.5: Mindre veje mellem huse i Gadekæret.



Figur 7.6: Små stier mellem haverne i Gadekæret.

7.1.2 Udvidelse af gadekæret/nuværende regnvandsbassin

Hvis gadekæret skal modtage større mængder vand i fremtiden, vil det muligvis være nødvendigt at udvide arealet af søen. Vandspejlet i gadekæret ligger normalt i kote 2,4, mens de omkringliggende huse ligger i kote 3,3. Søens nuværende areal er ca. 4500 m². Meget groft sagt kan der altså være næsten 4000 m³ ekstra vand i det nuværende gadekær, hvis man ser bort fra at vandet kan sprede sig ud på de omkringliggende arealer. Stiger vandspejlet i gadekæret til kote 3,3 vil det selvfølgelig betyde at de omkringliggende boliger vil få vand ind af døren, hvilket selvfølgelig ikke er hensigtsmæssigt - de ekstra 4000 m³ er altså et worse-case scenarie. Ønskes et større areal, er der også mulighed for dette. På figur 7.7 er vist en grov skitse af hvor meget gadekæret kan udvides. Arealet er ca. 3200 m², og der kan derved opnåes ca. 2800 m³ ekstra volumen. Udvidelsen af gadekæret tænkes udgravet så det udgravede areal har samme bundkote som det nuværende bassin, hvilket

er ca. en meter dybt. Da gadekæret ligger med permanent vandspejl, vil det ekstra volumen være fra kote 2,4 til 3,3.



Figur 7.7: Mulighed for udvidelse af gadekæret. Det skraverede areal er ca. 3200 m². Det ekstra volumen er fra kote 2,4, som er det nuværende vandspejl og til kote 3,3, som er koten de omkringliggende huse ligger i.

Ønskes hele volumenet udnyttet vil det være nødvendigt at anlægge et overløb ved bassinet, så vandet ledes et andet sted hen fremfor at oversvømme de omkringliggende boligere.

7.1.3 Mulighed for etablering af mindre bassiner

Foruden udvidelse af gadekæret, er der også mulighed for etablering af nogle mindre bassiner rundt omkring i Gadekæret. Figur 7.8 viser to mindre arealer, der i dag er anlagt som rekreative fællesarealer. Oversvømmelsesanalysen i kapitel 4 viste bl.a., at der omkring disse to arealer var oversvømmelse. Derfor vil det være oplagt at lave de to rekreative fællesarealer om til to mindre bassiner.

Overfladearealet af det nordlige fællesareal er ca. 176 m², mens overfladearealet af det sydlige fællesareal er ca. 250 m². De to mindre bassiner tænkes udgravet med en maksimal hældning på 1:5.



Figur 7.8: Placering af de to rekreative fællesarealer, der potentielt kan laves om til mindre bassiner.

7.1.4 Nedsivningsforhold i Gadekæret

For at regnvandet kan nedsives i Gadekæret, er der en række forhold, der skal være opfyldt. For det første, hvis der skal anlægges faskiner, så skal der først indhentes en nedsivningstilladelse fra kommunen, før disse må anlægges. Tilladelsen gives på baggrund af en række forhold, der skal være opfyldt, f.eks. skal dimensionering, placering og udførelsen af faskinen sikre, at der ikke opstår overfladisk afstrømning eller gener i øvrigt. Der skal være en afstand til vandindvindingsanlæg og recipienter på mindst 25 m. Desuden skal der være en afstand til beboelseshus med/uden kælder på 5 m [Miljøministeriet, 1999].

Ud over indhentelse af tilladelse, er det også vigtigt at vide noget om forholdene omkring grundvand. Ved anlægning af faskiner anbefales det, at faskinen etableres over grundvandsspejlet, da der ikke kan ske udsivning fra sideflader under grundvandsspejlet. Det anbefales desuden, at der er ca. en meter fra nedsivningselementet til grundvandsspejlet, primært af hensyn til frostfri dybde, men også for at have plads til selve konstruktionen [Teknologisk Institut, 2015a].

Figur 7.9 viser koten på grundvandsspejlet i boringer i nærheden af Gadekæret, samt koten på vandsspejlet i gadekæret. De to boringer, der er nærmest Gadekæret, er pejlet tilbage i 1942 og 1958 i henholdsvis januar og august måned. Der er desuden fire boringer, der

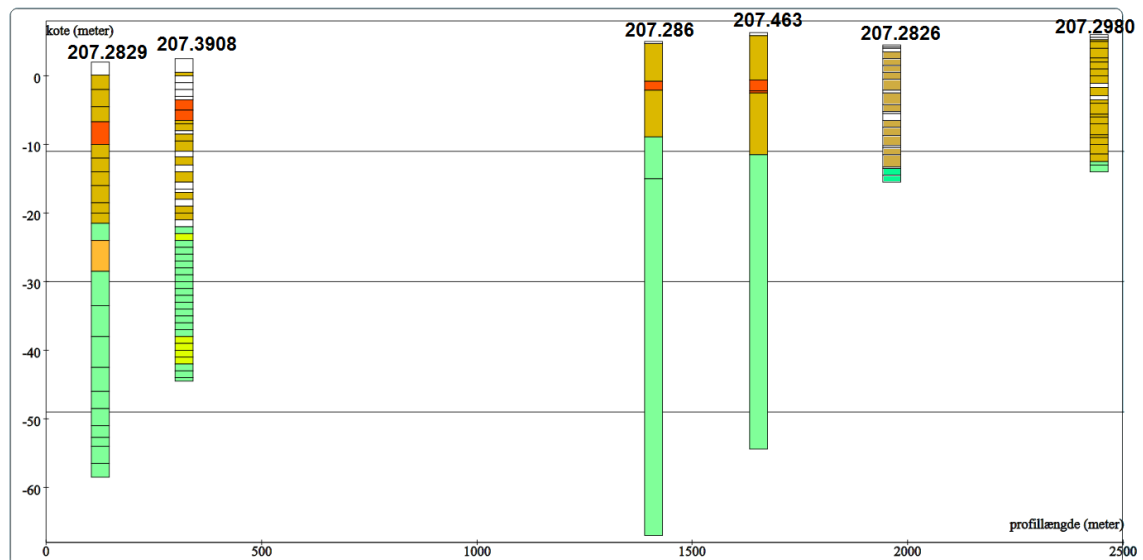
er pejlet i henholdsvis 1991, 2004, 2006 og 2014, men som er placeret længere væk fra Gadekæret. De seks pejlinger varierer meget efter årstal og årstid, som vist på figuren, hvilket gør det svært at sige præcist hvor grundvandsspejlet ligger. Det må dog formodes, at grundvandsspejlet i Gadekæret er meget tæt på koten i gadekæret (2,42 m), eller i hvert fald varierer meget lidt, og derved ligger i en afstand af 0,5-2,5 m under terræn - sammenlignet med topografien i afsnit 2.2. Den korte afstand til grundvandsspejlet begrænser brugen af større/dybde faskiner.



Figur 7.9: Oversigt over boringer omkring Gadekæret samt vandspejlskoten på gadekæret. Hver boring har tre labeltekster. Den øverste er den pejlede kote på grundvandsspejlet. Derefter er datoen for pejlingen. Sidst er Terrænkoten for boringen.

Det sidste forhold, som også er et af de vigtigste, er jordbundsforholdene. Har jordbunden en lille hydraulisk ledningsevne, er jorden mindre egnet til nedsivning end en jord med høj hydraulisk ledningsevne. Sand og grus, der har en høj hydraulisk ledningsevne, er derfor meget velegnet, mens morænejord med ler, der har en lav hydraulisk ledningsevne, er meget lidt velegnet [Teknologisk Institut, 2015b].

Figur 7.10 viser boreprofilen for de seks boringer omtalt ovenfor. Figuren viser, at der er store forekomster af ler i de øverste 10-15 meter.



Figur 7.10: Jordbundsforholdene i de seks borer. Der er store forekomster af ler og moræneler i de øverste 10-15 meter af jordbunden. Den brune farve viser, hvor der er ler, den røde/orange viser, hvor der er sand og den grønne viser, hvor der er kalk/kridt [GEUS, 2015].

Kombinationen af den korte afstand til grundvandsspejlet og den store forekomst af ler i jordbunden begrænser brugen af nedsvivningselementer i Gadekæret, da regnvandet kan have svært ved at nedsvive.

7.1.5 Udvalgelse af princip for klimatilpasning

Sammenlignes de beskrevne forhold er det tydeligt, at transport og forsinkelse er mere velegnet som løsninger end nedsvivning. Nedsvivningsforholdene i området må antages at være så dårlige, at princip 1 ikke kan stå alene som løsning. Samtidig vil princip 2 være udfordret med hensyn til oversvømmelse af de mindre veje og haver, da de små veje og stier ikke er velegnet til etablering af kanaler/render/trug. På den baggrund må det vurderes, at princip 2 heller ikke vil kunne stå alene som løsning, og derfor er det valgt at arbejde videre med princip 3, der både indeholder transport, forsinkelse og nedsvivning. På trods af at nedsvivningsforholdene er mindre velegnet, må det vurderes stadig at være et løsningselement, så længe nedsvivning ikke står alene som løsning.

På baggrund af de beskrevne forhold er det derfor valgt at arbejde videre med princip 3 som løsningsforslag.

