Model For Klimasikring Af Urbane Områder

Afgangs-projekt Vand & Miljø Aalborg Universitet Forår 2012

Udarbejdet af Jesper Brix Kjelgaard & Christine H. V. Lichon

Aalborg Universitet
De Ingeniør-, Natur- og
Sundhedsvidenskabelige Fakulteter
School of Engineering and Science
Sohngårdsholmsvej 57
9000 Aalborg
Tlf.: +45 9940 8530
http://www.bsn.aau.dk

Titel: Model for klimasikring af urbane områder
Projektperiode: Forår 2012, 10. semester
Projektgruppe: B205A
Forfattere:

Jesper Brix Kjelgaard

Christine Helene Vagner Lichon

Vejledere:
Søren Liedtke Thorndahl
Thomas Ruby Bentzen

Sideantal: 78
Bilag: Bilags CD er vedlagt
Afsluttet: 6. juni 2012

Synopsis:

Projektet "Model for klimasikring af urbane områder" tager udgangspunkt i et projektområde i Aalborg Øst, hvor det undersøges, hvordan området kan klimasikres ved hjælp af overfladestyring af regnvand. Der laves en hydrologisk analyse, som viser, at der i projektlokaliteten er to topografiske oplande. Der laves tre screeningsanalyser; kildeanalyse, værdianalyse og potentialeanalyse, hvis formål er at fremme løsningsprocessen.
Der udarbejdes en afstrømningsmodel, som er en hydrodynamisk rørmodel kombineret med en overflademodel. Ved at anvende en lokal regnhændelse fra 2006 som randbetingelse, kan afstrømningsmodellen kalibres ved sammenligning med oversvømmelsen som opstod på baggrund af samme regnhændelse i området. Ved brug af en terrænændring i overflademodellen, laves der et løsningsforslag. Det viser sig, at det er muligt at overfladestyre regnvandet. Det har vist sig kun at være muligt i mindre områder for at få en præcis beregning, samt for at undgå en tung beregningsperiode. Der laves en simulering over hele projektområdet. Oversvømmelser herfra sammenlignes med screeningerne, og det viser sig, at der er et grundlag for terrænændringer.
Det konkluderes, at et urbant område kan klimasikres ved overfladestyring. Det har vist sig, at det anvendte projektområdet har været for stort til at komme frem til et løsningsforslag for hele området inden for denne projektperiode.

Forord

Dette afgangsprojekt er udarbejdet af Christine H. V. Lichon og Jesper B. Kjelgaard på Byggeri og Anlægssektorens, Vand og Miljø uddannelse, ved De Ingeniør-, Natur-, og Sundhedsvidenskabelige fakulteter på Aalborg Universitet. Projektarbejdet er udført i perioden 1. februar 2012 til 6. juni 2012. Formålet med projektet er at:

Undersøge hvordan et urbant område kan klimasikres ved brug af terrænændringer

Temaet "Klimasikring af urbane områder" er udarbejdet i samarbejde med Henrik Brødsgaard Petersen fra COWI i Aalborg. Henrik takkes for hans funktion som bivejleder på projektet samt udlevering af materiale i form af oversvømmelseskort. I rapporten er der anvendt en rørmodel, som er udleveret af Envidan i Aalborg. Her takkes Aske Malvang Kristensen og Niels Aagaard Jensen for introduktion til modellen. Anders Andersen takkes for hjælp til design af forside.

I rapporten henvises til en bilags CD. Bilags CD'en indeholder en udarbejdet model samt beregninger til understøtning. I rapporten henvises også til et appendiks, som er placeret bagerst i rapporten. Der er vedlagt nummererede kort til understøtning af flere af figurerne i rapporten.

Abstract

The project "Model of climate preservation of urban areas"is based on a project area in Aalborg Øst, which in 2006 was exposed to a major flooding after extreme rain. It is investigated how surface management can be used to make a climate preservation of the area. A hydrological analysis is made from the surface model. In this analysis the flow paths in the terrain and a definition of the topographic catchments is fund. There are two topographic catchments areas in the project area. There are three screening analyses in the defined project area. These illustrate sources of flooding, the value of the area and the potential of terrain changes.

A runoff model is produced. This model is a network model combined with a surface model. A local rain event from the year 2006 is used as boundary. The runoff model is calibrated from the hydraulic reduction factor. A photograph from the rain event in 2006 is compared with the result from the runoff model.

A solution where the terrain is lowered on two roads is produced. The water is hereby transported to a soccer field and a bush area nearby. The result shows that a flooding can be controlled by surface management in a retail area. When a retail area is simulated the result of the flooding is more accurate also a long simulation period is avoided. A simulation of the whole project area is made. The result of this flooding is compared whit the screening analyses. It is shown that there is a basis for making terrain changes in the project area.

