Klimasikring af boligområdet Kildeparken ved brug af LAR

Thomas Remmer Justsen & Rikke Winther Hansen

Afgangsprojekt - Vand og Miljø - Aalborg Universitet - Juni 2013

Aalborg Universitet

Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet
Institut for Byggeri og Anlæg - Vand og Miljø
Sohngaardsholmsvej 57
9000 Aalborg

Titel:
Klimatilpasning af boligområdet Kildeparken ved brug af LAR

Emne:
Lokal afledning af regnvand

Projekt periode:
3. og 4. semester, master.

Forfattere:

Rikke Winther Hansen

Thomas Remmer Justsen

Vejledere:
Søren Liedtke Thorndahl
Henrik Brødsgaard Pedersen (COWI)

Kopier: 5
Antal sider: 79
Antal bilag: 8
Afsluttet: Juni 2013

Synopsis:

Projektets formål er at undersøge hvordan LAR-elementer kan implementeres i forbindelse med en gennemgribende renovering af boligområdet Kildeparken i Aalborg Øst, hvor det ønskes at håndtere alt regnvand lokalt. Gennem en analyse af Kildeparkens terræn, jordtyper, afstanden til grundvandsspejlet og værdierne i området, er det vurderet i hvilke dele af Kildeparken forskellige typer LAR-elementer kan implementeres. Dvs. hvor der kan nedsives, transporteres og magasineres regnvand.
Ud fra analyser er der opstillet forskellige løsningsforslag, som tager udgangspunkt i både 'Kildeparken 2020', der er en helhedsplan for den kommende renovering af både boliger og de omkringliggende grønne fællesarealer og i egne ideer. Løsningsforslagene testes i to modeller; kapacitetsmodellen og overfladeafstrømningsmodellen. Kapacitetsmodellen, der er en simpel massebalancemodel opbygget i MATLAB, simulerer, med en 13 år lang målt historisk regnserie, hvordan LAR-elementernes kapacitet udnyttes gennem en længere periode. Overfladeafstrømningsmodellen, som er opbygget i MIKE URBAN, tester LAR-elementernes funktion ved en enkelt ekstrem regnhændelse og viser hvor evt. oversvømmelser vil opstå.
Resultaterne fra modellerne viser at det kan lade sig gøre at håndtere en regnhændelse med en gentagelsesperiode på op til 50 år indenfor området uden at skabe oversvømmelser i de omkringliggende områder. Med den rigtige udformning af det krævede magasineringvolumen vil det samtidig være muligt at opnå en rekreativ værdi i området, i form af vand i bassiner og rindende vand mellem bassinerne.

Forord

Denne tekniske rapport er et afgangsprojekt udarbejdet af Thomas Remmer Justsen og Rikke Winther Hansen på 3. og 4. semester af kandidatuddannelsen vand- og miljø ved B-studienævnet, School of Engineering and Science, på Aalborg Universitet. Projektarbejdet, der ligger til grund for denne rapport, er udarbejdet i perioden 1. september 2012 til 31. maj 2013 og udgør 45 ECTS point. Projektets emne er: *Klimasikring af boligområdet Kildeparken ved brug af lokal afledning af regn, LAR.*

Formålet med projektet er udarbejdet i samarbejde med Henrik Brødsgaard Pedersen, COWI Aalborg, som gennem projektet har fungeret som bivejleder og bidraget med inspiration og ideer samt materiale i form af nedsivningstests. Som hovedvejleder har Søren Liedtke Thorndahl, lektor ved Institut for Byggeri- og anlæg, været tilknyttet. Der rettes en tak til Lars Frederiksen, COWI Kongens Lyngby for hjælp og råd i forbindelsen med udførelse af terrænændringer i ArcGIS og for levering af materiale i form af oversvømmelseskort. Himmerland Boligforeningen takkes for at give tilladelse til udførelse af nedsivningstests i Kildeparken samt bidrag til diskussioner af indholdet ved deltagelse i møder. Desuden takkes DHI for gratis brug af software.

Rapporten indeholder en hovedrapport inkl. bilag som findes bagerst i rapporten samt cd med ydereligere bilag, f.eks.regneark.

Læsevejledning

Gennem rapporten er kildehenvisninger noteret med firkantede parenteser med forfatterens efternavn og udgivelsesåret, [efternavn, år]. Kildehenvisningerne præciseres i litteraturlisten som findes i slutningen af hovedrapporten.

Abstract

The purpose of the project is to investigate how elements of SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems) can be implemented in the renovation of the residential area 'Kildeparken' in the eastern part of Aalborg. Here the objective is to manage all stormwater locally, without major consequenses outside the area of 'Kildeparken' in cases of extreme rain events. At the same time a recreationel environment, with water included, when it is not raining should be insurered.

Through analysis of the terrain, the soil composition, the location of the groundwater table and the economic values in the area, it was investigated where in 'Kildeparken' SUDS-solutions could be implemented. The requirements for implementation where possible percolation, transportation and storage of stormwater.

Following the results of the analysis a number of solutions where implemented consisting of various compositions of SUDS-solutions such as green roofs, permeable pavement, channels and retension bassins. The solutions were based on ideas from the masterplan of the renovation called 'Kildeparken 2020' combined with own ideas based on the analysis.

The solutions were tested in two models; 'the capasity model' and 'the surface runoff model'. 'The capasity model' is a simple massbalance model setup in MATLAB. It simulates how the capasity of the SUDS-solutions' is being utilized during the events of a 13 year long historical rainseries. 'The surface runoff model' is setup in MIKE URBAN and simulates the flooding following the impacts of a single synthetic extreme event.

The results of the investigation in the project are: That it is possible to deal with a rain event with a return period of 50 years inside the area by the use of SUDS without causing floodings outside Kildeparken. Also it was found that with the right design of the required storage capasity it will be possible to reach a recreationel environment in terms of permanent water in the bassins and running water between them.

Indholdsfortegnelse

Kapitel 1 Indledning **1**

Kapitel 2 LAR-elementer **5**
2.1 Grønne tage 6
2.2 Permeabel belægning 7
2.3 Faskiner 9
2.4 Regnbede 10
2.5 Bassiner og kanaler 11

Kapitel 3 Problemformulering **13**

Kapitel 4 Screeningsanalyse **15**
4.1 Terræn 15
4.2 Nedsivning 17
4.3 Vurdering af værdier i Kildeparken 26

Kapitel 5 Implementering af LAR **29**
5.1 Strategi fra 'Kildeparken 2020' 29
5.2 Egne løsninger 30
5.3 Mål 32
5.4 Afgrænsning af modelområde 32

Kapitel 6 Udnyttelse af kapacitet **35**
6.1 Modelopbygning 35

Kapitel 7 Overfladeafstrømningsmodel **41**
7.1 Modelopbygning 41

Kapitel 8 Løsningsforslag **51**
8.1 Nulløsning 51
8.2 'Kildeparken 2020' 52
8.3 Optimering af 'Kildeparken 2020' 58
8.4 Optimering af 'Kildeparken 2020' med nedsivning ved ekstremhændelser 62
8.5 Optimering af 'Kildeparken 2020' med grønne tage 63

Kapitel 9 Den sydlige del af Kildeparken **67**

Kapitel 10 Diskussion **69**

Kapitel 11 Konklusion **73**

Kapitel 12 Perspektivering **75**

Litteratur **77**

Bilag A Kort med stednavne A 1

Bilag B Simpel nedsivningstest A 3

Bilag C Følsomhedsanalyse af parametre i afstrømningsmodel B A 5

Bilag D Fordeling af oplandstyper i model B A 7

Bilag E Beregningscellernes størrelses betydning i MIKE URBAN 2D Overland A 9

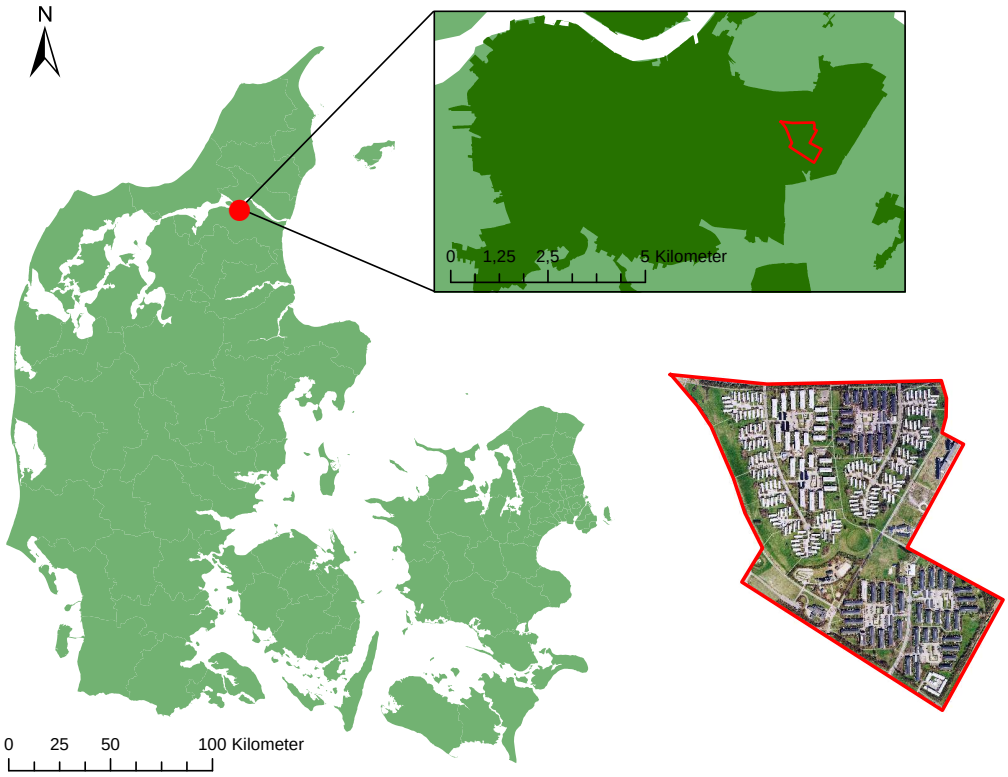
Bilag F Sammenligning mellem udløb til overflademodel og nedbør A 13

Bilag G Figurer fra overfladerafstrømningsmodellen A 17

Bilag H Elektronisk bilag A 25

Indledning 1

Rapporten tager udgangspunkt i den forestående renovering af de grønne områder i boligområdet Kildeparken i Aalborg Øst. I efteråret 2012 stemte et stort flertal af beboerne i Kildeparken ja til et forslag om en gennemgribende renovering af området. Renoveringen skal primært omfatte boligerne, men også de omkringliggende grønne arealer. I de grønne arealer skal der skabes aktivitet og rekreativ værdi med regnvand som centrum. Renoveringsprojektet, som er et af landets største, kommer til at koste ca. 1,3 mia. kr og forventes at stå færdigt i 2020. Kildeparkens beliggenhed er illustreret på figur 1.1.



Figur 1.1. Projektområdet 'Kildeparken'.

Kildeparken er en del af Himmerland Boligforening og består af ca. 1100 boliger fordelt på to boligtyper; gårdhuse og etagebyggeri. Figur 1.2 og 1.3 viser billeder fra Kildeparken. Boligerne blev opført i 1972 og kræver nu en gennemgående renovering. Bygningerne er omgivet af et stort parklandskab som fremstår ensartet og ubenyttet. I forbindelse med renovering af bygningerne er det Himmerland Boligforenings vision at udnytte disse arealer til at skabe et mere attraktivt boligområde med natur og aktiviteter, der kan tiltrække mange forskellige typer beboere. [EFFEKT og COWI, 2011b]

Figur 1.2. Billede fra Kildeparken, sommeren 2012.

Figur 1.3. Billede fra Kildeparken, sommeren 2012.

Dele af Aalborg Øst, heriblandt Kildeparken, er socialt belastede områder, som gennem de seneste år har været præget af utryghed, indbrud og ildspåsættelser. Derfor er det Himmerland Boligforenings ønske at Kildeparken, med renoveringen, bliver et mere alsidigt boligområde, som kan tiltrække nogle mere ressourcestærke beboere, så de kan medvirke til at det bliver et bedre sted at bo.

I forbindelse med renovering af Kildeparken ønsker Himmerland Boligforening i høj grad at udnytte de grønne fællesarealer til at gøre boligområdet mere attraktivt.

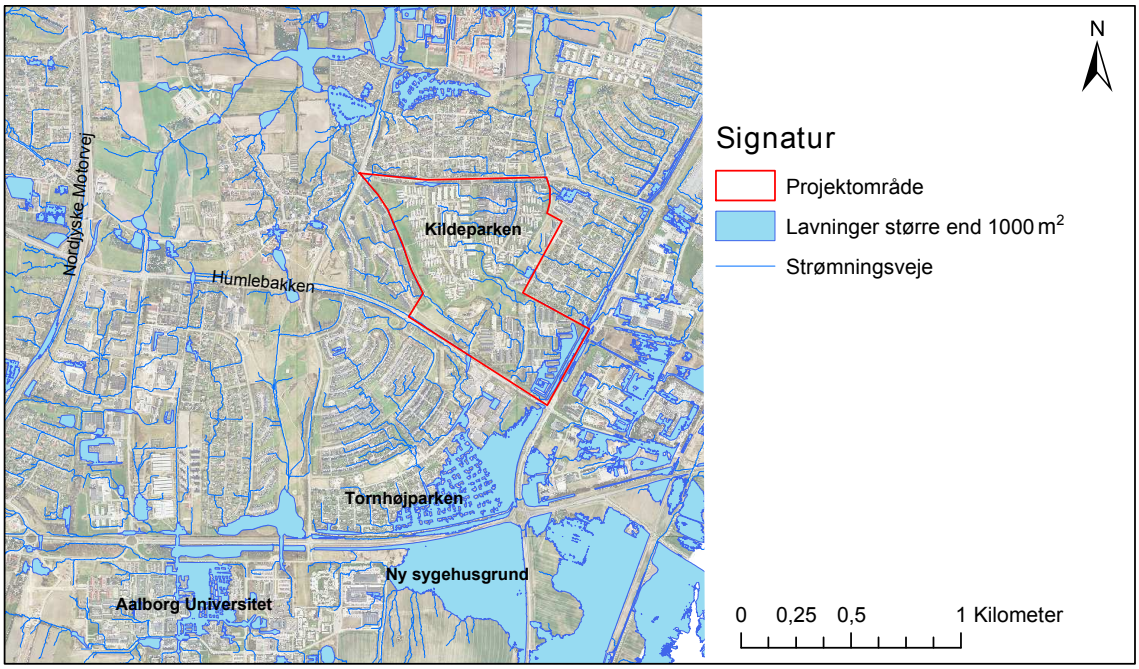
Udover boligforeningens ønske om at benytte de grønne fællesarealer rekreativt, er der en anden god grund til at udnytte de store græsarealer; klimasikring. Klimaet er under forandring og forandringerne medfører mere ekstremt vejr og vandstandsstigninger. Ifølge FN's klimapanel, IPCC's, klimascenarie A1B, som er det Klima- og Energiministeriet i 2010 anbefalede, kan der, frem mod 2100, forventes en lokal temperaturstigning på 2-3°C, en havvandsstigning i Limfjorden på mellem 0,1-1,2 m samt flere storme og mere ekstrem regn. Dette projekt tager udgangspunkt i det sidste; mere ekstreme regnhændelser. [Aalborg Kommune, 2011]

Aalborg Kommune vil med Klimastrategi 2012-2015 [Aalborg Kommune, 2011] medvirke til at forebygge yderligere klimaændringer og tilpasse sig til de klimaforandringer der kommer. Klimastrategien fastsætter bl.a. konkrete mål for reduktion af CO_2 udledning og, mere relevant for dette projekt, hvordan kommunen kan sikre byerne mod oversvømmelser.

Med Vision 2100 [Kristensen et al., 2009] er det Aalborg Forsyning, Kloak A/S's vision at Aalborg Kommune er separatkloakeret i år 2100. Dette vil være til stor gavn for kommunens renseanlæg, da disse dermed udelukkende skal håndtere spildevand og ikke, som i dag, en blanding af regn- og spildevand. Desuden vil det forbedre miljøtilstanden i mange recipienter fordi udledning af spildevand ved overbelastningen af rørenes kapacitet undgås. Det er dog en dyr og langvarig proces at separatkloakere hele Aalborg Kommune og derfor inddrages Lokal Afledning af Regn, LAR, som en supplerende løsning i Klimastrategi 2012-2015 [Aalborg Kommune, 2011]:

"Fra 2012 skal der i alle lokalplaner indgå en beskrivelse af, hvordan regnvandet håndteres baseret på LAR. Ligesom der også i alle fremtidige byomdannelses- og renoveringsprojekter, så vidt muligt skal indarbejdes LAR-løsninger." [Aalborg Kommune, 2011]

I 2010 lavede COWI en kortlægning af potentielle oversvømmelsestruede områder i Aalborg, se figur 1.4.



Figur 1.4. Kort over oversvømmelsestruede områder. Udarbejdet på baggrund af data fra COWI.

Kortet viser hvilke områder omkring Kildeparken, der vil være i særlig risiko for at blive oversvømmet ved ekstreme regnhændelser. Det fremgår at den sydøstlige del af projektområdet er i denne gruppe. Desuden er området syd for Kildeparken i særlig risiko - skulle en ekstrem regnhændelse forekomme i dag, vil det formentlig give problemer for boligejerne som bor i lavningerne, men i fremtiden, hvor det nye supersygehus skal bygges på landbrugsarealerne syd for Kildeparken, vil oversvømmelser medføre væsentlig større konsekvenser. Strømningsvejene viser at det bl.a. er Kildeparken, der leder vand mod lavningerne syd for området.

At dele af Aalborg Øst er i risiko for at blive oversvømmet ved ekstreme regnhændelser blev tydeligt d. 15. aug 2006, hvor der ifølge DMI og Spildevandskomiteen [2012] faldt 88 mm regn på 11 timer. Regnhændelsen, som svarer til en hændelse der kun sker én gang hvert 100. år, resulterede i forholdsvis store oversvømmeler forskellige steder i Aalborg Øst. Figur 1.5 og 1.6 er billeder taget i Tornhøjparken og ved Aalborg Universitet efter denne regnhændelse.

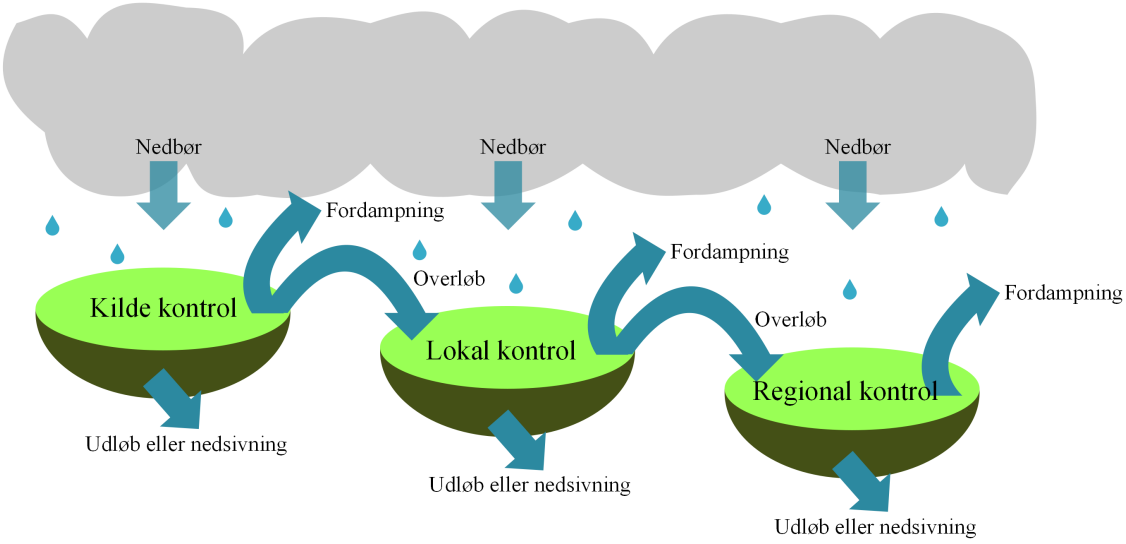
Figur 1.5. I kajak gennem Tornhøjparken. Foto af Gitte Jørgensen, fra TV2 Vejrets galleri.

Figur 1.6. Cykelsti i Aalborg Øst. Foto af Jacob Arpe, fra TV2 Vejrets galleri.

Ønsket om at skabe et mere attraktivt boligområde og kommunens strategi i forhold til klimasikring har resulteret i visionen om at Kildeparken skal frakobles afløbssystemet mht. regnvand. Dermed er det et ønske at alt regnvandet håndteres lokalt og det skal være synligt og derved skabe rekreativ værdi i området. Som indledning til renoveringsprojektet har arkitektfirmaet EFFEKT og det rådgivende ingeniørfirma COWI udarbejdet en helhedsplan for området; 'Kildeparken 2020' [EFFEKT og COWI, 2011a]. Af helhedsplanen fremgår det hvordan regnvandet i Kildeparken kan håndteres både på bygnings-, enklave- og landskabsniveau og dermed skabe aktivitet og et rekreativt miljø på de grønne fællesarealer. Ifølge helhedsplanen kan en lang række LAR-elementer benyttes til at opnå dette, bl.a. bassiner, kanaler, grønne tage, vandrender, regnbede, infiltrationsplæner, legeinstallationer, nyttehaver osv. [EFFEKT og COWI, 2011a].

LAR-elementer 2

Den nye håndtering af nedbør i Kildeparken bygger på principperne i LAR, Lokal Afledning af Regnvand, derfor vil dette kapitel gennemgå den generelle tankegang i LAR og undersøge nogle af de mere konkrete elementer. LAR dækker over en række elementer, som alle har til formål at reducere og forsinke afstrømningen til det traditionelle afløbssystem. Dermed opnås færre overbelastninger af afløbssystemet, hvilket især er vigtigt i ældre bebyggede områder. Her er afløbssystemet typisk ikke dimensioneret til den mængde regn, der falder på de befæstede arealer, som gennem årerne er udvidet betragteligt. Yderligere opnås en reduktion i det vand, som ledes til renseanlægget i det tilfælde at afløbssystemet er anlagt som et fælleskloakeret system. Visse af LAR-elementerne udnytter jordens nedsivningsevne til at transportere vandet ned til grundvandet. Giver jorden ikke mulighed for nedsivning, kan andre LAR-elementer benyttes til magasinering og fordampning af vandet. Det leder til et af de bærende principper i LAR, nemlig at vandet så vidt muligt bortskaffes lokalt. CIRIA (The Construction Industry Research and Information Association), der er en britisk interesseorganisation for byggebranchen, arbejder med begrebet "The Surface Water Management Train", der er illustreret på figur 2.1. Her forsøges vandet i første omgang bortledt ved kilden enten ved nedsivning eller til en recipient. Kan dette ikke lade sig gøre f.eks. grundet dårlige nedsivnings muligheder, vandet er forurenet og kræver behandling eller at der ikke er kapacitet lokalt, ledes vandet et niveau længere ned. Er der heller ikke mulighed for at bortskaffe vandet på et lokalt niveau behandles det regionalt. Dette princip går derfor imod traditionel afledning, hvor bortskaffelsen af nedbøren først indtræder langt nede i systemet. Samtidig viser princippet også at LAR er svær at indbygge i urbane områder, hvor lokal håndtering besværliggøres af manglende plads og store vandmængder som konsekvens af en høj befæstelsesgrad.



Figur 2.1. Princippet i LAR jf. "The Surface Water Management Train"[CIRIA, 2001].

LAR har længe været kendt i Danmark, men er først de seneste år kommet i fokus. Ifølge Aalborg Kommune [2011] er det Aalborg Kommunens mål at; "I alle fremtidige projekter der vedrører renovering af bygninger og byomdannelse, skal der i videst muligt omfang indarbejdes LAR-løsninger." Derfor er det også et incitament for Himmerland Boligforening, når de i løbet af 2014 starter på renoveringen af Kildeparken.

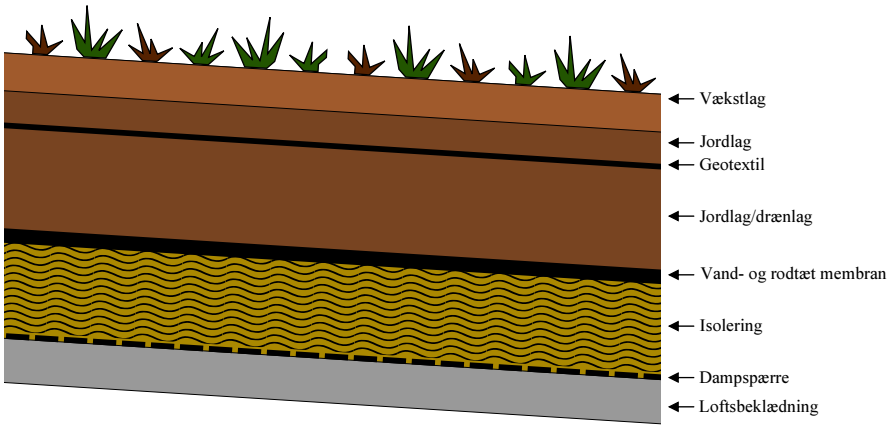
Der findes en lang række LAR typer og ikke alle er relevante i Kildeparken. I dette kapitel ses der nærmere på de typer af LAR-elementer, der tænkes at kunne implementeres på Kildeparkens område. Formålet med dette er, at give en beskrivelse af hvordan de fungerer, hvilke forudsætninger der stilles for optimal udnyttelse og gennem litteraturstudier at undersøge virkningsgraden. Disse erfaringer vil i sammenhæng med studier af nedsivningsforhold og andre begrænsende forhold i Kildeparken, blive brugt til at udvælge de optimale løsninger i området. LAR-elementer indgår ofte i en kæde af flere elementer. Kapitlet vil tage udgangspunkt i denne kæde, der typisk består af elementer, der optager nedbøren som grønne tage og permeable overflader, herfra løber vandet videre til nedsivnings elementer såsom faskiner og regnbede. Derudover kan der indgå bassiner og kanaler, der forsinker vandet i systemet evt. kombineret med nedsivning. Kapitlet tager udgangspunkt i Rambøll Danmark A/S et al. [2012], der er et LAR metodekatalog fra Københavns Kommune. Ved brug af andre kilder vil det blive refereret løbende.

2.1 Grønne tage

Grønne tage er en særlig form for tagdækning, der kombinerer tagets funktion som skallag med tilbageholdelse af regnvand. I stedet for at anvende almindelig tagdækning, hvor nedbøren afstrømmer på overfladen, dækkes tagkonstruktion i stedet af særlig vegetation, der kan klare sig i både våde og tørre perioder. Herved kan mindre regnhændelser og peaks fra større hændelser tilbageholdes i tagmediet, mens større hændelser siver gennem mediet og ledes videre til traditionel afledning eller andre LAR-elementer.

2.1.1 Systembeskrivelse

Grønne tage opdeles som standard i to typer: Ekstensive og intensive. De ekstensive er forholdsvis tynde tage på 30-80 mm der indeholder både vækst, beskyttelses- og drænlag, der adskilles fra selve tagkonstruktionen vha. en vand- og rodtæt membran. De intensive er mere omfattende og består af et vækstlag på 20-40 mm, der anlægges ovenpå et vækstmedium på 80-150 mm, hvorunder der er et drænlag og en vand- og rodtæt membran. De intensive tage tillader et bredere udvalg af planter, da de ikke på samme måde tørrer ud. En begrænsende faktor ved de intensive tage er at de vejer mere og derved stiller større krav til tagkonstruktionen. De materialer der anvendes har stor betydning for tilbageholdelsen af vand i tagene. Til drænlag anvendes typisk forskellige filt eller mineraluldstyper, da de kan optage meget vand, samtidig med de har en forholdsvis lav vægt. Ved særligt omfattende intensive tage, der er deciderede taghaver anvendes dog også almindelige jordtyper. Som vækstlag anvendes typisk specialfremstillede jorde, der giver optimale forhold for de planter, der anvendes på tagene. Disse jordtyper nedbrydes samtidig langsomt og modvirker ukrudtsfrø i at spire [Veg Tech, 2012]. Tagenes hældning har også betydning for vandtilbageholdelsen, ved for stor hældning vil vandet i mindre grad blive optaget i taget og i stedet strømme af på overfladen. Desuden vil store hældninger give risiko for erosion af taget. På figur 2.2 ses et snit af et intensivt grønt tag.



Figur 2.2. Snit af et intensivt grønt tag.

2.1.2 Forudsætninger

Anlægning af grønne tage stiller særligt krav til tagkonstruktionen, da vækstmedie og planter i sig selv tilfører en relativ stor last, og under vandmættede forhold en særlig stor lastforøgelse sammenlignet med konventionel tagdækning. Derfor egner grønne tage og specielt intensive tage sig primært til nybyggeri eller omfattende renovering, hvor den øgede belastning kan indtænkes i løsningsforslaget.

2.1.3 Virkningsgrad

Indenfor området grønne tage er der lavet en række studier, der bl.a. vurderer deres virkning på tilbageholdelse af nedbør. I artiklen Stovin et al. [2012], der er resultatet af arbejdet med en testopstilling i Sheffield i England, arbejdes der med en 3×1 m ekstensiv grøn tagoverflade med et 80 mm vækstlag. Denne opstilling blev fulgt i 27 måneder med en målt totalnedbør på 1892,2 mm. I denne periode blev der tilbageholdt 50,2 % af den samlede nedbør. I perioden viste studiet dog at tagets effekt, som forventet, faldt med stigende regnintensitet og -dybde. Konkret viser studiet at for regnhændelser med gentagelsesperioder på mere end 1 år falder den totale tilbageholdelse til 29,3 %. Lignende sammenhæng mellem regndybde og tilbageholdelse af nedbør finder Carter og Rasmussen [2006] i et studie foretaget i Georgia, USA.

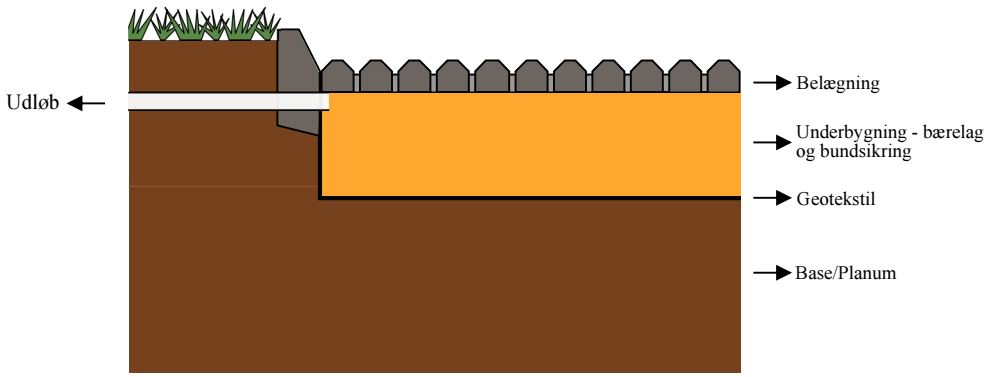
2.2 Permeabel belægning

En permeabel belægning er en belægning, der tillader at nedbør kan trænge gennem overfladen og derved reducere nedbøren der ellers ville bidrage til afstrømning i afløbssystemet. Permeable overflader kan have mange forskellige udformninger. Typisk anvendes beton- eller plastelementer, der er udformet så en stor del af overfladen er hulrum, der kan udfyldes af vegetation. Alternativt kan det være flisebelægning med porøse fuger eller specialdesignede fliser eller asfalt, der gennem en porestruktur tillader nedsivning gennem selve elementet. Endelig kan der også være tale om helt simple elementer såsom græs eller grusarealer, der også opfattes som permeabel belægning.

2.2.1 Systembeskrivelse

Selve overfladen er ofte kun første del af LAR-løsningen, permeabel belægning. Under overfladen anlægges typisk en underbygning, der består af forskellige lag. Formålet med underbygningen er

dels at sikre fundering af belægningen, der ofte er dimensioneret til at bære en vis trafikal last og samtidig virke som drænlag for overfladen. Afhængig af hvilken afledning der er mulighed for i området, kan der under underbygningen være forskellige afgrænsninger. F.eks. geotekstil, der holder på bærelaget, men samtidig tillader nedsivning. Alternativt afgrænses underbygningen af en tæt membran og der vil så være afløb fra underbygningen til anden afledning enten konventionelt eller et andet LAR-element. Endelig kan der laves en kombination, hvor der f.eks. er mulighed for aflastning af elementet ved særlig store regnhændelser, mens nedbøren under normale regnhændelser afledes ved nedsivning. På figur 2.3 ses opbygningen af en permeabel overflade med både nedsivning og udløb.



Figur 2.3. Systemopbygning af permeabel overflade med udløb til kloak, andet LAR-element eller recipient.

2.2.2 Forudsætninger

Specielt ved anvendelse af nedsivning som afledningsmetode fra permeabel belægning, er der visse begrænsninger, der skal tages højde for. Placeringen af grundvandsspejlet er en vigtig forudsætning for, at nedsivning kan anvendes. Der tages udgangspunkt i den højeste placering af grundvandsspejlet, der typisk optræder i vinterhalvåret. I denne periode anbefales det at grundvandsspejlet ligger minimum én meter under underbygningen og det vil typisk også være kravet til at opnå en nedsivningstilladelse. På samme måde er jordbundens sammensætning en vigtig forudsætning for at der kan opnås tilstrækkelig nedsivning. Derfor er stærkt ler- og siltholdige jorde ikke anbefalelsesværdige i forbindelse med nedsivning og der anbefales en nedsivningsevne svarende til en mættet hydraulisk ledningsevne der er større end $5 \cdot 10^{-6}$ m/s.

2.2.3 Virkningsgrad

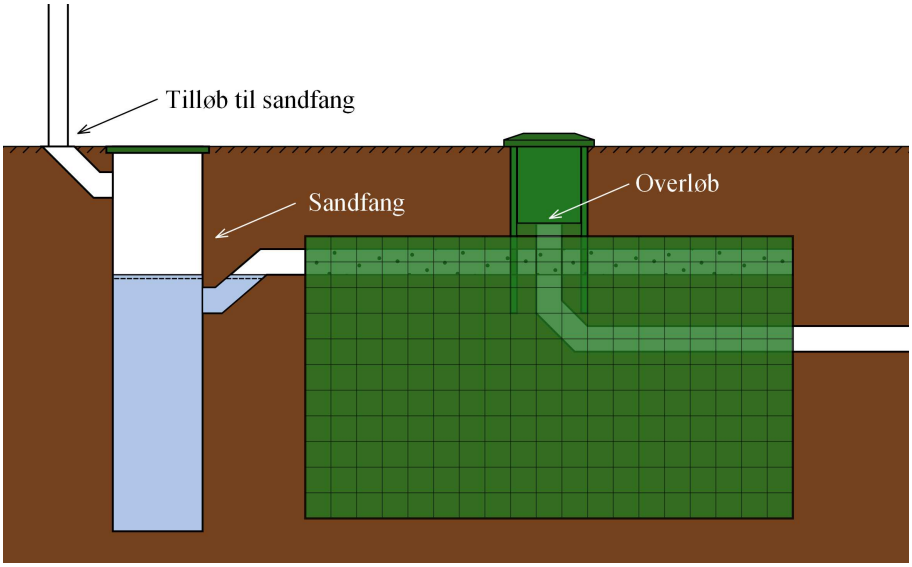
Der er lavet en del studier af permeable overflader. Et af disse, udført af University of Washington på et testanlæg nær Seattle, USA, er beskrevet i artiklen Brattebo og Booth [2003]. Her undersøges forskellige typer af permeabel belægning udført i plastik eller beton efter seks års parkerings brug. Disse undersøgelser viste i måleperioden (nov. 2001 og jan. - mar. 2002) en næsten 100 % nedsivning af nedbøren på overfladen under selv store regnhændelser. En anden fordel ved permeable belægninger er, at det ifølge studier tilbageholder tungmetaller og carbonhydrider såsom diesel olie og dermed er med til at beskytte recipienten. Dette omtales bl.a. i artiklen Scholz og Grabowiecki [2007], der samler resultaterne fra nogle af de studier, der er lavet indenfor emnet.

2.3 Faskiner

En faskine er i princippet et underjordisk bassin. Men i stedet for at bygge et egentligt bassin udvides jordens porøsitet i et område. Dette kan gøres mere eller mindre simpelt fra at være sten i forskellige størrelser, mursten eller klinker i et hul, til at være egentlige anlæg. Ved anlæg anvendes typisk plastkassetter, der fra producenten har en garanteret bæreevne, så jorden ovenover ikke styrter sammen, hvilket f.eks. tillader faskiner anvendt under belægning, der skal kunne modstå en vis belastning.

2.3.1 Systembeskrivelse

Som beskrevet består faskiner af et volumen i jorden, der udfyldes med et materiale med særlig stor porøsitet. Hertil tilledes vand fra eksempelvis tagoverflader eller befæstede arealer, der dog ikke må anvendes til motortrafik. Før vandet når selve faskinen anlægges typisk et sandfang, hvorved tilstopning af faskinen reduceres. Faskinens porevolumen udfyldes herefter i takt med at regnhændelsen bidrager til det. Porevolumenet varierer alt efter hvilket fyldmateriale der anvendes. For grus ligger det på 10-20 %, mens det for plastkassetter ligger mellem 75 og 95 %. Efterhånden som faskinens porevolumen udfyldes strømmer vandet videre ud i den omgivende jordmatrice og nedsiver til grundvandet. Endelig kan der være overløb til andre LAR-elementer eller konventionel afledning. På figur 2.4 ses en faskine af plastkassetter med tilløb, sandfang og overløb.



Figur 2.4. Figuren viser en skitse af en faskine af plastkassetter med tilløb, sandfang og overløb.

2.3.2 Forudsætninger

Ligesom ved andre typer nedsivning anbefales en minimumsafstand til grundvandet på én meter ved højeste grundvandsstand og en hydraulisk ledningsevne på mindst $5 \cdot 10^{-6}$ m/s. Derudover anbefales det at faskiner anlægges med en afstand til huse med beboelse eller kælder på 5 m, mindst 2 m fra huse uden beboelse samt 2 m fra skel.