7.2 Viderebearbejdning af princip 3

Der er på baggrund af princip 3 lavet fire forskellige løsningsforslag, der alle indeholder transport, tilbageholdelse og nedsvivning. Som beskrevet medtages nedsvivning som løsningselement på trods af de mindre velegnet nedsvivningsforhold. Dette gøres da nedsvivning stadig kan være en nyttig måde at reducere regnvandsmængderne ved specielt mindre regnhændelser, hvor det må antages at jorden ikke er mættet.

Løsningsforslag 1 er 'standard' forslaget, hvor der indbygges en rende i hovedvejene, der leder vandet ned til gadekæret (hvor vandet forsinkes), og hvor der laves nedsvivning ved de mindre veje og stier i form af hhv. permeabel belægning og faskiner.

Løsningsforslag 2 indeholder de samme elementer som i løsningsforslag 1, men derudover er der også anlagt to mindre bassiner, som tidligere omtalt i afsnit 7.1.3.

Løsningsforslag 3 indeholder ligeledes de samme elementer som løsningsforslag 1, men indeholder derudover permeabel belægning på hovedvejene.

Løsningsforslag 4 er en kombination af de tre ovenstående løsningsforslag og indeholder udover 'standardforslaget' i løsningsforslag 1 også to mindre bassiner samt permeabel belægning på hovedvejene.

En oversigt over de fire løsningsforslag og hvilke elementer de hver indeholder kan ses i tabel 7.1.

	Transport	Forsinkelse	Nedsivning	Ekstra bassiner	Permeabel belægning på hovedvejene
Løsningsforslag 1	x	x	x		
Løsningsforslag 2	x	x	x	x	
Løsningsforslag 3	x	x	x		x
Løsningsforslag 4	x	x	x	x	x

Tabel 7.1: Oversigt over de fire løsningsforslag. Alle fire løsningsforslag har samme udgangspunkt med transport af vand ned til gadekæret, hvor vandet forsinkes, samt nedsivning på de mindre veje og stier.

Løsningsforslag 1 kan betegnes som minimumssituationen; den viser, hvor meget oversvømmelsen minimum reduceres ved implementering af "den simpleste form" for klimatilpasning (transport, forsinkelse og nedsivning) i Gadekæret. Løsningsforslag 4 kan betegnes som maksimumssituationen, og løsningsforslag 2 og 3 er middelsituationen mellem løsningsforslag 1 og 4. Det kan derfor forventes, ved sammenligning af de fire løsningsforslag, at oversvømmelsen i området reduceres for hvert løsningsforslag, der regnes igennem. Det er derfor valgt kun at arbejde videre med den mest kvalificerede løsning af de fire forslag - nemlig løsningsforslag 4.

7.3 Implementering af løsningsforslag i MU

For at effekten af løsningsforslag 4 kan undersøges, skal løsningsforslaget implementeres i MU. Derfor vil der i dette afsnit blive beskrevet, hvordan de forskellige elementer i løsningsforslag 4 implementeres i MU.

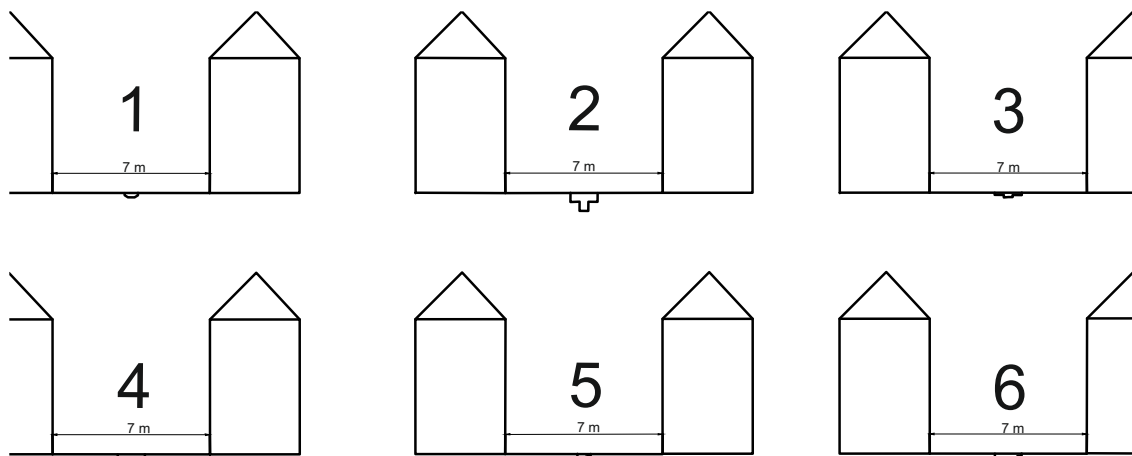
7.3.1 Implementering af transport

Den umiddelbare tanke bag det transportelement, der skal etableres i overfladen på hovedvejene, er, at det i tørvejrs skal kunne bruges rekreativt, mens det i regnvejrs skal bruges til vandhåndtering ved store regnhændelser, hvor der kan være risiko for oversvømmelse, hvilket i følge analyseafsnit 3.4 kan forekomme ved regnhændelser med en gentagelsesperiode på 1 år. Et eksempel på dette kan ses på figur 7.11.



Figur 7.11: Eksempel på et transportelement, der kan anvendes rekreativt i tørvejr, mens det i regnvejr anvendes til vandhåndtering [Andersen, 2015].

Udformningen af transportelementet kan variere i det uendelige, men der er dog flere forhold, der skal overvejes ved anlæggelse af kanal/rende løsninger. Selvom renden ønskes brugt rekreativt, så skal det stadig overvejes, hvorvidt udformning er sikker; er renden så dyb, at personer kan falde og komme til skade? I så fald kan der evt. anlægges et form for gitter over renden, så personer ikke kan komme til skade - men så forsvinder det rekreative element. Renden kan derfor også laves bred og knap så dyb, hvilket kræver, at der er plads nok i bredden. Figur 7.12 viser seks forskellige udformninger indtegnet på de 7 meter brede hovedveje i Gadekæret. De seks forskellige udformninger er ”selvopfundne” forslag til udformning af en rende. De er indtegnet i forhold til de 7 m brede veje for at få en bedre fornemmelse af deres størrelse og dermed kunne vurdere om størrelsen virker realistisk.

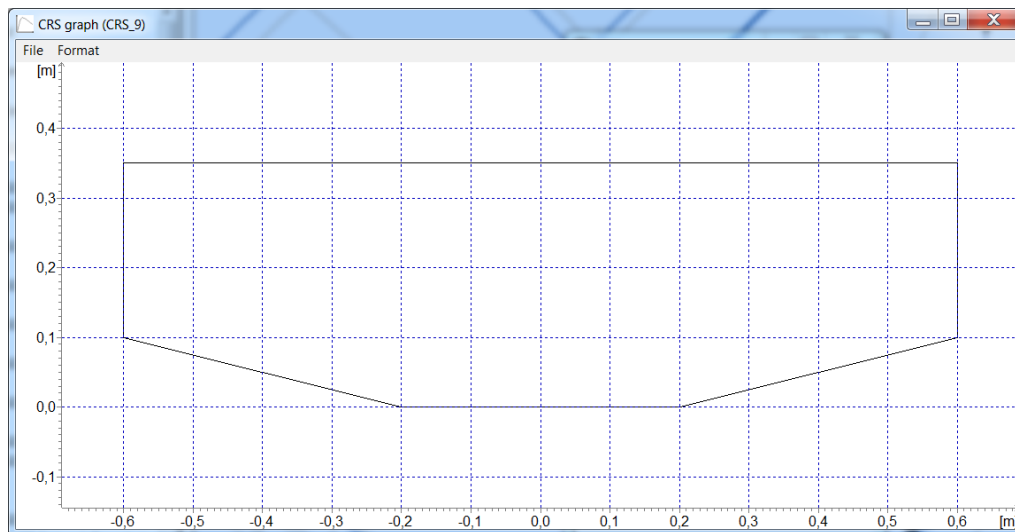


Figur 7.12: Seks forskellige forslag til udformning af transportelementet der skal placeres i hovedvejene. Forholdene mellem vejbredden og dimensionerne på de seks render er 1:1.

Udformning 2, der er opbygget som en trappe som vist på figur 7.11, er en meget stor rende og kan indeholde 960 l pr. lb.m. Renden er dog 80 cm dyb og 160 cm bred, hvilket kan være u hensigtsmæssigt ift. ulykker. Udformning 1, 3, 5 og 6 er alle forholdsvis små løsninger, der ikke burde give anledning til ulykker. Udformning 4 kan rumme 380 l pr. lb.m. og har samtidig en dimension, der hverken er for dyb eller for bred. På baggrund af dette er det valgt at benytte udformning 4 som transportelement i løsningsforslaget. Størrelsen på

renden er ikke baseret på en dimensionering, men nærmere gennem en iterativ process, hvor rendens størrelse er ændret lidt af gangen, for at få en idé om hvor stor denne skulle være.

Renden (udformning 4) laves i MU ved at benytte funktionen "CRS" (Cross Section), der er en editor til at lave lukkede og åbne rørprofiler. I editoren angives bredden på profilet til en given højde samt om profilet skal være åben eller lukket. Profilet laves som et lukket rør med maksimal dybde på 35 cm og en maksimal bredde på 120 cm. Det endelige tværsnit, som lavet i MU, kan ses på figur 7.13. Grunden til at røret laves som et lukket rør frem for et åbent rør er, at MU laver en fejl, hvis vandstanden i renden er højere end kanterne på renden. Der er altså ingen interaktion mellem vandet i renden og terrænmodellen. Det vil altså sige, at renderne skal være meget dybe, hvis de skal være åbne for at undgå fejl. For at få interaktionen mellem renderne og terrænmodellen i form af oversvømmelse, er renderne derfor anlagt som lukkede med brønde uden energitab. Brøndene laves meget små, så dybde af dem passer med dybden på renderne.