It is concluded that it is possible to climate preserve an urban area, by surface management and that a similar project can be done in other project areas. This project area is so large, that it has not been possible to make solutions for the entire project area in the timespan of this project.

Indhold

1 Indledning **1**

I Forundersøgelse **5**

2 Klima i Danmark **7**
2.1 Klimaforandringer 7
2.2 Implementering af klimatilpasning i den danske lovgivning 9
2.3 Aalborg Kommunes hensynstagen til klimaforandringer 10

3 Projektlokalitet **13**

4 Problemformulering **15**

II Analyse **17**

5 Analyse af projektområdet **19**
5.1 Metode til GIS analyse af projektlokaliteten 19
5.2 Lokalitetsafgrænsning 25
5.3 Struktur i projektområdet 27

6 Screeningsanalyse **35**
6.1 Metode til screening 35
6.2 Værdifulde områder 38
6.3 Kilder 39
6.4 Potentialeområder 41

III Afstrømningsmodel **45**

7 Afstrømningsmodel **47**
7.1 Metode til modelopsætning 47
7.2 Ekstremhændelsen den 15. august 2006 49
7.3 Beskrivelse af afstrømningsmodel 51
7.4 Kalibrering af afstrømningsmodel 56
7.5 Scenarie 61

IV Afslutning **67**

8 Sammenligning **69**

9 Diskussion **71**

10 Konklusion **75**

Litteraturliste **78**

V Appendiks **I**

A Klima scenarier **III**

B Tiltag for terrænændringer **V**

Bilagsfortegnelse

Alle bilag findes på den vedlagte bilags CD.

Model nr. 1: Afløbsmodel

Excelark nr. 1: Areal anvendelse
Excelark nr. 2: Befæstede areal
Excelark nr. 3: Kildeanalyse
Excelark nr. 4: Potentialeanalyse
Excelark nr. 5: Værdianalyse
Excelark nr. 6: Højdeforskel mellem DSM og afløbsmodel

Strømningskort

Kort nr. 1: Kildekort
Kort nr. 2: Værdikort
Kort nr. 3: Potentialekort
Kort nr. 4: Problemkort

1 Indledning

Der har igennem historien altid været en forandring i klimaet. Gennem de sidste 100 år er temperaturen steget med $0,75\,^{\circ}\mathrm{C}$, og regristrede temperaturer viser, at de 12 varmeste år er forekommet i de seneste 14 år. Årene 2010, 2005 og 1998 er registeret som de varmeste år i denne periode. Der er tegn på, at de seneste klimaforandringer skyldes menneskelig adfærd. Siden midten af det 19. århundrede er mængden af drivhusgasser i atmosfæren steget. Det kan ifølge FN's klimapanel IPCC[1] skyldes den teknologiske udvikling og menneskets måde at leve på. Denne stigning af drivhusgasser i atmosfæren er blandt andet en konsekvens af afbrænding af fossile brandstoffer, større lossepladser, et øget husdyrhold samt kvælstofgødningen i landbruget. En konsekvens af den stigende temperatur er flere og kraftigere regnhændelser. År 2011 var med et landsgennemsnit på 321 millimeter den anden vådeste sommer i Danmark, siden DMI begyndte at registrere nedbør i 1874. Mængden af nedbør varierede over hele landet, hvor Fyn med 372 millimeter regn, fik mest regn denne sommer. Den 2. juli 2011 blev København ramt af et voldsomt skybrud, hvor der faldt 150 millimeter på to timer, hvilket er to gange mere end den normale nedbør i en måned for dette område. Skybruddet i København medførte store skader på bygninger og veje. På figur 1.1 ses en oversvømmelse forårsaget af skybruddet. Der findes eksempler andre steder i verden hvor skybrud har været så voldsomme og ødelæggende, at det har kostet menneskeliv. [DMI, 2011b] [DMI, 2011c]

Figur 1.1: Oversvømmelse efter skybrud i København den 2. juli 2011, hvor der faldt 150 mm på 2 timer. [Bax Lindhardt, 2011]