2.3.3 Virkningsgrad

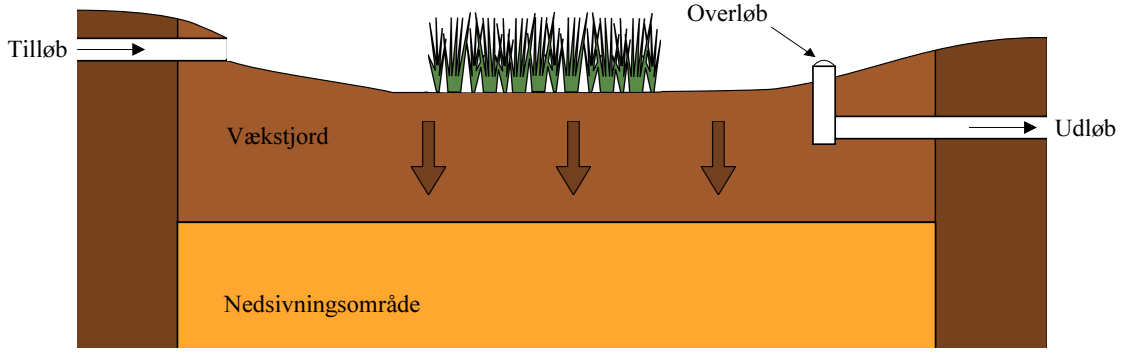
Faskiner er typisk dimensioneret til at yde fuld kapacitet hvert 5. år, mens regnhændelser, der ligger ud over dette, skal håndteres ved andre metoder. Studier viser desuden at faskiner mister en del af deres effekt i årene efter de er anlagt pga. tilstopning i selve faskinen og i jorden rundt om den. Artiklen Bergman et al. [2011] behandler studiet af to faskiner i det indre København efter 15 års anvendelse. Det viser at den gennemsnitlige hydrauliske ledningsevne fra faskinen reduceres betydeligt især de første år efter anlæggelsen og viser at det gælder både sider og bund. I perioden er siderne gået fra en gennemsnitlig hydraulisk ledningsevne på 0,89 til 0,29 μm/s og bunden fra 0,28 til 0,07 μm/s. Disse resultater fremskrives og studiet konkluderer at hvis faskinerne ikke vedligeholdes vil der være 10 gange flere overløb årligt efter 100 år end ved anlæggelse.

2.4 Regnbede

Regnbede består, som navnet antyder, af et bed, der er udformet så det kan bruges til at opsamle nedbør. Regnbede kan bruges mange forskellige steder. Som anlæg i private haver, som aflastning fra parkeringsarealer, langs stier eller i vejrabatter.

2.4.1 Systembeskrivelse

Regnbedet indgår, som andre LAR-elementer, typisk som del af en kæde, hvor det f.eks. modtager regnvandet fra overløbet ved en permeabel overflade eller vandet kan løbe direkte på overfladen af eksempelvis en græsflade og ned i regnbedet. Selve regnbedet anlægges som en fordybning i terrænet og fungerer som et tørt bassin og de anvendte planter skal derfor kunne holde til i kortere perioder at stå under vand. Selve regnbedet består typisk af et vækstlag, hvori de anvendte planter kan trives. Herunder anlægges et lag med materialer der optimerer nedsivning dvs. sand eller grus. Endelig kan der anlægges deciderede faskiner under regnbedet. Det vand som planterne ikke optager, vil så med tiden nedsive eller fordampe og der kan af hensyn til større regnhændelser være et nødoverløb. På figur 2.5 ses en skitse af et regnbed med tilløb og overløb.



Figur 2.5. Skitse af regnbed med tilløb og overløb.

2.4.2 Forudsætninger

Forudsætningerne for regnbede er de samme som for andre nedsivningsanlæg, dvs. en anbefalet afstand til grundvandsspejlet på mindst én meter og en hydraulisk ledningsevne på $5 \cdot 10^{-6}$ m/s. Desuden anbefales de samme minimums afstande til beboelse som ved faskiner.

2.4.3 Virkningsgrad

Virkningsgraden for et regnbed kan sammenlignes med den for et bassin med nedsivning. For at planterne skal trives bør regnbedet dog ikke stå under vand i flere dage og kapaciteten er derfor mindre end for et bassin.

2.5 Bassiner og kanaler

Bassiner og kanaler er nogle af de mest udbredte metoder til forsinkelse af nedbør i afløbssystemer. Bassiner anvendes også i stor udstrækning i mere traditionel håndtering af regnvand, hvor de bruges til at forsinke udløb til recipienten. I LAR sammenhæng kan kanaler og bassiner opbygges som egentlige anlæg, der er anlagt med det ene formål at håndtere regn. Alternativt kan de indtænkes i landskab og infrastruktur, så vejanlæg under ekstreme situationer kan bruges som kanaler eller en skolegård kan bruges som forsinkelsesanlæg. Dette er f.eks. gjort i Middelfart, hvor en cykelsti er anlagt, så den har kapacitet til at virke som bassin for op til 100 m^3 nedbør [Teknologisk Institut, 2012].

2.5.1 Systembeskrivelse

Bassiner kan anlægges både som tørre og våde bassiner, der adskilles af om de har et permanent vandspejl. De tørre bassiner kan kombineres med nedsivningsanlæg, så vandet nedsives til grundvandet. Både bassiner og kanaler kan anlægges som meget urbane områder, med impermeable overflader i beton eller flisebelægning. Alternativt kan de anlægges som mere naturlige anlæg, hvor en kanal reelt bare er en grøft/fordybning i en græsoverflade, mens et bassin på samme måde kan være en fordybning. Typisk anlægges bassiner med et sandfang, der begrænser sedimentering i bassinet, der med tiden vil reducere bassinets kapacitet.

2.5.2 Forudsætninger

Ved nedsivning gælder de samme forudsætninger for bassiner og kanaler som for andre nedsivningsanlæg, dvs. en anbefalet afstand til grundvandsspejlet på en meter og en hydraulisk ledningsevne på min. $5 \cdot 10^{-6}$ m/s og der gælder de samme afstandsanbefalinger til bebyggelse som ved øvrige nedsivningsanlæg. Derudover kan der være krav til maksimal vanddybde og sidernes hældning af hensyn til sikkerhed.

2.5.3 Virkningsgrad

Virkningsgraden for kanaler og bassiner er afhængig af hvor stort et volumen, der dimensioneres for. Dog kan virkningsgraden reduceres af sedimentation, så for at opretholde den ønskede kapacitet, skal der foretages fortsat vedligeholdelse. På samme måde kan nedsivning fra anlæg med nedsivning muligvis reduceres med tiden pga. tilstopning i de omkringliggende jordlag, som det eksempelvis ses ved faskinerne i artiklen Bergman et al. [2011].

Problemformulering 3

Klimaforandringer medfører flere ekstreme regnhændelser, hvilket i sig selv er et problem i forhold til det eksisterende afløbssystem, som ikke er dimensioneret til at håndtere så store mængder regnvand på én gang. Kombineret med byudvidelser og voksende befæstede arealer, fører klimaforandringer til hyppigere overbelastninger af afløbssystemet. Problemet kan løses ved at øge kapaciteten i afløbssystemets rør, men de seneste år har der været stor fokus på at aflaste afløbssystemet ved at håndtere regnvandet lokalt og dermed mindske bidraget til afløbssystemet.

Det er Himmerland Boligforeningens vision, i forbindelse med renovering af boligområdet Kildeparken i Aalborg Øst, at al regnvand skal håndteres lokalt og nedsive eller fordampe på egen grund. Dette mål skal nås ved at implementere en række LAR-elementer, som samtidig skal medføre en rekreativ værdi til området. Almindeligvis dimensioneres LAR-elementer, ifølge Aabling og Arnbjerg-Nielsen [2011], efter en 10 års gentagelsesperiode for overbelastning, men i forhold til at skabe rekreativ værdi i området, i form af vand i bevægelse, vil det være nødvendigt at mindske gentagelsesperioden for nogle LAR-elementer. Dermed kræver det en mere kompleks løsning at nå målet om en komplet afkobling fra afløbssytemet mht. overfladevand. Dette fører til følgede problemformulering:

Kan der for Kildeparken opstilles en løsning med kæder af LAR-elementer der, indenfor en acceptabel gentagelsesperiode, dels sikrer, at der i dagligdagssituationen er vand i systemet og samtidig kan håndtere nedbøren under ekstreme regnhændelser.

Metoden til at undersøge denne problemstilling og opstille løsningsforslag er følgende:

Indledningsvis analyseres projektområdet med formål at undersøge hvor LAR-elementer med nedsivning kan anlægges. Ligeledes analyseres terrænet, i forhold til hvordan dette kan udnyttes til transport og magasinering af regnvand. Nedsivningspotentialet undersøges ved udførelse af nedsivningstests samt studier af jordartskort og boreprofiler fra området. På baggrund af den indledende analyse lægges en strategi for hvordan forskellige LAR-elementer skal implementeres i Kildeparken, her tages både ideer fra EFFEKT og COWI [2011a] og egne ideer i betragtning.

Forskellige løsningsforslag bliver testet med fokus på to situationer; ekstreme regnhændelser og hverdagsudnyttelsen af systemet. Til analyse at de ekstreme regnhændelser benyttes MIKE URBAN, hvor afstrømningen på overfladen simuleres for enkelte ekstreme regnhændelser. Denne model viser hvor eventuelle oversvømmelser vil opstå. Til analyse af udnyttelsesgraden af LAR-elementerne benyttes en simpel massebalancemodel, som opbygges i MATLAB. Denne model simulerer fyldningsgraden af forskellige bassiner som funktion af en 10 års historisk regnserie. Modellerne benyttes til at vurdere virkningen af forskellige kombinationer af LAR-elementer, der opstilles i forskellige løsningsforlag.

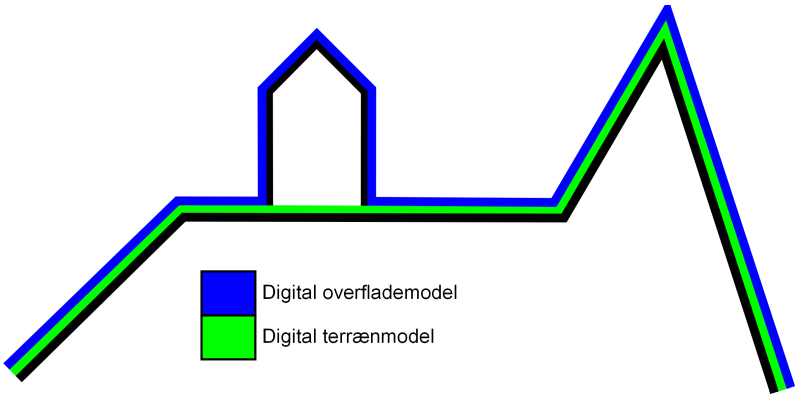
Screeningsanalyse 4

Formålet med screeningsanalysen er at klarlægge hvordan projektområdets potentiale udnyttes bedst muligt i forhold til at håndtere regnvandet lokalt. Screeningsanalysen vil, med fokus på terrænniveau, jordens nedsivningsevne og værdier, resultere i kort som illustrerer i hvilke dele af Kildeparken der kan nedsivesregnvand samt hvilke områder der kan benyttes til kontrollerede oversvømmelser ved ekstreme regnhændelser.

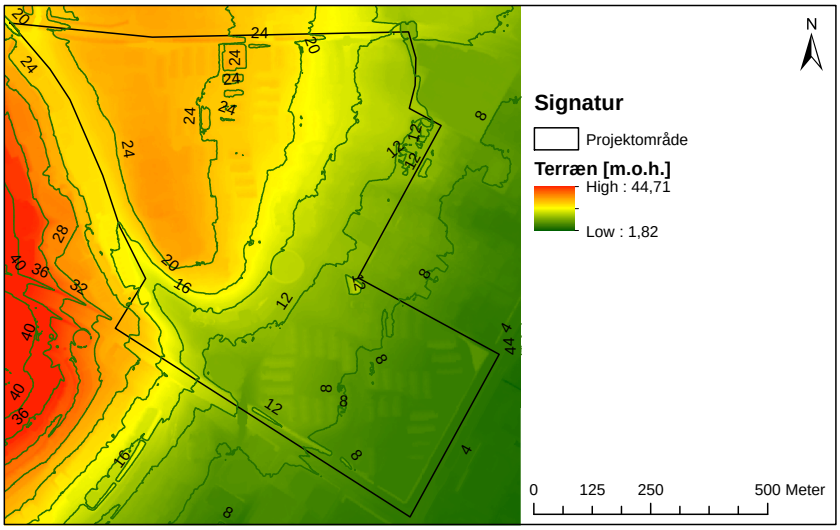
4.1 Terræn

For at finde ud af hvor regnvandet kan transporteres og magasineres laves en analyse af terrænet i Kildeparken. Analysen laves ud fra en digital terrænmodel fra Kort og Matrikelstyrelsen [Ukendt], som er lavet ved laserscanning fra fly i perioden foråret 2005 til foråret 2007. Den digitale terrænmodel har en nøjagtighed finere end 0,5 m afhængigt af terrænets beskaffenhed.

En digital terrænmodel er lavet ud fra en digital overflade model, dvs. en model som viser overfladen inkl. huse, træer osv. se figur 4.1. Når træer, planter, bygninger og menneskeskabte effekter fjernes fra overflademodellen fås terrænmodellen. Dog fremgår det af figur 4.2, at der stadig er "rester" tilbage fra overflademodellen, da bygningerne kan fornemmes i terrænmodellen. Denne fejl ses der bort fra i dette projekt, da det ikke vurderes at have afgørende betydning.

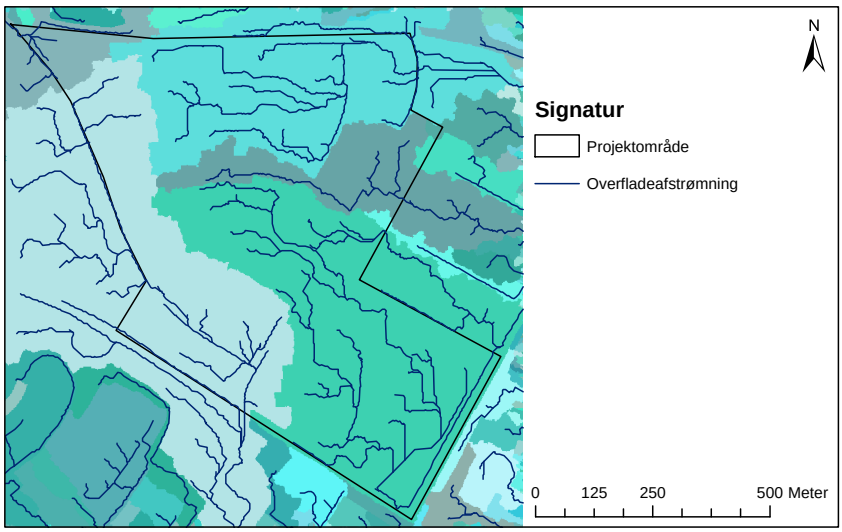


Figur 4.1. Skitsering af princippet bag digital terræn- og overflademodel.



Figur 4.2. Digital terrænmodel for Kildeparken. Udarbejdet på baggrund af data fra Kort og Matrikelstyrelsen [Ukendt].

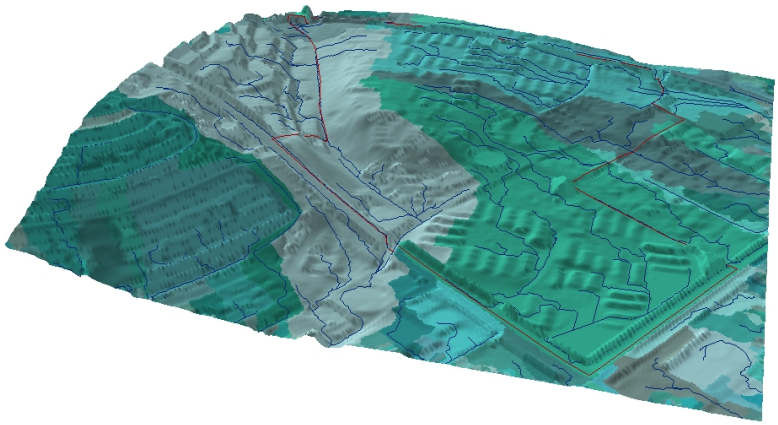
Terrænmodellen viser, at der er stor højdeforskel i projektområdet. Terrænet ligger mellem 4 og 24 m.o.h., højest i den nordvestlige ende og skrånende mod sydøst. Dermed vil størstedelen af regnvandet naturligt blive transporteret mod sydøst. Til nærmere analyse af hvor vandet vil samles og transporteres på overfladen benyttes de hydrologiske funktioner i programmet ArcGIS. På baggrund af hældningen af de enkelte celler i terrænmodellen beregnes, hvor regnvandet ville samles og strømme, hvis overfladen var impermeabel. En celle er markeret som vandfyldt, når der er mere end 1000 andre celler, der bidrager med vand til den. Dermed ses det hvor vandet samles og i hvilken retning det strømmer. Denne kunstige situation vil i princippet kunne opstå under ekstreme regnhændelser, hvor jorden er vandmættet. Overfladeafstrømningen er illustreret på figur 4.3. Figur 4.3 viser desuden oplandene til 'vandløbene', disse er lavet på baggrund af terrænmodellen og oplandene adskilles af højderygge i terrænet.



Figur 4.3. Afstrømning på overfladen ved impermeabel overflade. Udarbejdet på baggrund af data fra Kort og Matrikelstyrelsen [Ukendt].

Af overfladeafstrømningen ses det at regnvandet fra nogle af oplandene vil strømme ud af projektområdet og det vil derfor blive nødvendigt at lave LAR-løsninger og/eller terrænændringer, da det ønskes at al regnvand håndteres lokalt. Figur 4.3 kan også benyttes i forbindelse med dimensionering af bassiner, da den viser det opland, der naturligt vil bidrage med vand.

Den digitale terrænmodel samt oplande og strømveje er illustreret i 3d på figur 4.4. Da Danmark og dermed også Kildeparken er et forholdsvist fladt område, er højden multipliceret med fem for at kunne se terrænvariationen.



Figur 4.4. Digital terrænmodel i 3d med overfladeafstrømning. Højden er multipliceret med 5. Udarbejdet på baggrund af data fra Kort og Matrikelstyrelsen [Ukendt].

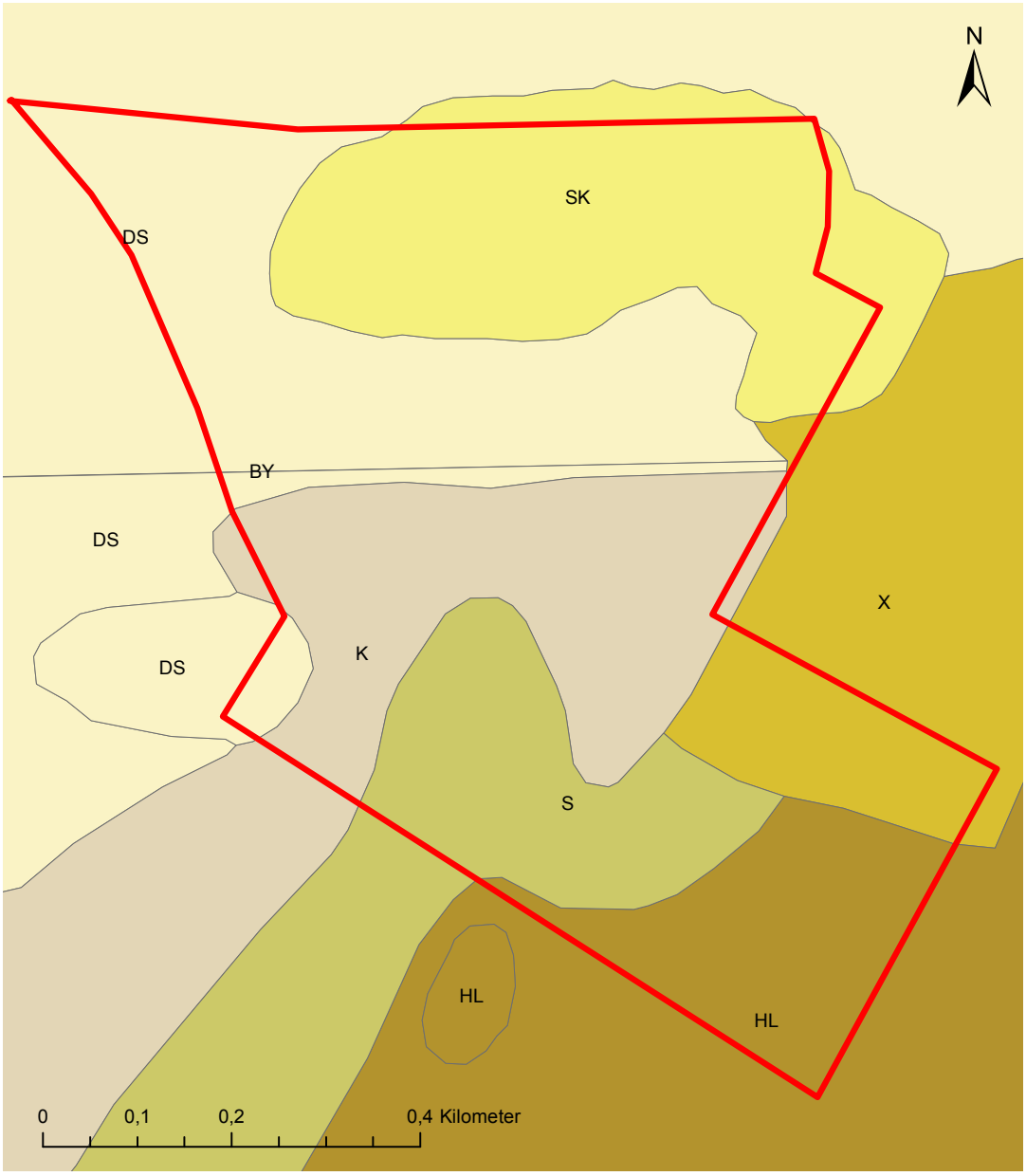
4.2 Nedsivning

Der er i helhedsplanen 'Kildeparken 2020' [EFFEKT og COWI, 2011a] lagt op til at regnvandet skal magasineres og nedsives fra forskellige bassintyper og på overfladen. For at få den bedst mulige virkning af de forskellige elementer, er det vigtigt at disse placeres rigtigt i forhold til jordens nedsivende egenskaber. En jordmatrices nedsivningsevne afhænger af hvilke jordtyper den indeholder og hvordan disse er bygget op. Nedsivningspotentialet for jorden i Kildeparken vurderes ud fra en sammenligning af forskellige metoder til at bestemme jordens nedsivningsevne. Indledningsvis laves en vurdering på baggrund af Danmarks digitale jordartskort og geotekniske boringer fra GEUS [2012]. Efterfølgende sammenlignes dette med to forskellige typer nedsivningstest foretaget i Kildeparken. Udover jordtypernes opbygning er det af høj betydning, hvor langt der er fra nedsivningsområdet til grundvandsspejlet. Det er ikke muligt at nedsive regnvand i områder, hvor grundvandsspejlet er i samme højde som bunden af nedsivningselementet. Grundvandsspejlet analyseres i slutningen af dette afsnit.

4.2.1 Digitale jordartskort og boreprofiler

Først skabes et overblik over hvilke jordtyper der præger undergrunden i Kildeparken vha. tilgængeligt data fra GEUS. Der laves en sammenligning af digitale jordartskort og geotekniske

boringer fra projektområdet. Denne metode er hurtig, da den ikke kræver feltmålinger og laboratoriearbejde. Det digitale jordartskort indeholder oplysninger om jordarternes type og udbredelse i én meters dybde. Kombineres dette med geotekniske boringer, som er foretaget i området fås en model, der viser jordtyperne i Kildeparken i tre dimensioner. Figur 4.5 viser et udsnit af Danmarks digitale jordartskort.



Figur 4.5. Danmarks digitale jordartskort for projektområdet. DS - ferskvandssand, SK - skrivekridt, K - kalk/kridt, S - sand, HL - Saltvandsler, X - Ukarteret, BY - ikke-karterbare områder, f.eks. by. Kortet er udarbejdet på baggrund af data fra GEUS [2007].

Af jordartskortet fremgår det, at jordbunden i Kildeparken er blandet og i én meters dybde består af zoner med forskellige typer sand, ler og kalk. De enkelte jordtyper har med deres varierende kornstørrelser forskellig hydraulisk ledningsevne - disse er vist i tabel 4.1.

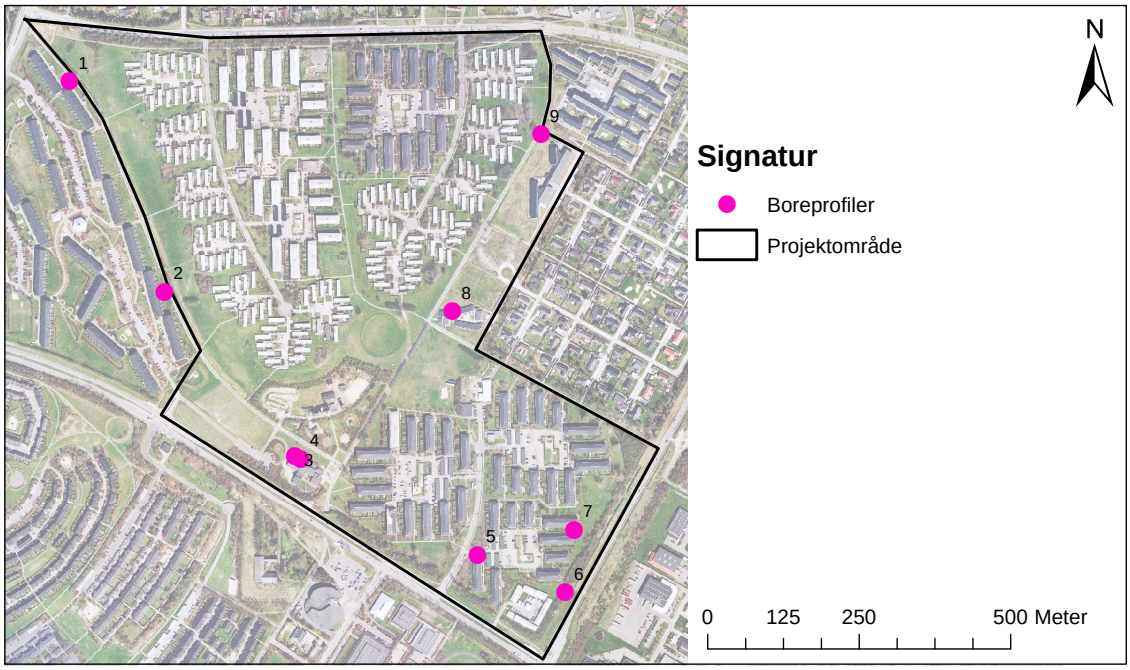
Jordtype	Hydraulisk ledningsevne, K_s [m/s]
Grus	10^{-3} - 10^{-1}
Sand	10^{-5} - 10^{-2}
Silt	10^{-9} - 10^{-5}
Ler (uden sprækker)	$<10^{-9}$
Moræneler	10^{-10} - 10^{-6}

Tabel 4.1. Hydraulisk ledningsevne for forskellige jordtyper. [Petersen et al., 1995]

Kalkens hydrauliske ledningsevne kan variere, afhængigt af om den er sprækket eller ej. Kalk har en meget høj porøsitet og magasineringskapacitet, men vandets transport gennem kalken er afhængig af at der er åbne sprækker gennem mediet. Dette behandles nærmere i de følgende afsnit. [Zinck-Jørgensen og Hinsby, 2001]

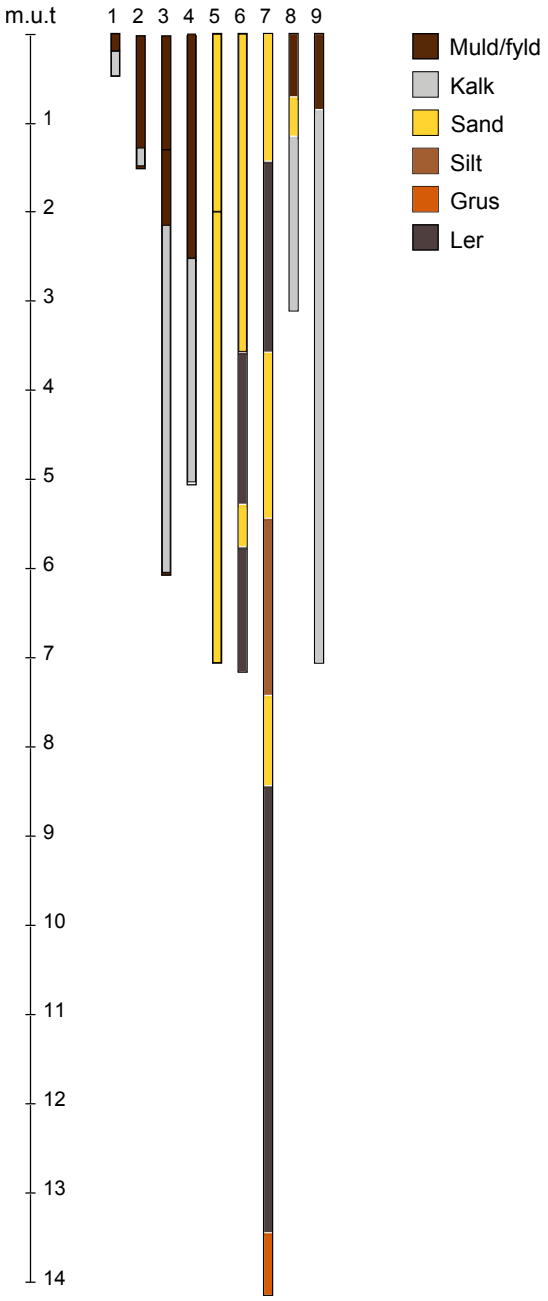
Ved anlæg af faskiner ligger den ideelle hydrauliske ledningsevne ifølge Rambøll Danmark A/S et al. [2012] mellem $5{\cdot}10^{-3}$ og $5{\cdot}10^{-6}$ m/s. Hvis den er større end 10^{-2} m/s løber vandet for hurtigt gennem jorden og når ikke at blive renset og hvis den er mindre end 10^{-7} m/s løber vandet ikke væk hurtigt nok.

Til information om den vertikale opbygning er der udvalgt ni geotekniske boringer, som ligger indenfor eller tæt på projektområdet. Dybden af de enkelte boringer varierer mellem 0,5 og 14 meter. Boringerne er foretaget i perioden 1960 - 2005. Årstallet for hver boring tillægges ingen betydning, da det ikke forventes at jordens opbygning har ændret sig indenfor den periode boringerne er foretaget. F.eks. er boring nr. 3 og 4 foretaget i hhv. 1982 og 2005, men ligner hinanden til forveksling. Figur 4.6 viser hvor de enkelte boringer er foretaget og figur 4.7 viser boreprofilerne.



Figur 4.6. Placering af boreprofiler. Udarbejdet på baggrund af kort fra COWI [2001].

Boreprofilerne med nr. 1, 2, 3, 4, 8 og 9 viser, at jorden i den nordlige ende af Kildeparken under muldlaget består af kalk. I den sydlige ende viser boreprofilerne med nr. 5, 6 og 7, at jorden primært består af skiftende lag af sand og ler. Kalkens hydrauliske ledningsevne er i høj grad afhængig af antal og størrelse af sprækker i materialet. Indeholder en kalkmatrice mange store sprækker, kan vandet relativt hurtigt løbe igennem, til gengæld kan kalkmatricen være næsten uigennemtrængelig hvis den ikke indeholder sprækker. Kalkens hydrauliske ledningsevne kunne undersøges ved at grave et hul til den ønskede dybde og udtage intaktprøver af kalken. Disse kunne undersøges i laboratorium og den hydrauliske ledningsevne ville kunne bestemmes for hver intaktprøve. Denne metode er meget præcis, men vil udelukkende give information om den hydrauliske ledningsevne i den udtagne kalkprøve. Udtages f.eks. tre intaktprøver fra samme udgravning, kan den hydrauliske ledningsevne for prøverne variere meget, afhængigt af sprækkerne i de enkelte prøver. Metoden er god på lille skala, men ikke optimal at benytte på den store skala, som er aktuel i Kildeparken. For ler gælder det, som for kalken, at sprækkerne er afgørende, dog vil den hydrauliske ledningsevne i dette konkrete tilfælde afhænge af den præcise opbygning af sand og ler. Er sand og ler blandet vil sandet f.eks. kunne skabe "gange" gennem lermatricen og den vil dermed kunne opnå en høj hydraulisk ledningsevne. I stedet er den hydrauliske ledningsevne bestemt ud fra to forskelle nedsivningstests, som er beskrevet nærmere i de følgende afsnit.



Figur 4.7. Boreprofiler fra Kildeparken. Udarbejdet på baggrund af data fra GEUS [2012].

4.2.2 Simpel nedsivningstest

Nedsivningstesten blev udført med udgangspunkt i fremgangsmåden i Rambøll Danmark A/S et al. [2012], men for at være sikre på hullets volumen, blev der benyttet et plastrør med en diameter på 25 cm. Røret blev gravet ned til ca. 30 cm dybde. Ved denne dybde blev kalkindholdet (i hullerne: 1, 2 og 3) højt og jorden blev for hård til at det var muligt at grave dybere med spade og skovl. Røret er tæt i siderne og nedsivningen kan derfor kun ske gennem bunden af hullet, dermed er nedsivningsfladen konstant gennem testen. Det forventes desuden at udsivningen fra et hul, som

er omringet af vandmættet jord, primært vil ske gennem bunden, da den dominerende kraft som virker på vandet er tyngdekraften. Røret fyldtes med vand til jorden var vandmættet, hvorefter det blev målt, hvor meget vand der sank ned i jorden på 10 min. Det antages ifølge Rambøll Danmark A/S et al. [2012] at jorden er vandmættet, hvis vandet synker mindre end 0,2 m på 15 min. Dette var let at opnå da forsøget blev lavet 31. okt. i en periode med meget regn. Figur 4.8 og 4.9 viser hvordan nedsivningstesten blev udført.

Figur 4.8. Forsøgsopstilling før vandmætning af jorden.

Figur 4.9. Forsøgsopstilling mens nedsivningstesten er i gang.

Nedsivningstesten blev udført fire forskellige steder i Kildeparken, figur 4.10 viser hvor. De fire steder er valgt på baggrund af jordartskortet og boreprofilerne, som viser at jordtyperne i de valgte områder er forskellige. Grunden til at der ikke blev lavet flere end fire test, er at det læringsmæssige udbytte ikke bliver større af at lave flere og tiden er blevet udnyttet til at lave andre undersøgelser.

Figur 4.10. Placering af simpel nedsivningstests i Kildeparken. Udarbejdet på baggrund af kort fra COWI [2001].

Jordens nedsivningsevne er beregnet helt simpelt som det volumen, der over 10 min er nedsevet gennem arealet af rørets endeflade. Resultaterne er opstillet i tabel 4.2.

Test nr.	Jordens nedsivningsevne, K [m/s]
1	$1{,}8 \cdot 10^{-5}$
2	$4{,}5 \cdot 10^{-5}$
3	$5{,}8 \cdot 10^{-5}$
4	$6{,}6 \cdot 10^{-5}$

Tabel 4.2. Jordens nedsivningsevne i Kildeparken bestemt ved nedsivningstest.

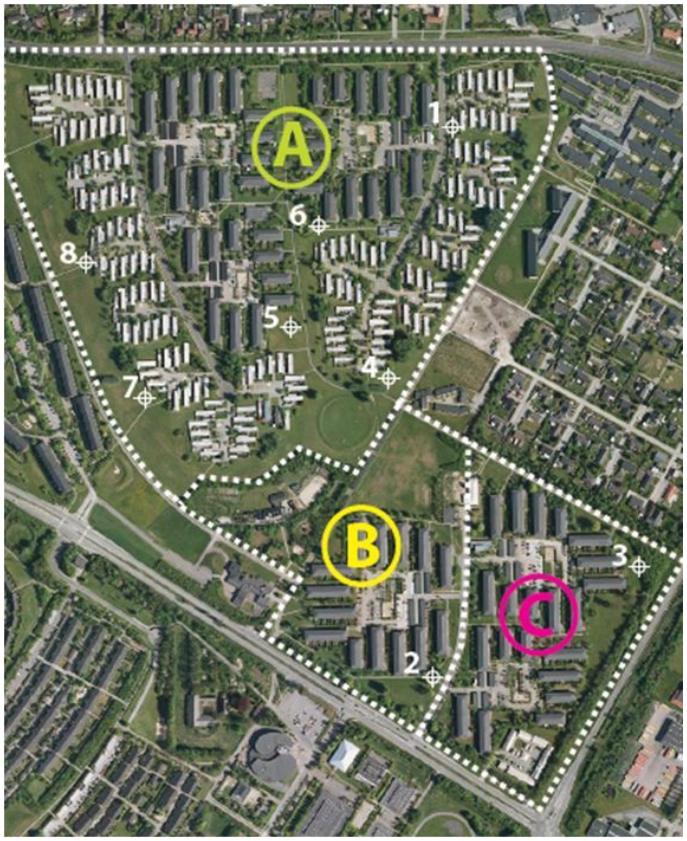
Måling nummer 4 blev foretaget forholdsvis tæt på en asfalteret sti og kan derfor være påvirket af bærelagene under stien. Placeringen af målepunkterne blev begrænset af at vandet blev transporteret på en bil, som ikke kunne køre væk fra de asfalterede stier og af at slangen til vandtanken var ca. 15 m lang.

Resultaterne ligger alle indenfor det anbefalede interval i forhold til nedsivning, dog i den lave ende. Dvs. at jorden er egnet til nedsivning, men LAR-elementer vil ved dimensionering få en relativ stor størrelse, da nedsivningen ikke sker så hurtigt. Eftersom hullerne blev gravet manuelt med spade og skovl og jorden allerede fra ca. 30 cm dybde var meget hård, var det desværre ikke muligt at udføre nedsivningstesten i en dybde svarende til dybden af f.eks. en faskine eller et bassin. Denne test giver i højere grad information om nedsivning fra overfladen end fra faskiner og bassiner. Grunden til at det ikke var muligt at grave dybere, kunne være at jorden blev komprimeret af tunge maskiner, da boligerne i området blev bygget og vejene og stierne blev anlagt.

Der skal selvfølgelig gøres opmærksom på at dette er fire punktmålinger som er foretaget én gang, dermed kan det ikke vides med sikkerhed at disse fire tests er repræsentative for hele projektområdet. For at verificere resultaterne sammenlignes de med resultaterne fra en anden type nedsivningstest, som er foretaget af COWI i forbindelse med udarbejdelse af helhedsplanen 'Kildeparken 2020' EFFEKT og COWI [2011a] - dette er beskrevet nærmere i følgende afsnit.