Figur 7.13: Tværsnit af den lukkede ledning i MU, som repræsenterer de åbne render.

De lukkede render placeres i midten af hovedvejene og hver strækning er forbundet af en brønd. Oplandene i området er forbundet til nærliggende brønde.

Der er i modellen anlagt ca. 945 m render. Med de tidligere nævnte dimensioner giver det et tværsnitsareal på $0,38 \text{ m}^2$, hvilket i alt giver et samlet volumen i renderne på ca. 360 m^3 .

7.3.2 Implementering af nedsivning

I løsningsforslaget inddrages nedsivning ved at anlægge permeabel belægning og faskiner.

Permeabel belægning

For at tage højde for den permeabel belægning er der i MU valgt at ændre på arealernes befæstelsesgrad. Det er også muligt at ændre på initialtabet. Grunden til at man skulle ændre på initialtabet frem for befæstelsesgraden er, at der ved høje intensiteter er en risiko for, at nedsivningen på grønne arealer (og permeabel belægning) vil være så lille, at det grønne areal vil bidrage til afstrømningen. For at tage højde for dette kunne initialtabet

derfor øges til f.eks. 6 mm, hvorved alt regnvand, der falder udover dette, vil bidrage til afløbssystemet. Det vil selvfølgelig have en betydning for alle regnhændelser, hvor der falder mindre end 6 mm, da regnvandet på disse flader ikke vil bidrage til afløbssystemet. Ændres der derimod kun på befæstelsesgraden, vil der være en risiko for, at der ”fjernes” for meget vand fra regnhændelsen, da det vil være regnvand under hele hændelsen, der reduceres.

Det er dog meget begrænset, hvor meget man ved om initialtabet, og hvordan nedsivningen påvirkes under høje regnintensiteter [Rasmussen, 2015], så derfor er det valgt kun at ændre på befæstelsesgraden. Befæstelsesgraden for vejene er i modellen sat til 0,9, jf. tabel 3.2 på side 13. Ifølge Teknologisk Institut [2015c] kan permeabel belægning have en gennemsvivning på helt op til 90 %. Det skal dog holdes for øje, at det stadig skal være muligt for personer at færdes på vejene uden for meget besvær. Hvis der er for meget græs og meget lidt belægning, vil det gøre det svært for cyklister og dårligt gående personer at færdes på vejene. Det er derfor antaget, at en befæstelsesgraden for vejene ændres til 70%.

Med permeabel belægning på alle veje opnåes en ny befæstelsesgrad for hele området på ca. 40% (reduceret fra ca. 50%).

Faskiner

Faskiner implementeres i modellen ved at anlægge dem som små bassiner. Bassinet gives dimensioner, så det svarer til de faskiner, der vil blive anlagt. Fra hvert bassin (faskine) er der lavet et udløb, hvor det maksimale flow sættes, så det svarer til den reelle nedsivningshastighed i den omkringliggende jord. Oplandene i Gadekæret er forbundet direkte til de anlagte render, og det er dermed ikke muligt at anlægge faskinerne på de mindre veje og stræder, hvor de oprindeligt er tiltænkt. Derfor tilsluttes faskinerne på de brønde, der forbinder renderne. Derved opnåes der interaktion mellem faskinerne og afløbssystemet, og effekten af faskinerne bliver derved medtaget.

Faskinernes størrelser er beregnet ved hjælp af Spildevandskomiteens skrift om LAR dimensionering fra 2011 [Spildevandskomiteen, 2011]. På baggrund af en række forskellige input udregnes det nødvendige meter faskiner for at kunne håndtere regnvandsmængden. De enkelte input til regnearket er vist i tabel 7.2. Arealet er fundet ud fra den antagelse om, at der i alt skal anlægges otte faskiner. Gadekæret har et samlet areal på 168.700 m², og med en ny befæstelsesgrad på 40% opnåes et samlet befæstet areal på 67.480 m². Dette areal fordeles på otte faskiner, hvilket betyder at hver faskine modtager vand fra et befæstet opland på 8.435 m². Ud fra de angivne værdier i tabellen, fås en faskinelængde på ca. 380 m for hvert befæstet opland på 8.435 m².

Input	Værdi
Årsmiddelnedbør [mm]	685
Gentagelsesperiode [år]	10
Sikkerhedsfaktor [-]	1,1
Befæstet areal [m ²]	8.435
Hydraulisk ledningsevne [m/s]	$1 \cdot 10^{-6}$
Bredde på faskine [m]	1
Højde på faskine [m]	1,3
Hulrums andel i faskine [-]	0,95

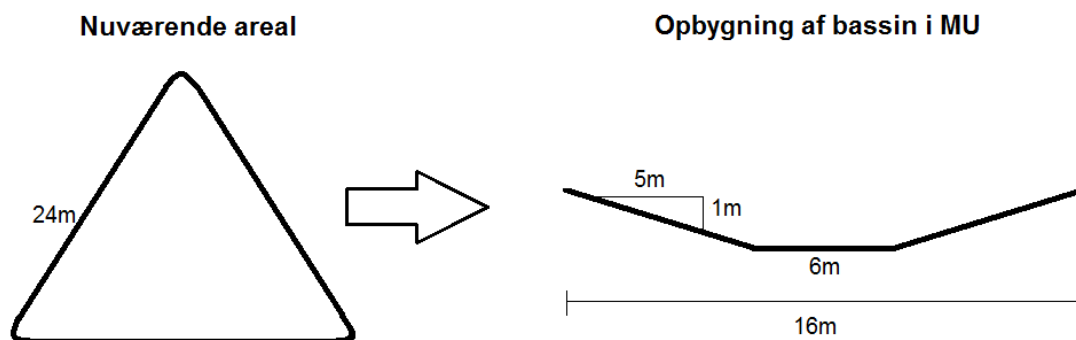
Tabel 7.2: Oversigt over de forskellige input til regnearket fra Spildevandskomiteen til LAR dimensionering.

Excelarket hvor størrelsen på faskinerne dimensioneres kan findes på CD-bilag *Faskine-SVK_LAR_Dimensionering_v1_0.xls*

7.3.3 Implementering af forsinkelse

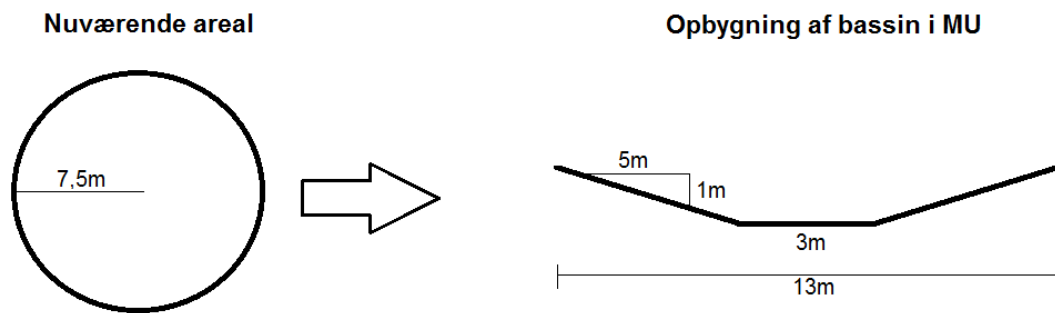
Som tidligere beskrevet i afsnit 7.1.3 er der to steder i Gadekæret, der er oplagt til anlæggelse af mindre bassiner. Begge arealer bruges i dag som rekreative fællesarealer, og placeringen af de to arealer kan ses på figur 7.8.

Det sydlige areal er i dag opbygget som en ligebenet trekant med afrundede hjørner. Hver side er ca. 24 m, hvilket svarer til et areal på ca. 250 m². I MU er bassinet tænkt som et kvadratisk bassin med sider på 16 m, hvilket giver et areal på ca. 256 m². Bassinet er tænkt anlagt med en hældning på 1:5, så der ikke er fare for, at børn falder i vandet [Aalborg Kommune, 2009]. Bassinet er 1 m dybt på det dybeste sted. Den tænkte opbygningen af bassinet kan ses på figur 7.14. Når bassinet implementeres i MU angives der ikke nogle dimensioner på bassinet, men derimod et overfladeareal og en hydraulisk radius. Bassinet har dermed ikke en egentlig udstrækning i MU.



Figur 7.14: Opbygning af det sydlige bassin i MU samt udformningen af det nuværende areal.

Det nordlige areal er et cirkulært areal med en radius på ca. 7,5 m, hvilket giver et areal på ca. 176 m². I MU er bassinet, ligesom det sydlige bassin, tænkt opbygget som et kvadratisk bassin med sider på 13 m, hvilket giver et areal på ca. 169 m². Bassinet er ligeledes anlagt med en hældning på 1:5 og har en maksimal dybde på 1 m. Den tænkte opbygningen af bassinet kan ses på figur 7.15.



Figur 7.15: Opbygning af det nordlige bassin i MU samt udformningen af det nuværende areal.