[1] The Intergovernmental Panel on Climate Change

En anden konsekvens af klimaforandringerne er højere vandstand i have og fjorde. Dette medfører en højere vandstand i vandløb, der ofte anvendes som recipient, med udløb i havet eller fjorde. I de perioder hvor der kan forventes at komme mere nedbør, kan det ofte være et problem at få de større vandmasser væk så oversvømmelser undgås. Det er specielt et problem under skybrud, som er defineret som en regnhændelse, der er større end 15 millimeter regn på 30 minutter [DMI, 2012], eller under koblet regn, som er defineret som en regn, der opstår mens vandløb og ledningsnettet stadig er fyldt med regn fra en tidligere regnbyge. Det er i disse situationer, at en oversvømmelse i urbane områder kan forventes. Specielt i områder hvor der er fælleskloakeret, er oversvømmelser et problem, da opspædet spildevand kommer på terræn, hvilket kan skabe sundhedsmæssige problemer. I skrift 27, som definerer funktionspraksis i danske afløbssystemer, er det et minimumskrav, at der kun sker opstuvning i fællessystemer hvert 10. år, mens opstuvning for separatsystemer er acceptabelt hvert 5. år [Spildevandskomiteen, 2005]. Normal praksis er at separatkloakere store områder, således spilde- og regnvand aldrig kommer i samme ledningsnet. Dette er en løsning, som mange kommuner har valgt at benytte. Andre anvendte metoder er at anlægge større ledninger og/eller etablere bassiner, som kan tilbageholde vandet, til der igen er plads i ledningsnettet. Dette er dyre løsninger, og vælges det at etablere regnvandsbassiner på terræn kræver det plads, som bygherren ofte ser anvendt anderledes. [Paludan et al., 2011]

Mange steder løses problemet, i forhold til den stigende nedbør, ved at etablere LAR-løsninger[2]. I fremtiden vil alle kommuner have LAR-løsninger i kommuneplanen. Allerede nu anbefales det i nogle kommuner at borgerne nedsiver regnvand på egen grund ved brug af en faskine, og når nye områder byggemodnes, planlægges det oftere og oftere at anlægge våde regnvandsbassiner som en del af det rekreative miljø, ligesom grønne tage om få år vil være en naturlig del af bymiljøet. Der skal tages hensyn til, at LAR-løsninger ikke er anvendelige under skybrud, men bør kombineres med andre tiltag. Ved ejerskifte kan der desuden opstå problemer, hvis den nye ejer ikke ønsker at vedligeholde anlæggene [DANVA, 2012]. [Paludan et al., 2011]

Ved ekstremregn i urbane områder er en løsning at anvende befæstede overflader til tilbageholdelse af regnvandet. Ved at ændre terrænet for transportvejene, for eksempel ved at ændre på højden af kantstene eller tilbageholde vandet på en parkeringsplads ved at anlægge vandbremser, forlænges den tid det tager regnvandet at komme til kloaksystemet og opstuvning kan undgås. En anden mulighed er at bruge topografien af vejnettet, til at lede regnvandet til andre områder hvor det kan tilbageholdes inden det nedsives eller ledes til kloakken. Når metoder som disse anvendes, bør der laves en risikovurdering, hvor der tages højde for at områder af høj samfundsmæssig værdi ikke oversvømmes samt at forurenede områder undgås. [Paludan et al., 2011]

I dette projekt udarbejdes der en metode, for hvordan en ekstremregn eller et skybrud kan håndteres i et urbant område ved at anvende terrænet samt befæstede områder. I projektet er der udvalgt et lokalområde i Aalborg Øst beliggende i Danmark, se figur 1.2. I dette område kan der under ekstremregn opstå problemer med oversvømmelse, hvorfor løsninger og erfaringer fra dette område bruges til at udarbejde en metode for håndtering af ekstremregn i urbane områder ved hjælp af overfladestyring.

[2]Lokal Afledning af Regn

Figur 1.2: I dette projekt anvendes et projektområde i Aalborg Kommune, som eksempel på metoden for håndtering af ekstremregn.

DEL I

FORUNDERSØGELSE

2 Klima i Danmark

Klimaet forandrer sig i hele verden. Dette har også betydning for klimaet i Danmark, hvilke kan ses i de seneste år, hvor der er opstået skadelige ekstremregn. Der skal for hele Danmark vedtages beslutninger for, hvilke forholdsregler der skal tages for disse klimaforandringer. Dette betyder også, at der i visse tilfælde må ændres i lovgivningen for at kunne håndtere regnvandet på en anderledes måde end tidligere. For at kunne beskytte områder med samfundsmæssig værdi imod ekstremregn, må der tages beslutninger for, hvad der er den bedste løsning i hver enkelte kommune.