4.2.3 COWIs nedsivningstest

Som baggrund for helhedsplanen udførte COWI i februar 2011 otte nedsivningstests i Kildeparken. Forsøgene blev udført, ved at der blev boret et hul med en diameter på 0,15 m, til ca. 1,5 meters dybde. Denne dybde er valgt, da den ca. svarer til bunden af et nedsivningsbassin eller en faskine og det er derfor i denne dybde den primære nedsivning vil foregå. I hullet blev placeret et rør med huller i siden, så nedsivning ikke kun kunne foregå gennem bunden. Røret blev fyldt med vand gennem en halv time, hvorefter det blev antaget at jorden var vandmættet. Derefter blev det målt, hvor meget vand der sank ned i jorden i et målt tidsinterval. Forsøgene blev udført forskellige steder i Kildeparken. Placeringen er vist på figur 4.11.



Figur 4.11. Placering af nedsivningstests foretaget af COWI. [EFFEKT og COWI, 2011a]

Figur 4.11 viser at boringerne er jævnt fordelt i området. På figuren ses desuden COWIs resulterende inddeling af områdets nedsivningspotentiale. Zone A har et godt potentiale for nedsivning, i zone B vurderes nedsivningspotentialet at være tvivlsomt og i zone C vurderes det at være ringe. Baggrunden for denne inddeling er afstanden til grundvandsspejlet, som belyses nærmere i følgende afsnit. [EFFEKT og COWI, 2011a]

I COWIs beregning af nedsivningsevnen antages det at en del af nedsivningen sker gennem siderne i hullet. Nedsivningsfladen er beregnet ved at tage gennemsnittet af hullets bundflade og den våde overflade ved forsøgets start. Resultaterne er opstillet i tabel 4.3. Der er ingen resultater fra B3.

Boring	Jordens nedsivningsevne, K [m/s]
1	$1{,}97 \cdot 10^{-4}$
2	$2{,}86 \cdot 10^{-5}$
4	$4{,}97 \cdot 10^{-4}$
5	$4{,}27 \cdot 10^{-5}$
6	$8{,}33 \cdot 10^{-4}$
7	$1{,}12 \cdot 10^{-4}$
8	$7{,}33 \cdot 10^{-5}$

Tabel 4.3. Nedsivningsevne i Kildeparken bestemt ved nedsivningstest foretaget af COWI.

Resultaterne viser at nedsivningsevnen i Kildeparken ligger mellem $2{,}86 \cdot 10^{-5}$ m/s og $8{,}33 \cdot 10^{-4}$ m/s, den højeste værdier findes i den nordlige del af området, mens den laveste findes i den sydlige

del. Sammenlignet med den første nedsivningstest, hvor nedsivningsevnen ligger i intervallet $1{,}8{\cdot}10^{-5}$ m/s og $6{,}6{\cdot}10^{-5}$ m/s, ligger COWIs resultater højere, dog stemmer COWIs laveste resultater godt overens med den simple nedsivningstests resultater. Forskellen i resultaterne kan primært skyldes fire forskelle i forsøgenes udførsel og resultatbehandling. COWIs nedsivningstest blev foretaget i ca. 1,5 m dybde, hvor den simple blev foretaget i ca. 30 cm dybde. I de nordligste 2/3 af området består jorden i begge dybder af kalk, dog var jorden i 30 cm dybde opblandet med muld. Muldjorden kan være skyld i, at resultaterne fra den simple nedsivningstest er lavere end COWIs, fordi sprækkerne i kalken er "renere" i 1,5 m dybde. I den sydlige ende af området vurderes det at COWIs resultat er det bedste, fordi den simple test blev lavet forholdsvis tæt på en asfalteret sti. COWIs resultat fra boring B2 vurderes at være realistisk eftersom boreprofilerne viser at jorden består af sand, som har en hydraulisk ledningsevne i intervallet 10^{-5} m/s til 10^{-2} m/s og COWIs beregnede nedsivningsevne er $2{,}86 \cdot 10^{-5}$ m/s.

I sammenhæng med at forsøgene blev udført i forskellige dybder har der også været forskel i det hydrostatiske tryk. Ved den simple test var vandhøjden i røret op til 25 cm, hvor der i COWIs test var op til 1,5 m vandsøjle. Dette højere tryk kan være en væsentlig årsag til, at COWIs nedsivningsevne er højere end ved den simple test.

En anden faktor som kan være skyld i forskellen mellem de to nedsivningstest, er årstiden de er udført i. COWIs test blev lavet i februar, mens den simple test blev foretaget i oktober. Ifølge DMI [2012] falder der i februar næsten 40 mm nedbør, hvorimod der i oktober falder op mod 80 mm. Dette vil have betydning for jordens vandmætning og der er større sandsynlighed for at jorden var vandmættet ved den simple nedsivningstest i oktober end ved COWIs forsøg i februar.

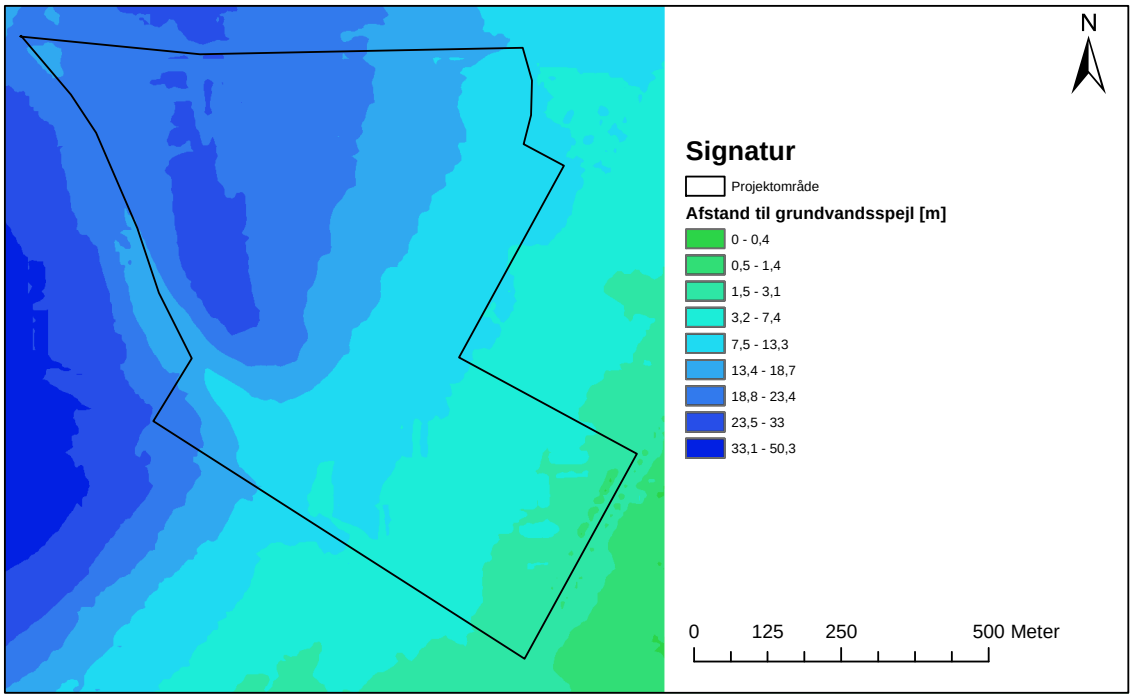
Den sidste faktor, som kan have betydning for resultaterne, er måden forsøget er udført på og hvordan resultaterne er behandlet. I den simple test skete der udelukkende nedsivning fra hullet gennem bunden, dermed har udsivningsfladen været konstant gennem forsøget. Havde røret været gennemtrængeligt ville der være sket en lille udsivning gennem siderne, dog forventes det at den primære udsivning sker gennem bunden, da tyngdekraften er den primære kraft som bidrager til nedsivningen. COWI benyttede et rør med gennemtrængelige sider og har i beregningen taget højde for at vandet siver ud gennem siderne, ved at beregne udsivningsfladen som et gennemsnit mellem arealet af den våde overflade ved forsøgets start og arealet af bunden af hullet. Denne forskel kan være grunden til at COWI får højere nedsivningsevne end den simple tests resultater.

4.2.4 Grundvandsspejl

Selvom jordtyperne i projektområdet viser at der er potentiale for nedsivning, er det afgørende, hvor stor afstand der er mellem bunden af nedsivningselementerne og grundvandsspejlet. Ifølge 2 anbefales det, at der er mindst én meters afstand fra nedsivningselementets bund til grundvandsspejlet ved årets højeste grundvandsstand. Da faskiner og bassiner typisk anlægges med bund i ca. 1,5 m dybde, skal der være mindst 2,5 m fra terrænniveau til grundvandsspejl.

Til analyse af grundvandsspejlet benyttes et grundvandspotentialekort for Nordjyllands Amt fra 2005. Dette viser at grundvandsspejlet i projektområdet ligger mellem kote 2 og 3. For at illustrere afstanden fra terrænniveau til grundvandsspejl, vises på figur 4.12 terrænkortet fra figur 4.2, hvorfra der er trukket 2,5 m. Dermed antages det at grundvandsspejlet er beliggende i kote 2,5 i hele projektområdet. Dette er naturligvis ikke korrekt, da grundvandsspejlet varierer lokalt og med årstiderne, men det vil give et billede af hvor i Kildeparken nedsivningspotentialet er størst. Desuden er grundvandspotentialekortet i forvejen behæftet med en usikkerhed, da det er lavet

på baggrund af fire pejlinger, som ligger indenfor en afstand af én kilometer fra projektområdet. Antagelsen om en grundvandskote på 2,5 m vurderes derfor ikke at øge usikkerheden.



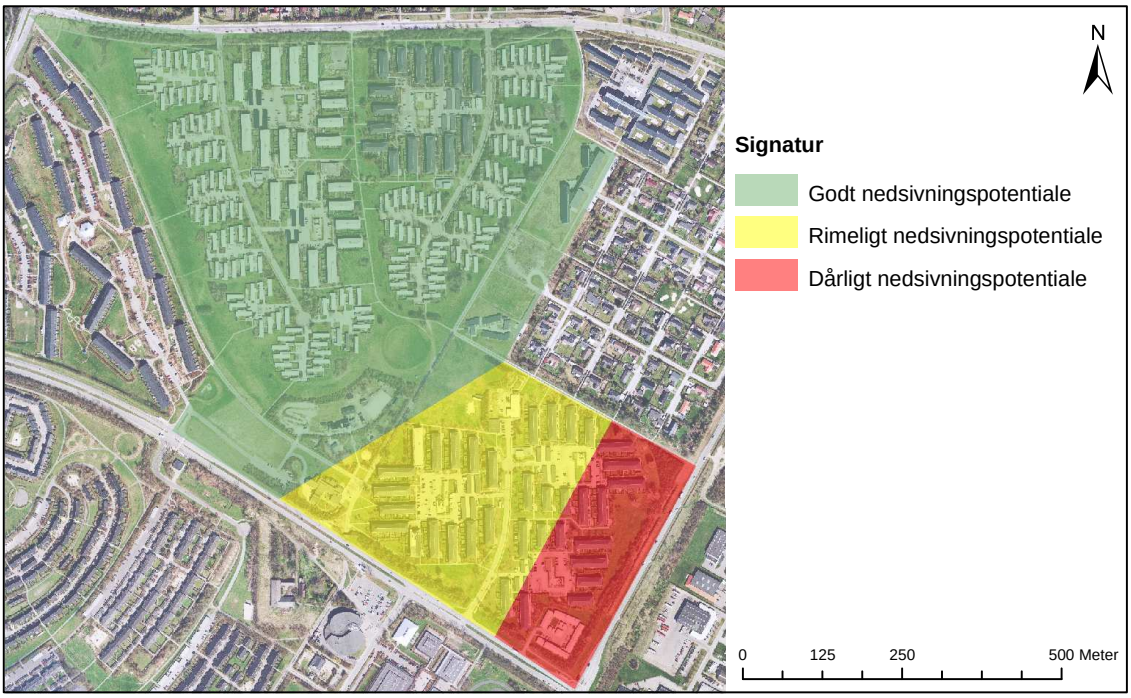
Figur 4.12. Afstand mellem terrænoverflade og grundvandsspejl. Udarbejdet på baggrund af data fra Kort og Matrikelstyrelsen.

Kortet viser, at grundvandet i den sydligste del af området ligger tæt på jordoverflader og det vil derfor ikke være muligt at nedsive regnvand i dette område. Mod nordvest er afstanden op til 26 m. Nedsivningspotentialet er derfor størst i den nordlige ende, aftagende mod sydøst og dårligt i den sydligste del af projektområdet.

4.2.5 Nedsivningspotentiale i Kildeparken

Analysen af nedsivningspotentialet i Kildeparken har vist, at begge nedsivningstests giver et resultat som stemmer overens med geotekniske boringer og jordartskort fra GEUS [2012]. Resultatet af den simple nedsivningstest ligger forholdsvis tæt på COWIs mere omfattende nedsivningstest. Senere i rapporten vil jordens nedsivningsevne blive vurderet nærmere i forbindelse med at en værdi skal benyttes til modellering. Analysen viser, at den simple test giver et forholdsvist godt resultat og denne metode er oplagt at benytte for boligejere, som ønsker at anlægge LAR-elementer i haven.

Analysen af nedsivningspotentialet i Kildeparken viser, at jordens nedsivningsevne ligger indenfor det anbefalede interval i hele området. Dermed er det på baggrund af grundvandsspejlets beliggenhed, at nedsivningspotentialet inddeles i tre zoner. De tre zoner er illustreret på figur 4.13. I den røde zone er nedsivningspotentialet dårligt, i den gule zone er det rimeligt, dvs. det kan godt lade sig gøre at nedsive regnvand, og i den grønne zone er det godt og store mængde regnvand kan nedsives.



Figur 4.13. Nedsivningspotentiale i Kildeparken. Udarbejdet på baggrund af kort fra COWI [2001].

Den røde zone er lavet på baggrund af at der, ifølge Aabling og Arnbjerg-Nielsen [2011], minimum skal være én meter mellem bunden af nedsivningselementet og det højeste grundvandsspejl, dette giver, når det antages at nedsivningselementer typisk anlægges med bund 1,5 m under terræn, en afstand på 2,5 m mellem terræn og grundvandsspejl. Da det er ukendt hvornår på året pejlingerne af grundvandet er lavet, er den røde zone lavet ud fra en afstand på 3 m, dermed ligger der en sikkerhed i forhold til at grundvandsstanden kan stige op til en halv meter. I den gule zone tages der hensyn til at grundvandsspejlet ved nedsivning af store mængde vand muligvis kommer til at stige lokalt. I den gule zone er afstanden mellem terrænniveau og grundvandsspejl ca. 3 - 7,5 m, dermed vil især den lavest liggende del af den gule zone, være tvivlsom hvis grundvandsspejlet stiger lokalt.

4.3 Vurdering af værdier i Kildeparken

Normalt anbefales det at dimensionere afløbssystemer til håndtering af regnvand til en gentagelsesperiode på 5 eller 10 år for opstuvning til en kritisk kote, der eksempelvis kan være terræn. Det vil sige at det accepteres, at der kommer vand på terræn mindst én gang hvert 10. år, da de sparede anlægsomkostninger her opvejer skadesomkostningerne [Harremoës et al., 2005]. I det nye Kildeparken skal al nedbør håndteres lokalt med LAR-løsninger og det ønskes derfor at kunne takle den daglige nedbør i disse, men i situationer med ekstremregn vil der jf. ovenstående komme vand på terræn. Men i stedet for, som traditionelt, ikke at vurdere hvad der sker med vandet, når det når den kritiske kote, vil denne rapport prøve at vurdere denne problemstilling. Dette gøres ved at vurdere de enkelte områders værdi, så Kildeparken kan designes til at oversvømmelser kontrolleres og sker på steder, hvor det vurderes at gøre mindst skade.

4.3.1 Opdeling i værdikategorier

Det er valgt at opdele Kildeparken i tre forskellige værdikategorier og der tages udgangspunkt i den måde området tænkes udformet efter renoveringen i EFFEKT og COWI [2011a] hvad angår bebyggelse, veje og større stier. Opdelingen ses på figur 4.14 og efterfølgende er de enkelte kategorier beskrevet.

Figur 4.14. Kildeparken opdelt i tre værdikategorier. Udarbejdet på baggrund af kort fra COWI [2001] og EFFEKT og COWI [2011a].

Bygninger

Denne kategori består af alle typer af bebyggelse i området. Der er ikke valgt at differentiere mellem erhverv/service som f.eks. sundhedshuset, fritidsaktiviteter som f.eks. den planlagte idrætshal og boliger. Kategorien kunne være opdelt i flere underkategorier, men det vurderes at alle bygninger i området er lige værdifulde ud fra en samfundsøkonomisk vurdering. Havde der været større arbejdspladser, der ved oversvømmelse kunne få ødelagt deres produktion, ville disse blive vægtet højere. Som udgangspunkt er kategorien 'bygninger', den der vægtes højest og i videst mulige omfang ønskes forhindret i oversvømmelse.

Veje, busbane og større stier

Næste kategori består af vejene, der jf. EFFEKT og COWI [2011a] skal være gennemgående, busbanen der tænkes anlagt parallelt med Astrupstien, se kort i bilag A, og større stier som netop Astrupstien. Denne kategori vægtes ikke så højt som boliger og oversvømmelse kan i visse tilfælde accepteres i kortere perioder, hvor de eksempelvis kan udnyttes til at tilbageholde eller viderelede dele af det ekstra nedbørsvolumen under ekstremregn.

Grønne områder og mindre stier

Den sidste kategori består af de øvrige dele af Kildeparken. Det omfatter primært grønne arealer, der kun i mindre omfang vil tage skade af at blive oversvømmet. Der vil i visse tilfælde være behov for en form for oprydning efter en oversvømmelse, men det er at foretrække frem for en vandfyldt kælder. På samme måde som med vejene tænkes det at udnytte visse områder som en del af løsningen under ekstremregn. Det kan f.eks. være med overløb fra LAR-elementer til nogle af de grønne områder.

Implementering af LAR 5

I dette kapitel beskrives hvilke principper for håndtering af regnvand der er lagt op til i helhedsplanen 'Kildeparken 2020' og hvordan de behandles i dette projekt. Desuden laves der en afgrænsning af projektområdet. Formålet med kapitlet er at klarlægge udgangspunktet for de to modeller som beskrives i de følgende kapitler samt hvilken sammenhæng dette udgangspunkt har med helhedsplanen for projektområdet.

5.1 Strategi fra 'Kildeparken 2020'

Der er i helhedsplanen 'Kildeparken 2020' lagt op til at en stor del af regnvandet i Kildeparken skal transporteres og magasineres i åbne kanaler og bassiner, primært på de grønne fællesarealer.

Figur 5.1. Illustration af den generelle strategi for håndtering af regnvand i Kildeparken. [EFFEKT og COWI, 2011a]

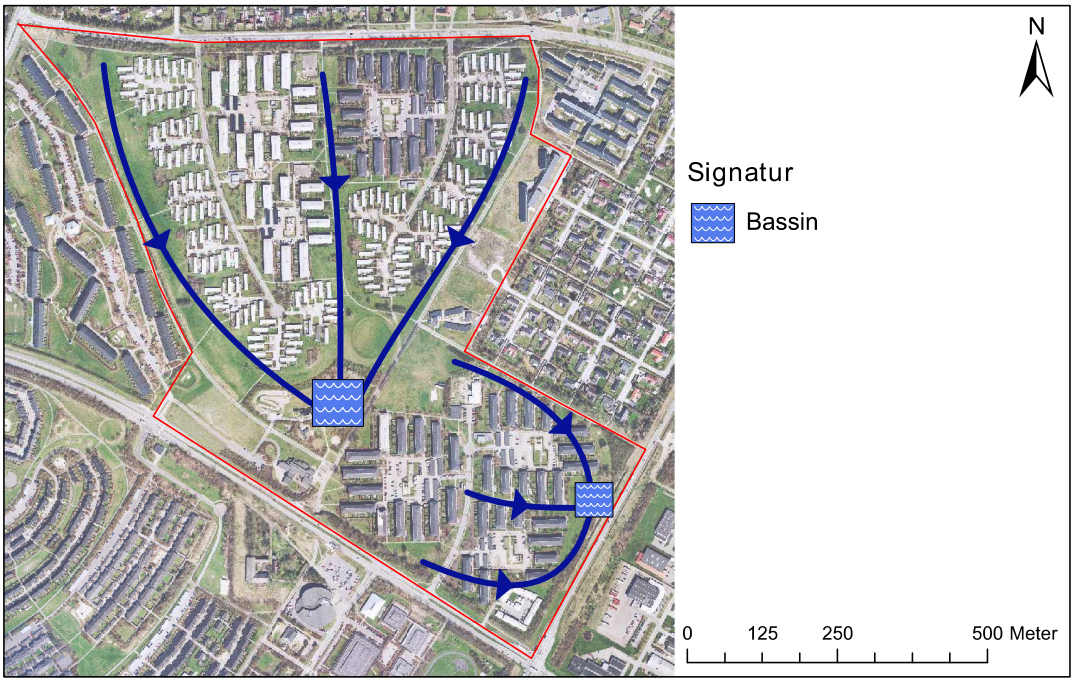
For at sikre at det frit tilgængeligt regnvand ikke udgør en sundhedsmæssig risiko for beboerne i

området, skal vandet opdeles i tag- og vejvand. Tagvandet anses som rent og benyttes til rekreative formål, hvorimod vejvandet anses som forurenet og skal nedsives lokalt og filtreres inden det når grundvandet. Nedsivning af vejvandet skal, ifølge helhedsplanen, ske i en grøft langs vejen og gennem permeabel belægning på parkeringspladser og lignende. Vandet fra tagene skal benyttes til at skabe rekreativ værdi i de grønne fællesarealer ved at det samles ved husene, transporteres gennem åbne kanaler og gennem forsinkelsesbassiner inden det ender i et centralt placeret bassin. På figur 5.1 er principper for regnvandshåndteringen illustreret. [EFFEKT og COWI, 2011a]

Disse generelle principper vil i dette projekt blive brugt som udgangspunkt for løsningsmulighederne. Dette vil blive kombineret med egne ideer, som beskrives i de følgende afsnit.

5.2 Egne løsninger

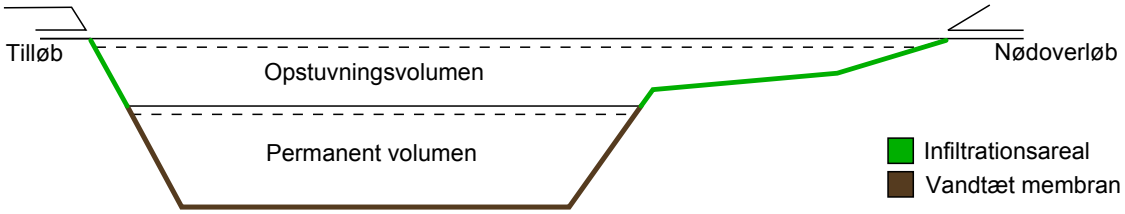
På baggrund af screeningsanalysen som viste terrænets hældning samt det ringe nedsivningspotentiale i den sydlige del af Kildeparken, vælges det at lave to separate regnvandssystemer; et nordligt og et sydligt system. Dette gøres fordi det ikke ønskes at transportere yderligere vand ned i det sydlige område. Mht. oversvømmelser ved ekstreme regnhændelser vil det ifølge figur 1.4 være den sydlige ende projektområdet der er i særlig risiko, derfor er det vigtigt at det regnvand som falder i den nordlig del også håndteres her og ikke ledes til den sydlige. Princippet er illustreret på figur 5.2.



Figur 5.2. To separate regnvandshåndteringssystemer i Kildeparken samt tilhørende bassiner.

Tagvandet fra de to områder samles i to centrale bassiner. Placeringen af de to bassiner er valgt pga. terrænets hældning. For at opnå den rekreative værdi skal de to bassiner anlægges med et permanent vandspejl, så de aldrig tørrer ud. Over det permanente vandspejl skal terrænet designes således der er plads til et opstuvningsvolumen, som fyldes ved større regnhændelser. Vandet i opstuvningsvolumenet skal nedsives gennem infiltrationsarealer. Princippet for bassinerne er illustreret på figur 5.3. Ved dimensionering af separate afløbssystemer accepteres overbelastninger,

dvs. opstuvning til terræn, typisk hvert 5. år [Harremoës et al., 2005]. Alligevel vælges det at bassinerne skal kunne håndtere en 10 års regnhændelse. Dette gøres fordi overbelastninger vil føre til oversvømmelse af grønne arealer som har en rekreativ værdi og benyttes af områdets beboere. Skulle samme system laves et ubebygget og ubenyttet sted ville situationen være en anden og en mindre gentagelsesperiode ville være acceptabel.

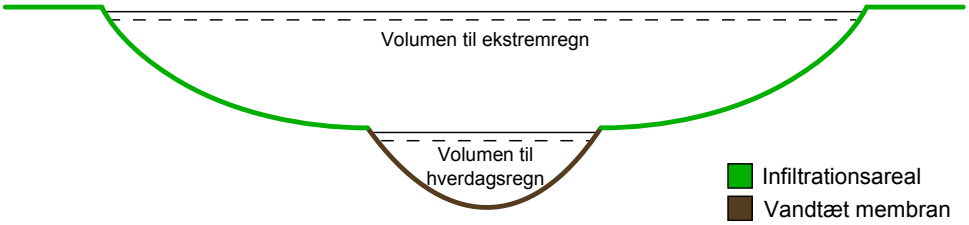


Figur 5.3. Skitse af bassin med permanent vandspejl og nedsivningsareal.

Bassinernes opstuvningsvolumen skal udformes således, at det indgår naturligt i omgivelserne og ikke ligner et bassin. Bassinernes skråningsanlæg bør af sikkerhedsmæssige årsager ligge omkring 1:5 [Rambøll Danmark A/S et al., 2012]. Størrelsen af bassinerne afhænger af hvilket opland der kobles på dem, men dybden af det permanente volumen skal være ca. 1 m og opstuvningsvolumenets maksimale dybde skal være ca. 0,5 m. Bassinernes nødoverløb skal føre vandet til en lavning i terrænet, som er designet til at magasinere regnvandet i tilfælde af ekstreme regnhændelser, dette kunne f.eks. være en fodboldbane som er sænket i terrænet. Dermed vil de mere ekstreme regnhændelser, som fremtiden og klimaforandringerne medfører, fører til kontrollerede oversvømmelser som ikke gør skade på bygninger og installationer af værdi.

Opstrøms de to store bassiner skal der anlægges en række mindre forsinkelsesbassiner, som har til formål at skabe rekreativ værdi både i de grønne fællesarealer og i gårdmiljøet mellem bygningerne. Disse bassiner kan både laves som våde bassiner, tørre bassiner eller som f.eks. regnbede. Disse mindre LAR-elementer skal dimensioneres med en gentagelsesperiode for overbelastningen på maksimalt 0,1 år for at sørge for at der jævnligt er vand i systemet som løber via kanaler videre til de store centrale bassiner.

Kanalerne, som skal forbinde bassinerne, kan udformes på forskellige måder afhængigt af hvor de skal placeres. Mellem husene skal de rørlægges således kanalerne ikke er til gene for beboerne som skal færdes i området. I de grønne områder, hvor kanalerne ikke kan være til gene, skal de være åbne og ligesom infiltrationsarealerne ved bassinerne skal de indgå naturligt i omgivelserne. Kanalerne skal være tørre i de perioder hvor det ikke regner og dermed blot være en del af et varieret terræn. Pincippet for de åbne kanaler er illustreret på figur 5.4.



Figur 5.4. Skitse af princip for kanaler.

Regnvandet som falder på vejene skal hurtigt ledes til grøfter langs veje, hvorfra vand skal nedsive og filtreres gennem jorden til det når grundvandet. Grøfterne skal dimensioneres til at have en

gentagelsesperiode for overbelastning på 10 år. I tilfælde af ekstreme regnhændelser, skal grøften have nødoverløb til systemet af bassiner og kanaler som håndterer tagvandet. Dermed accepteres det at vandet i åbne kanaler og bassiner, ved ekstreme regnhændelser, er blandet tag- og vejvand. Parkeringspladser og lignende arealer anlægges med en permeabel belægning, som ligeledes skal have nødoverløb til bassiner og kanaler.

I forbindelse med den gennemgribende renovering af boligerne i Kildeparken vil der være mulighed for at implementere grønne tage på alle eller nogle af bygningerne. De grønne tage kan, som beskrevet i kapitel 2, tilbageholde op til 50 % af den årlige nedbør, men vil ikke kunne tilbageholde ekstreme regnhændelser. Tilbageholdelse af regnvandet til hverdag vil medføre mindre vand i bassiner og kanaler og dermed kunne være skyld i, at der ikke er nok vand til at opnå den ønskede rekreative værdi. Derfor vil det blive undersøgt hvilken effekt de grønne tage har, både i hverdagssituationer og ved ekstreme regnhændelser. I forhold til at anvende tagvand i åbne kanaler og bassiner vil de grønne tage kunne skabe problemer, fordi vand som afstrømmer fra grønne tage kan være misfarvet efter at have løbet gennem eller over taget.

5.3 Mål

Ved dimensionering af et traditionelt afløbssystem anbefales et minimumsfunktionskrav ifølge Harremoës et al. [2005] på opstuvning til terræn hvert 5. år. Tilsvarende opstilles et mål for minimumsfunktionskravet til LAR-elementerne i Kildeparken. De enkelte LAR-elementer skal dimensioneres efter forskellige gentagelsesperioder afhængigt af hvor i kæderne elementerne er placeret. Minimumsfunktionskravet for LAR-elementerne som helhed vælges til en gentagelsesperiode på 50 år for at lede regnvand ud af Kildeparken og videre til nabogrundene. De forskellige gentagelsesperioder for overbelastning samt konsekvensen er opstillet i tabel 5.1. De opstrømsbassiner skal have en gentagelsesperiode for overbelastning som er kortere end ét år, fordi det er vandet fra disse bassiner som ved overløb, skal skaber den rekreative værdi, ved at regnvand strømmer gennem kanaler, mod det centrale bassin.

LAR-element	Gentagelsesperiode	Konsekvens
Centralt bassin	10 år	Regnvand løber til grønne arealer designet til kontrolleret oversvømmelse
Grøfter	10 år	Regnvand løber til kanal og centralt bassin
Systemet som helhed	50 år	Regnvand skaber oversvømmelser i de lavest liggende områder i Aalborg Øst

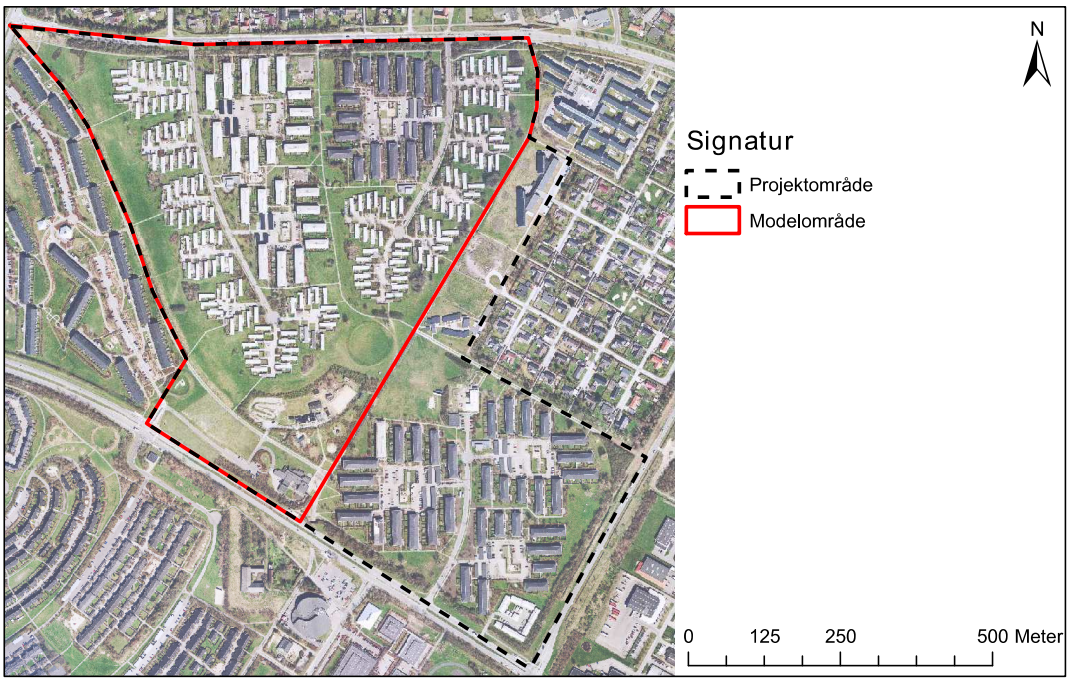
Tabel 5.1. Udgangspunkt for dimensionering af LAR-elementer i Kildeparken.

På baggrund af disse valg defineres 'ekstreme regnhændelser', som dem der overbelaster grøfter og de centrale bassiner. Dermed vil 'ekstreme regnhændelser' videre i rapporten betyde regnhændelser med en gentagelsesperiode på 10 år eller derover.

5.4 Afgrænsning af modelområde

For at kunne arbejde med en større detaljeringsgrad i modellerne udvælges et delområde til det videre arbejde. Dette er muligt fordi regnvandet skal håndteres i to separate systemer. Det

vælges at arbejde med det nordlige system, fordi det især er der, det er vigtigt at bevare vandet indenfor området. Screeningsanalysen viste at en forholdsvis stor del af regnvandet som falder i den nordlige del, naturligt vil strømme både ud af Kildeparken og ned mod den sydlige del af området. Det ønskes derfor at designe det nordlige område således at regnvandet ved ekstreme regnhændelser, kan håndteres uden at det løber videre til de omkringliggende områder samtidig med at den rekreative værdi opnås i hverdagssituationer. Modelområdet er illustreret på figur 5.5.



Figur 5.5. Afgrænset modelområde.

Med udgangspunkt i det valgte modelområde er der udarbejdet to modeltyper med formål at undersøge hvordan ovenstående ideer og løsninger kan implementeres og hvilken virkningsgrad de har, både i hverdagssituationer og ved ekstreme regnhændelser.

Udnyttelse af kapacitet 6

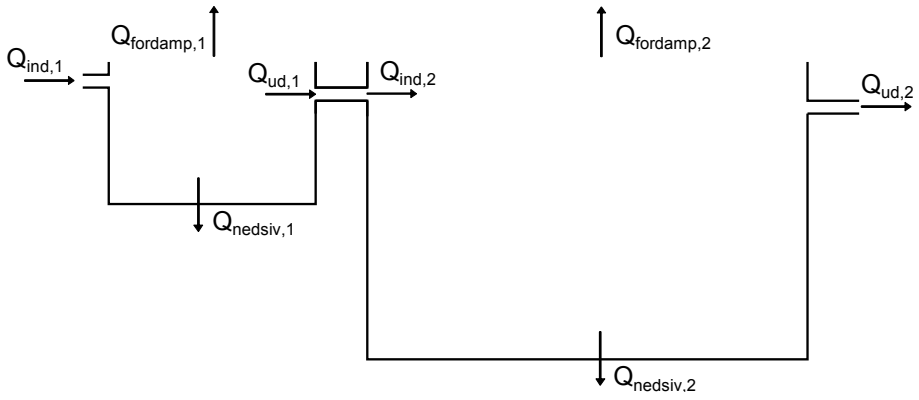
Kapitlet beskriver hvordan en model opbygges og programmeres med det formål at kunne teste forskellige løsningsmuligheder til håndtering af regnvand i Kildeparken, i forhold til hvordan kapaciteten af systemet udnyttes til hverdag. Modellen er simpelt opbygget fordi den skal kunne gennemregne mindst 10 års regnserie på forholdsvis kort tid. Dermed kan modellen benyttes til statistisk at vurdere hvor ofte bassinerne er tomme, hvor ofte de er fyldte og hvor ofte de overbelastes. Gennem kapitlet er det beskrevet, hvordan de enkelte parametre er bestemt og hvilken betydning de har.

6.1 Modelopbygning

Modellen består af to bassiner som hænger sammen via en kanal, dvs. når det første bassin er fyldt, kan vandet løbe videre til bassin nummer to. For hvert bassin er der defineret et maksimum volumen, som svarer til volumen mellem det permanente vandspejl og overløbskanten. Dermed er det opstuvningsvolumenet modellen beregner og det kan frit vælges om der ønskes et permanent vandspejl, dvs. et vådt bassin eller om bassin skal være tørt mellem regnhændelser.

Regnvandet falder på oplande som kan kobles til det ønskede bassin. Modellen beregner ud fra oplandets areal og regnintensiteten, hvor stort et volumen vand der kommer ind i bassinerne. Beregningen foretages så regnvandet falder direkte i bassinerne og dermed ses der bort fra koncentrationstiden og initialtabet på oplandet. Dette antages at være rimeligt taget i betragtning at koncentrationstiden er i størrelsesordenen minutter og opholdstiden i bassinet forventes at være i størrelsesordenen timer til dage.

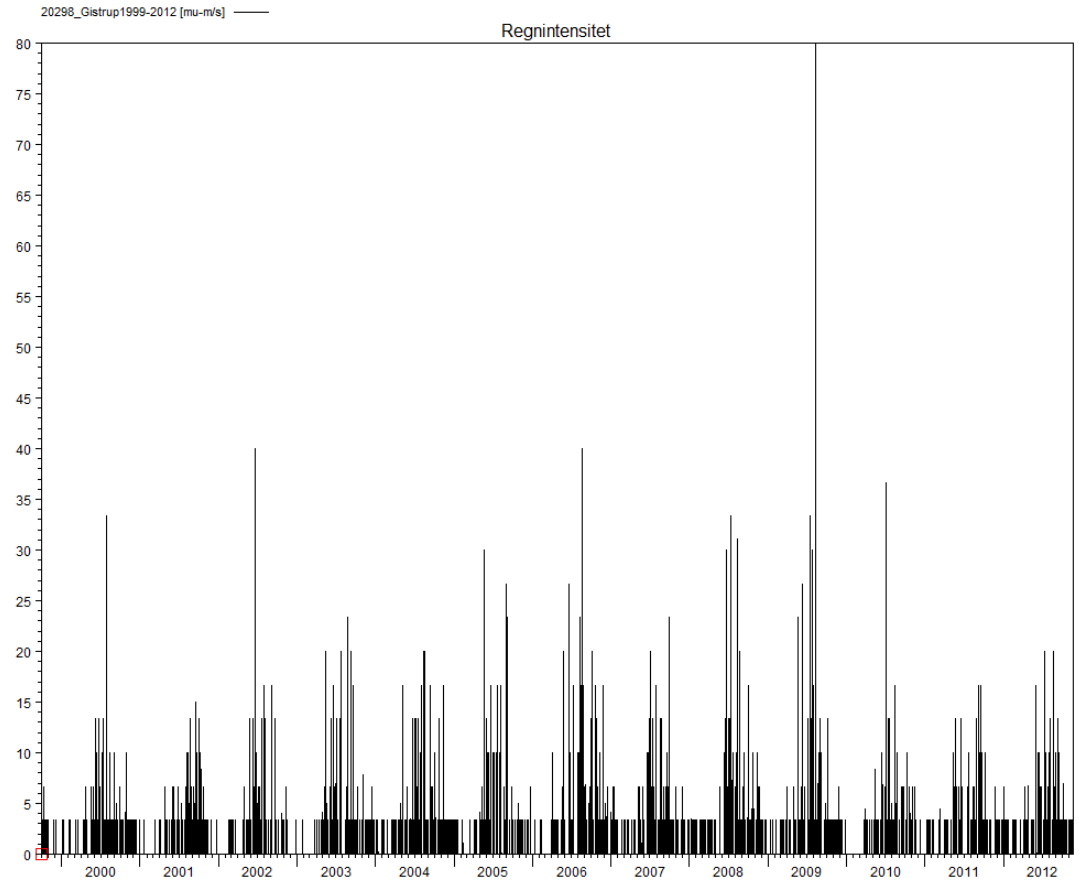
Afhængigt af hvilken situation der opstilles i modellen, kan der tilføjes et tab på et enkelt eller begge bassiner. Dvs. det kan simuleres, at der sker en nedsivning og/eller fordampning fra bassinerne. Modellens output er volumen i de to bassiner for hvert tidsskridt, som er 1 min. Princippet for modellen er skitseret på figur 6.1 og filerne er vedlagt i bilag H.