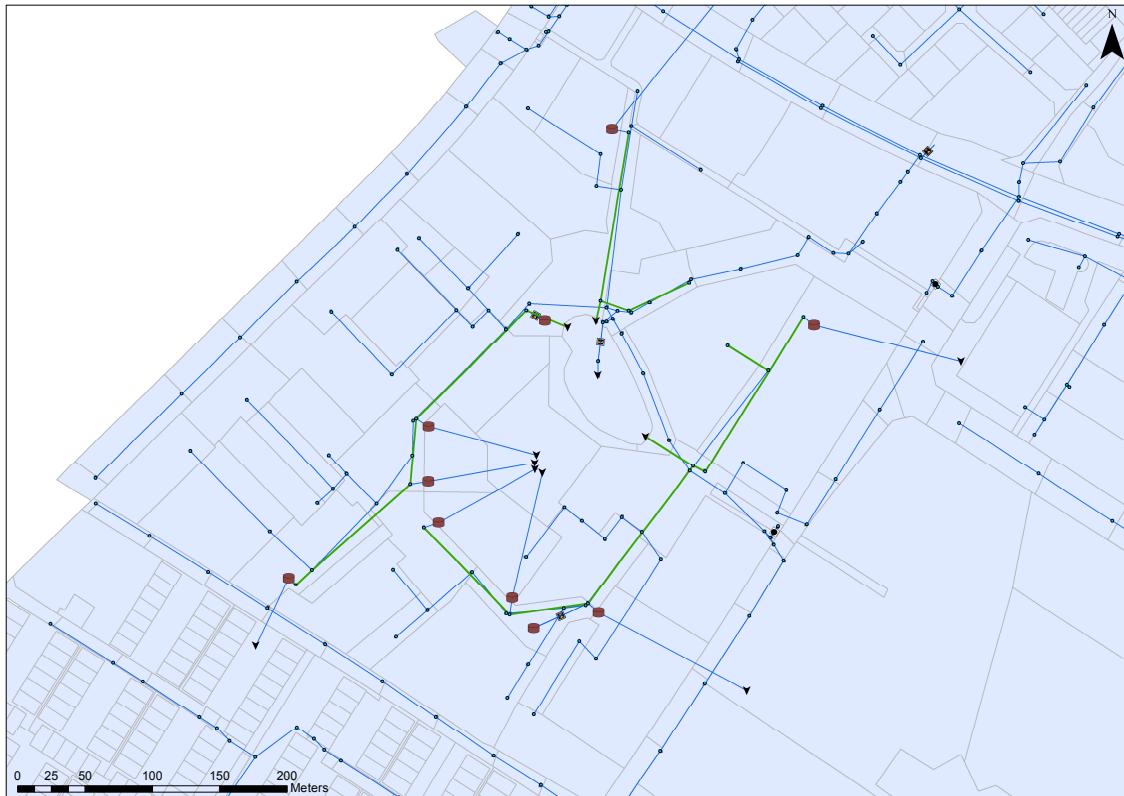
De to arealer opbygges begge som firkantede bassiner i MU for simplificeringens skyld.

Det vælges ikke at ændre på gadekærets areal ved at udvide bassinet, idet det vurderes at det nuværende volumen i gadekæret er tilstrækkeligt.

7.3.4 Oversigt over implementering i MU

Det endelige resultat af implementering af løsningselementerne i MU kan ses på figur 7.16. De grønne streger viser, hvor renderne er placeret. De mørkerøde ikoner er de to mindre bassiner og de otte faskiner. De blå streger er det eksisterende afløbssystem.

Faskinerne er som tidligere beskrevet ikke placeret ved de mindre veje og stræder, hvor de ellers er tiltænkt. Dette skyldes, at oplandene er koblet direkte på de åbne render, hvorved faskinerne ikke vil have en effekt, hvis de kobles på det eksisterende afløbssystem. Derfor er faskinerne koblet på brøndene, der forbinder renderne. Udløbet fra fire af faskinerne er placeret i gadekæret. Da der er lavet en regulering på udløbet svarende til infiltrationshastigheden ($1 \cdot 10^{-6}$ m/s), vurderes det til ikke at have en stor effekt/bidrag på vandspejlet i gadekæret pga. det lille flow i udløbet.



Figur 7.16: Den endelige implementering af render, faskiner og to mindre bassiner i MU. Permeabel belægning er implementeret ved at ændre på befæstelsesgraden. Den grønne streg viser hvor renderne er anlagt, mens de mørkerøde ikoner er de to mindre bassiner og de otte faskiner.

Modellen hvor løsningsforslag 4 er implementeret kan findes i CD-bilag *LF4*.

7.4 Opsummering

I dette kapitel blev tre forskellige løsningsprincipper præsenteret, og de enkelte principper blev sat op imod hinanden. Det blev valgt at arbejde videre med princip 3, der indeholdt elementerne: transport, forsinkelse og nedsivning. Der blev derfra lavet fire forskellige løsningsforslag af princip 3, som hver havde et anderledes element til klimatilpasning end det forrige. Det er valgt kun at arbejde videre med det løsningsforslag 4, som indeholder forsinkelse i gadekæret, transport af vand på overfladen i render, permeabel belægning på hovedvejene og de mindre veje/stræder, samt anlægning af otte faskiner og to mindre bassiner.

Analyse af løsningsforslag 8

I dette kapitel vil effekten af løsningsforslag 4 blive undersøgt i forhold til oversvømmelse af Gadekæret. Dette vil blive gjort ved at sammenligne oversvømmelsen i Gadekæret fra d. 2. juni 2014 med oversvømmelsen af Gadekæret, efter at området er blevet klimatilpasset. Det vil derefter blive diskuteret hvilke yderligere tiltag, der kan gøres for at reducere oversvømmelsen, hvis dette skulle være nødvendigt, samt om løsningen er den mest optimale.

8.1 Analyse af løsningsforslag 4

De enkelte elementer, der skal være med til at klimatilpasse Gadekæret, er implementeret i MU. Modellen er herefter blevet simuleret for regnhændelsen d. 2. juni 2014. Til denne simulering er terrænmodellen med en cellestørrelse på 0,4 m blevet anvendt. Det er dog valgt, at MU skal simulere modellen med en cellestørrelse på 1,6 m for at reducere beregningstiden, da forskellen fra de to er meget lille, som beskrevet i afsnit 4.3 på side 27.

Årsagen til at MF modellen skal simuleres for regnhændelsen d. 2. juni 2014 er, at Ishøj Forsyning har et ønske/krav om at afløbssystemet skal kunne håndtere denne hændelse [Grontmij A/S for Ishøj Forsyning, 2013].

Resultatet af simuleringen kan ses på figur 8.1. Figuren viser den maksimale oversvømmelse i hver celle. Det betyder altså, som beskrevet i afsnit 4.3, at oversvømmelsen som vist på figuren ikke er et udtryk for hvordan det vil se ud til ét specifikt tidspunkt, men er den maksimale vandstand for hver celle til mange forskellige tidspunkter.



Figur 8.1: Maksimal oversvømmelse i Gadekæret ved regnhændelsen d. 2. juni 2014 efter at løsningsforslag 4 (LF 4) er blevet implementeret. Terrænmodellen brugt i denne simulering har en celledørrelse på 1,6 m.

Effekten af klimatilpasningen af Gadekæret ses tydeligt. De mange områder der tidligere var oversvømmet er ikke længere oversvømmet. Kun nogle få områder har vand liggende på terræn. De områder der stadig er oversvømmet er placeret på forskellige strækninger af hovedvejene. Det skal dog holdes for øje, at oplandene i modellen er koblet direkte på de åbne render og derved er oversvømmelserne der tidligere blev set på de små veje og stræder flyttet ud på hovedvejene, hvor renderne er anlagt. Det er derfor svært at vide præcis hvor der stadig vil forekomme oversvømmelser, på trods af klimatilpasningen af boligområdet.

Ud fra resultatfilen fra simuleringen kan areal og volumen af oversvømmelsen beregnes. I MIKE ZERO åbnes resultatfilen med maksimaldybden. I resultatfilen kan antallet af oversvømmede celler beregnes og på baggrund af denne kan arealet af oversvømmelsen findes ved at gange antallet af celler med arealet af én celle. Efterfølgende kan volumen af oversvømmelsen findes ved at gange oversvømmelsesarealet med middel oversvømmelsesdybden. Tabel 8.1 viser volumen af oversvømmelsen før og efter klimatilpasning.

Oversvømmelsen i Gadekæret efter at klimatilpasningen er implementering i modellen, er reduceret med ca. 56% i forhold til før klimatilpasning af Gadekæret, hvis resultatet for de to simuleringer før og efter klimatilpasning sammenlignes.

	Før klimatilpasning (med gadekæret)	Efter klimatilpasning (med gadekæret)
Antal oversvømmede celler [-]	12.420	4.074
Middel oversvømmelsesdybde [m]	0,077	0,128
Cellestørrelse [m]	1,6	1,6
Areal af celle [m ²]	2,56	2,56
Areal af oversvømmelse [m ²]	31.795	10.429
Volumen af oversvømmelse [m ³]	2.456	1.332

Tabel 8.1: Oversigt over antallet af oversvømmede celler før og efter implementering af klimatilpasning, samt det samlede oversvømmelsesareal og -volumen. Oversvømmelsesvolumenet er reduceret med ca. 56%

Idét meget af regnvandet er ledt ned i gadekæret gennem renderne i hovedvejene, kan det være mere interessant at se på hvor meget oversvømmelsen er blevet reduceret på de omkring liggende arealer. Dette kan ses tabel 8.2, der viser oversvømmelsesvolumenet for området eksklusiv volumen i gadekæret. Det ses af tabellen, at oversvømmelsesvolumenet på de omkringliggende arealer er blevet reduceret fra 1.840 m³ til 277 m³. Dét svarer til en reduktion på ca. 85%. Oversvømmelsesarealet er ligeledes reduceret fra 27.197 m² til 5.545 m², hvilket svarer til en reduktion på ca. 80%.