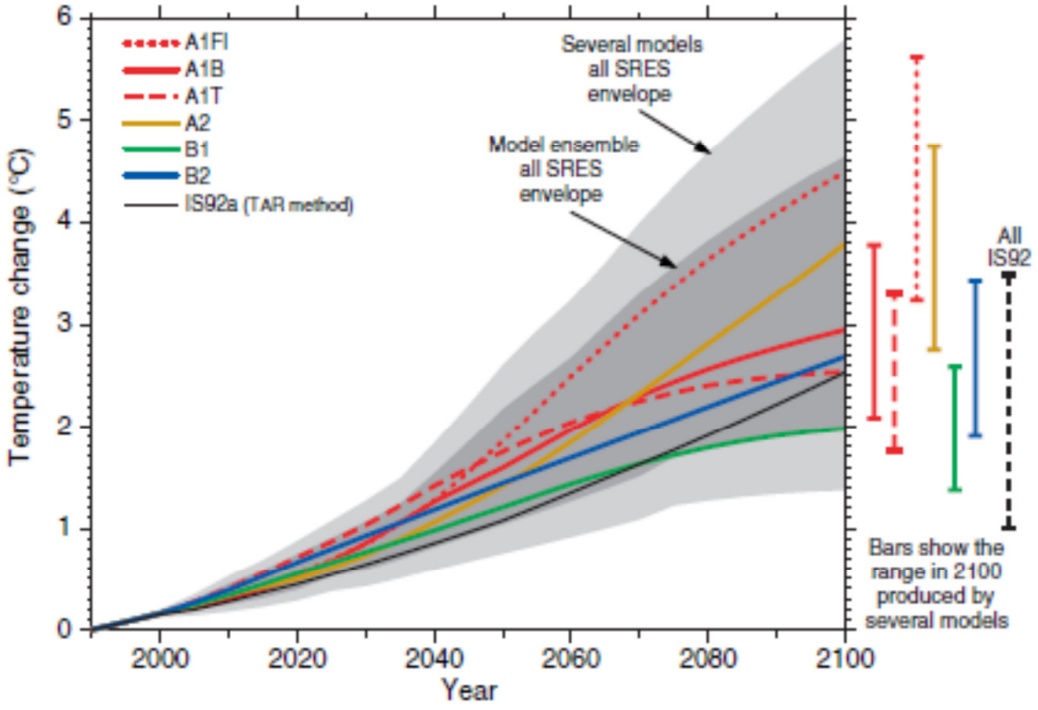
Ekstremregn kan opleves i hele landet. Den 15. august 2006 blev Aalborg ramt af et skybrud som forårsagede store oversvømmelser blandt andet i Aalborg Øst. Denne oversvømmelse ses på figur 2.1. [Ritzau, 2011]

Figur 2.1: Oversvømmelser i Tornhøjparken i Aalborg Øst den 15. august 2006. [Lars Termansen, 2008]

2.1 Klimaforandringer

Forudsigelsen af klimaforandringer både i Danmark og resten af verden er usikker og derfor opstilles der scenarier, som er prognoser om, hvordan fremtidens klima kan se ud. Der anvendes klimamodeller som kan simulere fremtidens klima. Disse komplekse modeller er opbygget ud fra en matematisk beskrivelse af klimasystemets dele; atmosfæren, oceaner,

biosfære, is og sne samt fast jord. IPCC har opstillet en række scenarier som kan vise den mulige udvikling af klimaet. En beskrivelse af disse ses i appendiks A. For at forudsige fremtidens klima i scenarier er det nødvendigt at analysere udviklingen i menneskelig aktivitet og industrialiseringen. Udviklingen af blandt andet økonomi, teknologi samt demografi bør analyseres for at kunne forudsige udledningen af drivhusgasser og dermed det fremtidige klima. [DMI, 2011b] I Danmark arbejdes der med klimascenarierne A2, B2, EU2C samt A1B. Scenariet A1B anvendes på analyser frem til år 2050, da spredningen på de andre scenarier er lille indtil dette år. [Paludan et al., 2011] IPCC's klimascenarier ses på figur 2.2. Det ses også her at scenarierne er meget sammenfaldende frem til år 2050.



Figur 2.2: Fremskrivningen af temperaturen fra klimascenarier udviklet af IPCC. [Houghton et al., 2001]

DMI har fremskrevet klimascenarierne frem til år 2100, så de er tilpasset danske forhold. Disse viser en række klimaændringer, som ses i tabel 2.1.