Figur 6.1. Princip for kapacitetsmodel.

6.1.1 Regninput

Som input til modellen benyttes en historisk regnserie fra Spildevandskomiteens regnmåler 20298 som er placeret i Gistrup ca. 4 km fra kildeparken. Der benyttes en periode på 13 år.



Figur 6.2. Historisk regnserie fra Spildevandskomiteens regnmåler 20298 i Gistrup. [DMI og Spildevandskomiteen, 2012]

Regnserien har et højt peak i august 2009. Her falder der ca. 40 mm i løbet af 35 min, hvilket svarer til en 50 års hændelse. Desuden indeholder regnserien den store regnhændelse d. 15. aug 2006, som blev beskrevet i kapitel 1, hvor der fald 88 mm i løbet af 11 timer, hvilket svarer til en hændelse der kun sker én gang hvert 100. år. [Arnbjerg-Nielsen et al., 2006].

6.1.2 Opland

Til det første lille bassin kobles et opland svarende til tagarealet for en enkelt enklave, dvs. et areal på ca. 1200 m^2. Til det store bassin kobles et oplandsareal svarende til tagarealet i hele modelområdet, dvs. ca. 60.000 m^2, da dette bassin skal modtage vand fra bassiner og kanaler i hele modelområdet.

6.1.3 Nedsivning

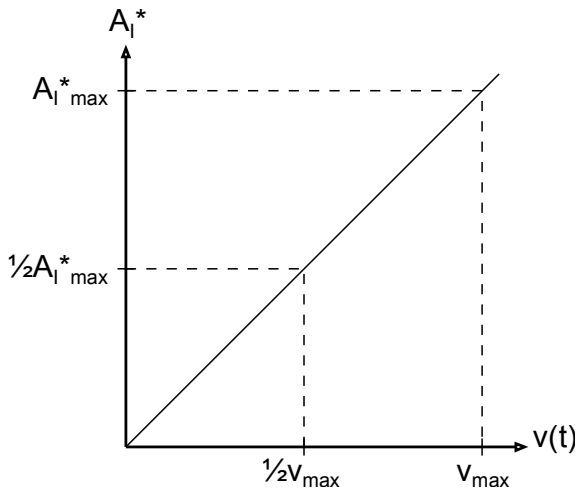
Bassinernes nedsivningsevne varierer afhængigt af vandstanden i det enkelte bassin, både pga. at arealet af den effektive infiltrationsoverflade øges med øget vandstand og fordi trykket ligeledes øges med øget vandstand. Det antages at trykket ikke har en væsentlig indflydelse på nedsivningen,

fordi vandstandsforskellen maksimalt bliver 0,5 m. Det effektive infiltrations areal vil derimod have en forholdsvis stor betydning for nedsivningen. Derfor opstilles en simpel sammenhæng mellem volumen i bassinet og nedsivningen. Sammenhængen er vist med formel (6.1) og figur 6.3.

$$N(t) = K \cdot A_I^* \cdot \frac{v(t-1)}{v_{max}} \tag{6.1}$$

hvor

$N(t)$	Volumen som nedsiver pr. tidsskridt [m^3/s]
K	Nedsivningsevne [m/s]
A_I^*	Effektivt infiltrationsareal [m^2]
v	Volumen i bassin [m^3]
v_{max}	Maksimal volumen i bassin [m^3]



Figur 6.3. Sammenhæng mellem det effektive infiltrationsareal og volumen i bassinet.

Jordens nedsivningsevne

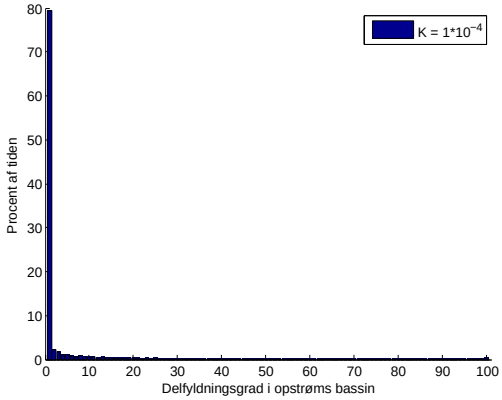
Jordens nedsivningsevne, K, blev målt ved forskellige typer nedsivningsforsøg som gav forskellige resultater. Til modellen skal benyttes én værdi for nedsivningsevnen. De målte værdier ligger i intervallet $1{,}8 \cdot 10^{-5}$ til $8{,}3 \cdot 10^{-4}$, med et gennemsnit på ca. $1 \cdot 10^{-4}$ m/s. Da der er en forholdsvis stor usikkerhed omkring værdierne og målingerne de bygger på, er der lavet en følsomhedsanalyse af nedsivningsevnen.

Analysen udføres ved at indsætte forskellige værdier for nedsivningsevnen i kapacitetsmodellen og sammenligne resultaterne. Bassinets dimensioner er opstillet i tabel 6.1.

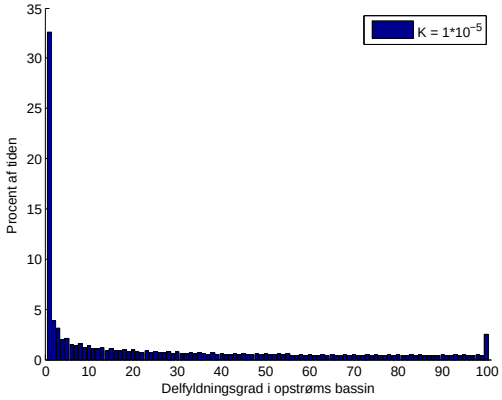
	Værdi
Længde	4 m
Bredde	2,2 m
Maks. dybde	0,5 m
Effektivt infiltrationsareal	4 m^2
Oplandsareal	1272 m^2

Tabel 6.1. Værdier som fastholdes ved følsomhedsanalysen.

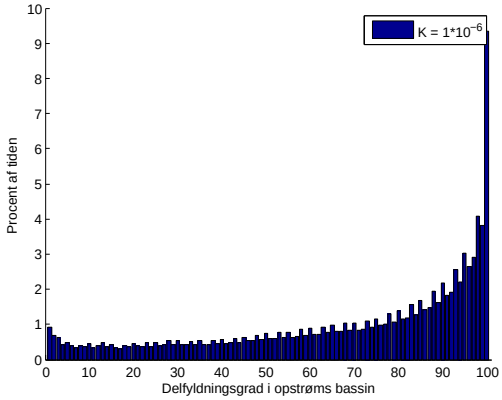
Bassinets dimensioner og oplandareal fastholdes, mens jordens nedsivningsevne varieres med en faktor ti for hver beregning. Figur 6.4, 6.5, 6.6 og 6.7 viser varigheden af delfyldningsgraden af bassinet. Hver simulering af lavet for 13 år med den historiske regnserie beskrevet i kapitel 6.



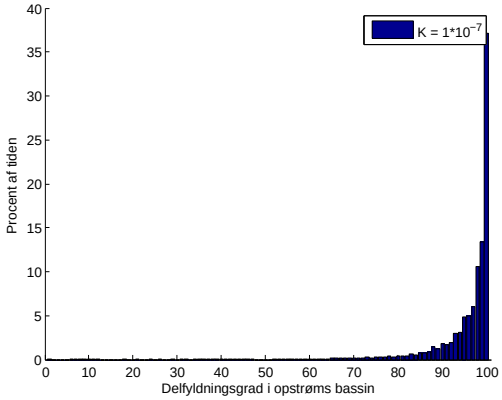
Figur 6.4. Varighed af delfyldningsgrad ved K=$1 \cdot 10^{-4}$.



Figur 6.5. Varighed af delfyldningsgrad ved K=$1 \cdot 10^{-5}$.



Figur 6.6. Varighed af delfyldningsgrad ved K=$1 \cdot 10^{-6}$.



Figur 6.7. Varighed af delfyldningsgrad ved K=$1 \cdot 10^{-7}$.

Resultaterne viser at der er stor forskel på hvor ofte bassinet er fyldt og tomt. En fyldningsgrad på 100 % betyder at bassiner løber over og en fyldningsgrad på 0 % svarer til at bassinets opstuvningsvolumen er tomt. I tabel 6.2 er tiden for tomt og fyldt bassin opstillet.

Nedsivningsevne [m/s]	t_{tomt} [%]	t_{fyldt} [%]
$1 \cdot 10^{-4}$	79,4	0,4
$1 \cdot 10^{-5}$	32,6	2,5
$1 \cdot 10^{-6}$	0,9	9,3
$1 \cdot 10^{-7}$	0	37,1

Tabel 6.2. Forskel i tid for tomt og fyldt bassin.

Det fremgår af både figur 6.4, 6.5, 6.6, 6.7 og tabel 6.2, at det har en væsentlig indflydelse på fyldningsgraden af bassinet, hvilken værdi for nedsivningsevnen der benyttes i modellen. For at være på den sikre side i forhold til tilstopning og mindsket infiltrationsevne vælges det at benytte $1 \cdot 10^{-5}$ m/s som infiltrationskapacitet i kapacitetsmodellen.

6.1.4 Fordampning

Fra vandoverfladen i bassinerne vil der ske en fordampning af vand. Fordampningens størrelse varierer både over døgnet og året; på en varm sommerdag er fordampningen høj, hvorimod den er lav (tæt på nul) på en kold vinterdag. For at finde ud af om fordampningen skal medregnes i modellen, er det undersøgt, hvor stor fordampningen fra bassinerne på projektlokaliteten kan forventes at blive.

Til beregning af den potentielle fordampning benyttes Makkinks formel, se formel (6.2) [Detlefsen og Plauborg, 2001].

$$E_p = 0{,}7 \cdot \frac{\Delta \cdot S_i}{\lambda(\Delta + \gamma)} \tag{6.2}$$

hvor

E_p	Potentiel fordampning [mm/dag]
Δ	Damptrykkurvens hældning [hPa/°C]
S_i	Globalstråling [MJ/m^2/dag]
λ	Vands fordampningsvarme (2,465 MJ/kg)
γ	Psykrometerkonstanten (0,667 hPa/°C)

Damptrykkurvens hældning beregnes med formel (6.3) og (6.4) [Detlefsen og Plauborg, 2001].

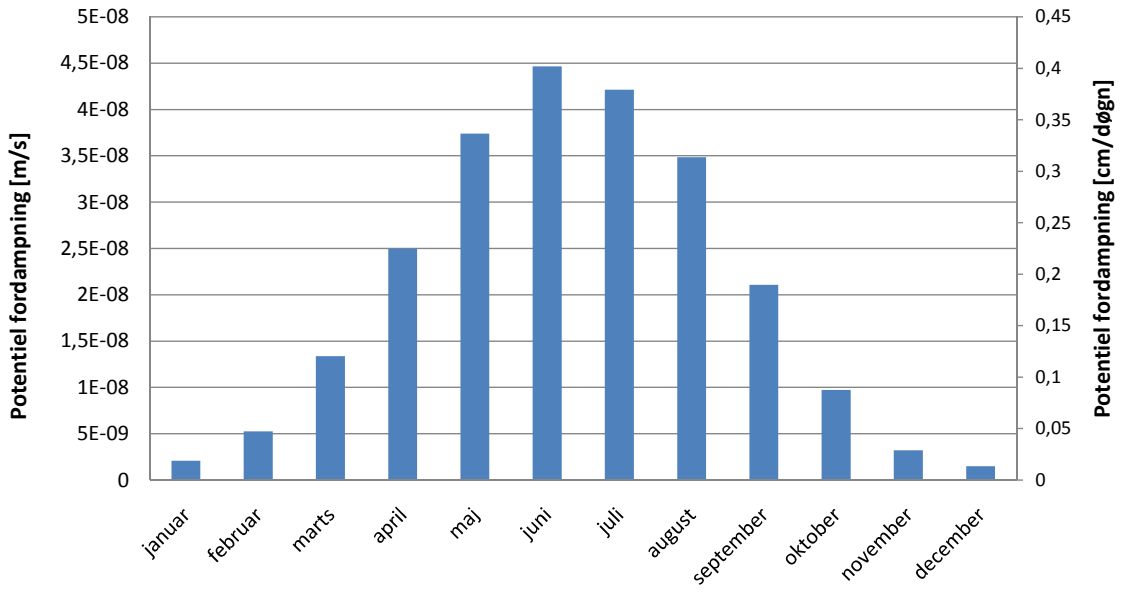
$$e_s = \begin{cases} 6.11 \cdot e^{\frac{7{,}5 \cdot ln(10) \cdot t}{t+237{,}3}} & \text{hvis } t > 0 \\ 6.11 \cdot e^{\frac{9{,}5 \cdot ln(10) \cdot t}{t+265{,}5}} & \text{hvis } t <= 0 \end{cases} \tag{6.3}$$

$$\Delta = e_s \cdot \frac{4098{,}0259}{(t+273{,}3)^2} \tag{6.4}$$

hvor

t	Lufttemperaturen [°C]
e_s	Vanddamptrykket [hPa]

Den potentielle fordampning beregnes med statistisk data for temperatur og globalstråling fra Wang [2013]. Beregningen foretages med gennemsnitsværdier over døgnet for hver måned og giver følgende resultat, se figur 6.8. Her fremgår det hvordan fordampningen varierer over året og er størst om sommeren. Ved at benytte gennemsnitsværdier for hver måned fremgår døgnvariationen ikke, men fordampningen om dagen vil være større end fordampningen om natten.



Figur 6.8. Potentiel fordampning varierende over året.

Sammenlignes dette med nedsivningsevnen som er 10^{-5} m/s, står det klart at fordampningen har en begrænset betydning for volumenerne i bassinerne. Dog vil fordampningens betydning øges hvis jordens nedsivningsevne reduceres. I områder, hvor nedsivningsevnen er begrænset på grund af en lille afstand til grundvandsspejlet, vil fordampningen ligeledes have større betydning.

I kapacitetsmodellen for den nordlige del af Kildeparken vælges det at se bort fra fordampningen, da betydningen af denne ikke vurderes at være afgørende.

Overfladeafstrømningsmodel 7

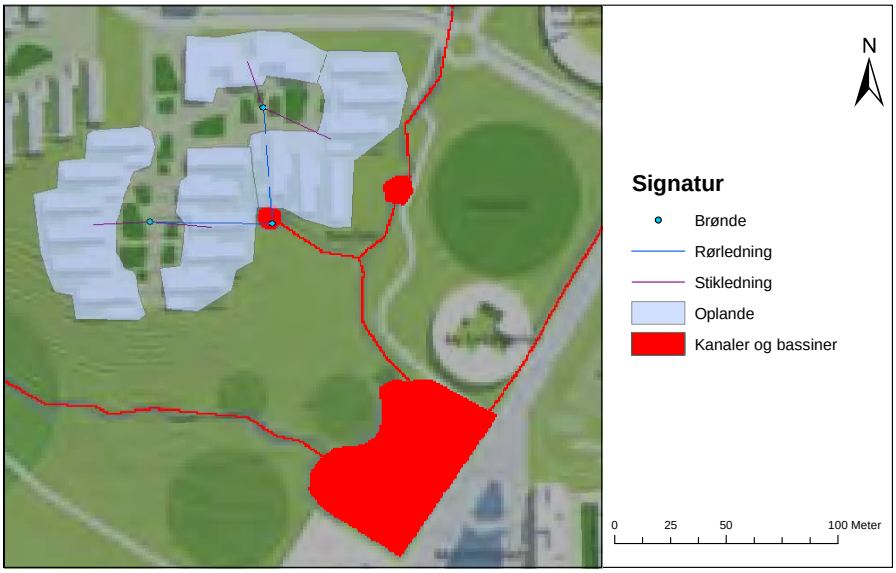
Formålet med overfladeafstrømningsmodellen er at undersøge hvad der sker ved ekstreme regnhændelser i Kildeparken. Modellen viser hvor vandet samler sig og dermed hvor evt. oversvømmelser vil ske. Dermed kan effektiviteten af den planlagte strategi undersøges. Modellen vil bl.a. blive brugt til at optimere denne strategi. I kapitlet behandles også forudsætningerne for valg af modelopsætning og parametre.

7.1 Modelopbygning

Overfladeafstrømningsmodellen er opbygget i MIKE URBAN, som er et program der typisk benyttes til modellering af afløbssystemer. I MIKE URBAN er det ikke muligt at simulere den afstrømningen, der sker på overfladen når regnen rammer jorden, til gengæld kan programmet simulere afstrømningen på overfladen når et afløbssystem overbelastes og vandet stiger op på terræn. Det er denne funktion der vil blive benyttet til dette projekt.

I MIKE URBAN laves beregningerne i flere trin; først udregnes i afstrømningsmodellen hvor stort et volumen der afstrømmer til afløbssystemet fra de definerede oplande pr. tidsenhed, efterfølgende beregnes det i rørmodellen hvordan vandet strømmer gennem afløbssystemet og hvor er sker opstuvning til terræn. Derefter beregnes i overflademodellen hvor evt. oversvømmelser vil ske. Hvordan de enkelte beregningstrin opsættes, beskrives nærmere i de følgende afsnit.

Ideen med overfladeafstrømningsmodellen er at definere de relevante overflader som oplande, hvorpå regnvandet opsamles og ledes til et lille fiktivt afløbssystem. Afløbssystemets eneste funktion er hurtigst muligt at blive overbelastet, således vandet stiger op på terrænet gennem en brønd. De ønskede LAR-elementer indgår i modellen som ændringer i terrænmodellen i form af kanaler og bassiner. På figur 7.1 ses et eksempel på MIKE URBAN elementer og ændringer i terrænmodellen.

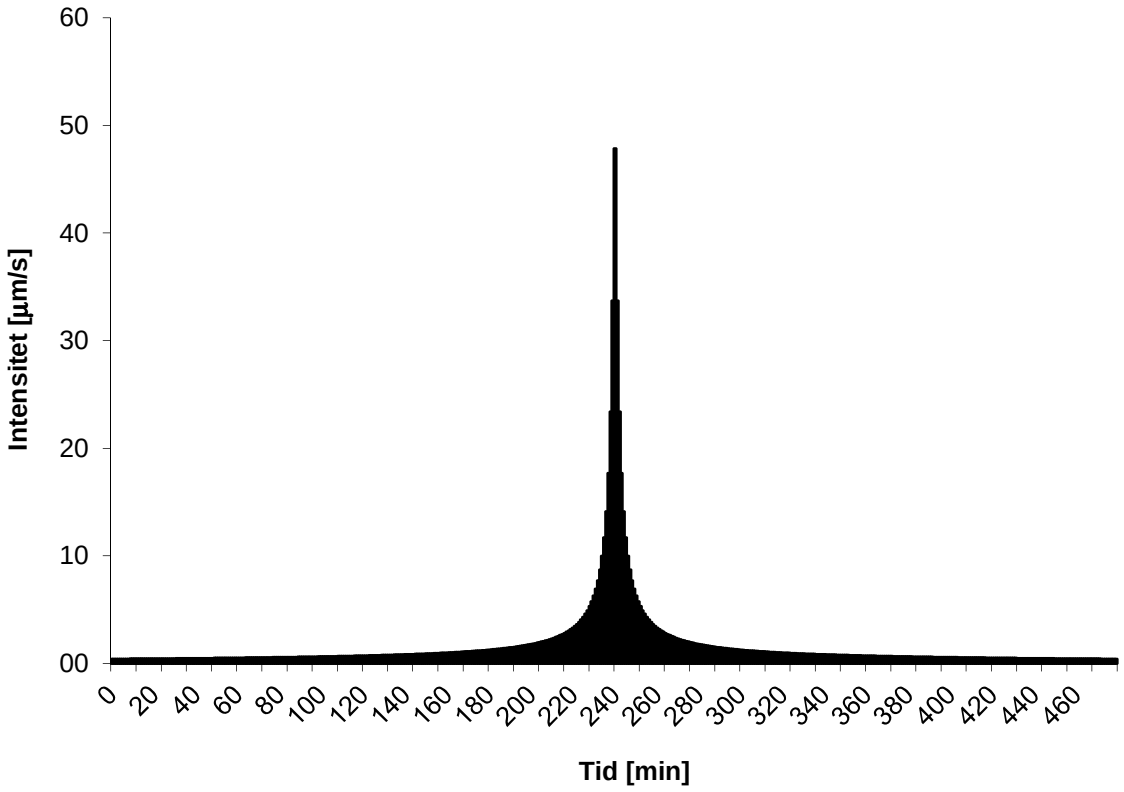


Figur 7.1. Eksempel på hvordan modellen er opbygget, med oplande og rør defineret som MIKE URBAN elementer samt kanaler og bassiner som ændringer i terrænmodellen.

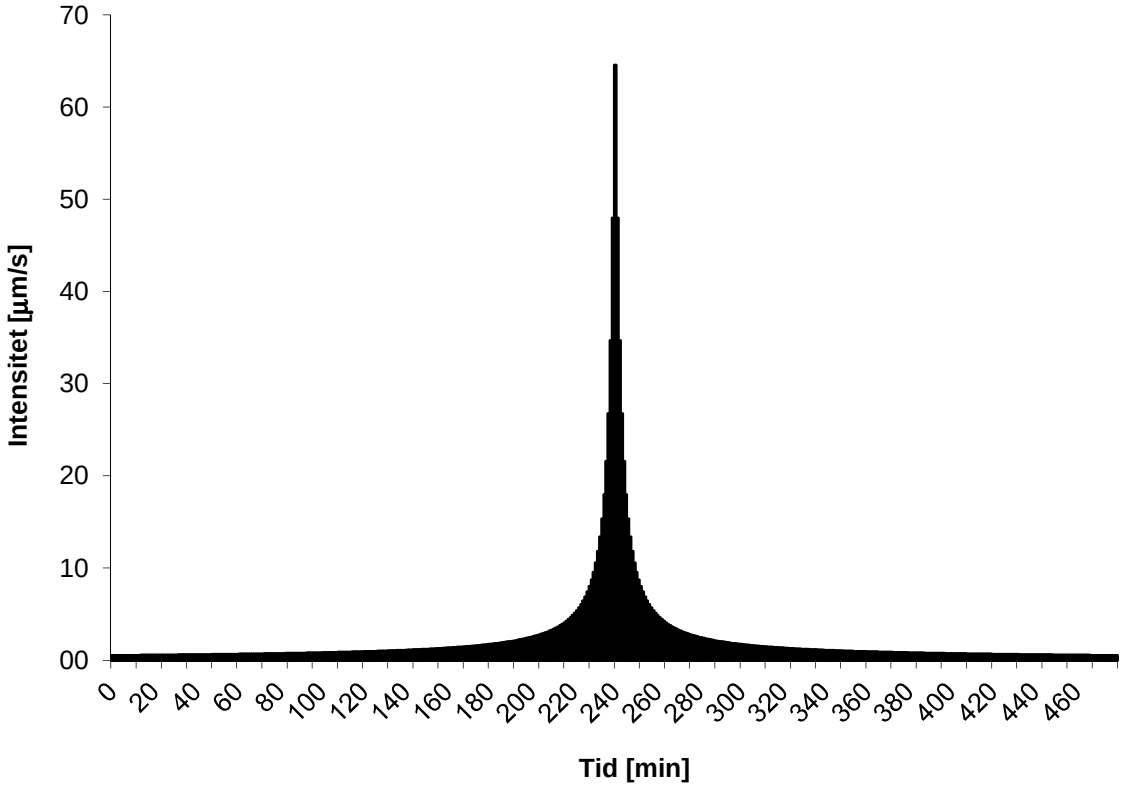
Dette kapitel omhandler den generelle opbygning af modellen, i kapitel 8 beskrives de enkelte løsningsforslag og de tilhørende programfiler er vedlagt i bilag H.

7.1.1 Regninput

Som regninput til modellen kan benyttes forskellige typer regn; en kasseregn, en CDS regn (Chicago Design Storm) eller en historisk regnserie målt ved en lokal regnmåler. Til overfladeafstrømningsmodellen benyttes CDS regn og afstrømningen testes for gentagelsesperioderne 10 år og 50 år. CDS regn vælges for for at have en fast gentagelsesperiode og for at have en regnserie med varierende regnintensiteter. En CDS regn er en konstrueret regnserie, der for en valgt gentagelsesperiode samler information om maksimale middelintensiteter for et interval af varigheder på baggrund af data fra historiske regnserier [Spildevandskomiteens Regnudvalg, 2008]. Der simuleres som nævnt for to gentagelsesperioderne 10 og 50 år og de anvendte CDS regn er konstrueret i Spildevandskomiteens regneark "Regional CDS Ver 3.2", der anvender regndata fra skrift 28 regionaliseret til Vest- og Østdanmark. For begge serier anvendes designkriterierne: konfidensniveau med en frekvensfaktor på 0 og en klimafaktor på 1,2. Konfidensintervallet dækker usikkerheder og er sat udfra en betragtning om en vis usikkerhed ved modelopsætningen, men disse usikkerheder tages der højde for ved valg af parametre i modelopsætningen, normalt anbefales en sikkerheds- og klimafaktor på 1,0 - 1,8 [Harremoës et al., 2005]. Da det antages at det er regnhændelser med en lang varighed, der vil føre til fuld udnyttelse, opstilles tidsserierne til en varighed på 8 timer. Tidsskridt er valgt til 1 min og der anvendes en asymmetrifaktor koefficient på 0,5, hvilket giver en symmetrisk form med toppunkt i midten af serien. Eneste forskel på regnserierne er deres gentagelsesperiode. Med de opstillede designkriterier fremkommer regnserierne, der ses på figur 7.2 og 7.3, der anvendes som dimensionsgivende regninput.



Figur 7.2. Dimensionsgivende CDS regn med en gentagelsesperiode på 10 år. (Maksimum er 47 μm/s i et minut.)

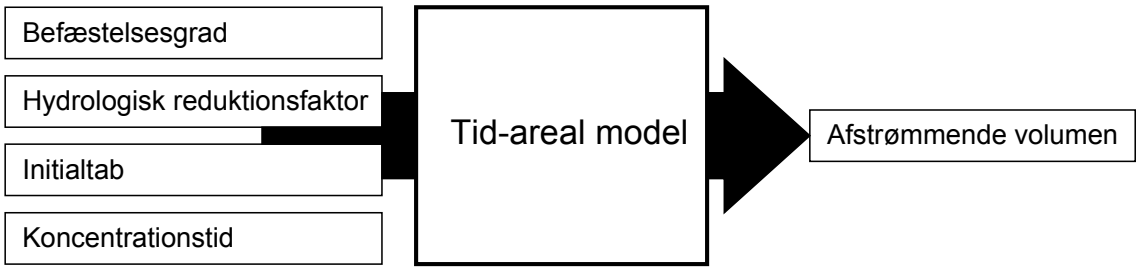


Figur 7.3. Dimensionsgivende CDS regn med en gentagelsesperiode på 50 år. (Maksimum er 64 μm/s i et minut.)

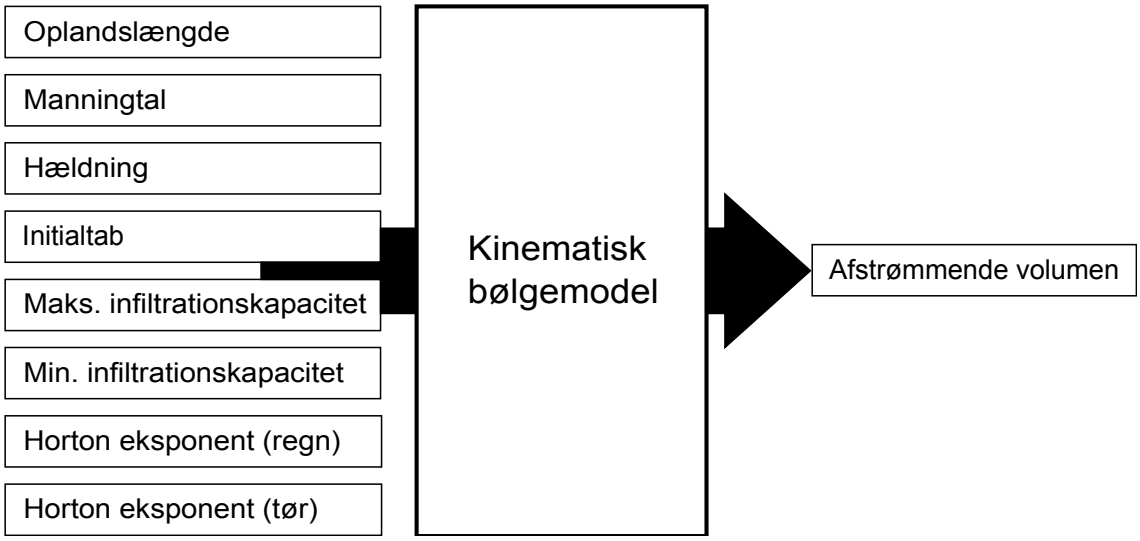
7.1.2 Afstrømningsmodellen

Afstrømningsmodellen simulerer afstrømningen på de definerede oplande og beregner det volumen regnvand, der bidrager til afløbssystemet som funktion af tiden. Oplandende dækker hele modelområdet og er opdelt i fire typer afhængigt af overfladen. De fire typer er; græsarealer, permeabel belægning, tag og vej. Det forventes at alle fire overfladetyper bidrager til overfladeafstrømningen ved ekstreme regnhændelser, men med forskellige infiltrationsegenskaber.

I MIKE URBAN kan benyttes forskellige typer afstrømningsmodeller. Til overfladeafstrømningsmodellen benyttes afstrømningsmodel B, den kinematiske bølgemodel. Da model B indeholde en række parametre som er svære at bestemme, kalibreres udvalgte parametre efter model A. Til kalibreringen udvælges et enkelt opland, som vurderes at være repræsentativt for oplandene i modellen. Model A benyttes til sammenligning fordi den er den mest benyttede og der er gode erfaringer med fastsættelse af parametrene som indgår i denne. De enkelte parametre i de to modeller er illustreret på figur 7.4 og 7.5.



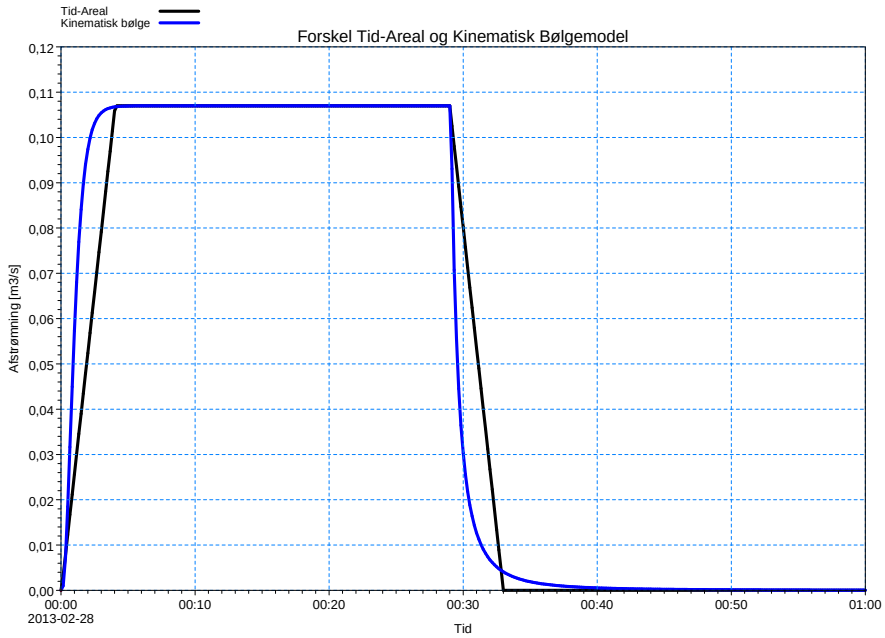
Figur 7.4. Tid-areal model.



Figur 7.5. Kinematisk bølgemodel.

Grunden til at den kinematiske bølgemodel benyttes i dette projekt er at modelområdet indeholder et forholdsvist stort permeabelt areal i form af græs og permeabel belægning - disse arealer beskrives bedre i model B end A, fordi infiltrationen i model B afhænger af tiden hvor det regner, mens model A regner med et konstant tab. Derudover regner tid-areal modellen med en konstant koncentrationstid, hvor den kinematiske bølgemodel beregner koncentrationstiden som

funktion af vanddybden. Forskellen på afstrømningen fra tid-areal og den kinematiske bølgemodel er illustreret på figur 7.6.



Figur 7.6. Hydrograf for model A og B for en kasseregn.

Forskellen på hvordan de to modeller beregner afstrømningen og hvordan de er opstillet beskrives i de følgende afsnit.

7.1.2.1 Tid-areal model (A)

Tid-areal modellen opstilles med litteratur og erfaringsværdier for at kunne sammenligne og kalibrere model B. I tid-areal modellen beregnes afstrømningen fra impermeable og semipermeable overflader på baggrund af tre parametre; befæstelsesgraden, den hydrologiske reduktionsfaktor og initialtabet. Befæstelsesgraden beskriver hvor stor en del af et opland der er befæstet. Initialtabet beskriver den mængde regnvand der falder inden afstrømningen på overfladen starter, dvs. det vand som går til befugtning og lavningsmagasinering. Den hydrologiske reduktionsfaktor beskriver hvor stor en del af nedbøren der bidrager til afstrømningen, når tab i form af infiltration og evaporation fraregnes. Udover de nævnte parametre defineres hvor lang tid det tager for regnvandet at strømme fra den fjerneste del af oplandet til afløbssystemet i form af koncentrationstiden.

Oplandstype	Græs	Permeabel belægning	Vej	Tag
Befæstelsesgrad [-]	0,1	0,2	1	0,9
Hydrologisk reduktionsfaktor [-]	1	1	1	1
Initialtab [mm]	1	0,8	0,6	0,6
Koncentrationstid [min]	5	5	4	4

Tabel 7.1. Infiltrationsparametre til afstrømningsmodel A.

Af tabel 7.1 fremgår det at den hydrologiske reduktionsfaktor har samme værdi, 1, for alle

oplandstyper. Dette vælges pga. manglende forudsætninger for at bestemme både befæstelsesgrad og hydrologiske reduktionsfaktor. I stedet benyttes en afløbskoefficient, som beskriver hvor stor en del af de enkelte oplandstyper, der bidrager til afstrømningen i rørmodellen. Sammenhængen mellem afløbskoefficienten, befæstelsesgraden og den hydrologiske reduktionsfaktor er opstillet i formel (7.1). Størrelsen af afløbskoefficienten er fastsat ud fra Winther et al. [2006] og indsættes i MIKE URBAN som befæstelsesgraden.

$$\varphi = \alpha \cdot \beta \tag{7.1}$$

hvor

φ	Afløbskoefficient [-]
α	Hydrologisk reduktionsfaktor [-]
β	Befæstelsesgrad [-]

Initialtabet på de forskellige overfladetyper er bestemt ud fra Thorndahl [2008], som anbefaler et tab mellem 0,5 og 1,0 mm, afhængigt af overfladetype og hældning. Ligeledes er koncentrationstiden fastsat ud fra Winther et al. [2006] afhængigt af overfladetypen og hældningen.

7.1.2.2 Kinematisk bølgemodel (B)

I den kinematiske bølgemodel er hvert opland opdelt i fem forskellige typer; to impermeable (en stejl og en flad), samt tre permeable overflader, som har hhv. høj, middel og lav infiltration. Hver type defineres som en procentdel af et oplandsareal. De enkelte overfladetyper har forskellige infiltrationsegenskaber, hvilket giver mulighed for at definere forskellige overfladetyper. Som beskrevet i kapitel 7 anvendes to permeable overflader; græs og permeabelbelægning samt to impermeable; tag og vej. Infiltrationen i de permeable overflader er tidsafhængig og bestemmes af Hortons formel (7.2).

$$f_{kap}(t) = f_{min} + (f_{maks} - f_{min}) \cdot e^{-a \cdot t} \tag{7.2}$$

hvor

f_{kap}	Infiltrationskapacitet [m/s]
f_{maks}	Maksimum infiltration [m/s]
f_{min}	Minimum infiltration [m/s]
a	Horton eksponent [s^{-1}]
t	Tid [s]

Infiltrationsparametrene for græsarealerne fastsættes ud fra en antagelse om at de bidrager til afstrømningen på overfladen ved regnhændelser med en gentagelsesperiode på 1 år eller større og ved mindre regnhændelser, som sker oftere end én gang om året, infiltrerer alt regnvandet. Parametrene bestemmes ved at opstille et enkelt opland med afstrømningsmodel B

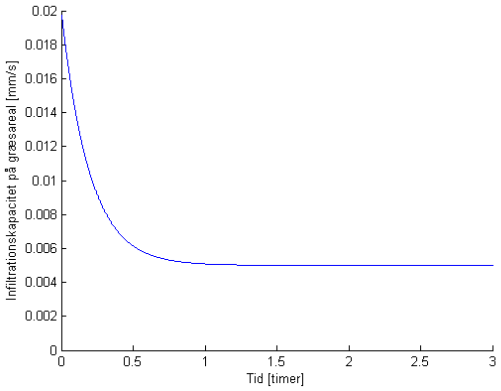
og simulere afstrømningen fra en 30 min. kasseregn med en intensitet på 5,4 μm/s, svarende til en gentagelsesperiode på 1 år. Maksimum og minimum infiltrationen fastsættes ud fra standardværdierne i MIKE URBAN for høj infiltration. Horton eksponenten kalibreres så der ved den valgte kasseregn lige netop sker en afstrømning på overfladen. De herved opnåede værdier er opstillet i tabel 7.2.