	Før klimatilpasning (uden gadekæret)	Efter klimatilpasning (uden gadekæret)
Antal oversvømmede celler [-]	10.624	2.166
Middel oversvømmelsesdybde [m]	0,068	0,050
Cellestørrelse [m]	1,6	1,6
Areal af celle [m ²]	2,56	2,56
Areal [m ²]	27.197	5.545
Volumen [m ³]	1.849	277

Tabel 8.2: Oversigt over antallet af oversvømmede celler før og efter implementering af klimatilpasning, samt det samlede oversvømmelsesareal og -volumen, hvis det opmagasinerede volumen i gadekæret ikke medtages. Oversvømmelsesvolumenet er reduceret med ca. 85%.

Effekten af hver enkelt element er også undersøgt. Dette er vist i bilag C, hvor permeabel belægning, faskiner og render hver for sig er blevet implementeret i modellen og derefter kørt igennem for regnhændelsen d. 2. juni 2014. Resultatet af disse viser at de åbne render i hovedvejene er det bedste enkeltstående element, mens faskinerne er det næstbedst og den permeable belægning er den mindst effektive af de tre. Renderne alene fjerner næsten 70% af oversvømmelserne. Opbygningen af de tre enkeltstående modeller er dog ikke ens og dermed kan resultaterne ikke entydigt sammenlignes. Der er dog stadig ingen tvivl om at renderne er den mest effektive løsning af de tre.

Modellerne med implementeringen af de tre elementer hver for sig kan findes i CD-bilag *kun_render*, *kun_faskiner* og *kun_perm*.

8.2 Diskussion og forslag til forbedring af løsningsforslag

Idet en forøgelse af gadekærets vandsspejl ikke burde give anledning til problemer for Gadekærets beboere (så længe vandspejlskoten ikke stiger fra 2,4 til 3,3), må det antages at være relevant kun at betragte oversvømmelsesvolumenet for det omkringliggende areal (vist i tabel 8.2). Som beskrevet er oversvømmelsesarealet eksklusiv gadekæret blevet reduceret med ca. 80% og volumen er blevet reduceret med ca. 85%. På trods af at der stadig er 5.545 m² der er oversvømmet, skal det stadig holdes for øje, at dette er beregnet ud fra maksimaldybden, hvilket som tidligere beskrevet betyder, at det er den maksimale oversvømmelsesdybde i hver enkelt celle til et givent tidspunkt i løbet af simuleringsperioden. Det betyder at de 5.545 m², der er oversvømmet, ikke nødvendigvis er til det *samme* tidspunkt, hvorfor den viste situation på figur 8.1 reelt kan se langt bedre ud, da oversvømmelsen af de viste celler kan være til mange forskellige tidspunkter.

Regnhændelsen fra d. 2. juni 2014 er, som tidligere beskrevet en 12 års hændelse, og derfor kan det endvidere forventes at der vil ske opstuvning til terræn ved lignende hændelser, da opstuvning til terræn tillades hvert 5. år for separatsystemer.

Ønskes oversvømmelsen yderligere reduceret i boligområdet kan der dog laves en række videre tiltag til løsningsforslaget. For det første kan renderne i hovedvejene laves større. De kan enten laves breddere og/eller dybere. Der skal dog stadig tages hensyn til at personer kan komme til skade ved for dybe render, hvorfor en forøgelse af renderne muligvis vil kræve at der anlægges en form for afdækning af renderne, så disse aflukkes. En afdækning af renderne vil dog imidlertid fjerne det rekreative element fra renderne og rendernes

eneste funktion vil dermed begrænses til vandhåndtering.

En anden mulighed kunne være at anlægge yderligere faskiner i området. På trods af den lave hydrauliske ledningsevne i jorden som følge af lerlagene i området og det høje grundvandsspejl, kan det dog stadig være nyttigt at have det ekstra volumen som opmagasinering i faskinerne. Det skal dog huskes at faskinerne minimum skal være placeret 5 meter fra beboelse, som beskrevet i afsnit 7.1.4. Dette kan potentielt begrænse anlæggelsen af faskiner, da boligerne i området ligger forholdsvis tæt. Samtidig kan faskinerne ikke lægges for dybt pga. det høje grundvandsspejl beskrevet i afsnit 7.1.4.

Det anses ikke som værende muligt at forøge volumenet på de to mindre anlagte bassiner, da det på grund af hældningen af bassinerne vil kræve at de spæres af. Potentielt kunne der anlægges bassiner på de nuværende parkeringspladser, men dette anses som unødvendigt og urealistisk, da dette vil betyde at beboerne skal undvære mange parkeringspladser. Samtidig er faldforholdene ved de vestlige parkeringspladser så u hensigtsmæssige, at det vil kræve en pumpe for at få vandet op i bassinerne.

8.2.1 Alternative løsninger på oversvømmelserne

Ud over de ovennævnte forslag til forbedring af løsningsforslag er der desuden to oplagte forslag til forebyggelse af oversvømmelserne i Gadekæret. Det ene er opdimensionering af hovedledningerne under Ishøj Stationsvej. En opdimensionering af hovedledningerne vil tydeligvis øge kapaciteten i ledningerne og derved minske det hydrauliske pres på disse. Desuden vil eventuelle oversvømmelser i andre dele af Ishøj samtidig mindskes ved øgningen af kapaciteten i hovedledningerne. Ulempen ved at gøre dette er at det er dyrt at opgrave mange hundrede meter vej for at anlægge større rør. Samtidig skaber det gener for beboerne i Ishøj i forbindelse med anlægsarbejdet.

Den anden løsning som hænger tæt sammen med forøgelse af kapaciteten i hovedledningerne under Ishøj Stationsvej, er forøgelse af rørdimensionerne i Gadekæret. Som tidligere beskrevet i afsnit 3.2 er rørdimensionerne i Gadekæret meget små - henholdsvis Ø110 mm og Ø160 mm. Disse rørdimensioner virker meget små på trods af at det er et separatsystem. En forøgelse af dimensionerne på hovedledningerne kunne umiddelbart være en effektiv løsning, men hvis rørdimensionerne i Gadekæret er så små at det er disse som skaber problemet med oversvømmelserne i boligområdet, så hjælper en forøgelse af hovedledningerne ikke på oversvømmelserne i Gadekæret.

8.3 **Anbefaling af klimatilpasning i Gadekæret**

Implementering af elementerne transport, forsinkelse og nedsivning ses tydeligt at have en effekt på oversvømmelsen af Gadekæret, idet oversvømmelsesvolumenet reduceres med 80%. Effekten af permeabel belægning, faskiner og render hver for sig er dog meget forskelligt. Det er specielt renderne der reducerer oversvømmelsesvolumenet.

På baggrund af dette må det anbefales Ishøj Forsyning, der ønsker at overtage afløbssystemet i Gadekæret, at lave klimatilpasning i boligområdet - både for at reducere oversvømmelserne i Gadekæret, men samtidig for at reducere belastningen på de to hovedledninger. Det anbefales, at anlægge en form for transportelementer i overfladen på

hovedvejene i Gadekæret, for at samle vandet på overfladen og lede det ned i gadekæret, der har et stort opmagasineringsvolumen. De anbefales samtidigt at anlægge permabel belægning på vejene i boligområdet. Anlæggelse af faskiner i området kan være nyttigt idet der opnåes et ekstra magasineringsvolumen. På grund af jordforholdene og det høje grundvandsspejl, vil det dog kræve yderligere undersøgelser af infiltrationshastigheden i området, før at det endeligt kan bestemmes om nedsivning via faskiner er en god investering.

Det er usikkert om klimatilpasning af alle ni oplande til de to hovedledninger vil være tilstrækkeligt til at kunne undgå en forøgelse af rørdiameteren på de to hovedledninger under Ishøj Stationsvej, men af resultaterne for oversvømmelserne ses det tydeligt, at mængden af vand på overfladen reduceres markant, hvilket i sidste ende også reducere den tilledte mængde til afløbssystemet.

Konklusion 9

Dette projekt er udarbejdet med henblik på at analysere Ishøj Bys afløbssystem og omfanget af oversvømmelse i Gadekæret under regnhændelsen d. 2. juni 2014, samt at undersøge muligheden for klimatilpasning af Gadekæret for at mindske oversvømmelsen.

I analysen af det nuværende afløbssystem viste det sig, at afløbssystemet ikke overholder den nuværende dimensionspraksis. Det viste sig, at der flere steder på de to hovedledninger var flaskehalse, idet trykniveauet under spidsbelastningen ved en CDS-regn med gentagelsesperiode på 1 år var meget tæt på terræn flere steder. Der er desuden en olieudskiller og en underføring på hovedledningernes strækning, der må antages at være medvirkende til den hydrauliske belastning på disse. Olieudskilleren og underføringen er dog ikke blevet undersøgt i dette projekt, da de ikke indgår i modellen. Analysen viste desuden, at der ved langtidssimulering var opstuvning til terræn i dele af afløbssystemet. Det samme var tilfældet i Gadekæret, hvor der også var mange brønde i, hvor der var opstuvning til terræn årligt.