	A1B	A2	B2	EU2C
Årsmiddeltemperatur [°C]	+2,2	+3,1	+2,2	+1,4
Vintertemperatur [°C]	+3,3	+3,1	+2,1	+2,0
Sommertemperatur [°C]	+1,2	+2,8	+2,0	+1,3
Årsnedbør	+22 %	+9 %	+8 %	0 %
Vinternedbør	+20 %	+43 %	+18 %	+1 %
Sommernedbør	+16 %	-15 %	-1 %	-3 %
Havvandsstigning (2010-2050)	0,05 - 0,5 m			
Havvandsstigning (2050-2100)	0,1 - 1,2 m			

Tabel 2.1: DMI's fremskrivning af scenarierer til 2100. [Aalborg Kommune, 2011]

Som det ses i tabellen varierer klimaændringerne i de fire scenarier. Det forventes at årsmiddeltemperaturen vil stige, mens der kun forventes en lille forskel i temperaturstigningen i sommer og vinter perioderne. Den største forskel ses i A1B-scenariet, hvor vintertemperaturen stiger med $3,3\,^{\circ}$C, mens sommertemperaturen kun stiger med $1,2\,^{\circ}$C. Den største stigning i årsnedbør ses i A1B-scenariet på 22 %. Vinternedbøren er stigende i alle scenarier, hvor A2-scenariet har langt den største stigning på 43 %. Forudsigelsen for sommernedbøren er varierende i de fire scenarier. Den største stigning på 16 % ses i A1B-scenariet, mens den har et fald på 15 % i A2 scenariet.

Når temperaturen stiger, kan luften indeholde mere vanddamp, og jo mere vanddamp der er i luften, jo mere energi er der tilstede. Dette giver en kraftigere energiudløsning, og dermed en større mulighed for at vanddampen fortættes og bliver til regn. [DMI, 2011a] Der vil opstå flere episoder med meget kraftig nedbør. Det forventes at disse episoder specielt forekommer om sommeren. Derudover vil der være længere perioder uden nedbør, hvilket kan medføre en tørkerisiko. Også i havet og fjorde vil der komme ændringer som en konsekvens af klimaændringerne. Ved kystområder kan der forventes en vandstandsstigning, som er afhængig af stigningen i middelvandstanden, samt yderligere en vandstandsstigning som er påvirket af den øgede vindhastighed. Dette vindbidrag kan forventes at hæve vandstanden yderligere 30 centimeter ved stormfloder på vestkysten. I og med at grundvandet stiger, kommer der mere vand i vandløbene. Det medfører, at mængden af regnvand der kan udledes til vandløbene skal mindskes for ikke at skabe oversvømmelse i vandløbsområderne. Ud over den øgede mængde grundvand i vandløbene, vil havvandstandsstigningen betyde, at vandstanden i vandløbene stiger, og dermed kommer der endnu mere vand i vandløbene. Desuden vil vandstandsstigningen medvirke til, at lavtliggende områder nær kysten oversvømmes. [Aalborg Kommune, 2011] Vandløb der ikke varierer i vandstand mellem sommer og vinter, vil blive påvirket af ekstremnedbør og kan nemt oversvømme. Derimod vil vandløb som udtørrer, eller har en meget mindre vandmængde om sommeren, være bedre rystet til at modtage vand fra ekstremnedbør. [DMI, 2011b] [Paludan et al., 2011]

2.2 Implementering af klimatilpasning i den danske lovgivning

I Danmark dimensioneres og renoveres afløbssystemet ud fra anbefalinger i skrift 27 som er lavet af IDA Spildevandskomiteen. Skrift 27 er en fælles praksis, for hvordan danske afløbssystemer skal fungere under regn. I dag er det et minimumskrav, at bolig- og erhvervsområder som enten er fælles- eller separatkloakeret, kun har en gentagelsesperiode for opstuvning til terræn på henholdsvis 10 og 5 år. Den anbefalede gentagelsesperiode af fuldtløbende rør er 2 og 1 år for henholdsvis fælles- og separatkloakerede områder. [Spildevandskomiteen, 2005] Udviklingen af ekstremregn er stadig usikker. Derfor anvendes en klimafaktor fra skrift 29 til dimensionering af danske afløbssystemer. Disse ses i tabel 2.2 for en given gentagelsesperiode.

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

Tabel 2.2: Anbefalede danske klimafaktorer fra skrift 29. [Spildevandskomiteen, 2008]

Klimafaktoren må kun anvendes på ekstremregn, ikke på hele regnhændelsen. Dette skyldes at de danske klimascenarier A2, B2 og EU2C forventer, at der ikke sker en stor ændring i årsnedbøren men en ændring i nedbørsmønstret. [Paludan et al., 2011] I den danske lovgivning er det på nuværende tidspunkt vanskeligt at indføre klimatilpasning i urbane områder. Det er ikke tilladt at anvende takstmidler til klimatilpasning. Det er ligeledes ikke muligt for forsyningsvirksomhederne at anlægge regnvandsløsninger på privat grund, men det er muligt for en privat grundejer at få tilbagebetalt 40 % af tilslutningsbidraget ved afkobling af regnvand og etablering af LAR-løsning. Denne mulighed benyttes ikke af mange. [DANVA, 2012]