Det forventes at den permeable belægning, sammenlignet med græsarealerne, har et forholdsvist stort porevolumen som først fyldes med regnvand og efterfølgende begynder vandet at infiltrere i den underliggende jord. Derfor tilpasses Horton eksponenten således at infiltrationskapaciteten, hvis minimum infiltrationen er nul, svarer til at underbygningen under belægningen kan indeholde 36 mm regnvand. Dette svarer til et magasineringsvolumen med en højde på 0,3 m og et porevolumen på 12 %. Typisk er porevolumenet op til 25 %, men af hensyn til tilstopning af belægningen, anbefales det i Rambøll Danmark A/S et al. [2012] at regne med 10-25 %. For den permeable belægning vælges standardværdier for høj infiltration fra MIKE URBAN som maks. og min. infiltration.

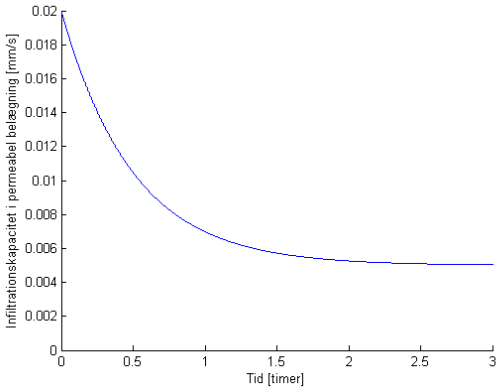
Oplandstype	f_{maks} [$\mu m/s$]	f_{min} [$\mu m/s$]	$a_{våd}$ [s^{-1}]	$a_{tør}$ [s^{-1}]
Græsareal	20	5	0,00142	$5{\cdot}10^{-5}$
Permeabel belægning	20	5	0,00056	$5{\cdot}10^{-5}$
Vej	Impermeabel	Impermeabel	-	-
Tag	Impermeabel	Impermeabel	-	-

Tabel 7.2. Infiltrationsparametre til afstrømningsmodel B.

Infiltrationskurverne for de to overfladetyper er illustreret på figur 7.7 og 7.8.



Figur 7.7. Infiltrationkapacitet i græsarealer.



Figur 7.8. Infiltrationskapacitet i permeabel belægning.

Af figur 7.7 og 7.8 fremgår det at den permeable belægning i længere tid har en højere infiltrationskapacitet end græsarealerne og at de begge ender med at have den samme minimumsinfiltrationskapacitet.

Svarende til den aftagene infiltrationskapacitet ved regn beregnes den stigende infiltrationskapacitet ved tørvejr med Horton eksponenten, $a_{tør}$. Da formålet med overfladeafstrømningsmodellen er at simulere en enkelt ekstrem regnhændelse er denne parameter ikke relevant at bestemme.

Udover infiltrationsparametrene bestemmes et tab og en forsinkelse af regnvandet på overfladen. Tabet er, i model B, delt i to værdier; én for befugtning og én for lavningsmagasinering. Størrelsen af lavningsmagasineringen afhænger af overfladens hældning, f.eks. er der ingen magasinering på et tag med hældning. I opsætningen lægges de to værdier sammen til én værdi svarende til initialtabet i model A. Værdierne er opstillet i tabel 7.3. Afstrømningen på overfladen og dermed også forsinkelsen beregnes med formel (7.3). Hvordan $y_R(t)$ beregnes kan ses i bilag C.

$$Q(t) = M \cdot B \cdot I^{1/2} \cdot y_R(t)^{5/3} \tag{7.3}$$

hvor

M	Manningtal [$m^{1/3}/s$]
B	Oplandsbredde [m]
	Beregnet som $B = F$ (oplandsareal) [m^2] / L [m]
I	Gennemsnitlig hældning [‰]
$y_R(t)$	Afstrømningsdybde til tiden t [m]

Af formel (7.3) ses det, at forsinkelsen er afhængig af det enkelte oplands bredde, hældning og Manningtal. Fordi det enkelte oplands hældning og overfladens Manningtal er meget varierende og svære at fastsætte, benyttes model A's mere simple opsætning til at kalibrere med. Koncentrationstiden fastsættes ud fra erfaringsværdier, disse er opstillet i tabel 7.3. For at opnå disse koncentrationstider i model B, opsættes en kalibreringsfaktor bestående af Manningtal, hældning og længde, se formel (7.4).

$$C = \frac{M \cdot I^{1/2}}{L} \tag{7.4}$$

Dermed fås formel (7.5).

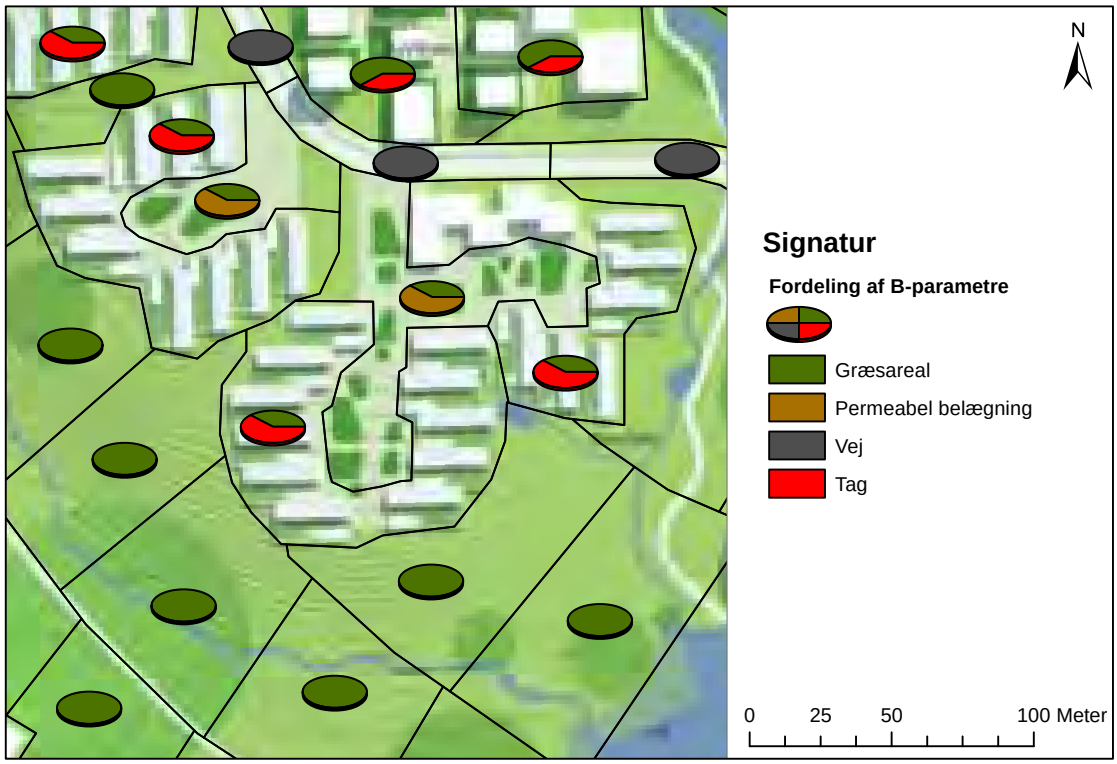
$$Q(t) = C \cdot F \cdot y_R(t)^{5/3} \tag{7.5}$$

Til kalibreringen benyttes, ligesom ved kalibrering af Horton eksponenten, et enkelt opland, som vurderes at være repræsentativt for oplandene som indgår i modellen. I praksis fastholdes hældningen og længden af oplandene og der ændres på Manningtallet. Grunden til at det er Manningtallet der benyttes til kalibreringen, er at denne er mere følsom end hældningen og længden af oplandene. Følsomhedsanalysen af parametrene til bestemmelse af koncentrationstiden kan ses i bilag C.

Oplandstype	Initialtab [mm]	Konc. tid [min]	Kalibreringsfaktor [$m^{-2/3}/s$]
Græsareal	1	5	79,1
Permeabel belægning	0,8	5	79,1
Vej	0,6	4	110,7
Tag	0,6	4	110,7

Tabel 7.3. Parametre for tab og forsinkelse på overfladen.

I modellen er de fire oplandstyper anvendt som en procentdel af hvert opland. På figur 7.9 ses et udsnit af modellen, som giver en ide af denne fordeling. Fordelingen på de enkelte oplande er bestemt ved at opmåle det areal, der svarer til tagareal, vej osv. Dette er gjort for et udvalg af oplandene, mens de resterende har fået en fordeling svarende til et lignende opland. Den anvendte fordeling for de enkelte løsningsforslag kan ses i bilag D.



Figur 7.9. Udsnit af oplande i MIKE URBAN med indeling i de 4 oplandstyper.

7.1.3 Rørmodel

Rørmodellen simulerer afstrømningen i afløbssystemet, der indbygges mellem oplande og LAR-elementer. Som input til dette modul bruges resultatet fra overflademodellen, der er det reducerede regninput. Dette input ender i en brønd og løber herfra, vha. gravitation, til en udløbsbrønd, hvor det opstuves. Udløbsbrøndene er placeret, så vandet kommer på terræn, der hvor der planlægges at anlægge et LAR-element. Alle brønde i systemet indsættes med en diameter på en meter, mens rørene mellem disse alle anlægges med en rørdiameter på 200 mm. Hældningen på rørene bestemmes af de tilstødende brøndes bundkote. Brøndene er alle anlagt med en bundkote, der ligger mindst 1,5 meter under terræn, svarende til sikker frostfri dybde. Alle rør i modellen har en ruhed svarende til et Manningtal på 85 $m^{\frac{1}{3}}/s$, som er standard værdien i MIKE URBAN.

7.1.4 Overflademodel

Overflademodellen er det sidste modul og hele formålet med at opstille modellen, da det er her overfladeafstrømningen simuleres. Modellen er lavet i MIKE URBAN modulet 2D overland og består af et beregningsgrid, der dækker hele det område, hvor afstrømning på overfladen kan forekomme. Som beskrevet tidligere, kommer inputtet til overflademodellen fra brøndene i rørmodellen. Hver brønd er således koblet til en eller flere beregningsceller,

hvorfra afstrømningen vil ske. Som baggrund for terrænets udformning og dermed hvilken vej vandet vil strømme anvendes en terrænmodel. Beregningscellerne i overflademodellen får en højdekote ved at interpolere med griddet i terrænmodellen. Den anvendte terrænmodel har en opløsning på 0,8 m $\times$ 0,8 m og LAR-elementer implementeres i modellen som ændringer i terrænmodellen. Opløsningen begrænser således detaljeringsgraden af elementerne, eksempelvis er det ikke muligt at forme en kanal med en bredde mindre end 0,8 meter. Beregningsgriddet i selve overflademodellen er valgt til 1,6 m $\times$ 1,6 m, hvilket vil sige at detaljeringsgraden reduceres. Denne reduktion foretages for at begrænse beregningstiden og for at forhindre ustabilitet i beregningen. Opløsningen på beregningsgriddet har betydning for beregningsresultaterne i overflademodellen, hvilket er behandlet i bilag E. Afstrømningen på overfladen afhænger desuden af overfladens ruhed, der er bestemt ved et Manningtal, som representerer hele modellen og derfor er en gennemsnitsværdi for alle typer overflader. Alternativt kan denne værdi fastsættes for hver gridcelle, men pga. manglende datagrundlag anvendes en standard værdi på 32 $m^{\frac{1}{3}}/s$, der i hydraulisk forstand kan omsættes til et vandløb med en begrænset mængde grøde [Brorsen og Larsen, 2009].

7.1.4.1 Nedsivning fra overflademodellen

Det er ikke muligt at inkludere nedsivning direkte i overflademodellen som eksempelvis et udløb i de enkelte beregningsceller. Det forventes dog at have en effekt på resultatet hvorvidt nedsivning fra bassiner og grøfter er inkluderet. Derfor testes dette i et af løsningsforslagene, ved at indføre pumper de steder, hvor der ønskes nedsivning. Nedsivning vil således optræde, som en fast vandføring ud af modellen, i de celler hvortil pumpen er koblet. Pumperne sættes til at starte i det tidsskridt, der er vand i cellen, hvilket er defineret som én cm over terræn. Herefter vil pumpen trække en konstant vandføring ud af modellen. Vandføringen vil være bestemt af det areal, som pumpem skal simulere en nedsivning fra, eksempelvis et bassin, og er givet ved formel (7.6).

$$Q = A_{\text{nedsivning}} \cdot K \tag{7.6}$$

hvor

$A_{\text{nedsivning}}$	Nedsivningsareal [m^2]
K	Jordens nedsivningsevne [m/s]

Modellen regner således med en konstant 'nedsivning' så snart der er vand på overfladen jf. de opstillede betingelser, reelt vil nedsivningen variere som funktion af forskellige faktorer som vandmætning i jorden og vanddybden det sted nedsivningen sker.

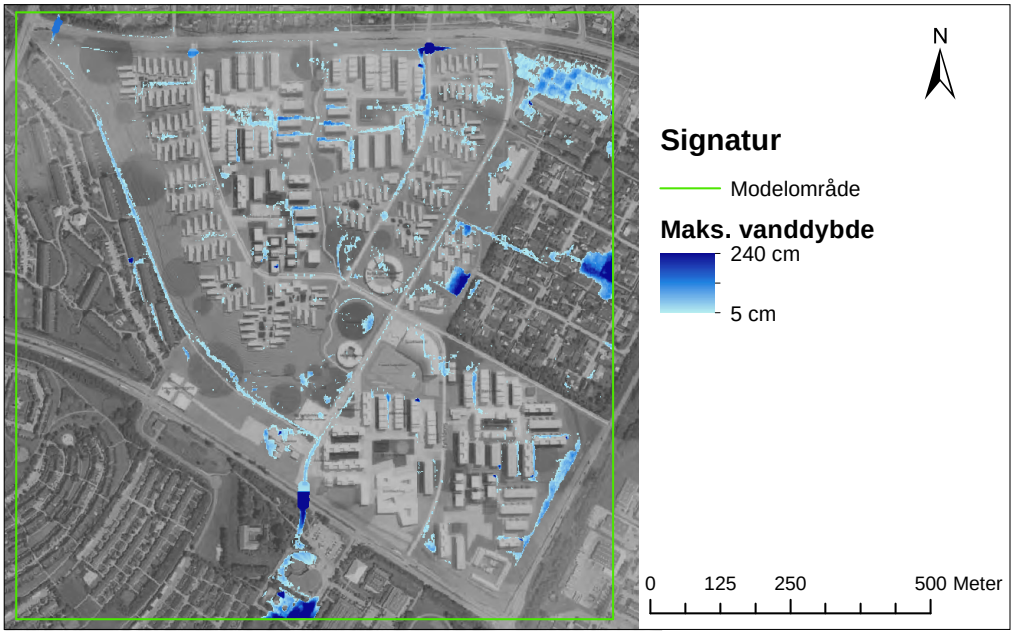
Løsningsforslag 8

I dette kapitel opstilles konkrete forslag til hvordan LAR-elementer og terrænændringer kan implementeres i Kildeparken. Hvert løsningsforslag vurderes under ekstremhændelser med gentagelsesperioder på 10 og 50 år. Derudover vurderes det, om der er vand nok i systemet til at opnå den ønskede rekreative værdi. De enkelte løsningsforslag er listet nedenfor og i kapitlet præsenteres opbygningen og resultaterne. For alle løsningsforslag er succeskriteriet, at målene i kapitel 5 overholdes. Da projektet er lavet som en læringsproces, er løsningsforslagenes opbygning typisk et resultatet af funktionen af det forrige løsningsforslag.

- Nulløsning
- Kildeparken 2020
- Optimering af Kildeparken 2020
- Optimering af Kildeparken 2020 med nedsivning ved ekstremhændelser
- Optimering af Kildeparken 2020 med grønne tage

8.1 Nulløsning

For at kunne vurdere effekten af de forskellige løsningsforslag, simuleres oversvømmelserne som vil ske uden afløbssystem, LAR-elementer og ændringer i terrænet. Simuleringen laves for CDS regnen med en gentagelsesperiode på 10 år. Resultatet er en nulløsning, der viser hvordan vandet vil afstrømme og magasineres, hvis alle overflader bidrager i det omfang, der er beskrevet i kapitel 7, uden der er tænkt over afledning af vandmængderne.



Figur 8.1. Nulløsning simuleret med 10 års regnhændelse. Størret figur findes i bilag G.

Resultatet, som ses på figur 8.1, viser, at hvis der ikke foretages ændringer i terrænet, vil afstrømningen følge de naturlige fordybninger i terrænet og vil jf. modellen resultere i en samlet oversvømmelse på 58.913 m^2 med minimumsvanddybde på 5 cm. Det fremgår således at vandet følger de anlagte stier, veje og grøfter og primært samles i de tunneler, som fører det separerede stisystem under de større veje i Aalborg Øst. Vandet fra den nordlige ende af Kildeparken skaber derved oversvømmelser udenfor projektområdet og i den sydlige del af Kildeparken.

8.2 'Kildeparken 2020'

Det første løsningsforslag, der afprøves, svarer til løsningerne i helhedsplanen 'Kildeparken 2020'. Formålet med dette er at teste funktionen af netop denne sammensætning af bassiner, kanaler og grøfter. Opbygningen af LAR-elementerne følger principperne beskrevet i kapitel 5, som tager udgangspunkt i EFFEKT og COWI [2011a]. Placering og størrelse af bassiner og kanaler laves på baggrund af figur 8.2.

Figur 8.2. Illustration af løsningsforslag fra EFFEKT og COWI [2011a].

Ideen bag løsningsforslaget er, at der skal være mindre bassiner i de grønne arealer nær de enkelte boligenklaver, disse bassiner skal have et permanent vandspejl. Via kanaler skal overløbsvandet fra de mindre bassiner ledes mod et centralt bassin, som skal kunne magasinere regnvand fra hele modelområdet. Det centrale bassin skal ligeledes have et permanent vandspejl. Ønsket med forslaget er at opnå en rekreativ værdi, ved at vand ofte strømmer i kanalerne mellem bassinerne

og at opstuvningsvolumenerne i bassinerne samtidig er store nok til at forhindre ukontrollerede oversvømmelser ved ekstreme regnhændelser.

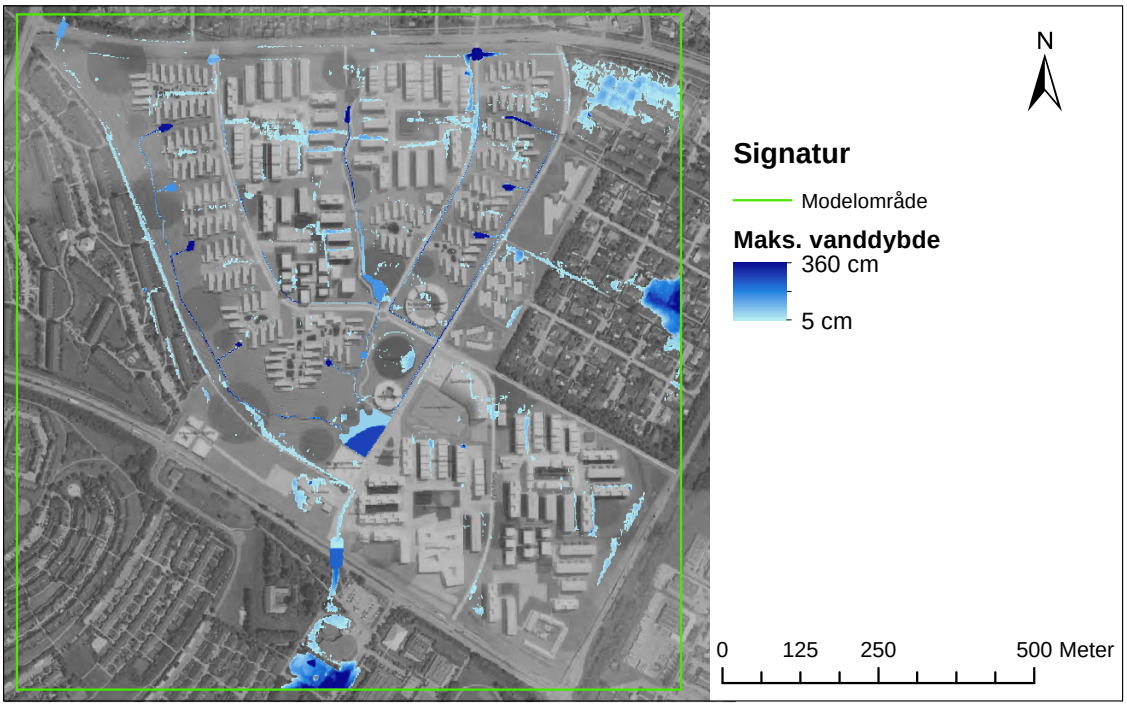
8.2.1 Ekstremhændelser

Kanaler, bassiner og grøfter implementeres i overfladeafstrømningsmodellen ved at lave ændringerne i terrænmodellen i ArcGIS. Kanalerne udføres som en rende opdelt i sammenhængende sektioner, der hver har en bundkote svarende til ca. 0,5 m dybde, således at der er et fald mod den centrale sø. Samme princip er gældende for grøfterne, bortset fra at de ikke leder vandet til det centrale bassin. Rent modelteknisk afhænger antallet af sektioner af terrænets hældning fordi MIKE URBAN ikke kan håndtere at springet mellem to celler bliver for stort. Kanaler og grøfter fungerer derved som en slags trappe, der leder vandet mod den centrale sø. I praksis skal kanalerne blot anlægges med en faldende bundkote, der, så vidt muligt følger terrænet. Alle bassiner, har en stuvningsdybde på ca. 0,5 m. Dette repræsenterer det opstuvningsvolumen, der anlægges over de permanente vandspejle. I praksis vil der, fra nedsivningsarealet i hvert bassin, ske en nedsivning, som er afhængig af hvor fyldt opstuvningsarealet er. I denne opsætning af modellen, regnes denne nedsivning ikke med og der vil derfor være mere vand i modellen, end der reelt vil være.

Den samlede plan for ændringerne, med elementernes bundkote, er illustreret på figur 8.3.

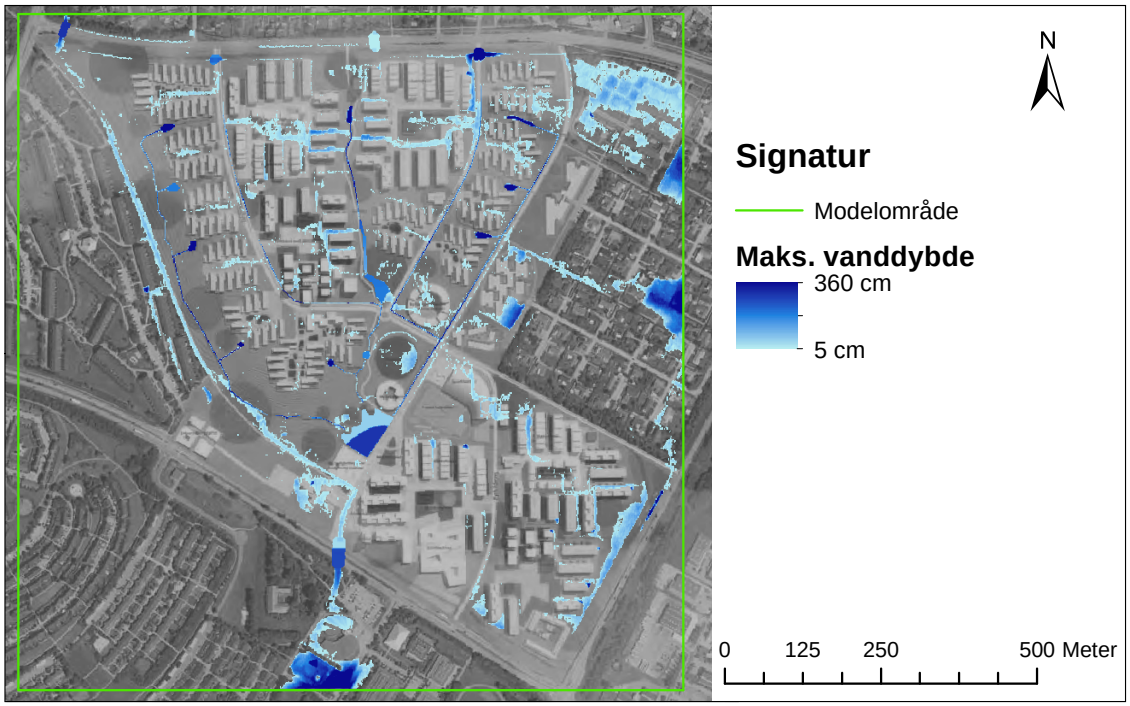
Figur 8.3. Terrænændringer til løsningsforslag 'Kildeparken 2020'. Af figuren fremgår bundkoterne for bassiner (blå), kanaler (blå) og grøfter (grøn).

Løsningsforslaget testes både for en 10 og 50 års regnhændelse, da det ønskes at de implementerede LAR-elementer kan håndtere en 10 års regnhændelse og at en 50 års regnhændelse skal skabe kontrollerede oversvømmelser i de omkringliggende grønne arealer. Med en 10 års regn fås resultatet illustreret på figur 8.4.



Figur 8.4. 'Kildeparken 2020' simuleret med CDS regn med 10 års gentagelsesperiode. Størret figur findes i bilag G.

Af figur 8.4 fremgår det, at en del af regnvandet tilbageholdes i de forskellige bassiner, men at der sker ukontrollerede oversvømmelser flere steder i området og der strømmer regnvand ud af projektområdet. I de fem tunneler, som fører stierne under vejene, samles der meget regnvand, fordi de ligger lavt i forhold til det omkringliggende terræn. Med en gentagelsesperiode på 10 år, vurderes dette at være ok, da det ikke er til gene for beboerne og ikke kan være til skade. Ved en 50 års regnhændelse bliver dette billede blot forværret, se figur 8.5.



Figur 8.5. 'Kildeparken 2020' simuleret med CDS regn med 50 års gentagelsesperiode. Størret figur findes i bilag G.

Det kan være svært at overskue resultaterne på figur 8.4 og 8.5. Derfor er det i tabel 8.1 udregnet hvor stort et areal, udover bassinerne, der er dækket af mere end 5 cm vand.

	10 års gentagelsesperiode [m^2]	50 års gentagelsesperiode [m^2]
Oversvømmet areal	44.843	78.059

Tabel 8.1. Oversvømmede arealer med løsningsforslag 'Kildeparken 2020'.

8.2.2 Hverdagssituation

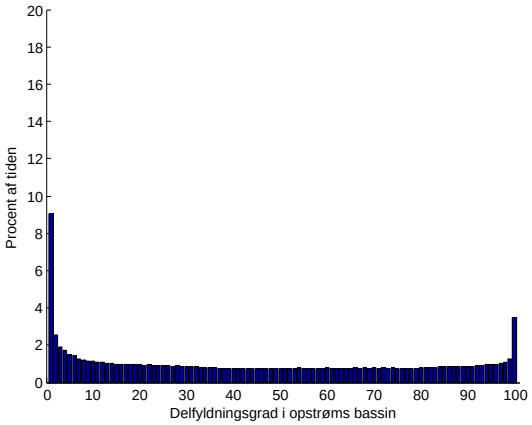
I dette afsnit undersøges det hvordan systemets kapacitet udnyttes gennem en længere årrække og dermed hvor ofte der sker overløb og vandet strømmer fra opstrøms bassiner, gennem kanalerne til det centrale bassin. Dette gøres ved at udvælge en enkelt kæde bestående af ét opstrøms bassin, én kanal samt det centrale bassin. Den udvalgte kæde er illustreret på figur 8.6. Til det opstrøms bassin er koblet et opland svarende til tagarealet for det bidragende opland. Det bidragende tagareal er illustreret med rødt på figur 8.6. Til det centrale bassin er koblet et opland svarende til tagarealet for hele modelområdet (markeret med lilla). Data for bassinerne er opstillet i tabel 8.2. Hvert bassin har et infiltrationsareal på op til 25 % af overfladearealet.

Figur 8.6. Bassiner til kapacitetsmodel samt det bidragende tagareal. Bidrag til centralt bassin (lilla) og bidrag til opstrøms bassin (rød).

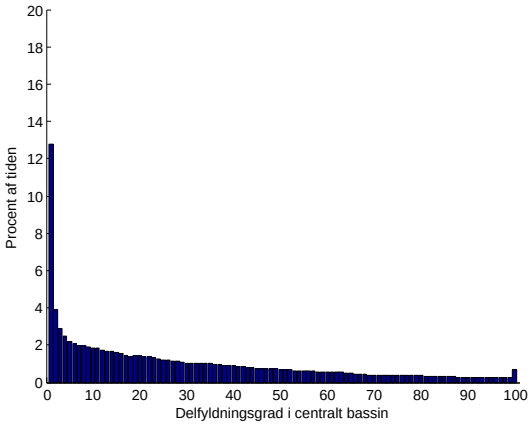
	Opstrøms bassin	Centralt bassin
Overfladeareal [m^2]	87	3.554
Stuvningsdybde [m]	0,5	0,5
Oplandsareal [m^2]	6.115	79.545

Tabel 8.2. Data for bassiner til løsningsforslag 'Kildeparken 2020'.

Med ovenstående dimensioner for bassiner og oplande fås en udnyttelse, som er illustreret på figur 8.7 og 8.8. Eftersom at bassinerne skal have et permanent vandspejl, er dette resultat, dvs. delfyldningsgraden, et udtryk for udnyttelsen af bassinernes opstuvningsvolumen. For at få mest mulig liv og transport af vand gennem kanalerne, ønskes det at det opstrøms bassin ofte fyldes, således vandet løber gennem kanalen til det centrale bassin. Til modellering er benyttet en historisk regnserie fra 2000 til 2012.



Figur 8.7. Delfyldningsgrad i opstrøms bassin ved løsningen 'Kildeparken 2020'.



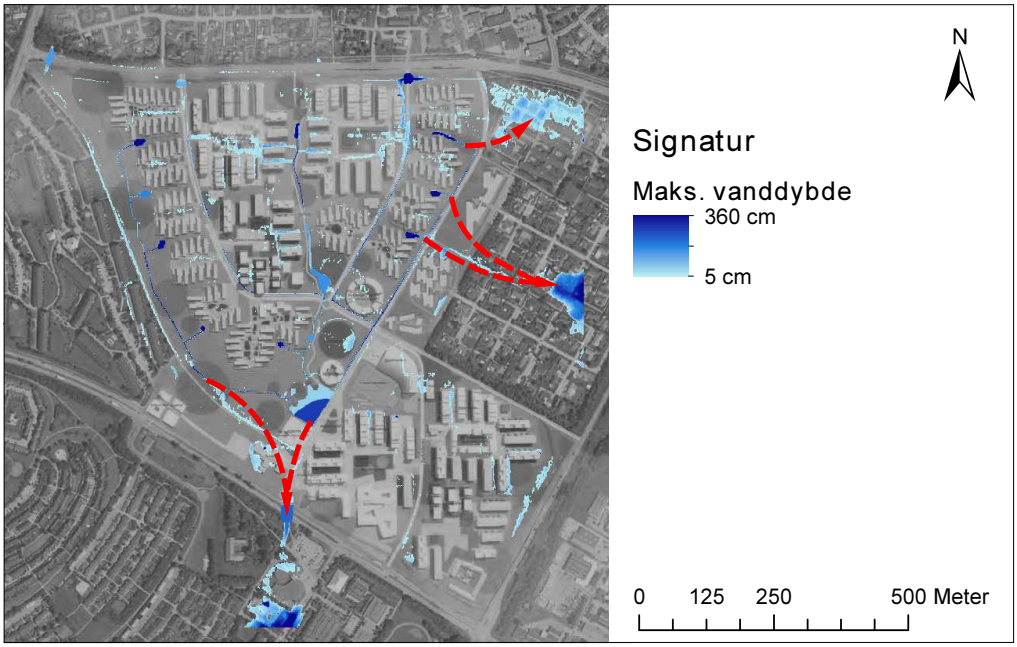
Figur 8.8. Delfyldningsgrad i centralt bassin ved løsningen 'Kildeparken 2020'.

Af delfyldningsgraden i det opstrøms bassin ses det, at det sjældent fyldes og leder vand videre. Kun 4 % af tiden i de 13 simulerede år løber vandet over og strømmer gennem kanalerne. I gennemsnit svarer overløbet til ca. 2000 m^3 pr. år. Dette betyder altså at bassinet til hverdag vil stå med sit permanente vandspejl, men sjældent vil bidrage med overløbsvand til det centrale bassin.

Det centrale bassin er i størstedelen af tiden mindre end halv fyldt og det fulde magasineringsvolumen er altså sjældent udnyttet. Overløbsvolumenet pr. år er i gennemsnit ca. 8000 m^3.

8.2.3 Vurdering af løsningsforslaget

Løsningsforslaget 'Kildeparken 2020' fungerer ikke godt nok mht. overfladeafstrømning da systemet i flere tilfælde overbelastes med uønsket afstrømning og oversvømmelse til følge.



Figur 8.9. Overbelastning jf. løsningsforslaget 'Kildeparken 2020' ved en 10 års regn. Pilene illustrerer hvor overbelastningen sker og hvor vandet ender.

På figur 8.9 ses det at bassiner, kanaler osv., allerede ved en 10 års hændelse, ikke er i stand til at tilbageholde vandet, som derfor løber over og forårsager en oversvømmelse udenfor Kildeparken. Der bør derfor ske en udvidelse af kapaciteten af disse. Desuden er der steder hvor udformningen af kanalerne modarbejder de naturlige strømningsveje og derfor ikke opfanger vandet, hvilket også bør forbedres.

Mht. udnyttelse af kapaciteten i systemet, viser kapacitetsmodellen at bassinerne i over halvdelen af tiden vil stå halvtomme og at der kun 4 % af tiden i det simulerede opstrøms bassin vil være så meget vand, at det løber over og bidrager med vand til det centrale bassin. Dette løsningsforslag vil altså ikke resultere i, at der ofte strømmer vand fra de opstrøms bassiner mod det centrale. For at få overløb fra bassinet oftere, kunne magasineringsvolumenet mindskes, nedsivningsevnen kunne ændres eller udløbet fra bassinet kunne neddrosles.

8.3 Optimering af 'Kildeparken 2020'

Som konsekvens af resultatet fra 'Kildeparken 2020' laves en optimering af LAR-systemet. Fokus i optimeringen ligger på at holde regnvandet indenfor modelområdet og dermed sikre, at der ikke sker oversvømmelser i de omkringliggende områder. Placeringen af bassinerne i 'Kildeparken 2020' bevares og anvendes som primær magasineringsvolumen.

Af figur 8.9 fremgår det at problemerne med ukontrolleret overløb primært sker i yderkanterne af modelområdet og at det er i kanalerne overløbene sker. Derfor bygger denne optimering på en idé om at tilbageholde regnvandet tæt på de enkelte boligenklaver for dermed at undgå overbelastning af de nedstrøms bassiner og kanaler.

For at undgå at de opstrøms bassiner overbelastes, øges volumen i alle bassiner. Volumen tilpasses så det svarer til den mængde regnvand, der ved en 10 års regnhændelse, afstrømmer fra det bidragende opland. For at undgå transporten mellem bassinerne fjernes kanalerne. Til gengæld udnyttes det, at vandet, ved overbelastning af bassinerne, naturligt vil følge stisystemet i området. For at forhindre at regnvandet kan løbe, via stisystemet, ud af området laves et ekstra bassin, som skal magasinere regnvandet fra overløb og fra det øvrige græsareal.

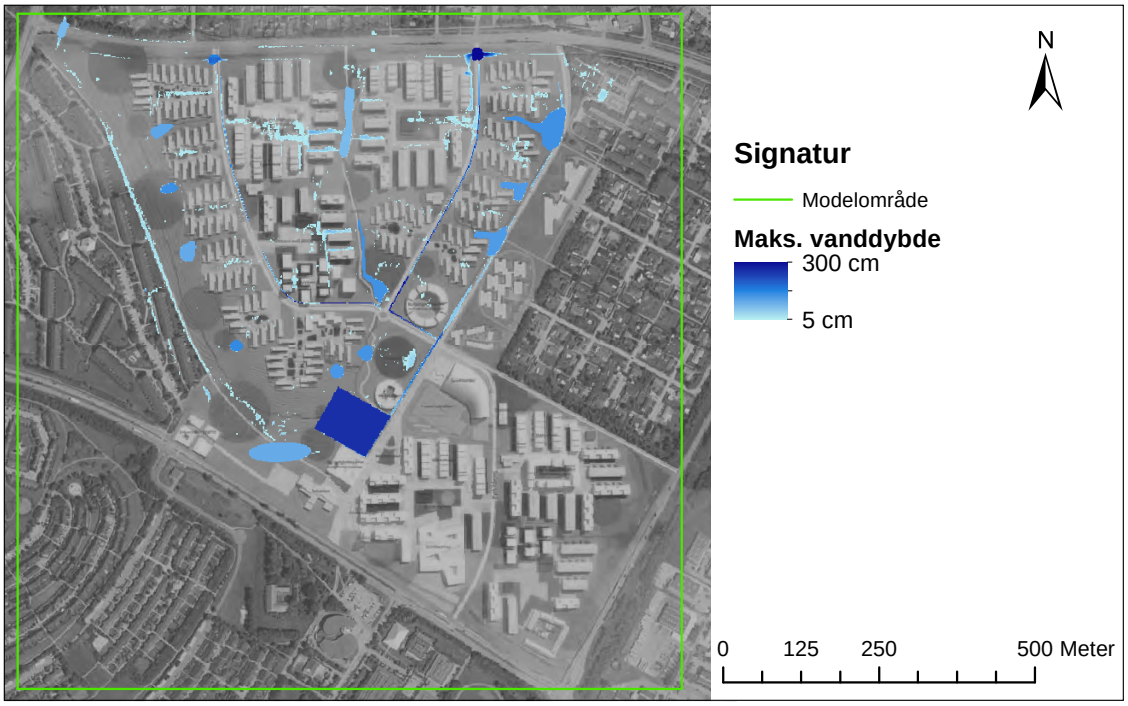
Grøfternes volumen øges ligeledes, så de kan magasinere alt regnvandet fra en 10 års regnhændelse. For at undgå transport og for at opnå det størst mulige magasineringsvolumen, opdeles grøfterne i usammenhængende sektioner, så de i princippet fungerer som bassiner.

8.3.1 Ekstremhændelser

I overflademodellen ændres overfladearealet af bassiner således at volumenet svarer til det volumen regnvand der afstrømmer fra de tilhørende oplande. Dybden af bassinerne bibeholdes til 0,5 m. Ligeledes øges grøfternes overfladeareal, så det nødvendige volumen opnås. Grøfterne opdeles i usammenhængende sektioner, så vandet kan tilbageholdes trods terrænets hældning. De ændringer, der er lavet i forhold til den oprindelige terrænmodel, er illustreret på figur 8.10.