Oversvømmelsesanalysen af Gadekæret viste, at store dele af Gadekæret var oversvømmet under regnhændelsen d. 2. juni 2014. Analysen bekræftede ikke observationen lavet af Ole Niels Jørgensen fra Ishøj Forsyning, der mente at have observeret, at regnvandet samlede sig i den nordøstlige del af Gadekæret. Derimod blev de to billeder fra oversvømmelsen d. 2. juni 2014 (figur 2.9 og 2.11) bekræftet, da oversvømmelsesanalysen netop viste, at det sydlige fællesareal var oversvømmet, samt at det specielt var hovedvejene, der var oversvømmet. Oversvømmelsesanalysen viste samtidig, at der var meget lidt belæg for at simulere med en terrænmodel med celledørrelse på 0,4 m i forhold til en celledørrelse på 1,6 m, da forskellen i oversvømmelsesvolumen og -areal kontra beregningstiden var meget lille.

I forbindelse med udarbejdelse af et løsningsforslag til klimatilpasning af Gadekæret blev forskellige LAR-elementer undersøgt. Det viste sig, at jordbundsforholdene omkring Gadekæret ikke er specielt egnet til nedsivning, da der ligger et tykt lerlag 4-5 meter under terræn. Samtidig må grundvandsspejlet formodes at ligge tæt på terræn i området pga. gadekæret, der er placeret centralt i boligområdet. I kapitlet om løsningsforslag viste det sig, at der var god plads til anlæggelse af render i hovedvejene, til opsamling og transport af regnvand ned til gadekæret. Endvidere viste det sig, at der var mulighed for anlæggelse af to mindre regnvandsbassiner hhv. i den sydlige og nordlige ende af Gadekæret.

Løsningsforslag 4 blev valgt til implementering i modellen, da denne blev anset som væ-

rende det mest kvalificerede bud på klimatilpasning af boligområdet i forhold til de andre løsningsforslag. Løsningsforslag 4 indeholdt transport af regnvand ned til gadekæret via render, permeabel belægning, faskiner og to mindre regnvandsbassiner. Ved implementering af disse klimatilpasningselementer viste det sig, at oversvømmelsesvolumenet på områderne omkring gadekæret var reduceret med 85 %, og oversvømmelsesarealet var reduceret med 80 %.

De enkelte løsningselementer blev hver for sig implementeret i modellen og simuleret. Det viste sig, at renderne var det løsningselement, der alene reducerede oversvømmelsen mest. Faskinerne var den næstbedste løsning, mens det mindst effektive element var permeabel belægning, der reducerede oversvømmelserne mindst.

Perspektivering 10

Det ikke været muligt at undersøge alle aspekter af klimatilpasning af boligområdet Gadekæret. I dette afsnit præsenteres derfor en række områder, der potentielt kunne bidrage til et nyt perspektiv på det udarbejdede forslag til den fremtidige klimatilpasning af Gadekæret.

Undersøgelse af nedsivningsforhold i Gadekæret

I projektrapporten konkluderes det, at jordbundsforholdene i Gadekæret er mindre velegnet til nedsivning på grund af det høje grundvandsspejl samt det tykke lerlag. Dette bliver vurderet ud fra en række ældre borer der er placeret udenfor Gadekæret. Der er altså ingen reele borer, hvor man kan se jordbundsforholdene under Gadekæret, hvorfor det antages at jordbundsforholdene i Gadekæret er ens med de omkringliggende borer. For at få et bedre belæg for påstanden om at nedsivning ikke er specielt egnet i Gadekæret, vil det være nødvendigt at foretage en infiltrationstest, således påstanden kan blive bekræftet eller afkræftet.

Modellering af andre løsningsforslag

I rapporten blev det valgt at analysere ét løsningsforslag. For at undersøge om dette løsningsforslag er det mest optimale kunne det være relevant at implementere andre løsningsforslag i modellen og undersøge effekten heraf. Det kunne f.eks. dreje sig om etablering af yderligere render i vejene, anlæggelse af flere faskiner, omdannelse af de omtalte parkeringspladser til regnvandsbassiner, anlæggelse af regnbede eller forøgelse af de grønne områder.

Optimering af løsningsforslag

Det valgte løsningsforslag i rapporten indeholder en række elementer, hvor størrelsen på f.eks. renderne er udvalgt ved en iterativ process. For at finde ud af om løsningsforslaget er det mest optimale kunne det derfor være relevant at se på størrelsen af renderne, placeringen af faskinerne samt yderligere justering af befæstelsesgraden fra permeabel belægning. Dette kan desuden gøres for at se på om løsningen er den mest optimale ift. økonomi.

Effekten af forøgelse af rørdiameter

Som alternativ løsning til oversvømmelsesproblemet i Gadekæret kunne det være relevant at undersøge effekten af en forøgelse af hovedledningerne under Ishøj Stationsvej samt af afløbssystemet i Gadekæret. En sådanne løsning kan umiddelbart virke som en stor

økonomisk post, men vil muligvis fremtidssikre Ishøj og Gadekæret mere end hvad kan opnåes ved klimatilpasning af Gadekæret og de otte andre oplande ved f.eks. lokal håndtering af regnvand.

Finansering

I rapporten er der ikke lavet et økonomisk overslag for anlæggelse af de omtalte klimatilpasningselementer. Da Ishøj Forsyning arbejder ud fra den hypotese, at det er billigere at lave klimatilpasning/LAR i oplandene til hovedledningen, kunne det være relevant at lave et økonomisk overslag på anlæggelsen af disse elementer kontra opgravelse og forøgelse af hovedledningerne og evt. også af ledningerne i Gadekæret. Det kunne ligeledes være interessant at undersøge om man ved klimatilpasning af alle ni oplande til hovedledningerne kan undgå et opgrave hovedledningerne i fremtiden.

Referencer

- Aalborg Kommune (2009). Regnvandsbassiner - en grund mindre eller mindre grunde?
- Andersen, A. D. (2015). Eksempel på transportelement. Tegning.
- Backhaus, A. (2008). Lokal afledning af regnvand (lar) som merværdi og synergi. Københavns Universitet.
- Danmarks Radio (2014). Svært at sige hvor skybrud rammer. URL: <http://www.dr.dk/Nyheder/Vejret/2014/06/03/085632.htm>. Downloadet: 15-05-2015.
- DMI (2015). Spildevandskomitéens regnmålersystem. URL: <http://http://svk.dmi.dk/>. Downloadet: 09-04-2015.
- GEUS (2015). Boringsdatabasen. URL: <http://www.geus.dk>. Downloadet: 17-05-2015.
- Grontmij (2015). Eksisterende model for ishøj kommune. Udleveret.
- Grontmij A/S for Ishøj Forsyning (2013). Klimatilpasningsplan - For Ishøj Forsyning.
- Ishøj Kommune (2014a). Lokalplan nr. 1.61 - Gadekæret.
- Ishøj Kommune (2014b). Spildevandsplan 2014-2022.
- Jørgensen, O. N. (2015). Driftsmedarbejder hos Ishøj Forsyning. Statusmøde med Ishøj Forsyning d. 13-04-2015.
- Jézéquel, C. (2015). Civilingeniør i water afdelingen hos grontmij a/s. Samtale om befæstelsesgrader.
- Miljøministeriet (1999). 3. Lovgivning. URL: <http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?http://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2001/87-7944-566-7/html/kap03.htm>. Downloadet: 16-05-2015.
- Miljøministeriet (2015). Kortforsyningen. URL: <http://www.kortforsyningen.dk>. Downloadet: 01-04-2015.
- Nielsen, A. H. and Thorndahl, S. L. (2013). Vejleder. Kursusmateriale til "Afstrømning af regn- og spildevand".
- Rasmussen, M. R. (2015). Vejleder. Vejledermøde d. 22-05-2015.

Spildevandskomiteen (2005). Skrift nr. 27, Funktionspraksis for afløbssystemer under regn.

Spildevandskomiteen (2011). Lar dimensionering - skrift.

Teknologisk Institut (2012). LAR - Lokal afledning af regnvand. URL: <http://www.laridanmark.dk/lar-lokal-afledning-af-regnvand/om-metoden/27950>.
Downloadet: 07-05-2015.

Teknologisk Institut (2015a). Brug tagvandet - byg en faskine. URL: http://www.laridanmark.dk/_root/media/46796_Brug%20tagvandet%20-%20Byg%20en%20faskine.pdf. Downloadet: 30-05-2015.

Teknologisk Institut (2015b). Nedsivning af regnvand i faskiner - Faskiner. URL: <http://www.teknologisk.dk/nedsivning-af-regnvand-i-faskiner/faskiner/16402>.
Downloadet: 16-05-2015.

Teknologisk Institut (2015c). Permeable belægninger. URL: <http://www.laridanmark.dk/permeable-belaegninger/om-metoden/28002>.
Downloadet: 21-05-2015.

Ordliste

Befæstelsesgrad

Faktor mellem 0 og 1,0, der beskriver den del af arealet, der er befæstet med hårde overflader, hvorfra der umiddelbart afvandes ved regn.

Beregningsniveau

Definition af et samlet koncept for beregning bestående af metode, regndata og kriterium for overholdelse af opstillede krav. I skrift 27 [Spildevandskomiteen, 2005] er der defineret 3 beregningsniveauer.

CDS-regn

Syntetisk regn, der opbygges ud fra en regnrække. En enkelt CDS-regn indeholder for en valgt gentagelsesperiode information om maksimale middelintensiteter for et interval af varigheder.