Skaderne fra skybrudet i København den 2. juli 2011, som endte med at koste 5 milliader kr, har givet anledning for Miljøminister Ida Auken til at ændre vandsekterloven i løbet af år 2012, for derved at give mulighed for at vandselskaberne kan anvende takstmidler til klimatilpasning. [DANVA, 2012]

2.3 Aalborg Kommunes hensynstagen til klimaforandringer

Aalborg Kommune fremlagde i august 2011 en klimastrategi glædende fra 2012 - 2015, hvor der fokuseres på klimatilpasning. Kommunen vurderer klimasikring som en langsigtet proces, da de forventer, at der kun sker en lille stigning i klimaforandringerne indtil år 2070, hvorefter klimaforandringerne vil accelerere. Derfor arbejder Aalborg Kommune på at få implementeret klimasikring i fremtidig kommuneplanlægning, således kommunen er velforberedt og kan håndtere kommende klimaforandringer. [Aalborg Kommune, 2011]

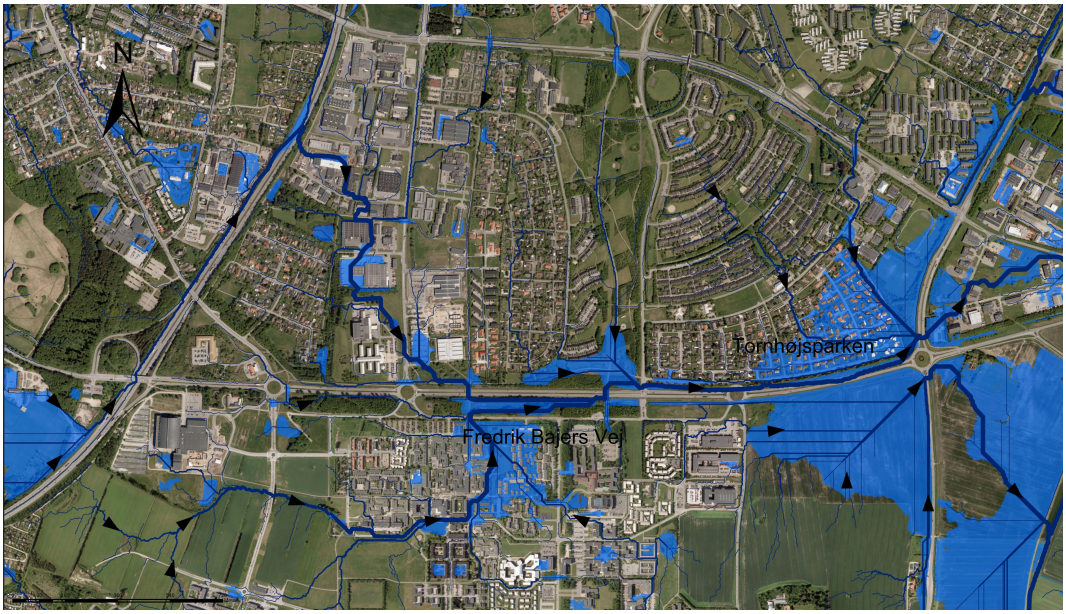
Aalborg Kommune tager udgangspunkt i klimascenariet A1B, som er anbefalet af Klima- og Energiministeriet som klimascenarie frem til år 2050. Dette scenarie giver ændringer i temperatur, nedbør og havvandsstigning som beskrevet i tabel 2.1, hvor DMI har fremskrevet klimascenariet A1B til 2100. Ud fra klimascenariet vurderer Aalborg Kommune, at der vil komme vand- og oversvømmelsesproblemer forvoldt af regn, grundvand og havvandsstigninger. Derfor er der udarbejdet et oversvømmelseskort over kommunen, for at lokalisere potentielle områder i landskabet, hvor havvandsstigninger og ekstremregn kan skabe oversvømmelser. Oversvømmelseskortet er lavet ud fra en terrænanalyse, hvor lavninger samt strømningsveje er lokaliseret. Ud fra screeningen af oversvømmelseskortet har Aalborg Kommune udvalgt seks områder, hvor der lægges specielt vægt på at klimasikre.Disse seks områder er valgt, da der her vurderes den største risiko for oversvømmelse, samt at der tidligere har været problemer med oversvømmelse. Fokusområderne for klimasikring i Aalborg Kommune ses på figur 2.3. [Aalborg Kommune, 2011]