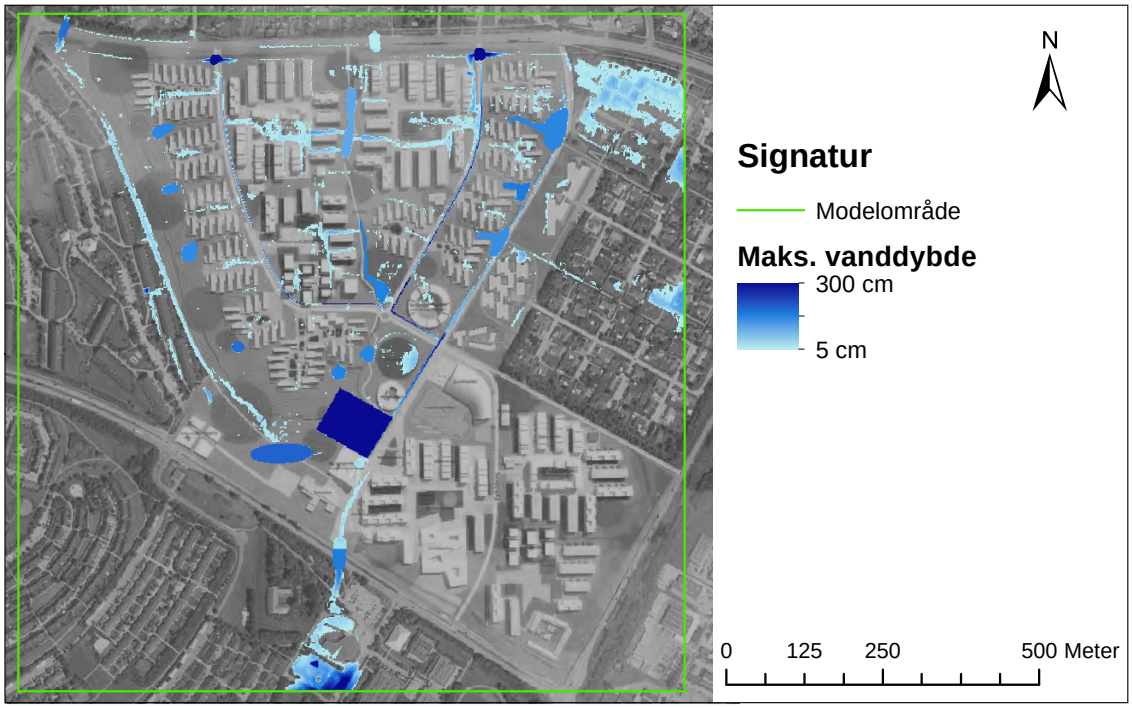
Figur 8.10. Terrænændringer ved optimering af 'Kildeparken 2020' til 10 års regnhændelse.

For at sikre at det vand som falder på græsarealerne ikke strømmer ud af området, er der lavet kanaler, som fanger regnvandet og leder det mod det nærmeste bassin. I den vestlige del af modelområdet er dette ikke nødvendigt, fordi vandet naturligt samles på stien og løber mod syd, hvor det magasineres i et ekstra bassin. Køres simuleringen med en 10 års regnhændelse fås resultatet, som ses på figur 8.11.



Figur 8.11. Resultat for optimering af 'Kildeparken 2020', simuleret med en 10 års regnhændelse. Størret figur findes i bilag G.

Af figur 8.11 fremgår det, at alt regnvandet tilbageholdes i bassiner indenfor modelområdet. Dog er der i det nordøstlige hjørne en mindre mængde regnvand som strømmer ud. Af figuren fremgår det, at dybden på dette vand er ca. 6 cm. og det vurderes at denne mængde er ubetydelig sammenlignet med modellens usikkerheder. Ved denne løsning er der ca. 0,2 m^3 magasineringsvolumen pr. m^2 befæstet areal. Sammenlignet med 'Kildeparken 2020', som har ca. 0,06 m^3 magasineringsvolumen pr. m^2 befæstet areal, er der sket en væsentlig stigning. Ved en standard dimensionering af et forsinkelsesbassin, som dimensioneres til opstivning til terræn hvert 10. år og med en sikkerhedsfaktor på 1,2, fås et magasineringsvolumen på 0,08 m^3 pr. m^2 befæstet areal [Rambøll Danmark A/S et al., 2012]. Laves samme simulering med en 50 års regnhændelse fås følgende resultat, se figur 8.12.



Figur 8.12. Resultat for optimering af 'Kildeparken 2020', simuleret med en 50 års regnhændelse. Størret figur findes i bilag G.

Af resultatet fremgår det, at der ved en 50 års regnhændelse ukontrolleret strømmer vand ud af modelområdet. Dette ville kunne forhindres ved at øge volumenet i de eksisterende bassiner eller øge antallet af bassiner. Det ekstra magasineringsvolumen kunne desuden laves i form af grønne tage, regnbede, faskiner osv.

I tabel 8.3 er det til sammenligning med tidlige udregnet hvor stort et areal, udover bassinerne, det oversvømmede areal udgør på figur 8.11 og 8.12.

	10 års gentagelsesperiode [m^2]	50 års gentagelsesperiode [m^2]
Oversvømmet areal	14.858	54.664

Tabel 8.3. Oversvømmede arealer med løsningsforslag 'Optimering af kildeparken 2020'.

8.3.2 Hverdagssituation

Ved dette løsningsforslag, som er lavet uden sammenhængende bassiner og kanaler, vil vandet ikke komme til at strømme gennem systemet og på den måde bidrage til et bedre rekreativt miljø i Kildeparken. I hverdagssituationer vil der være et permanent vandspejl i alle bassinerne og ved regnhændelser vil opstuvningsvolumenet fyldes. Volumenet i det opstrøms bassin, som blev udvalgt i afsnit 8.2 er ved optimeringen øget fra 43,5 m^3 til 215 m^3. Dermed reduceres overløbsvolumenet, beregnet gennem i 13 års periode, fra ca. 2000 m^3 pr. år til 158 m^3 pr. år. Bassinerne vil altså det meste af tiden fremstå med det permanente vandspejl.

8.3.3 Vurdering af løsningsforslaget

Løsningsforslaget overholder kravet til at alt regnvand fra en 10 års regnhændelse håndteres lokalt, dog vil der ved en 50 års regn opstå ukontrollerede oversvømmelser i og udenfor modelområdet. At håndtere en 50 års regnhændelse vil kræve et øget magasineringsvolumen, der kunne laves i form af bassiner, faskiner, regnbede, grøfter eller overløb til f.eks. en fodboldbane eller lignende grønne arealer.

Hvis Himmerland Boligforening ønsker en løsning med sammenhængende bassiner og kanaler, er dette muligt hvis vandet tilbageholdes i de opstrøms bassiner med vandbremser og kun langsomt ledes ud mod et centralt bassin. Med hensyn til at opnå den rekreative værdi ved at vand strømmer gennem systemet jævnligt, kunne de opstrøms bassiners volumen reduceres og det centrale bassins volumen øges. Det vil dog være nødvendigt at kunne tilbageholde regnvandet opstrøms for ikke at overbelaste det centrale bassin ved ekstreme regnhændelser.

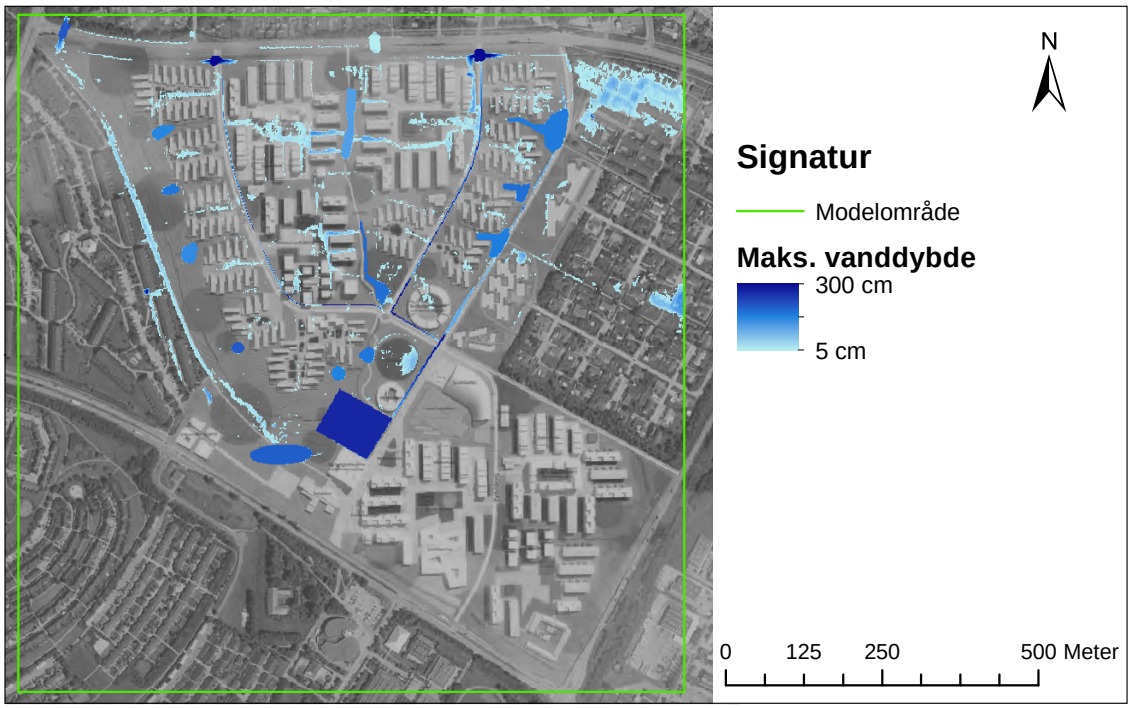
8.4 Optimering af 'Kildeparken 2020' med nedsivning ved ekstremhændelser

Formålet med dette løsningsforslag er at teste hvilken konsekvens, det har for simuleringsresultatet, at der ikke regnes med nedsivning fra bassinerne i overfladeafstrømningsmodellen. Den vandmængde som afstrømmer fra de impermeable overflader vil ende i bassinerne, hvor det, jf. kapitel 5, vil kunne nedsive gennem bassinernes nedsivningsarealer. Denne nedsivning har hidtil været ignoreret i overflademodellen og vil derfor givetvis give et urealistisk billede af belastningen af bassinerne i en ekstremsituation. En overslagsberegning viser, at med en nedsivningsevne på $1 \cdot 10^{-5}$ m/s og et infiltrationsareal på 25 % af bassinarealet, kan der ved en 8 timers regnhændelse nedsives ca. 1473 m^3 regnvand, hvilket svarer til ca. 14 % af det afstrømmende volumen ved en 50 års CDS regn.

Løsningsforslaget tager udgangspunkt i opbygningen fra løsningen 'Optimering af Kildeparken 2020', da det ikke forventes at den oprindelige 2020 løsning, selv med nedsivning i bassinerne, vil være tilstrækkelig, til at håndtere en 50 års hændelse.

8.4.1 Ekstremhændelser

Nedsivningen indføres i overflademodellen i alle bassiner vha. pumper som beskrevet i kapitel 7. Der regnes med et effektivt nedsivningsareal på 25 % bassinarealet og en nedsivningsevne på $1 \cdot 10^{-5}$ m/s for alle bassiner. Dette giver en samlet pumpevandføring fra alle bassiner på 0,0543 m^3/s. Med ovenstående kriterier for nedsivning opnås det nye resultat for en 50 års hændelse, som ses på figur 8.13.



Figur 8.13. Resultat med løsningen 'Optimering af Kildeparken 2020 med nedsivning' under 50 års CDS regn. Størret figur findes i bilag G.

Ved at inkludere nedsivning fra bassinerne og derved gøre modellen mere realistisk, opnås en stor forbedring på resultatet under en 50 års hændelse. Det forhindres således at der kommer overløb fra de store sydlige bassiner, hvorved oversvømmelsen syd for Kildeparken undgås. Samtidig reduceres vandstanden i de enkelte bassiner. Nedsivningen er dog fortsat ikke helt nok til at forhindre overløb fra de østlige bassiner, hvilket resulterer i oversvømmelse udenfor området.

På figur 8.13 ses det oversvømmede areal jf. optimering med nedsivning. Det oversvømmede areal, minus bassiner, udgør 40.191 m^2.

8.4.2 Vurdering af løsningsforslaget

Af resultaterne ses det at den manglende nedsivning fra bassinerne er en væsentlig fejlkilde og bør implementeres for at få et realistisk billede af oversvømmelserne ved en ekstremhændelse. Under en mindre hændelse vil effekten være mindre, da det her er et mindre areal, der bidrager til nedsivning, som konsekvens af en mindre fyldning af bassinerne. Nedsivning er allerede inkluderet i kapacitetsmodellen og ændringerne i dette løsningsforslag vil derfor ikke have indflydelse på dette resultat.

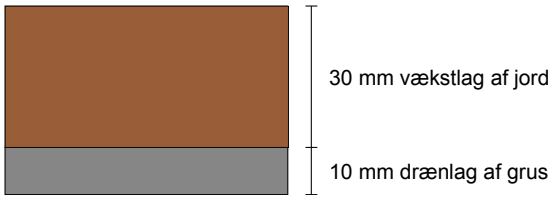
8.5 Optimering af 'Kildeparken 2020' med grønne tage

Formålet med dette løsningsforslag er at teste funktionen af grønne tage. Løsningsforslaget tager udgangspunkt i 'Optimering af Kildeparken 2020', men hvor alle tagarealer ændres til grønne tage. Funktionen testes både ved ekstreme regnhændelser og til hverdag.

I modellerne implementeres de grønne tage ved at give oplandene, dvs. al tagoverflade, en infiltrationskapacitet som beskrives med Hortons formel, som er beskrevet ved formel (7.2) i

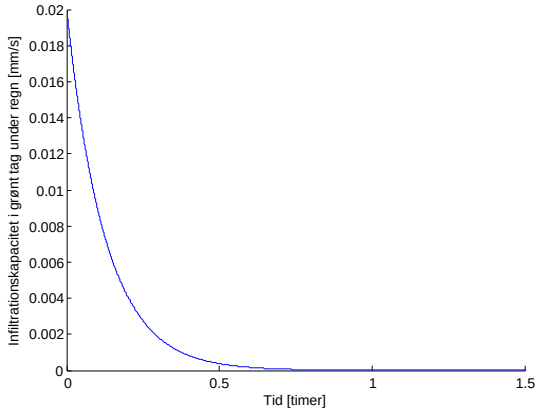
kapitel 7. Dermed aftager infiltrationskapaciteten som funktion af tiden når det regner og omvendt stiger infiltrationskapacitet som funktion af tiden når det er tørvejr.

Til at teste funktionen af grønne tage vælges et ekstensivt grønt tag opbygget af et 30 mm jordlag og et 10 mm drænlag. Dette tag vælges fordi det skal være et tag, der kan anlægges på en eksisterende tagkonstruktion, som ikke er dimensioneret til den last et intensivt grønt tag medfører. Ifølge Bengtsson et al. [2005] kan et tag med de valgte dimensioner, maksimalt magasinere 9 mm regnvand. Derfor fastsættes Hortens eksponent efter samme metode som ved den permeable belægning, således at taget kan magasinere 9 mm regnvand. Den maksimale infiltrationskapacitet sættes til $2{\cdot}10^{-5}$ m/s svarende til græsarealerne og den permeable belægning og minimuminfiltrationskapaciteten sættes til nul, dvs. når tagets magasineringskapacitet er opbrugt, vil alt vandet afstrømme på taget. Infiltrationskapaciteten under regnvejr er illustreret på figur 8.15.

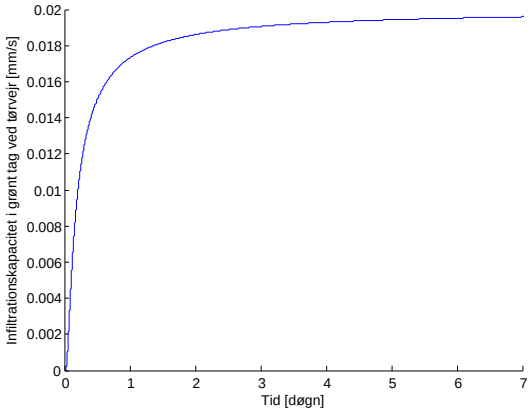


Figur 8.14. Opbygning af ekstensivt grønt tag.

Når infiltrationskapaciteten ved tørvejr stiger, fastsættes Horton eksponenten efter at det varer ca. 5 døgn for taget at nå fuld infiltrationskapacitet fra en kapacitet på nul. De fem døgn er beregnet ud fra at vandet, ifølge beregningen i kapitel 6, gennemsnitligt over året kan fordampe med $2{\cdot}10^{-8}$m/s. Infiltrationskapaciteten ved tørvejr er illustreret på figur 8.16. At bruge en gennemsnitlig fordampning over året giver en fejl både om vinteren og sommeren, da fordampningen på en dag med frostvejr er nul, mens fordampningen på en varm sommerdag er større end den gennemsnitlige værdi. At benytte en gennemsnitsværdi for fordampningen vurderes ikke at give en væsentlig fejl, taget i betragtning at simuleringen i kapacitetsmodellen foretages over 13 år og at fordampningen ikke har betydning i overfladeafstrømningsmodellen, da der kun simuleres en enkeltstående regnhændelse. Værdierne for infiltrationsparametrene er opstillet i tabel 8.4.



Figur 8.15. Infiltrationskapacitet i grønt tag under regn.



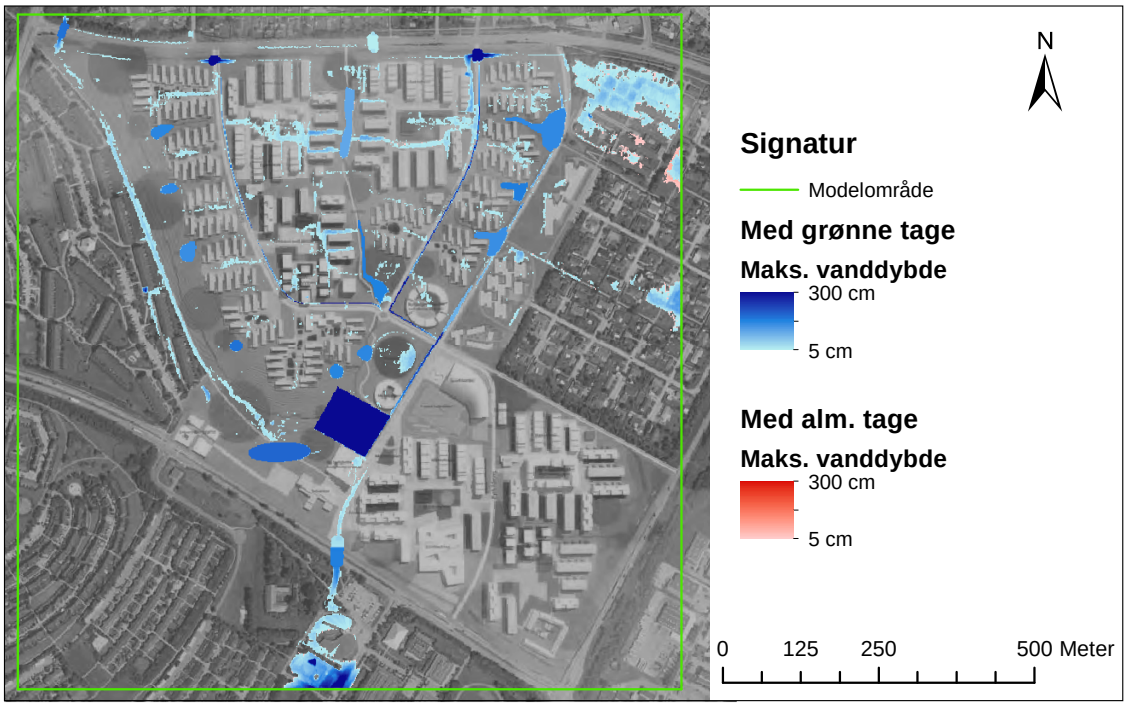
Figur 8.16. Infiltrationskapacitet i grønt tag ved tørvejr.

	f_{maks} $[\mu m/s]$	f_{min} $[\mu m/s]$	$a_{våd}$ $[s^{-1}]$	$a_{tør}$ $[s^{-1}]$
Grønt tag	20	0	0,0022	$8{\cdot}10^{-5}$

Tabel 8.4. Infiltrationsparametre for grønt tag.

8.5.1 Ekstremhændelser

For at teste de grønne tages funktion ved ekstreme regnhændelser, implementeres disse ved at ændre de impermeable tagflader til permeable arealer, der har en infiltrationskapacitet svarende til ovenstående. Simuleringen i overfladeafstrømningsmodellen laves med en CDS regn med en gentagelsesperiode på 50 år. Ved at anvende grønne tage i modellen reduceres det samlede bidrag fra oplandene kun fra 10.128 m^3 til 10.005 m^3 og den vandmængde, der bidrager til afstrømning på overfladen, reduceres altså ikke betydeligt. Det giver derfor også en begrænset effekt på resultatet af overfladeafstrømningen som ses på figur 8.17 både med og uden grønne tage.



Figur 8.17. Overflade afstrømning ved optimeret løsning med og uden grønne tage. Størret figur findes i bilag G.

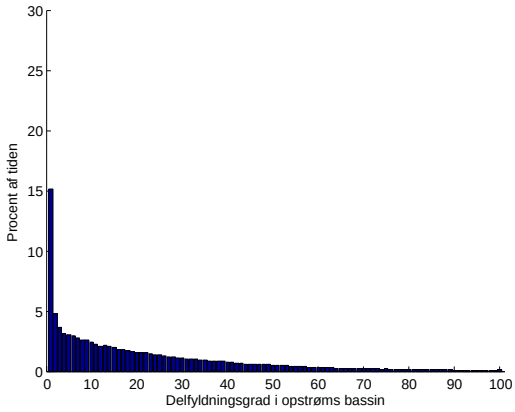
Figur 8.17 viser udbredelsen af oversvømmelserne i en situation med grønne tage (blå) og med almindelige tage (rød). De to resultater er næsten ens og som det fremgår af figuren er forskellen er svær at få øje på. I tabel 8.5 er arealerne svarende til den viste oversvømmelse minus bassinarealerne.

	Uden grønne tage [m^2]	Med grønne tage [m^2]
Oversvømmet areal	54.664	52.536

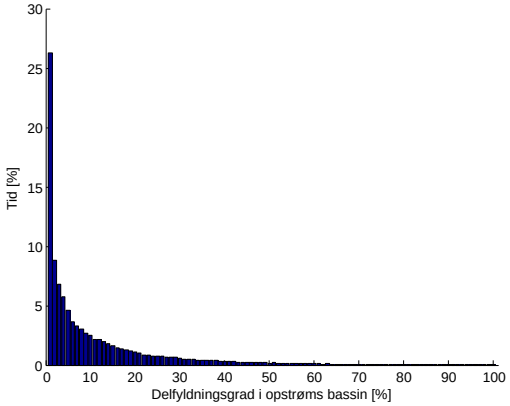
Tabel 8.5. Oversvømmede arealer med løsningsforslag 'Optimering af kildeparken 2020'.

8.5.2 Hverdagssituationen

For at teste funktionen af de grønne tage i hverdagssituationer, udvælges et bassin med et overfladeareal på 430 m^2 og en dybde på 0,5 m. Testen laves ved at simulere 13 års regnhændelse på det tilkoblede opland både med almindelige tage og med grønne tage.



Figur 8.18. Delfyldningsgrad af opstrøms bassin med almindelige tage.



Figur 8.19. Delfyldningsgrad af opstrøms bassin med grønne tage.

Figur 8.18 og 8.19 viser at der sker en væsentlig reduktion i fyldningsgraden og kapacitetsmodellen viser, at der sker en reduktion i overløbsvolumenet fra 158 m^3 pr. år med almindelige impermeable tage til 68 m^3 pr. år med grønne tage.

8.5.3 Vurdering af løsningsforslag

Resultaterne viser, at de grønne tage har en forholdsvis stor effekt over længere perioder med blandede regnhændelser og reducere over en 13 års periode det gennemsnitlige overløbsvolumen med næsten 60 %. Sammenlignes dette med effekten ved en ekstrem regnhændelse, hvor det afstrømmende volumen reduceres med mindre end 2 %, ses at det primært er i hverdags situationen grønne tage gør en forskel. Dette resultat stemmer overens med resultaterne af litteraturstudiet i kapitel 2.

Mht. at skabe rekreativ værdi ved at regnvandet løber i kanaler mellem forskellige bassiner, er grønne tage en dårlig løsning, fordi det primært er det vand som bidrager til systemet ved hverdagshændelser og som tilbageholdes i de grønne tage, der skal skaber denne værdi. Flyttes fokus fra den nordlige til den sydlige del af Kildeparken, vil grønne tage være et godt LAR-element at implementere. Pga. den ringe nedsivningsevne i den sydlige del, vil de grønne tage kunne magasinere og fordampe en forholdsvis stor mængde regnvand ved hverdagshændelser og dermed sikre, at magasineringskapaciteten i bassinerne er maksimal, når de ekstreme regnhændelser kommer.

Den sydlige del af Kildeparken 9

Fokus har gennem rapporten været på den nordlige del af Kildeparken, men i dette kapitel beskrives det hvordan regnvandet kan håndteres i den sydlige del af boligområdet. Løsningerne bygger screeningsanalysen samt erfaringer og modelresultater fra den nordlige del af Kilderparken.

Til forskel fra den nordlige del af Kildeparken viste screeningsanalysen i kapitel 4, at nedsivningspotentialet i den sydlige del er ringe. Derfor vil det i højere grad være fordampning, frem for nedsivning, der skal fjerne vandet fra området. Da fordampningen, ifølge kapitel 6, foregår væsentligt langsommere end nedsivningen i jorden, vil der være et større behov for at kunne magasinere regnvandet i længere tid.

Som der fremgår af figur 9.1 er en forholdsvis stor del af den sydlige del af Kildeparken bebygget. At det befæstede areal er stort samtidig med at det grønne areal er forholdsvist begrænset, betyder at der kan blive pladsproblemer i forhold til at magasinere store mængder regnvand i bassiner, især hvis det ikke ønskes at magasinere regnvandet i gårdarealerne mellem boligerne. Med et befæstet areal på ca. 90.000 m^2 og et nødvendigt bassinvolumen på minimum 0,2 m^3 pr. m^2 befæstet areal, skal der være mindst være plads til at magasinere 18.000 m^3 regnvand for at kunne håndtere en 10 års regnhændelse. På figur 9.1 er et området på ca. 36.000 m^2 markeret, dette svarer til en dybde på 0,5 m.

Figur 9.1. Nødvendigt bassinareal i den sydlige del af Kildeparken.

Af figur 9.1 fremgår det at et bassin af denne størrelse fylder en forholdsvis stor del af området.

Volumenet kunne fordeles på flere forskellige LAR elementer, f.eks. bassiner, grøfter og faskiner. Men for at tilbageholde mest mulig regnvand tæt på boligerne, uden at vandet er til gene for beboerne, kunne bygningernes tage, ved renoveringen, omdannes til grønne tage. Ved at bruge grønne tage, vil fordampningen af vand fra området blive høj, sammenlignet med alternative LAR-elementer og en stor del af det regnvand, der falder i hverdagssituationer, vil tilbageholdes i tagene. Dermed sikres det at bassinvolumenerne udnyttes bedst muligt i tilfælde af ekstreme regnhændelser. Ved at bruge den nuværende bygningskonstruktion er det muligt at implementere ekstensive grønne tage, svarende til det tag som blev testet i afsnit 2.1. Ønskes der yderligere tilbageholdelse kan der overvejes intensive grønne tage, dette kræver dog en bygningskonstruktion der kan bære lasten fra taget.

En anden mulighed for at mindske vandmængderne i den sydlige del af Kildeparken er at pumpe vand op i den nordlige del. Hvis løsningsmodellen 'Kildeparken 2020' etableres med et pumpesystem, vil der, hvis vandet fra den sydlige del pumpes op til de højest beliggende bassiner, være mulighed for at skabe liv i kanalerne med det gennemstrømmende regnvand. Dermed kan der sikres mod stillestående vand i bassinerne og dermed opnås en bedre kvalitet af vandet, hvilket medfører en højere rekreativ værdi. At pumpe vandet kræver energi og energien kunne f.eks. komme fra en lokal vindmølle, vandmølle eller fra solenergi.

Alternativt kunne der etableres et nødoverløb til det offentlige afløbssystem eller en nærliggende recipient.

Diskussion 10

I dette kapitel diskuteres resultater samt opbygningen af modellerne, med formål at klarlægge betydningen af de valg der er foretaget og hvilken betydning disse har for resultaterne.

Resultaterne af simuleringerne i kapacitetsmodellen er regnet uden forsinkelse af regnvandet, dvs. regnvandet i princippet falder direkte i bassinerne. For at få en mere realistisk simulering kunne tid-areal-metoden være benyttet til at få en forsinkelse af vandet på overfladen. Derudover kunne der være indbygget en forsinkelse og et tab når vandet transporteres gennem kanaler. Fordi kapacitetmodellen benyttes til at simulere flere års regnhændelser vurderes betydningen af forsinkelsen at være minimal, da forsinkelsen vil dreje sig om minutter.

Resultaterne fra overflademodellen er naturligvis også til diskussion, der er en række indbyggede sikkerheder i modellen som gennemgås i de følgende afsnit. Derfor er det også sandsynligt at de opstillede løsninger i et vist omfang er overdimensionerede. Der mangler derfor en egentlig dimensionering af de valgte elementer. Overflademodellen er rigtig god til at vise hvor og hvordan vandet vil strømme på overfladen, men størrelsen af vandmængderne kan være svære at forholde sig til. Derfor bør der opbygges en egentlig rørmodel, hvor alle elementer - kanaler, bassiner etc. opbygges som 1D elementer. Herved kan elementerne implementeres i mere detaljerede dimensioner, hvorved en mere realistisk kontrol med volumener er mulig. Denne model vil fortsat kunne udveksle med overflademodellen og derved kunne vise den ukontrollerede afstrømning som følge af overbelastning. At en sådan model ikke er opbygget til vurdering af løsningsforslagene skyldes flere ting: Blandt andet ville det være meget tidskrævende at opstille en præcis model for hvert af løsningsforslagene og det læringsmæssige i dette vil være begrænset. Derudover vil der være en del parametre, der vil være svære at fastlægge og derfor blot skabe en øget usikkerhed i modellen. Endelig var målet med analysen at vurdere hvordan vandet vil afstrømme i en ekstremsituation og til at vise dette er den mere simple model udmærket.

Ved implementering af de grønne tage kunne fordampningen være beregnet med en årstidsvariation, frem for at være konstant. Ved simulering med kapacitetmodellen ville årstidsvariationen ikke give en forskel af betydning pga. den lange periode der simuleres. I overfladeafstrømningsmodellen vil det ligeledes ikke få den store betydning fordi der udelukkende simuleres en enkelt regnhændelse og det betyder derfor ikke noget hvor hurtigt de grønne tage igen opnår fuld kapacitet. Havde overfladeafstrømningsmodellen været benyttet til at simulere koblede regnhændelser ville dette få mere betydning. Dette leder videre til at diskutere hvorvidt det er enkeltstående ekstreme regnhændelser der giver de største problemer i Kildeparken eller om to lidt mindre regnhændelser tæt på hinanden ville kunne give større problemer. Med mere tid tilgængeligt ville koblede regnhændelser være blevet undersøgt nærmere.

I overfladeafstrømningsmodellen, hvor der modelteknisk benyttes pumper til at simulere nedsivningen fra bassinerne, benyttes der med en konstant udløbsvandføring, fordi der regnes med et konstant nedsivningsareal. Nedsivningsarealet er fastsat til 25 % af det enkelte bassins overfladeareal. Dermed er der ikke taget højde for at nedsivningsarealet er væsentligt mindre ved starten af regnhændelsen, hvor bassinernes opstuvningsareal er tomt. Dog vil nedsivningsarealet

for bassinerne kunne blive større end 25 % afhængigt af hvordan den præcise udformning laves.

I opbygningen af de to modeller er der indbygget en række sikkerheder, som samlet udgør en forholdsvis høj sikkerhedsfaktor. Sikkerheden ligger primært i en høj befæstelsesgrad og en lav infiltrationskapacitet. Ved at vælge en høj befæstelsesgrad, fås et større volumen regnvand, som afstrømmer på overfladen og bidrager til afløbssystemet. Dermed er der taget højde for at befæstelsesgraden kan stige med tiden. Udover befæstelsesgraden er det valgt at regne med en nedsivningsevne, som er væsentligt lavere end den målte. Ved nedsivningstests i Kildeparken blev nedsivningsevnen målt til i gennemsnit at være ca. $1{\cdot}10^{-4}$ m/s - i overfladeafstrømningsmodellen regnes der med en maksimal infiltrationskapacitet på $2{\cdot}10^{-5}$ m/s og en minimum infiltrationskapacitet på $5{\cdot}10^{-6}$ m/s. I kapacitetsmodellen regnes med en konstant infiltrationskapacitet på $1{\cdot}10^{-5}$ m/s. Dermed er der taget højde for både de usikkerheder i forbindelse med målingerne og at infiltrationsfladerne forventes at stoppe til med årene.

Ud over den sikkerhed der er indlagt i modelopbygningen er der på CDS regnen multipliceret med en klimafaktor på 1,2. Dermed benyttes klimafaktoren udelukkende ved simulering med overfladeafstrømningsmodellen og ikke i kapacitetsmodellen. Grunden til at klimafaktoren ikke benyttes i kapacitetmodellen er at årsnedbøren ikke forventes at stige, men at det er intensiteten af de enkelte regnhændelserne der stiger. Derfor ville det være forkert at gange samtlige regnhændelser fra en 13 års regnserie med en klimafaktor på 1,2. Klimafaktoren anbefales ifølge Arnbjerg-Nielsen [2008] at ligge en mellem 1,1 og 1,5, afhængigt af regnhændelsen og gentagelsesperioden for overbelastning. På trods af at LAR-elementerne i Kildeparken forventes at have en lang levetid, vælges en forholdsvis lille klimafaktor fordi det vurderes at sikkerheden i modellerne er høj.

Det er valgt at arbejde med høje mål for gentagelsesperioden for overbelastning. I et traditionelt separatkloakeret afløbssystem er funktionskravet, ifølge Harremoës et al. [2005], at rørene må være fuldtløbende én gang om året og at opstuvning til terræn må ske én gang hvert 5. år. I dette projekt har det været målet at kunne håndtere regnvandet fra en 10 års regnhændelse i de primære bassiner og at kunne håndtere en 50 års regnhændelse indenfor projektområdet. Årsagen til de høje mål kommer af en af grundene til at implementere LAR-elementerne; at mindske presset på det eksisterende afløbssystem og renseanlægget. Når der sker overbelastning af LAR-elementerne i Kildeparken medfører det blot transport af regnvand mod lavere liggende områder, hvor vandet så skaber oversvømmelse eller bidrager til afløbssystemet, hvis kapaciteten ikke er opbrugt. Derfor har det været vigtigt at dokumentere at LAR-elementerne i Kildeparken, som minimum, kan håndtere en 10 års regnhændelse, for at opnå den aflastning af afløbssystemet, som er incitament for at anlægge LAR-elementerne.

Ved at simulere med en konstrueret CDS regn i overfladeafstrømningsmodellen fås en samling af maksimum regnintensiteter for forskellige varigheder i regnserien. De benyttede CDS regn har en varighed på 8 timer og pga. CDS regnens opbygning fås nogle forholdsvis høje regnintensiteter set i forhold til regnens varighed. Det kan diskuteres, hvor sandsynligt det er, at der forekommer en regnhændelse med en varighed på 8 timer, som samtidig opnår regnintensiteter svarende til maksimum intensiteter for regnvarigheder på få minutter. Sammenlignes CDS regnen, med gentagelsesperioden 50 år, med den historiske regnhændelse fra d. 15. aug. 2006, ses det at maksintensiteten af den historiske regn er væsentlig mindre, men indeholder flere mindre peaks, modsat CDS regnen, som har ét højt peak. I overfladeafstrømningsmodellen får det høje peak især betydning fordi regnintensiteten overstiger infiltrationskapaciteten på de permeable overflader og

oplandsarealet, som bidrager til afstrømning, bliver væsentligt større.

I projektet er der arbejdet meget med opsætningen af afstrømningsmodellen og det blev valgt at benytte model B, den kinematiske bølgemodel. Grunden til at denne blev valgt er at projektområdet består af et forholdsvist stort grønt areal. Ved at bruge model B fås en bedre beskrivelse af jordens nedsivningsevne og dermed fås en bedre beskrivelse af afstrømningen på overfladen. Dette har især betydning ved regnhændelser hvor regnintensiteten overstiger den maksimale infiltrationskapacitet og vandet begynder at afstrømme, som på impermeabel overflade. Det er netop for at få dette vand med, at model B er blevet benyttet. Fordi de grønne arealer udgør en forholdsvis stor del af Kildeparken, giver det en væsentligt øget mængde vand, ved høje regnintensiteter, at benytte afstrømningsmodel B frem for model A.

I projektet er der ikke udført en traditionel bassindimensionering til bestemmelse af bassinvolumenerne i de enkelte løsningsforslag. Grunden til at dette ikke gøres er at den traditionelle bassindimensionering bygger på et afløbstallet, som beskriver udløbsvandføringen fra bassinet. Da der ikke er et udløb fra bassinerne i dette projekt, svarer afløbstallet til den mængde vand som nedsiver fra bassinet. Da denne størrelse i høj grad afhænger af vanddybden i bassinet og nedsivningsevnen i jorden og da disse er svære at bestemme præcist, vil bassinvolumenerne, ved en traditionel dimensionering, være meget usikre.

Et emne som ikke er behandlet i rapporten er grundvandsstigninger. Generelt skyldes ændringer i grundvandsstanden en ændret nedbørsmængde over kortere eller længere perioder eller ændringer i indvindingsstrukturen lokalt eller regionalt [Thorling et al., 2012]. I Kildeparken vil grundvandet kunne stige pga. den forholdsvis store mængde vand, som skal nedsives. I den sydlige del af området er afstanden mellem terrænkoten og grundvandsspejlet ned til én meter og området vil derfor være i risiko for at blive vådt og sumpet, hvis der sker en stigning i grundvandsspejlet. Om grundvandet kommer til at stige vides ikke med sikkerhed, men det bør undersøges.