Den Rationelle metode

En simpel og anerkendt dimensioneringsmetode for afløbsledninger. Metoden bygger på den antagelse, at den kritiske regnintensitet for en given ledning svarer til den aktuelle regnrække med den varighed, der svarer til afløbstiden med fuldtløbende rør til punktet.

Dimensioneringspraksis

En praksis for dimensionering af afløbssystemer, der har fundet stor udbredelse nationalt og derfor anerkendes som fremgangsmåde, også ved tvister i retten.

Fuldtløbende kapacitet

Vandføringskapacitet for en afløbsledning, beregnet med en rørformel – f.eks. Manning – på den forudsætning, at ledningen er netop fuldtløbende, og at den hydrauliske tryklinie er parallel med røret.

Funktionskrav

Konkret formulering af krav til den hydrauliske funktion af afløbssystemet under regn. Formuleres altid som en gentagelsesperiode for en bestemt hændelse.

Funktionspraksis

En praksis for hvorledes afløbssystemer skal fungere i regnsituationer, der har fundet stor udbredelse nationalt og derfor anerkendes som fremgangsmåde, også ved tvister i retten.

Gentagelsesperiode

Tidsperiode, der - statistisk set - for en given defineret hændelse forløber, indtil hændelsen gentager sig.

Historisk regn

Betegnelse for en serie af regn, der er målt et givet sted.

Hydrologisk reduktionsfaktor

Faktor mellem 0 og 1 (normalt i intervallet 0,7 til 1,0) der er knyttet til et oplands hydrologiske funktion.

Kritisk kote

En kote, der er fastsat til at være kritisk i forhold til opstuvning. Den kritiske kote kan defineres særskilt eller generelt. Et eksempel på det sidste er, at den kritiske kote fastsættes generelt til terrænkoten omkring brønde.

Minimumskrav

Funktionskrav der formuleres som det mindst tilladelige.

Observationsperiode

Den effektive tidsperiode for en målt tidsserie, f.eks. regn.

Regnrække (Regnkurve)

Sammenknytter maksimalintensitet, regnvarighed og gentagelsesperiode. Er resultatet af en statistisk beregning for en given målt serie af historiske regn.

Serviceniveau

Et subjektivt udtryk, der udtrykker den grad af sikkerhed mod skader fra opstigende vand fra afløbssystemet borgeren oplever. Objektivt håndteres serviceniveau ved hjælp af formulering af funktionskrav.

Sikkerhedsfaktor

En faktor der ganges på vandføringen for at tage højde for usikkerhed. Sikkerhedsfaktoren er en operationel måde at implementere usikkerhed i beregninger.

Udleveret kort over Gadekæret

A

Det udleverede kort findes desuden på CD-bilag *Kort over Gadekæret.pdf*.



Figur A.1: Det udleverede kort over Gadekæret med lednings- og brøndoplysninger for både spildevands- og regnvandsledningerne i området. Kortet er fra 1970'erne. Udleveret af Ishøj Forsyning.



100 m. br. 1:200

————— Objekt, korpus/planovna delitev
 - - - - - Objektov/območje lastn. zid.
 ———— Objektov/območje lastn. zid.
 ———— Objektov/območje lastn. zid.
 ———— Objektov/območje lastn. zid.