Figur 2.3: Fokusområder for klimasikring i Aalborg Kommune. [Aalborg Kommune, 2011]

For at forebygge oversvømmelser, skabt af den forventede stigning i årsnedbøren ud fra scenarie A1B, med en maksimal stigning på 22 % i 2100, samt mindske udledninger til vandområder, arbejder Aalborg Kommune på at få implementeret LAR i alle lokalplaner fra 2012. Med LAR mindskes belastningen af kloaksystemet, da regnvandet bliver afledt på anden vis, for eksempel ved hjælp af faskiner, regnvandsbede og så videre. Ud over LAR-løsninger har Aalborg Kommune en vision om at separatkloakere hele Aalborg Kommune inden 2100, for at være bedre rystet til at kunne håndtere den ekstra mængde nedbør [Aalborg Forsyning, Kloak A/S, 2009]. En anden positiv effekt af separatkloakeringen er, at der ved overløb kommer en begrænset mængde spildevand ud til recipienterne, hvilket forbedrer vandmiljøet i vandløbene og Limfjorden. Aalborg Kommune vurderer, at kloaksystemet kan håndtere den ekstra mængde nedbør, der kommer om sommeren og vinteren, men at ekstreme regnhændelser stadig vil skabe problemer. [Aalborg Kommune, 2011]

3 Projektlokalitet

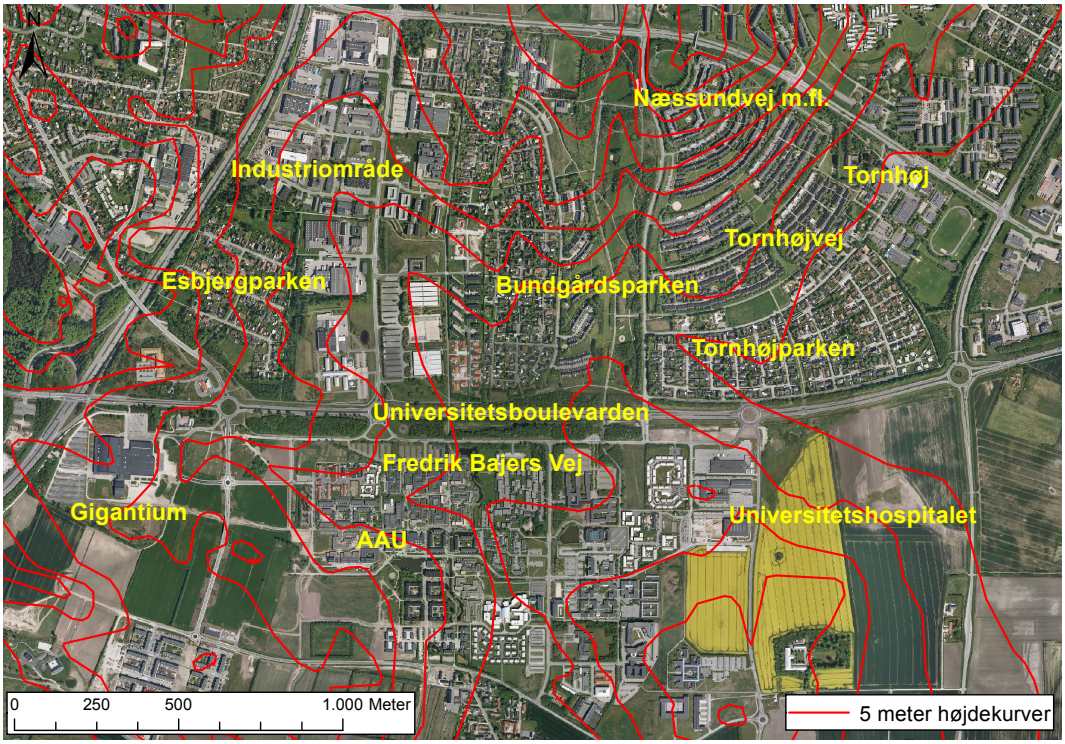
Som tidligere beskrevet kan der flere steder i Aalborg opstå problemer med oversvømmelser som konsekvens af klimaforandring. Aalborg Øst er udvalgt som projektlokalitet, da et oversvømmelseskort over Aalborg Kommune udarbejdet af COWI viser, at Aalborg Øst kan være et udsat område. Dette ses på figur 3.1 hvor lavninger og strømningsveje er beskrevet. Tidligere erfaring har også vist, at Aalborg Øst er et udsat område under ekstremregn. Der har tidligere været hændelser, hvor området ved Fredrik Bajers Vej samt området ved Tornhøjparken blev oversvømmet på grund af ekstremregn. Projektlokaliteten vil derfor være Aalborg Øst og generelt omfatte områderne omkring Fredrik Bajeres Vej og Tornhøjparken.