Konklusion 11

På baggrund af analysen af Kildeparkens terræn, jordtyper og afstand til grundvandsspejlet, blev der lagt en strategi for implementering af LAR-elementer. Strategien tager udgangspunkt i helhedsplanen 'Kildeparken 2020' EFFEKT og COWI [2011a]. Ud fra den valgte strategi er der opstillet forskellige løsningsforslag, som udover at tage udgangspunkt i 'Kildeparken 2020' bygger på egne ideer. De forskellige løsningsforslag er blevet testet ved simulering i de to modeller; kapacitetmodellen og overfladeafstrømningsmodellen. Kapacitetsmodellen har simuleret hvordan LAR-elementernes kapacitet udnyttes gennem en 13 års periode med historisk målte regnhændelser, mens overfladeafstrømningsmodellen har simuleret LAR-elementernes funktion ved en enkeltstående ekstrem regnhændelse, i projektet fastlagt som en regnhændelse med en gentagelsesperiode på mindst 10 år. I løsningsforslaget 'Optimering af Kildeparken 2020', hvor kanalerne mellem bassinerne blev fjernet, lykkedes det at håndtere en CDS regn med en gentagelsesperiode på 10 år, uden ukontrollerede oversvømmelser udenfor modelområdet. Ved løsningsforslaget 'Optimering af Kildeparken 2020 med nedsivning ved ekstremhændelser' lykkedes det at håndtere en CDS regn med en gentagelsesperiode på 50 år, uden oversvømmelser udenfor modelområdet. Ud fra resultaterne kan det konkluderes at der skal være mindst 0,2 m^3 magasineringsvolumen pr. befæstet m^2 opland, for at sikre at en 50 års regnhændelse kan håndteres indenfor projektområdet. Dermed kan det også konkluderes at den nedsivning, som sker fra bassinerne under en regnhændelse har betydning for LAR-systemets funktion. Ved en 8 timers CDS regn med en gentagelsesperiode på 50 år blev det afstrømmende volumen reduceret med ca. 14 %. De grønne tages funktion er, som forventet, stor gennem en længere periode, hvor kapacitetmodellen viser at overløbsvolumen fra et bassin reduceres med ca. 60 %, men effekten er minimal ved ekstreme regnhændelser, hvor overfladeafstrømningsmodellen viser at det afstrømmende volumen reduceres med ca. 2 %.

Fordi fokus har ligget på at dokumentere at alt regnvand kan håndteres indenfor projektområdet, er den rekreative værdi blevet nedprioriteret. Dette betyder ikke at den ikke kan opnås. Den præcise udformning af bassinerne kan ændres og magasineringsvolumenerne kan implementeres som grøfter, kanaler, regnbede, faskiner osv., hvis blot det samlede magasineringsvolumen bevares. Hvis kanaler og transport gennem disse ønskes, kræver det at regnvandet tilbageholdes opstrøms og ikke med det samme kan løbe direkte mod det centrale bassin, da dette, ved ekstreme regnhændelser, vil medføre overbelastning. Der kunne f.eks. indsættes vandbremser ved udløbet i de opstrøms bassiner.

Perspektivering 12

Inden renoveringen af de grønne områder i Kildeparken kan starte er der en række forhold, ud over de tekniske, der er behandlet i denne rapport, som skal være på plads. Dette berører bl.a. økonomi, vedligeholdelse, ansvar ved skader og hvilken rekreativ værdi der opnås.

At renovere de grønne områder i Kildeparken med henblik på at håndtere alt regnvandet lokalt er dyrt sammenlignet med en renovering hvor regnvandet fortsat ledes til det eksisterende afløbssystem. I forhold til at mindske belastningen af renseanlæg og lokale recipienter er det kommunens interesse at projektet gennemføres [Aalborg Kommune, 2011]. Til finansiering af omkostningerne ved etablering LAR-elementerne kunne det være en mulighed, at en del af tilslutningsbidraget tilbagebetales. Tilbagebetalingen kunne svare til at tilslutningsbidraget ved tilkobling af nye boliger, som ikke afleder tag- og overfladevand udgør 60 % af standardtilslutningsbidraget. Om dette er en mulighed er stadig uvist.

Sammenlignet med fortsat at aflede alt vand til det eksisterende afløbssystem er det ikke kun dyrt at anlægge LAR-elementerne - de skal også vedligeholdes. For at bevare en god nedsivningsevne i både permeable belægninger, grøfter og bassiner skal disse renses. Ligeledes skal kanaler og grøfter renses for nedfaldsblade og lignende for at sikre god transport af vandet. F.eks. kræver våde bassiner ifølge Rambøll Danmark A/S et al. [2012] bl.a. følgende vedligeholdelse: Tømning af sandfang, fjernelse af uønskede planter, opsamling af affald, tilsyn og rensning af rist i indløb, beskæring af neddykkede planter, oprensning af sedimenteret materiale fra bunden. Det vil altså være nødvendigt at der afsættes penge årligt til at vedligeholde LAR-elementerne. Incitamentet for Himmerland Boligforening for at gøre dette er den rekreative værdi der opnås. Dermed er det også vigtigt at der faktisk opnås den ønskede rekreative værdi.

For at opnå mest mulig rekreativ værdi er det afgørende at LAR-elementerne ikke udelukkende har en funktion ved ekstreme regnhændelser, men at bassiner, kanaler og grøfter også giver merværdi til området i hverdagssituationer, hvilket er behandlet gennem rapporten. Derudover skal det indtænkes hvordan området fremstår på forskellige årstider. F.eks. kan den præcise udformning af bassinerne laves med henblik på at disse kan benyttes som skøjtebaner om vinteren og at nogle bassiner sikres så høj vandkvalitet, at de kan benyttes som soppebassiner om sommeren. En faktor det ville påvirke den rekreative værdi negativt, kunne være at vandet får en lang opholdstid i bassinerne, hvilket kan medføre alge- og bakterievækst, uklart vand og lugtgener.

Udover økonomi, vedligeholdelse og rekreativ værdi skal det afklares, hvem der har ansvaret, hvis der sker oversvømmelser, som medfører skader på bygninger og anden værdi og dermed hvem der skal betale omkostninger i forbindelse med erstatning og reparationer.

Metoden ved analysen af området vil kunne overføres til andre lignende projekter. Dvs. inden dimensionering af områder, både større og mindre skala, hvor overfladevandet skal håndteres lokalt, vil en analyse af terrænet, nedsivningsevnen samt værdierne i området, klarlægge hvor forskellige typer LAR-elementer vil fungere og hvor kontrollerede oversvømmelser skal opstå ved overbelastning af de primære LAR-elementer. Derudover kan kapacitetsmodellen benyttes på andre lokaliteter uden at lave væsentlige ændringer. Det vil primært være nødvendigt

at ændre oplandsarealer, bassinvolumener, nedsivningsevnen og regnserien, hvis lokaliteten ikke er nær Aalborg. Overfladeafstrømningsmodellen kan ikke på sammen måde benyttes direkte, men opbygningen af modellen vil kunne bruges på lignende projekter. Ved en reel dimensionering vil der være nødvendigt med en mere detaljeret opbygning, hvor der er større kontrol over volumenerne i bassiner og kanaler, som nævnt tidligere i kapitlet. Af overfladeafstrømningsmodellens resultater fremgår det at bassinvolumenerne skal være større end ved traditionel dimensionering, dette skyldes til dels at bidraget fra permeable overflader regnes med i modellen. Dermed ligger der en ekstra sikkerhed i at benytte en modelopsætning som denne, frem for at dimensionere efter de befæstede arealers størrelse.

Litteratur

Aabling og Arnbjerg-Nielsen, **2011**. Thomas Aabling og Karsten Arnbjerg-Nielsen. *Dimensionering af LAR-anlæg*, 2011.

Aalborg Kommune, **2011**. Aalborg Kommune. *Klimastrategi - Tilpasning 2012-2015*, 2011. URL `url={http://www.e-pages.dk/aalborgkommune/651/}`.

Arnbjerg-Nielsen, **2008**. Karsten Arnbjerg-Nielsen. *Forventede ændringer i ekstremregn som følge af klimaændringer (Skrift 29)*, 2008.

Arnbjerg-Nielsen, Madsen, og Mikkelsen, **2006**. Karsten Arnbjerg-Nielsen, Henrik Madsen, og Peter Steen Mikkelsen. *Regional variation af ekstremregn i Danmark -ny bearbejdning (1979-2005) (Skrift 28)*, 2006.

Bengtsson, Grahn, og Olsson, **2005**. Lars Bengtsson, Lennart Grahn, og Joans Olsson. *Hydrological function of a thin extensive green roof in southern Sweden*. Nordic Hydrology, 36 (3), 259–268, 2005.

Bergman, Hedegaard, Petersen, Binning, Mark, og Mikkelsen, **2011**. M. Bergman, M.R. Hedegaard, M.F. Petersen, P. Binning, O. Mark, og P.S. Mikkelsen. *Evaluation of two stormwater infiltration trenches in central Copenhagen after 15 years of operation*. Water Science and Technology, 63(10), 2279–2286, 2011.

Beven, **2008**. Keith Beven. *Enviromental Modelling: An Uncertain Future?* ISBN: 978-0-415-45759-0. Routledge, 2008.

Brattebo og Booth, **2003**. Benjamin O. Brattebo og Derek B. Booth. *Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems*. Water Research, 37(18), 4369–4376, 2003.

Brorsen og Larsen, **2009**. Michael Brorsen og Torben Larsen. *Lærebog i Hydraulik*. ISBN: 978-87-7307-691-0. Aalborg Universitetsforlag, 2009.

Carter og Rasmussen, **2006**. Timothy L. Carter og Todd C. Rasmussen. *Hydrologic behavior of vegetated roofs*. Journal of the American Water Resources Association, 42(5), 1261–1274, 2006.

CIRIA, **2001**. CIRIA. *Sustainable urban drainage systems - best practice manual for England, Scotland, Wales and Northern Ireland*, 2001.

COWI, **2001**. COWI. *Ortofoto*, 2001.

Detlefsen og Plauborg, **2001**. Nina K. Detlefsen og Finn Plauborg. *Revurdering af metoder til beregning af referencefordampning (potentiel fordampning)*, 2001.

DHI, **2011**. DHI. *MOUSE Reference Manual*, 2011.

DMI, **2012**. DMI. *Normaler for Danmark*, 2012. URL `http://www.dmi.dk/dmi/index/danmark/klimanormaler.htm`. set 13-11-12.

DMI og Spildevandskomiteen, **2012**. DMI og Spildevandskomiteen. *Historisk regnserie fra regnmåler 20298*, 2012.

EFFEKT og COWI, **2011a**. EFFEKT og COWI. *Kildeparken 2020 - Det blå-grønne boligområde*, 2011.

EFFEKT og COWI, **2011b**. EFFEKT og COWI. *Kildeparken 2020 (Video)*, 2011. URL `https://www.abhim.dk/default.aspx?m=2&i=203`. set 23-10-12.

GEUS, **2012**. GEUS. *National boringsdatabase (jupiter)*, 2012. URL `http://www.geus.dk/`. set 06-11-12.

GEUS, **2007**. GEUS. *Danmarks digitale jordartskort*, 2007.

Harremoës, Pedersen, Laustsen, Sørensen, Laden, Friis, Andersen, Linde, Mikkelsen, og Jacobsen, **2005**. Poul Harremoës, Claus Møller Pedersen, Anne Laustsen, Sonia Sørensen, Bo Laden, Kristian Friis, Helle Katrine Andersen, Jens Jørgen Linde, Peter Steen Mikkelsen, og Carsten Jacobsen. *Funktionspraksis for afløbssystemer under regn (Skrift 27)*, 2005.

Kort og Matrikelstyrelsen, **Ukendt**. Kort og Matrikelstyrelsen. *Digital Terrænmodel*, Ukendt.

Kristensen, Strandbæk, Laden, Nielsen, og Nørr, **2009**. Johnny Kristensen, Helle Strandbæk, Bo Laden, Bjarne Norman Nielsen, og Falko Nørr. *Vision 2100*, 2009.

Petersen, Jacobsen, og Mikkelsen, **1995**. Carsten Rosted Petersen, Per Jacobsen, og Peter Steen Mikkelsen. *Nedsivning af regnvand - dimensionering (Skrift 25)*, 1995.

Rambøll Danmark A/S, Erling Holm Aps, KU - Skov og Landskab, DTU Miljø, og Orbicon A/S, **2012**. Rambøll Danmark A/S, Erling Holm Aps, KU - Skov og Landskab, DTU Miljø, og Orbicon A/S. *Københavns Kommunes Metodekatalog til Lokal Afledning af Regnvand*, 2012.

Scholz og Grabowiecki, **2007**. Miklas Scholz og Piotr Grabowiecki. *Review of permeable pavement systems*. Building and Environment, 42(11), 3830–3836, 2007.

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

Stovin, Vesuviano, og Kasmin, **2012**. Virginia Stovin, Gianni Vesuviano, og Hartini Kasmin. *The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions*. Journal of Hydrology, 414-415, 148–161, 2012.

Teknologisk Institut, **2012**. Teknologisk Institut. *LAR i Danmark*. URL: `http://www.laridanmark.dk`, 2012. Downloaded: 26-11-2012.

Thorling, Brüsch, Hansen, Langtofte, Mielby, og Møller, **2012**. Lærke Thorling, Walter Brüsch, Birgitte Hansen, Carsten Langtofte, Susie Mielby, og Rasmus Rønde Møller. *Grundvandsovervågning 2012*. ISBN: 978-87-7871-345-2. GEUS, 2012.

Thorndahl, **2008**. Søren Thorndahl. *Uncertainty assessment in long term urban drainage modelling*, 2008.

Veg Tech, **2012**. Veg Tech. *Veg Tech hjemmeside*. URL: `http://www.vegtech.dk`, 2012. Downloaded: 26-11-2012.

Wang, **2013**. Peter Riddersholm Wang. *Teknisk Rapport 13-08, Referenceværdier: Måneds- og årsværdier for stationer 2001-2010, Danmark for temperatur, relativ luftfugtighed, vindhastighed, globalstråling og nedbør*, 2013.

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

Zinck-Jørgensen og Hinsby, **2001**. Kim Zinck-Jørgensen og Klaus Hinsby. *Sprækker, vand og olie i kalk*. Geologi - Nyt fra GEUS, 1, 2001.

Kort med stednavne A

Figur A.1. Kort med vej- og stinavne i projektområdet.

Simpel nedsivningstest B

I dette bilag er det beskrevet, hvordan beregningerne af resultaterne til den simple nedsivgningstest er lavet. Beskrivelsen af forsøget kan læses i afsnit 4.2.2. Forsøget er fortaget på baggrund af Rambøll Danmark A/S et al. [2012].

Til forsøget blev anvendt et plastrør med en ydre diameter på 25 cm og en materiale tykkelse på 0,7 cm. Dette giver et åbent bundareal, A_{bund}=437,4 cm^2.

Alle test blev lavet over 10 min, hvorefter det blev aflæst på en målestok, som var placeret på bunden af hullet, hvor mange cm vand der var sunket i jorden. Inden hvert forsøg blev forsøget blev jorden vandmættet. Det blev antaget at jorden var vandmættet når vandet sank mindre end 0,2 m på 15 min. Ud fra afsænkningen er nedsivningsevnen beregnet med formel (B.1).

$$K = \frac{\frac{V}{t \cdot 60}}{A_{bund}} \tag{B.1}$$

hvor

K	Nedsivningsevne [m/s]
V	Afsænkningsvolumen [m^3]
t	Tiden [min]
A_{bund}	Areal af bunden af hullet [m^2]

Test nr.	Afsænkning [m]	Afsænkningsvolumen, V [m^3]	Nedsivningsevne, K [m/s]
1	0,011	0,00048	$1{,}8 \cdot 10^{-5}$
2	0,027	0,00118	$4{,}5 \cdot 10^{-5}$
3	0,035	0,00153	$5{,}8 \cdot 10^{-5}$
4	0,040	0,00174	$6{,}6 \cdot 10^{-5}$

Tabel B.1. Resultat af den simple nedsivningstest.

Følsomhedsanalyse af parametre i afstrømningsmodel B

C

Afstrømningen på et opland i overflademodel B, kinematisk bølgemodel, er bestemt af forskellige parametre. Tre af disse er konstante og defineres for hvert opland i modellen. Der er tale om Manningtal, M, der beskriver overfladens ruhed, oplandets længde, L, og den gennemsnitlige hældning, I. Da der ikke er datagrundlag for fastlæggelse af parametrene M, B og L, bruges de i stedet som kalibreringsparametre, når model B kalibreres op mod model A. I kalibreringen, beskrevet i kapitel 7, fastholdes to af parametrene, mens kalibreringen foretages ved ændring af den tredje. I dette bilag foretages en følsomhedsanalyse for at undersøge hvilken parameter, der bør anvendes som kalibreringsparameter. De tre parametre indgår i beregningen af afstrømningen, som det fremgår af formel (C.1) [DHI, 2011].

$$Q(t) = M \cdot B \cdot I^{1/2} \cdot y_R(t)^{5/3} \tag{C.1}$$

hvor

M	Manningtal [$m^{1/3}/s$]
B	Oplandsbredde [m]
	Beregnet som $B = A$ (oplandsareal) [m^2] / L [m]
I	Gennemsnitlig hældning [‰]
$y_R(t)$	Afstrømningsdybde til tiden t [m]

$y_R(t)$ bestemmes ved kontinuitetsligningen (C.2) [DHI, 2011]. I_{eff} er den del af nedbøren, der ikke forsvinder ved hydrologiske forhold som befugtning, nedsivning osv.

$$I_{eff}(t) \cdot A - Q(t) = \frac{dy_R}{dt} \cdot A \tag{C.2}$$

hvor

I_{eff}	Effektiv nedbørsintensitet [m/s]
A	Bidragende opland [m^2]
dt	Tidsskridt [s]
dy_R	Ændring i afstrømningsdybden [m]

Følsomhedsanalysen laves ved skiftevis at fastholde to af parametrene og ændre på den tredje. For følsomhedsanalysen sættes I_{eff} til 100 % af regnen, så variablen $y_R(t)$ alene afhænger af

variationen i den anvendte regnserie. Som regnserie bruges en kasseregn på 30 min med en intensitet på 20 μm/s.

Til bestemmelse af følsomheden på de tre parametre beregnes sensitivitetsindekset, SI, med formel (C.3) [Beven, 2008]. Her sammenlignes effekten på resultatet i et punkt, når parameteren ændres i positiv og negativ retning. I dette tilfælde vurderes effekten på koncentrationstiden, som er aflæst på afløbshydrografen.

$$SI_i = \frac{(P(x_i - \Delta x_i) - P(x_i + \Delta x_i))/2\Delta x_i}{x_i} \tag{C.3}$$

Resultat

I tabel C.1 ses de anvendte parametre og de resulterende koncentrationstider. Desuden ses det, at det afstrømmende volumen er konstant bortset fra en lille afvigelse, der tilskrives numerisk støj.

Parameter			Resultater	
Længde, L [m]	Hældning, I [‰]	Manningtal, M [$m^{1/3}$/s]	Konc. tid [s]	Afstrømmet volumen [m^3]
Fast	**10**	Fast	750	185,52
Fast	**20**	Fast	600	185,66
Fast	**30**	Fast	530	185,72
10	Fast	Fast	220	185,85
20	Fast	Fast	350	185,82
30	Fast	Fast	450	185,77
Fast	Fast	**20**	1240	184,71
Fast	Fast	**30**	970	185,22
Fast	Fast	**40**	820	185,44

Tabel C.1. Resultater for koncentrationstid og afstrømmet volumen ved variation af L, I og M.

I tabel C.2 ses det beregnede følsomhedsindeks for L, I og M.

	Længde	Hældning	Manningtal
SI_i	55	58	70

Tabel C.2. Følsomhedsindeks for de tre parametre.

Det ses heraf at længden og hældningen har ca. samme betydning for koncentrationstiden, mens Manningtallet har en lidt større påvirkning og denne vælges derfor som kalibreringsparameter, når model B skal tilpasses model A.

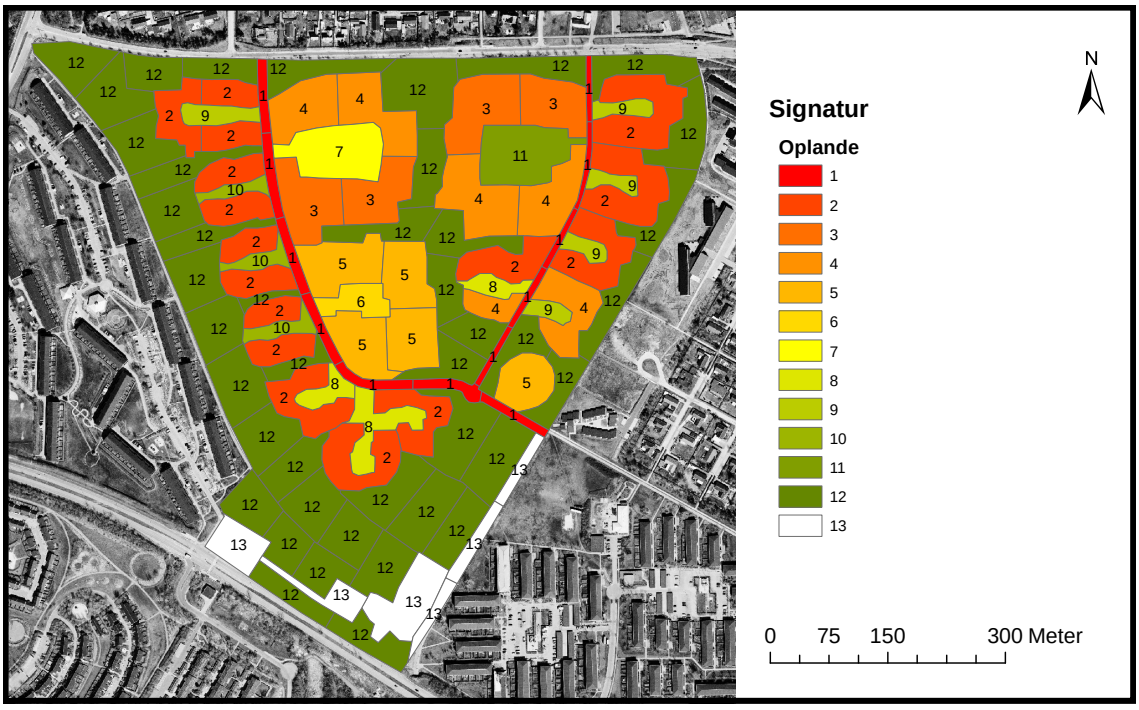
Programfilerne som er anvendt til denne test er vedlagt i bilag H.

Fordeling af oplandstyper i model B

D

Afstrømningsmodellen opererer, jf. afsnit 7.1.2, med varierende oplandstyper, som hver især har forskellige nedsivningspotentialer. Fordelingen af oplandstyper er forskellig på de enkelte oplande og dette bilag viser en oversigt over denne fordeling.

Fordelingen af oplandstyper er lavet ud fra betragtninger i EFFEKT og COWI [2011a] og anvendes i alle løsningsforslag på nær løsningsforslaget med grønne tage, hvor tagandelen på oplandene udskiftes med grønne tage. De grønne tages parametersæt er defineret i løsningsforslaget, afsnit 8.5. Fordelingen af oplandstyper er skitseret på figur D.1, hvor hvert tal repræsenterer én sammensætning af oplandstyperne græsareal, permeabel belægning, vej og tag, som er defineret i afsnit 7.1.2. Jo lavere talene er, jo mindre er nedsivningen på oplandet, hvorved bidraget til afstrømningen stiger. Den præcise betydningen af tallene kan ses i tabel D.1.



Figur D.1. Fordeling af oplandstyper i løsningsforslager 'Kildeparken 2020'. I tabel D.1 er inddelingen i de fire oplandstyper, for hver farve, beskrevet.

Nr. D.1	Græs [%]	Permeabelbelægning [%]	Vej [%]	Tag [%]
1	0	0	100	0
2	40	0	0	60
3	25	25	0	50
4	50	0	0	50
5	60	0	0	40
6	0	100	0	0
7	20	80	0	0
8	40	60	0	0
9	50	50	0	0
10	60	40	0	0
11	70	30	0	0
12	100	0	0	0
13	Bidrager til sydlige del af Kildeparken			

Tabel D.1. Procentvis fordeling af de fire oplandstyper på de, i figur D.1, viste oplande.

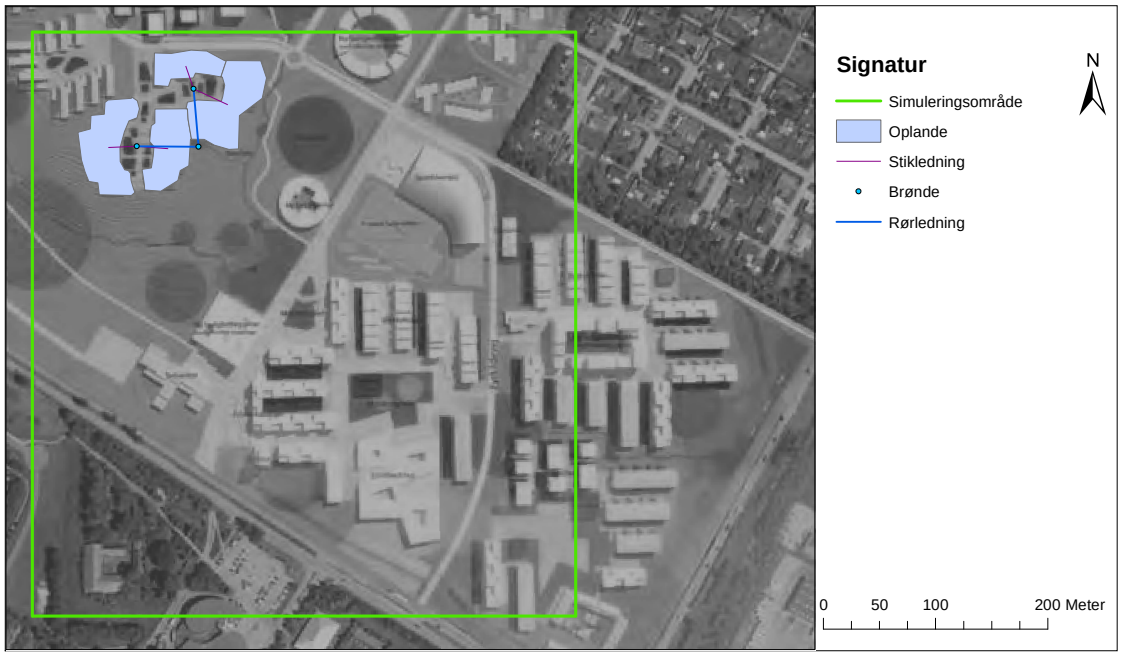
Beregningscellernes størrelses betydning i MIKE URBAN 2D Overland

E

Ved brug af overfladeafstrømningsmodulet, 2D Overland, i MIKE URBAN er det konstateret, at beregningscellernes størrelse i beregningsområdet har betydning for det modellerede resultat. Derfor undersøges det i dette bilag, hvor stor betydning cellernes størrelse har på resultatet, hvilket bruges som argumentation for valg af den endelige cellestørrelse.

E.1 Opsætning af forsøg

Cellestørrelsens betydning undersøges for et mindre område af Kildeparken, hvilket ses på figur E.1. Det bidragende vand kommer fra oplande i den nederste enklave i den nordlige del af projektområdet og afstrømningen simuleres i hele det, på figur E.1, viste simuleringsområde.



Figur E.1. Forsøgsopstilling til test af cellestørrelsens betydning i MIKE URBAN 2D Overland.

Som beskrevet i kapitel 7 foregår simuleringen af afstrømningen ved at vand fra opstuvning i brøndene afstrømmer på overfladen udfra terrænets udformning. Ved testen af beregningscellestørrelsens betydning anvendes en terrænmodel med en opløsning på 0,8 m $\times$ 0,8 m.

Ved en simulering i 2D Overland kan der ændres på en række numeriske parametre, f.eks.

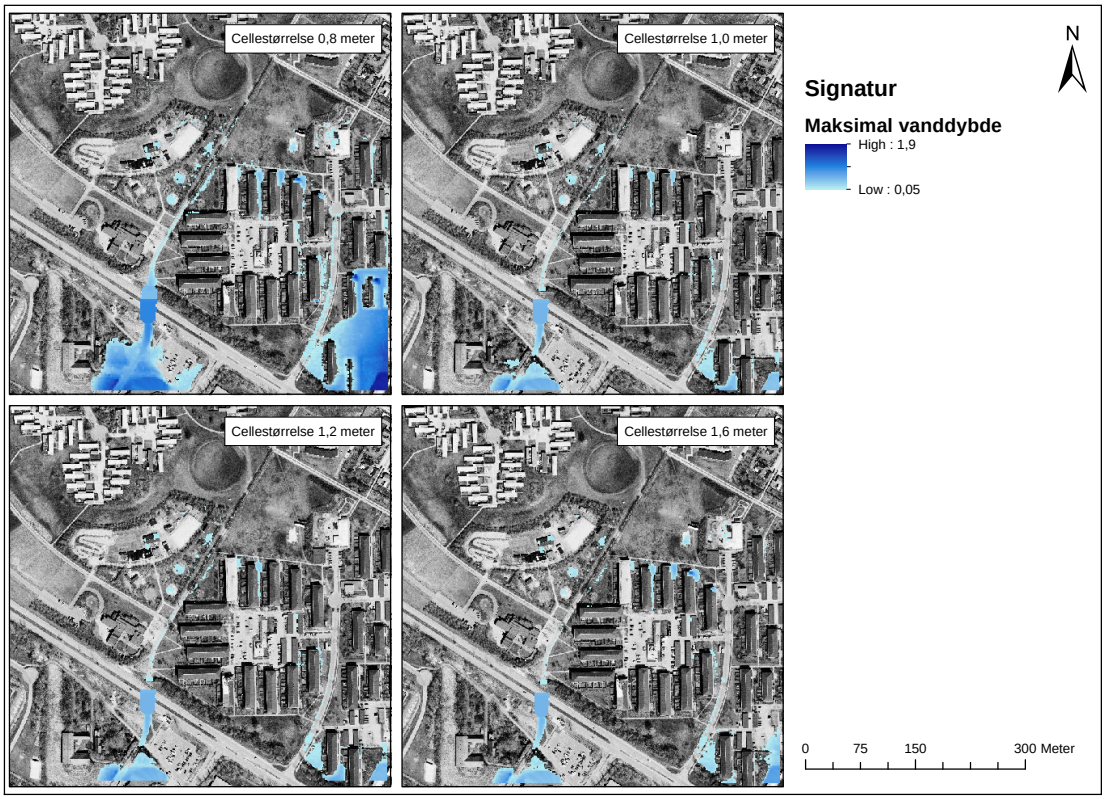
tidsskridt, størrelse af beregningsceller, hvor mange celler hver brønd koples til osv. Da det er cellestørrelsens betydning, der ønskes undersøgt udføres testen ved at fastholde alle parametre på nær cellestørrelsen, der ændres for hver simulering og resultatet fra hver simulering kan herefter sammenlignes. De anvendte cellestørrelser er listet herunder:

- 0,8 m × 0,8 m
- 1,0 m × 1,0 m
- 1,2 m × 1,2 m
- 1,6 m × 1,6 m

Som regninput til modellen anvendes en tidsserie med den kraftige regnhændelsen fra 15/8-2006, hvilket sikrer en stor afstrømning på overfladen. De anvendte filer er vedlagt i bilag H.

E.2 Resultat af test

På figur E.2 ses resultatet af disse simuleringer afbildet som den maksimale vanddybde i de enkelte celler. På figuren er celler med vanddybder mindre end 5 cm ikke illustreret, da det anses som irrelevant og desuden gav numerisk støj i resultatet med de mindste beregningsceller. I tabel E.1 ses det visuelle resultat omregnet til antal våde celler og det hertil svarende areal samt maksimal vanddybde.



Figur E.2. Visualisering af celler, hvor den maksimale vanddybde er større end 5 cm, ved brug af forskellige cellestørrelser.

Cellestørrelse	Våde celler	Vådt areal [m^2]	Maks. dybde [m]
0,8 m × 0,8 m	36299	23231	1,84
1,0 m × 1,0 m	6378	6378	1,05
1,2 m × 1,2 m	4488	6463	1,00
1,6 m × 1,6 m	2813	7201	1,35

Tabel E.1. Resultat fra figur E.2 i antal våde celler og heraf vådt areal, samt maksimal vanddybde.

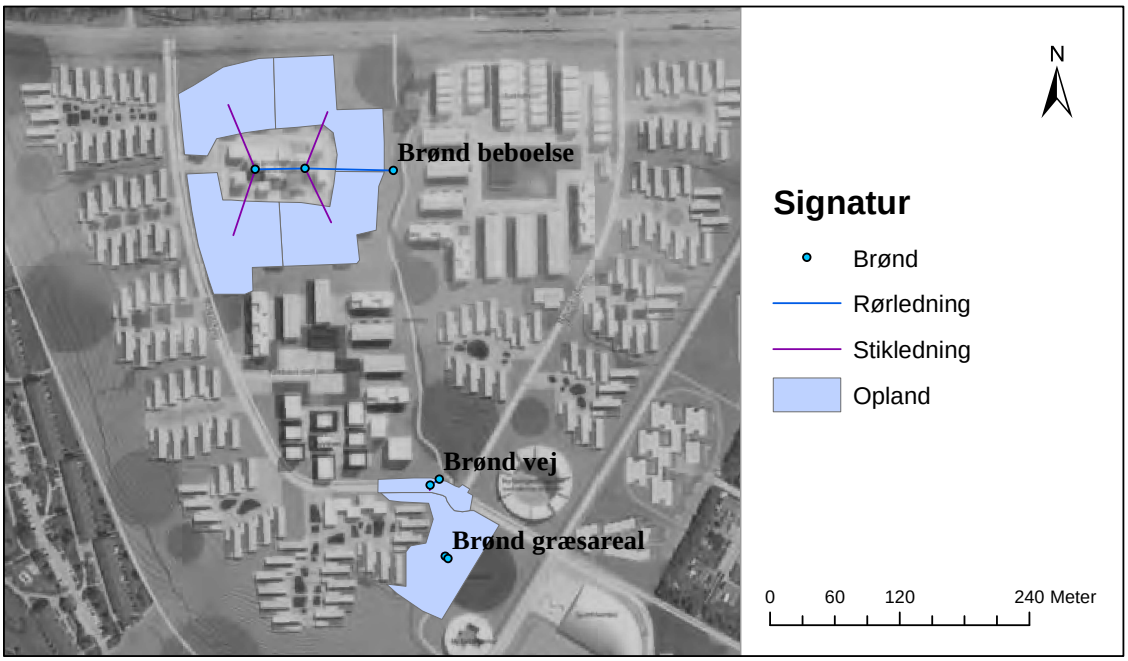
Som det fremgår af resultaterne er der stor forskel på hvor stort et areal, der bliver oversvømmet. Det kan skyldes flere ting. En af de ting der kan gøre sig gældende, er den måde modellen er sat op på. I modellen defineres en minimumsgrænse for hvornår en celle regnes som våd, denne er for alle simuleringer sat til 3 mm. Da en stor celle dækker et større areal end en lille, vil en medregnet celle i simuleringen med det grove grid derfor give et større vådt areal end i simuleringen med det fine grid. Det forklarer også den stigende udbredelse af oversvømmelsen ved størrelserne 1,0 m × 1,0 m - 1,6 m × 1,6 m. Dog skiller simuleringen med cellestørrelsen 0,8 m × 0,8 m sig ud og giver et langt større oversvømmet areal end de øvrige. Dette kan muligvis forklares med den interpolation programmet laver, når det henter sine oplysninger fra terrænmodellen. For simuleringen med cellestørrelse 0,8 m × 0,8 m laves der ingen interpolation, da opløsningen er den samme som for terrænmodellen, mens interpolationen muligvis kan føre til en fejl ved de øvrige. Så selvom 0,8 m × 0,8 m skiller sig ud kan den være lige så "rigtig" som de andre. Det resultat der minder mest om resultatet med opløsningen 0,8 m × 0,8 m er 1,6 m × 1,6, hvilket også giver god mening da cellerne her må antages at få den bedste interpolation da forholdet mellem cellerne er lige, 4 til 1, mens de andre er skæve, 1,5625 til 1 og 2,25 til 1. Når disse betragtninger er foretaget, skal det dog nævnes, at der ved simuleringen med cellestørrelsen 0,8 m × 0,8 m også var tegn på ustabilitet, da der var stor numerisk støj på resultatet i de vanddybder, der lå under 5 cm, som er fratrukket i resultatet. For at opnå stabilitet med den høje opløsning skal tidsskridtet på samme sættes ned for at modellen konvergerer korrekt, hvilket vil resultere i længere beregningstid.

Efter denne diskussion vurderes det, at det er mest hensigtsmæssigt at bruge en cellestørrelse på 1,6 m × 1,6 m, da denne sikrer stabilitet uden beregningstiden bliver for lang. Samtidig antages den, jf. ovenstående, at give en mere nøjagtig interpolation mellem terrænmodel og overfladeafstrømningsmodel, som også bidrager til et mere reelt resultat. Den lavere opløsning resulterer derved også i en mindre detaljeringsgrad på ændringer i terrænmodellen, men beregningstid og stabilitet prioriteres fremfor dette.

Sammenligning mellem udløb til overflademodel og nedbør

F

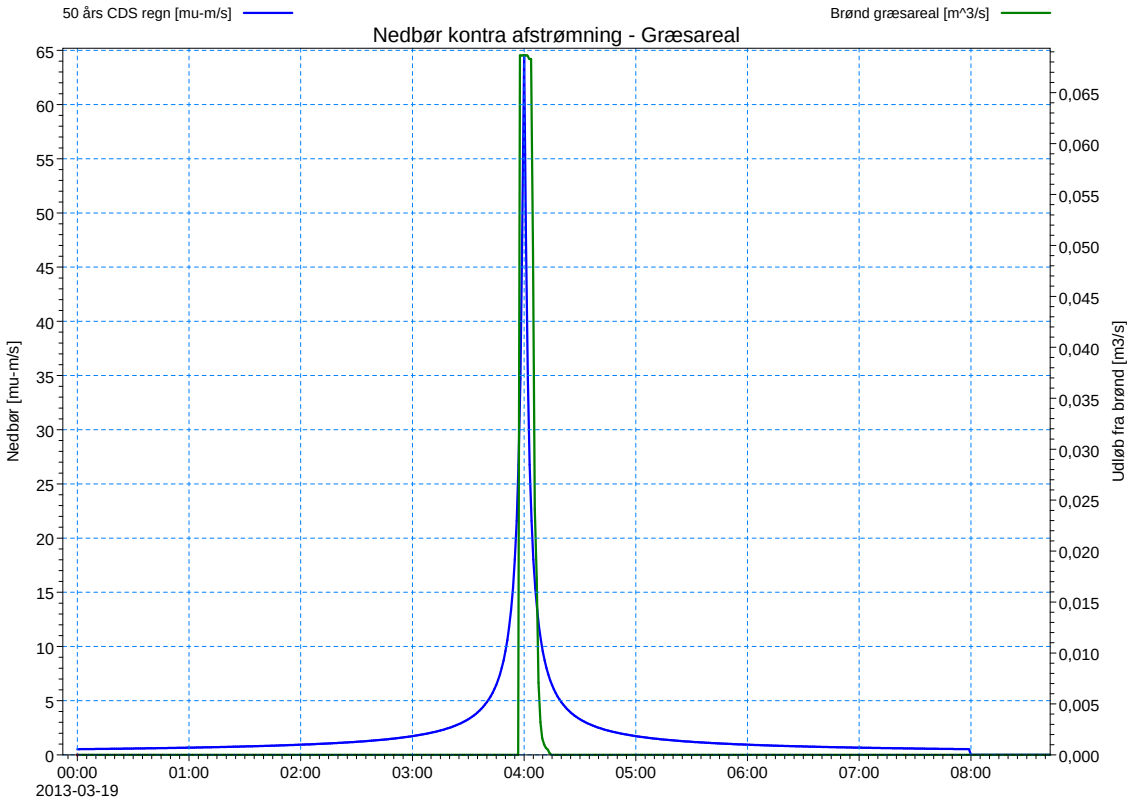
Formålet med dette bilag er at vurdere outputtet fra rørmodellen sammenlignet med den anvendte regnserie. Det vurderes om det stemmer overens med det forventede i betragtning af den opsætning, der er lavet for de tilhørende oplande i afstrømningsmodellen beskrevet i kapitel 7.1.2. Der laves en vurdering af tre forskellige områder: Et græsareal med en permeabel overflade, en vej med impermeabel overflade og et blandet beboelsesområde med flere forskellige overfladetyper. Udløbsbrøndene hvor afstrømningen vurderes og de tilhørende oplande ses på figur F.1.