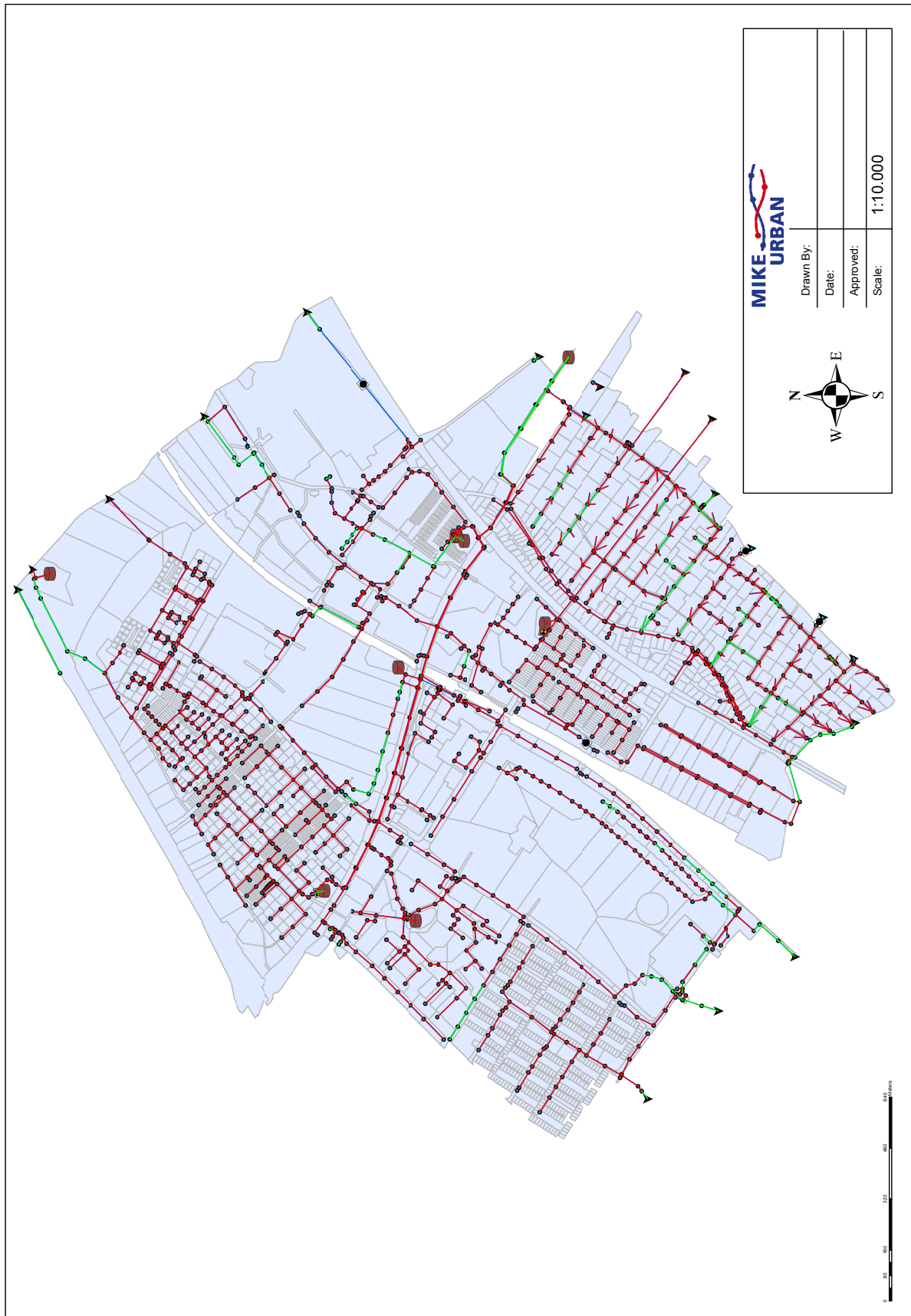
A1

1:200 21.12.2015
 1:200 21.12.2015
 1:200 21.12.2015
 1:200 21.12.2015

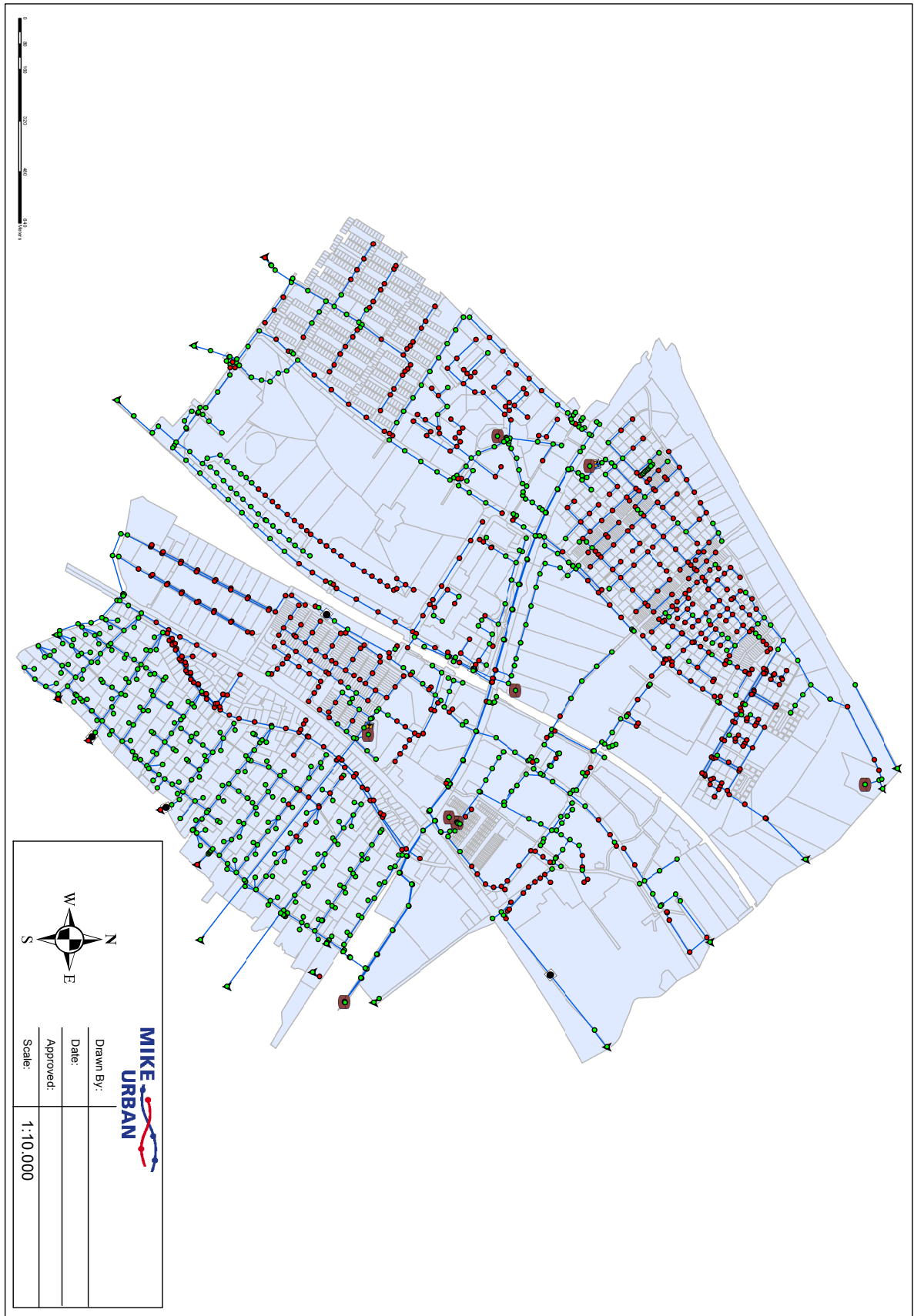
Resultat af CDS-regn uden klimafaktor B

I dette kapitel fremvises resultatet af de to simuleringer af det nuværende afløbssystem, der begge er simuleret med en CDS-regn en en gentagelsesperiode på hhv. 1 og 5 år - begge uden klimafaktor.

Det ses på resultatet af modellen simuleret med 1 års gentagelsesperiode, at stort set alle ledninger er fyldtløbende i løbet af simuleringsperioden. Den samme situation ses også på resultatet af modellen, der er simuleret med 5 års gentagelsesperiode, hvor der er opstuvning til terræn i omkring halvdelen af brøndene i modellen. De to figurer viser næsten samme situation som de to modeller der er simuleret *med* klimafaktor i afsnit 3.4.



Figur B.1: Fyldningsgraden af ledninger i Ishøj By ved en CDS-regn med 1 års gentagelsesperiode og uden klimafaktor. De røde ledninger repræsenterer at ledningerne er fyldtløbende i simuleringsperioden. De grønne ledninger repræsenterer at ledningerne ikke er fyldtløbende i simuleringsperioden.



Figur B.2: Opstuvning til terræn ved en CDS-regn med 5 års gentagelsesperiode og uden klimafaktor. De røde punkter repræsenterer at vandstanden i brønden er over kritisk niveau i løbet af simuleringsperioden. De grønne punkter repræsenterer at vandstanden i brønden ikke kommer over kritisk niveau i løbet af simuleringsperioden.

Klimatilpasningselementernes påvirkning på oversvømmelsen C

I dette kapitel er effekten af hvert enkelt klimatilpasningselement vist. Figur C.1 viser effekten på oversvømmelsen, når der kun er implementeret permeabel belægning i MU. Dette er implementeret ved at reducere befæstelsesgraden på vejene i Gadekæret fra 90% til 70%.

Figur C.2 viser effekten på oversvømmelsen, når der kun er implementeret faskiner i modellen. Der er implementeret otte faskiner i MU, der hver har et volumen på 494 m³. Figur C.3 viser effekten på oversvømmelsen, når der kun er implementeret render i modellen. Renderne er lagt på hovedvejene, hvor de leder vandet på overfladen ned i gadekæret. Renderne er opbygget som en trapez og har en maksimal dybde på 35 cm og en bredde på 120 cm.

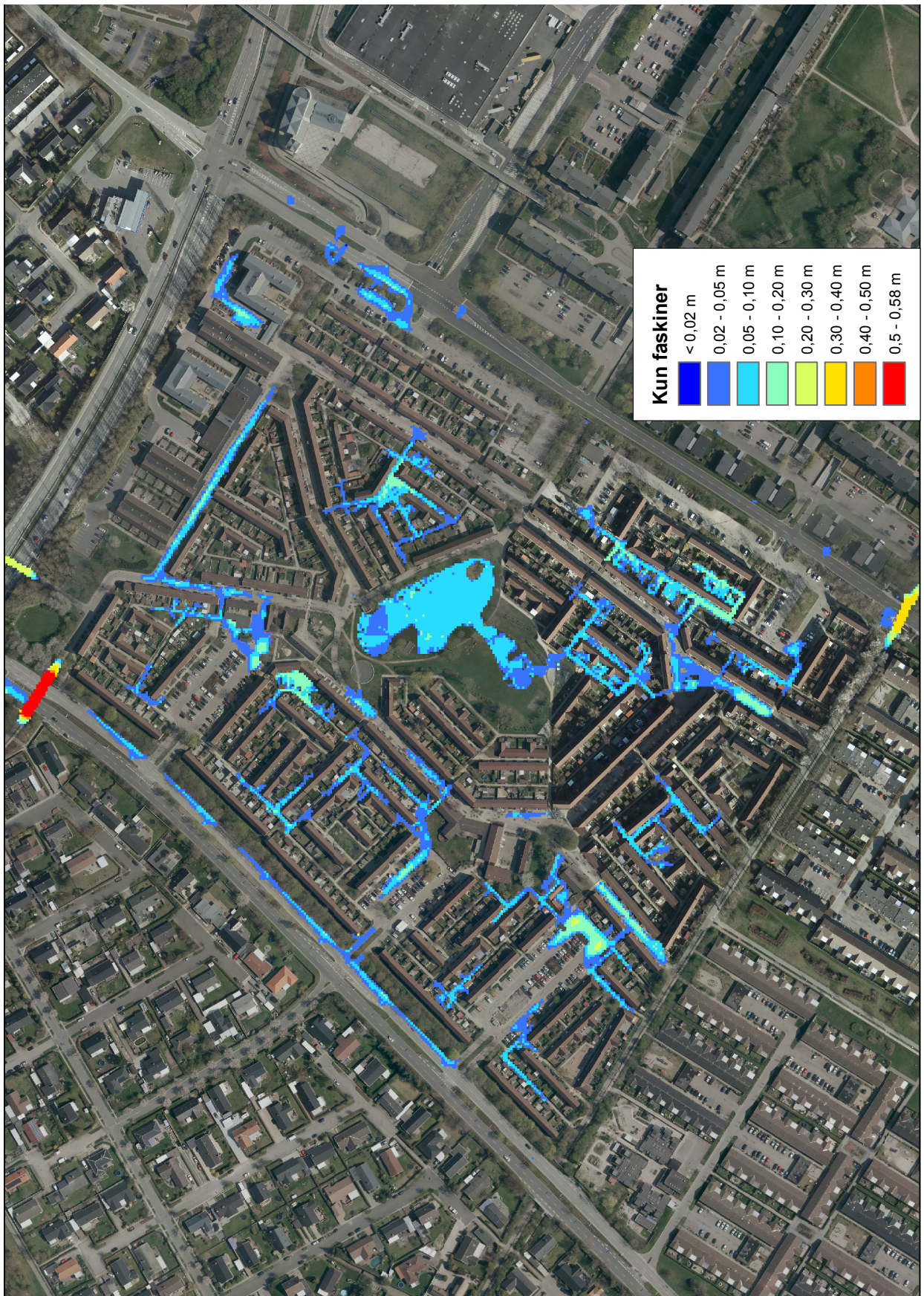
Tabel C.1 sammenligner antallet af oversvømmede celler, middel oversvømmelsesdybde, arealet af oversvømmelsen og volumen af oversvømmelsen for de tre elementer. Det ses, at render er det element, der alene fjerner mest, mens faskinerne fjerner næstmest, og den permeable belægning fjerner mindst af de tre.

	Kun permeabel belægning (uden gadekæret)	Kun faskiner (uden gadekæret)	Kun render (uden gadekæret)
Antal oversvømmede celler [-]	9.344	6.420	3.727
Middel oversvømmelsesdybde [m]	0,066	0,068	0,058
Areal af oversvømmelse [m ²]	23.920	16.435	9.541
Volumen af oversvømmelse [m ³]	1.581	1.114	553

Tabel C.1: Oversigt over antallet af oversvømmede celler efter implementering af de tre klimatilpasningselementer, samt middel oversvømmelsesdybde, det samlede oversvømmelsesareal og -volumen.



Figur C.1: Maksimal oversvømmelse i Gadekæret ved regnhændelsen d. 2. juni 2014 efter implementering af permeabel belægning, hvor befæstelsesgraden på vejene er ændret fra 90% til 70%. Terrænmodellen brugt i denne simulering har en cellestørrelse på 1,6 m.



Figur C.2: Maksimal oversvømmelse i Gadekæret ved regnhændelsen d. 2. juni 2014 efter implementering af otte faskiner i modellen. Hver faskine har et volumen på 494 m³. Terrænmodellen brugt i denne simulering har en cellestørrelse på 1,6 m.



Figur C.3: Maksimal oversvømmelse i Gadekæret ved regnhændelsen d. 2. juni 2014 efter implementering af render i hovedvejene. Renderne er opbygget som en trapez og har en maksimal dybde på 35 cm og en bredde på 120 cm. Terrænmodellen brugt i denne simulering har en cellestørrelse på 1,6 m.