Figur F.1. Placering af de brønde, hvor afstrømningen vurderes og de tilhørende oplande.

F.1 Græsareal

Oplandet i denne kategori består i opsætningen af 100 % græs og overfladen er derfor permeabel. Derfor bør modellen ikke regne med en afstrømning fra dette opland, med mindre intensiteten af regnen bliver så kraftig, at den overstiger græsarealets infiltrationskapacitet. På figur F.2 ses udløbet til overflademodellen fra denne brønd sammenholdt med regnserien.

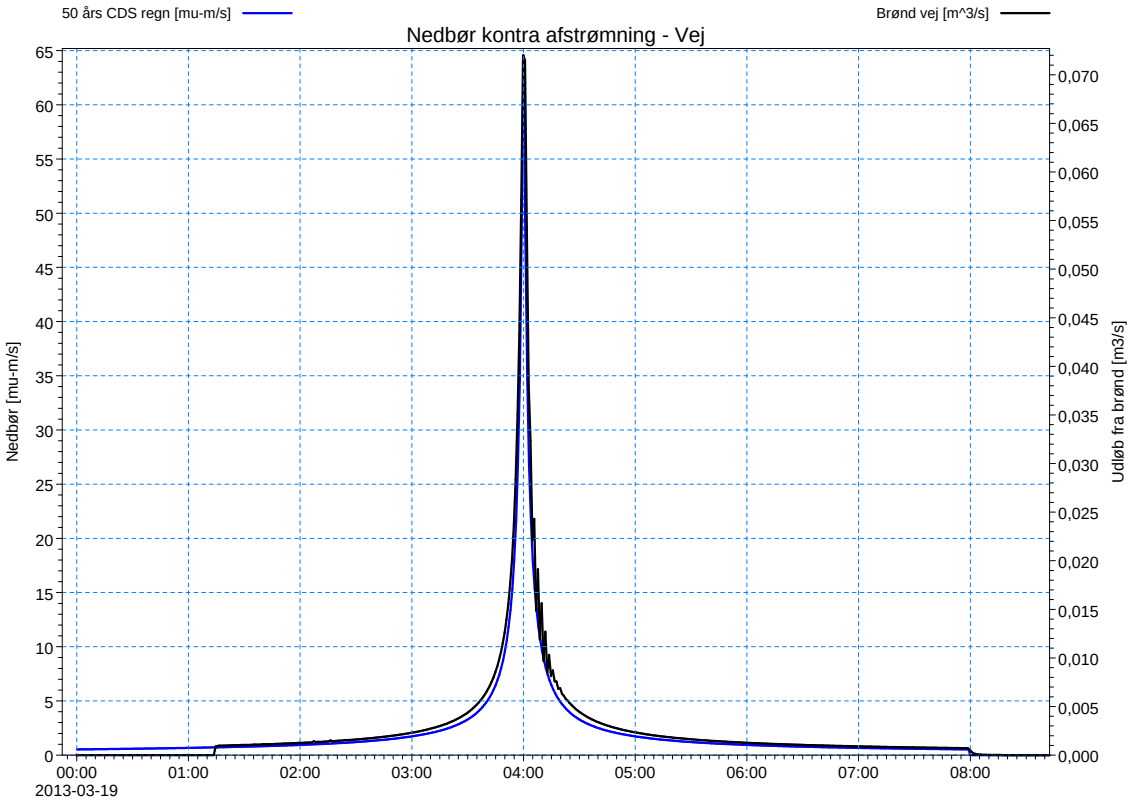


Figur F.2. Afstrømning fra græsareal med permeabel overflade sammenlignet med regnhændelsen.

Som forventet er der ingen afstrømning fra græsarealet før intensiteten på nedbøren når op omkring 20 μm/s, som svarer til den maksimale nedsivningskapacitet for græsarealerne i modellen. I takt med at intensiteten falder, er der igen tilstrækkelig nedsivningskapacitet og bidraget fra græsarelaerne bortfalder.

F.2 Vej

Vejbrønden får alene et bidrag fra vejoplandet som er 100 % impermeabelt og hele regnserien vil derfor bidrage til afstrømning fra denne brønd. Figur F.3 viser, på samme måde som tidligere, udløbet til overfladem odellen sammenholdt med regnserien.

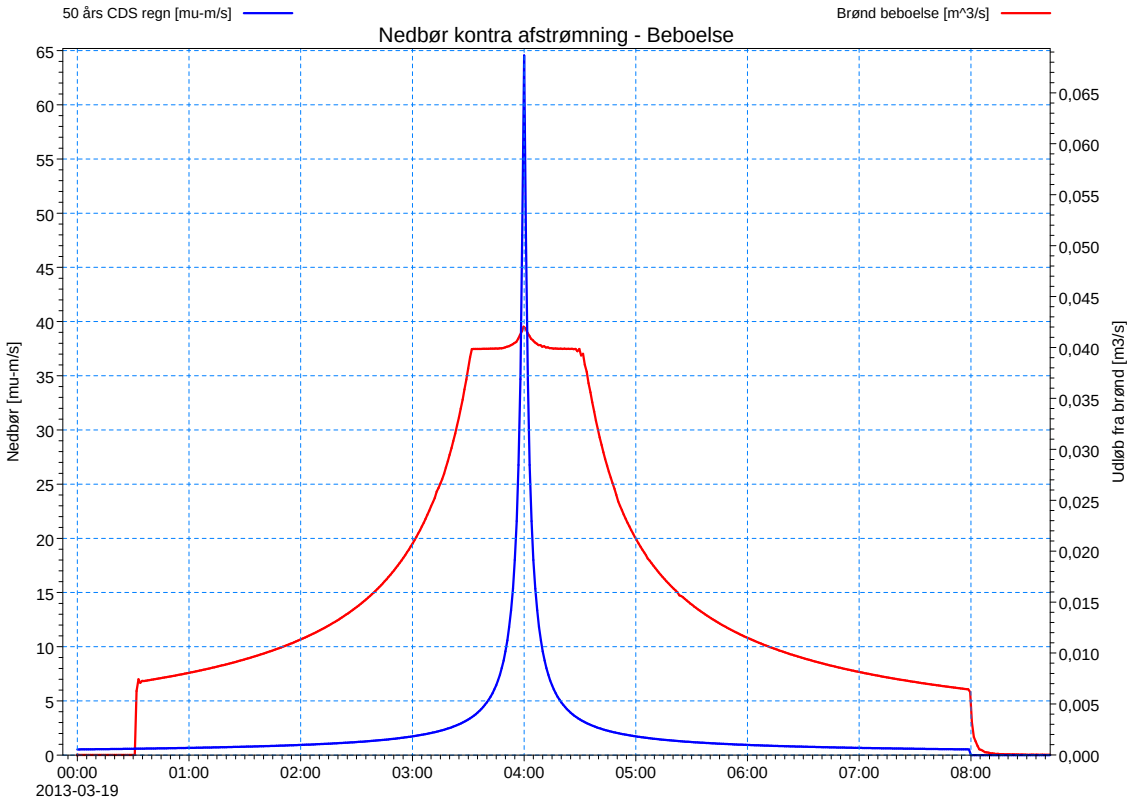


Figur F.3. Afstrømning fra vej med impermeabel overflade sammenlignet med regnhændelsen.

Resultatet afspejler det forventede, idet udløbet til overfladem odellen følger forløbet af regnhændelsen. Der er forholdvis stor forsinkelse mellem start på regnhændelsen og start på udløb. Denne forsinkelse skyldes at den beskedne regnintensitet kombineret med det forholdsvis lille opland, resulterer i en langsom fyldning af rørsystemet. Hertil kommer det definerede initialtab på overfladen.

F.3 Blandet beboelsesområde

Brønden med bidrag fra beboelsesområdet får et bidrag fra både permeable og impermeable områder og vil derfor få en sammensat afløbshydrograf. Sammenligningen mellem afstrømning og nedbør ses på figur F.4.

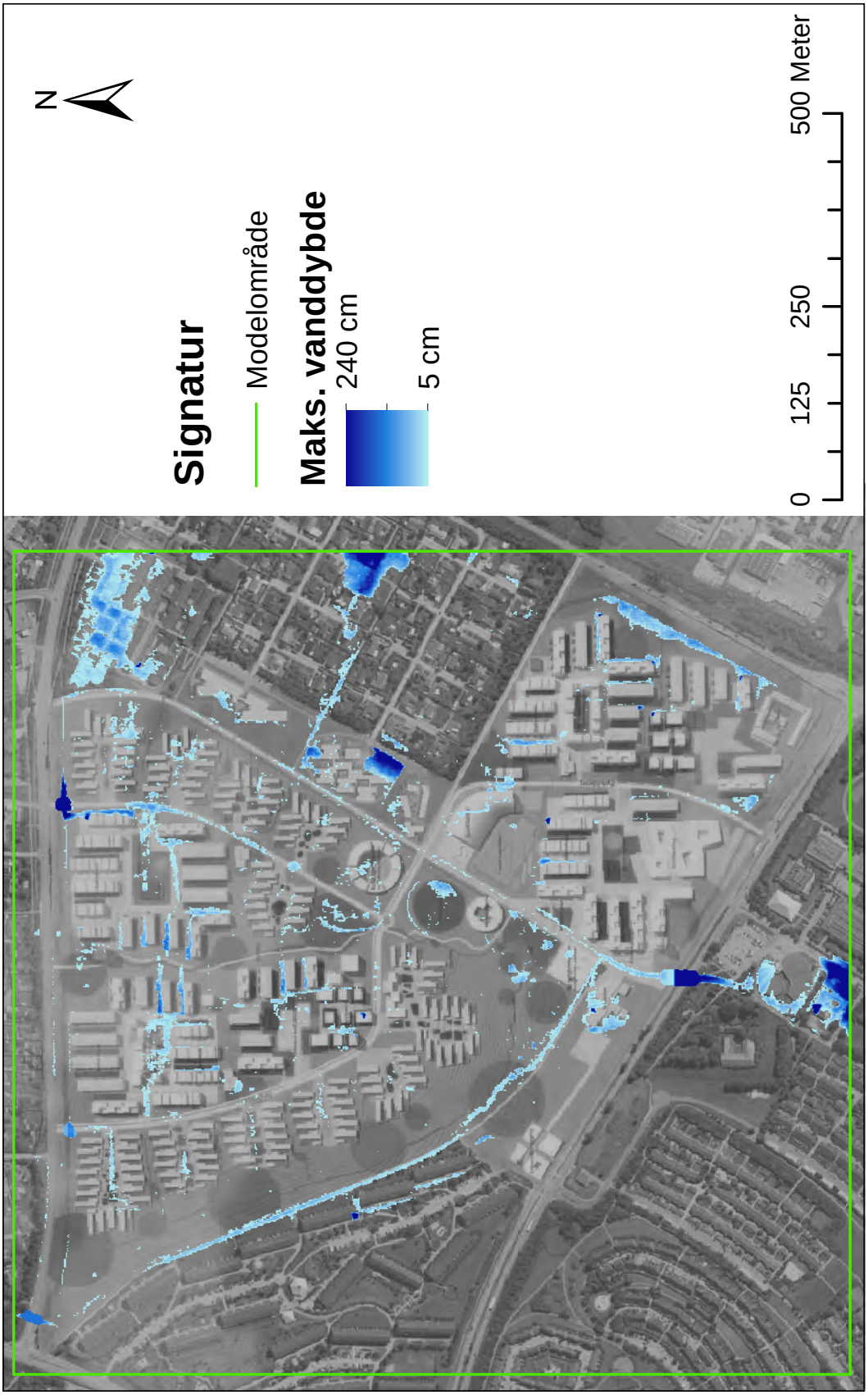


Figur F.4. Afstrømning fra beboelsesområde med flere overfladetyper sammenlignet med regnhændelsen.

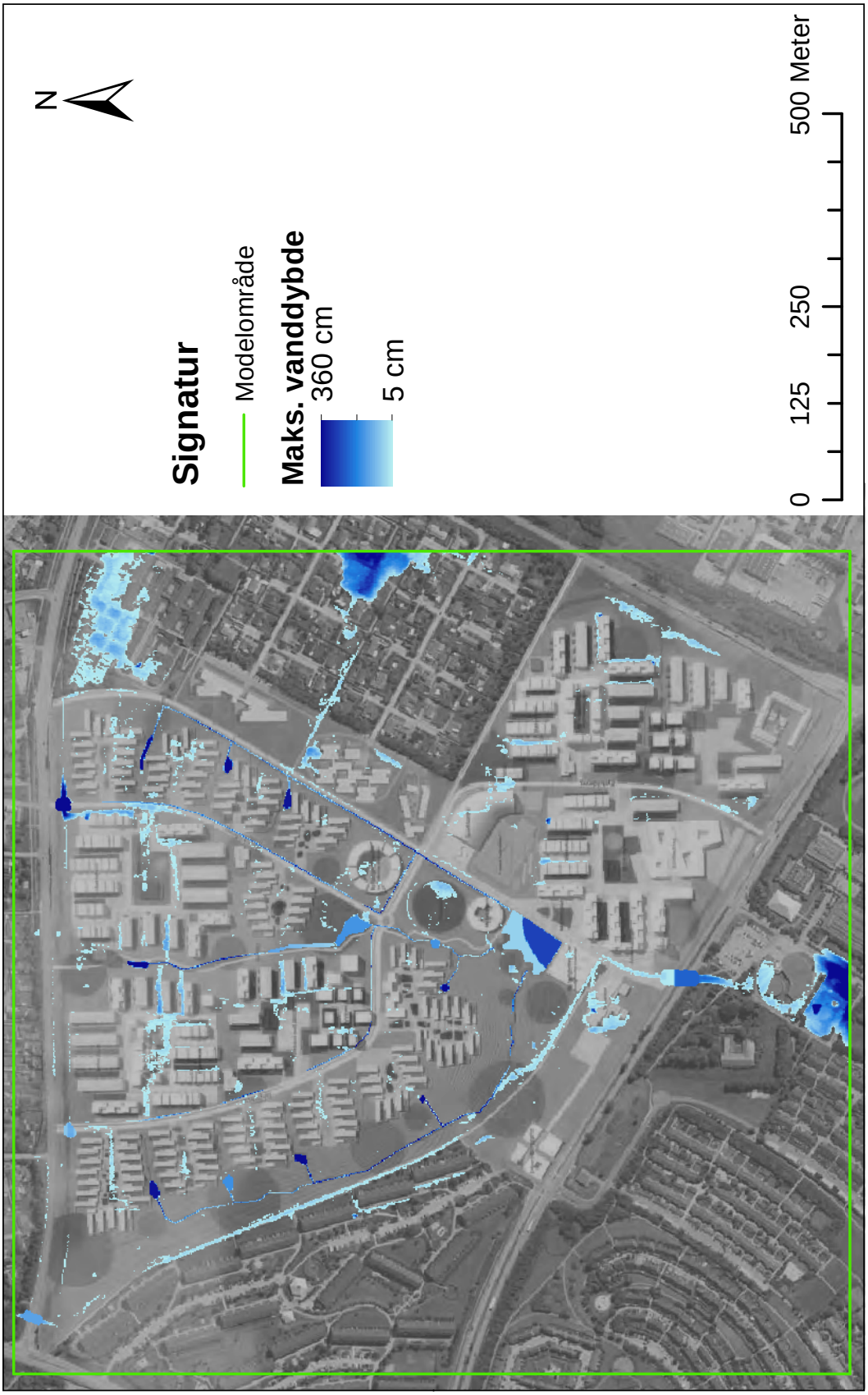
Af sammenligningen ses det at den gennemsnitlige vandføring er højere end ved de viste græs- og vejarealer og forsinkelsen mellem starten af regnen og starten på udløbet er kortere. Den større vandføring skyldes, at det er et større område der bidrager. At forsinkelsen er kortere hænger formentlig sammen med den større vandmængde, der således hurtigere har udfyldt kapaciteten i rørene og derved resulterer i udløb til overflademodellen. Derudover ses det hvordan flere delarealer, som funktion af tiden, bidrager til afstrømningen. Bidraget fra den impermeable del af oplandene ses som den konstant stigende del af afløbshydrografen og stiger dermed i takt med at regnintensiteten også gør. Endelig kommer der et ekstra peak, idet også de permeable arealer bidrager ved de højeste regnintensiteter.

Figurer fra overfladerafstrømningsmodellen G

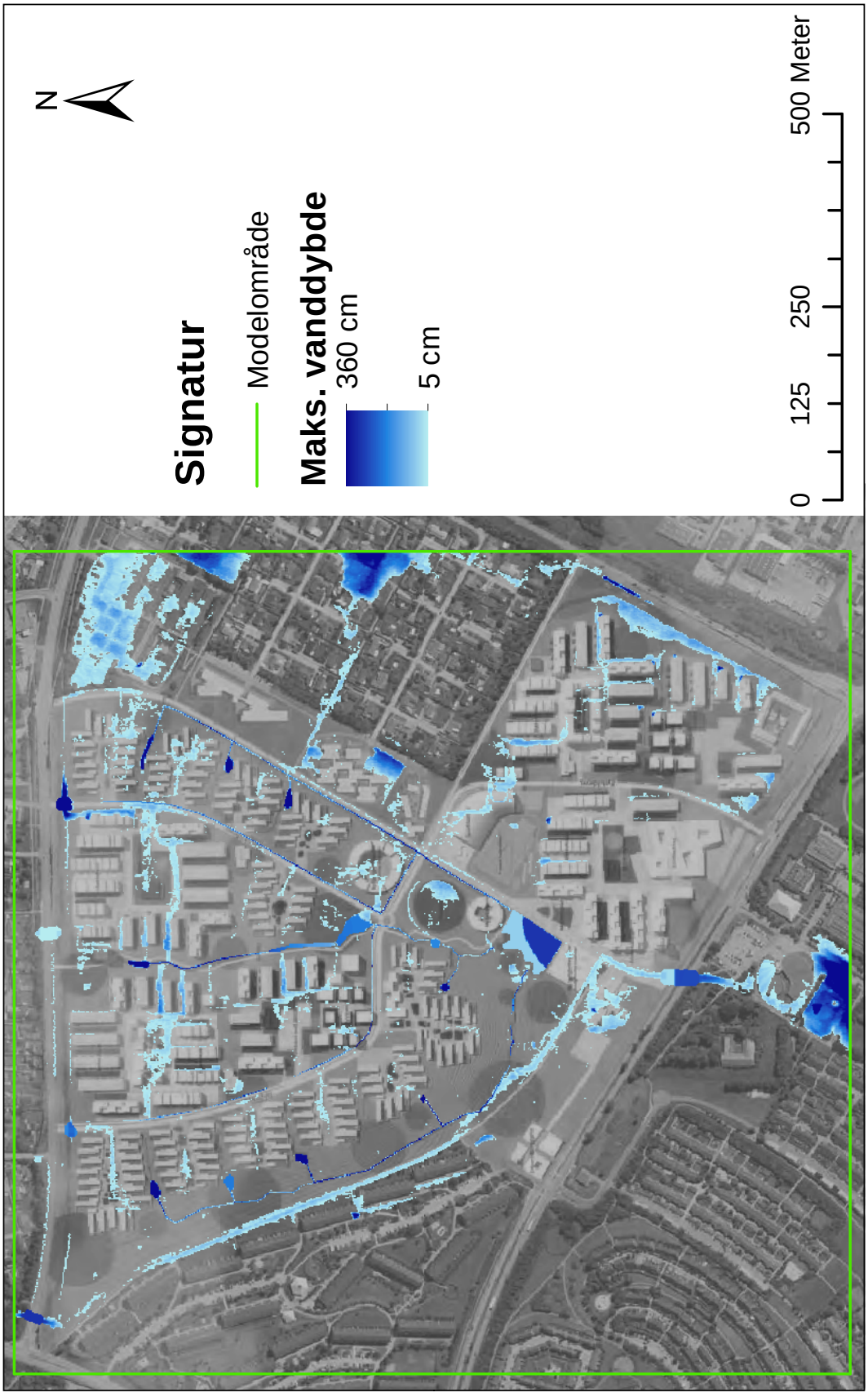
For bedre at kunne se detaljerne på figurerne med resultaterne fra overfladeafstrømningsmodellen, er disse forstørret og vedlagt i dette bilag.



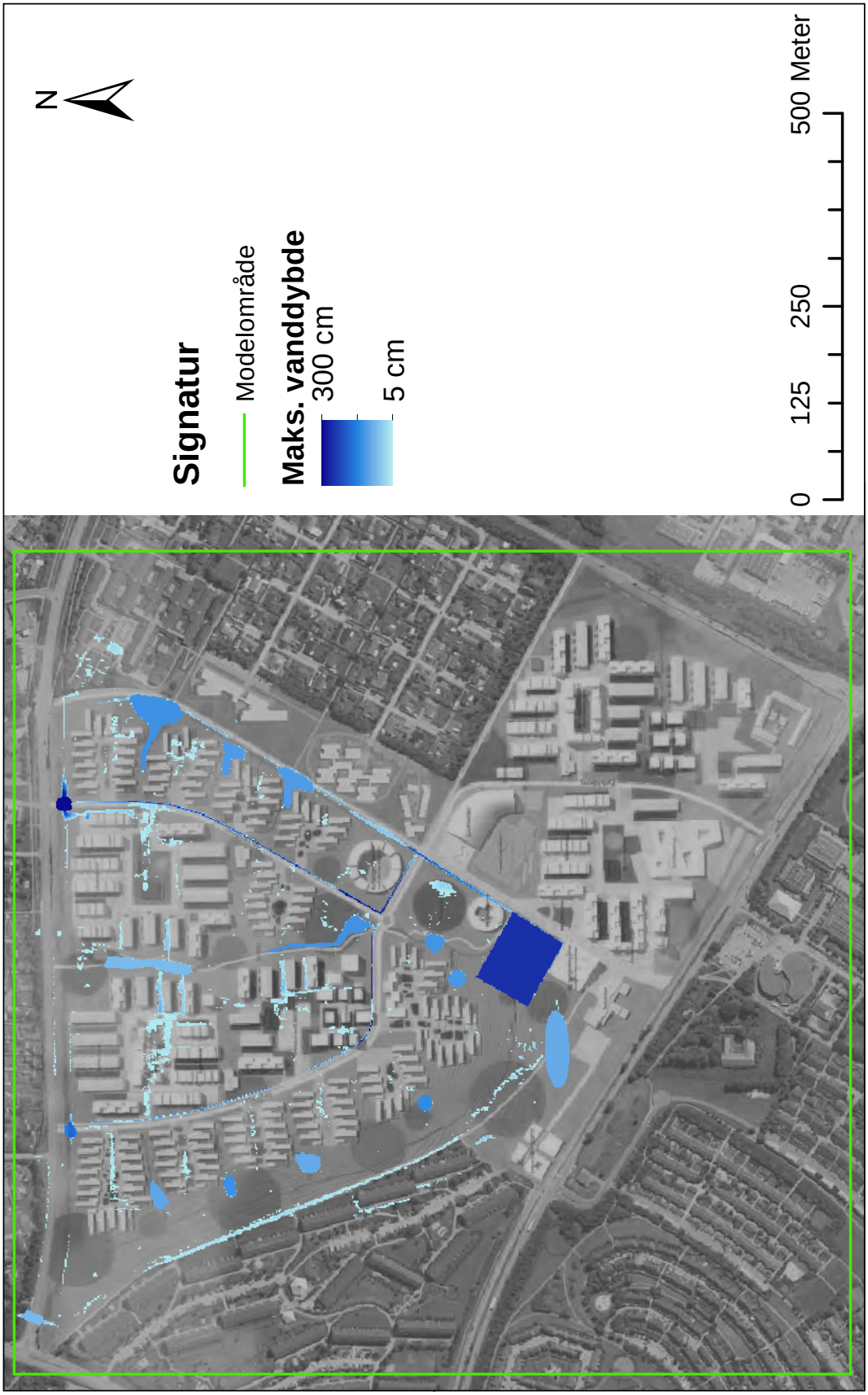
Figur G.1. Nulløsning simuleret med 10 års regnhændelse.



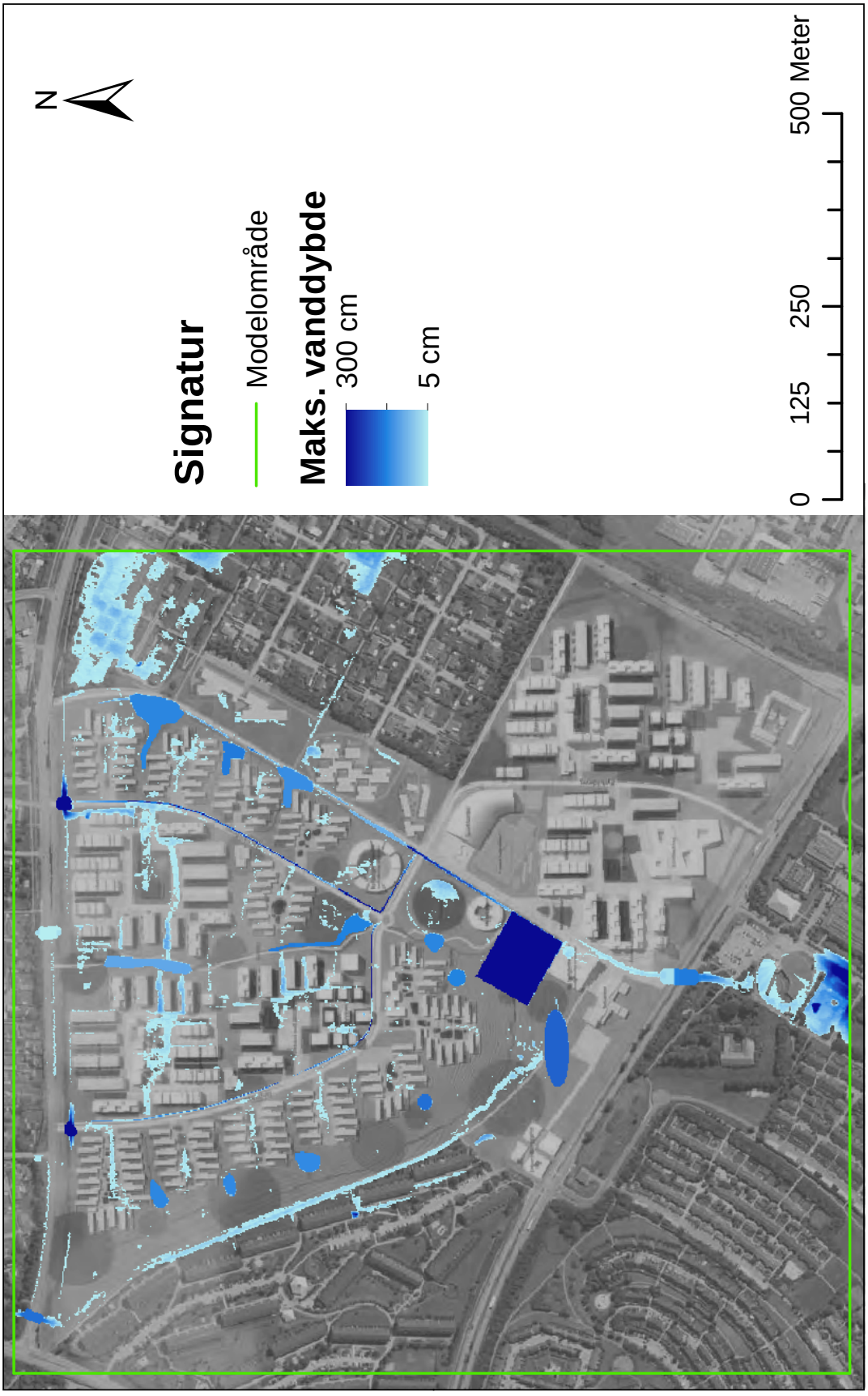
Figur G.2. 'Kildeparken 2020' simuleret med CDS regn med 10 års gentagelsesperiode.



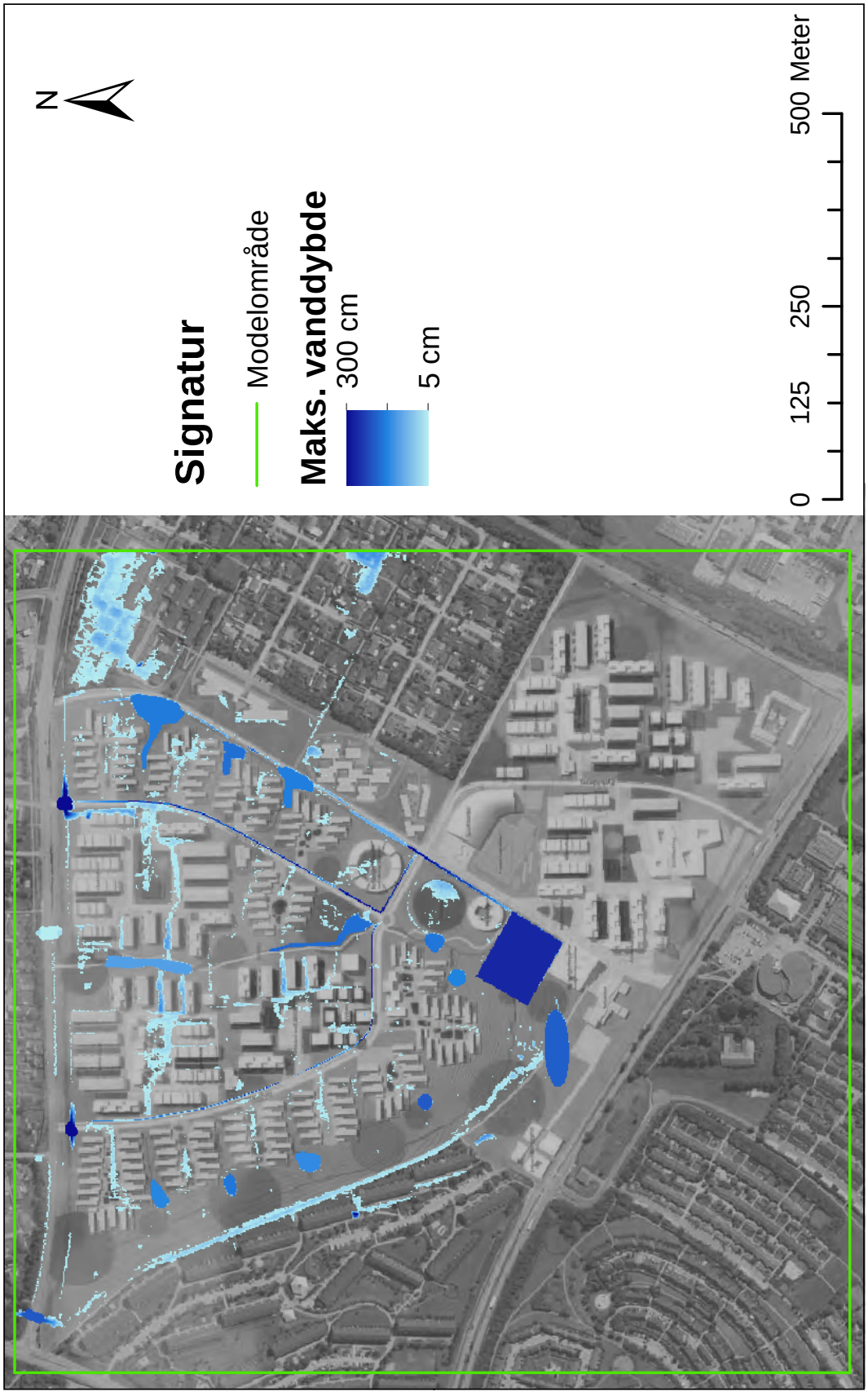
Figur G.3. 'Kildeparken 2020' simuleret med CDS regn med 50 års gentagelsesperiode.



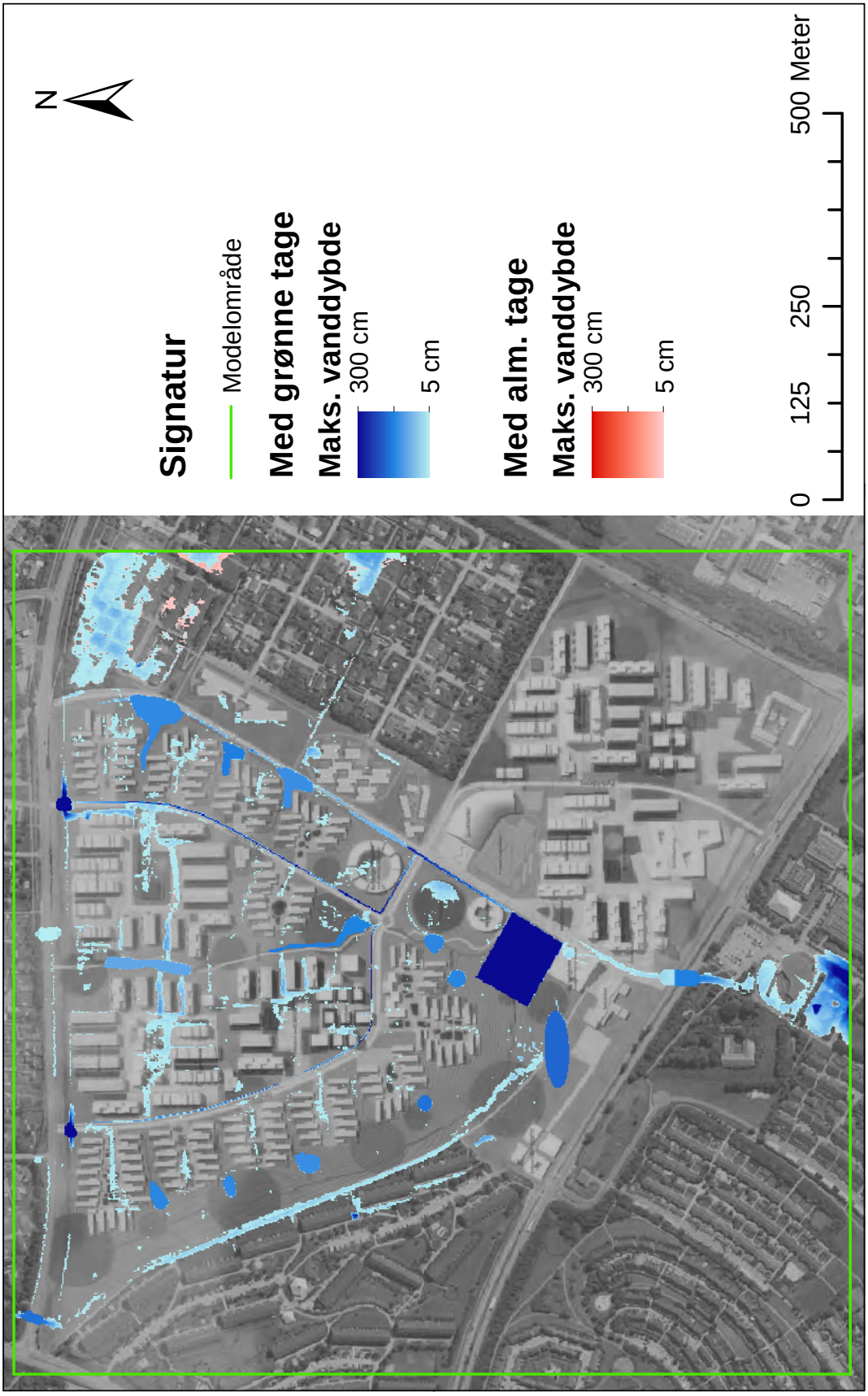
Figur G.4. Resultat for optimering af 'Kildeparken 2020', simuleret med en 10 års regnhændelse.



Figur G.5. Resultat for optimering af 'Kildeparken 2020', simuleret med en 50 års regnhændelse.



Figur G.6. Resultat med løsningen 'Optimering af Kildeparken 2020 med nedsivning' under 50 års CDS regn.



Figur G.7. Overflade afstrømning ved optimeret løsning med og uden grønne tage.

Elektronisk bilag H

De elektroniske bilag er vedlagt på cden bagerst i rapporten - tabel H viser cdens indhold.

Fil/mappenavn		Kort beskrivelse af indhold
Nedsivningstest i Kildeparken	-	Regneark med beregning af nedsivningsevne
Pot. fordampning med Makkinks formel	-	Regneark med bergning af potentiel fordampning
Magasineringsvol. pr. befæstetareal	-	Regneark med beregning af magasineringsvolumen
Kapacitetmodel_Kildeparken_2020	-	Modelopbygning til løsningen 'Kildeparken 2020'
Kapacitetmodel_gronne_tage	-	Modelopbygning til løsning med grønne tage
regn	-	regnserie fra regnmåleren i Gistrup
Henter_regndata_gistrup	-	Henter regnserien fra textfilen for at spare tid
Test af model B (mappe)	-	MU model brugt i bilag C med tilhørende DEM-raster, anvendt regnserie og excel resultatskema
Test af grid (mappe)	-	MU model brugt i bilag E med tilhørende DEM-raster, anvendt regnserie og excel resultatskema
Overfladeafstrømningsmodel (mappe)	-	Indeholder MU modeller anvendt ved løsningsforslag med tilhørende DEM-raster og anvendte regnserier