Figur 3.1: Potentielle oversvømmelsesområder og strømningsveje i Aalborg Øst. Kortet er ændret lidt fra originalen, da der er sat pile på strømningsvejene samt fremhævet to områder. [COWI, 2012]

Strømningsvejene på figur 3.1 er fundet ud fra en analyse af terrænet, hvor de naturlige højdekurver er brugt som strømningsvej. Lavningerne er markeret med blåt og viser, hvor en potentiel oversvømmelse vil opstå. Det kan ses, at der kan opstå store oversvømmelser i området omkring Fredrik Bajers Vej, Tornhøjsparken samt området syd for Tornhøjsparken. I området syd for Tornhøjsparken er det planlagt at bygge det nye Universitetshospital. På kortet kan der desuden ses, at strømningsvejene fører vandet hen mod lavningerne.

På projektlokaliteten er terrænet generelt faldende fra nord mod syd. Efter Universitetsboulevarden, som løber tværs gennem projektområdet, ses figur 3.2, er terrænet igen stigende. På figuren ses fem meter højdekurver over projektlokaliteten. Den mindste højdekurve er målt til fem meter, og ligger i Tornhøjparken, mens den højeste er målt til 45 meter og ligger i området kaldet Næssumvej.



Figur 3.2: Områder og 5 meter højdekurver på projektlokaliteten.

Projektlokaliteten ligger cirka fem kilometer uden for Aalborg centrum. Området kan opfattes som et urbant område, da området flere steder er tæt bebygget. Derudover er anvendelsen af området meget blandet. Typen af beboelse i området er ligeledes blandet, da der findes både parcelhuse, lejligheder, kollegier og rækkehuse. I området ligger der et større industriområde, ligesom der også findes en del erhverv og butikker. Der er flere områder på projektlokaliteten, som er ubebygget. Nogle fordi det er rekreative områder, andre fordi området er under en udviklende proces. En del af udviklingen opstår, på grund af Aalborg Universitets beliggenhed i området. Dette betyder, at der de sidste par år er bygget en del kollegielejeligheder i området. En af de fremtidige planer for projektlokaliteten er udførelsen af et Universitetshospital syd for Tornhøjparken [Aalborg Kommune, 2006].

4 Problemformulering

Eftersom det ikke er muligt at udbygge hele Danmarks kloaksystem, inden for de næste mange år, samt at det er svært at vurdere hvor kraftig en ekstremregn vil blive i fremtiden, er det nødvendigt at se på, hvordan der kan klimasikres, ved kun at se på overfladen. Problemet, klimasikring af urbane områder, undersøges i denne rapport, hvor der udarbejdes en metode til håndtering af ekstremregn på overfladen. Der undersøges for potentielle og egnede steder for tilbageholdelse eller opmagasinering af vand på overfladen, samt hvordan overfladen kan bruges til at styre regnvandet fra de udsatte områder til optimale opmagasineringsdepoter. På den måde undgås oversvømmelse af værdifulde samfundsmæssige ejendele samt skader på private ejendomme.

Ud fra ovenstående er følgende problem udarbejdet:

Hvordan kan urbane områder sikres ved hjælp af overfladestyring af ekstremregn, og er det muligt at lave en metode for håndteringen af overfladevandet under ekstreme regnhændelser?

I rapporten udarbejdes der metoder, for klimasikring af urbane områder, til følgende punkter:

- Analyse af projektlokalitet
- Screeningsanalyse
- Afstrømningsmodel
- Terrænændringer

Hver metode har sit specielle formål, som samlet kan anvendes til klimasikring af urbane områder ved brug af overfladestyring.

Analysen af projektområdet benyttes til at skabe overblik samt undersøge strukturen i projektområdet. Der undersøges blandt andet for potentielle områder hvor en ekstremregn kan forårsage oversvømmelse, og projektområdet afgrænses ved hjælp af en GIS analyse, der lokaliserer topografiske oplande.

Screeningsanalysen af projektområdet udarbejdes ved hjælp af en GIS- og MIKE Urban analyse. Projektområdet analyseres inden for tre kategorier, der har til formål at lokalisere kilder til afstrømning, værdifulde områder og områder, hvor der er potentiale for ændring i terrænet.

Afstrømningsmodellen for projektområdet bliver lavet i MIKE Urban. Der opsættes en stabil afløbsmodel som kombineres med en overflademodel. På den måde kan strømninger på terræn analyseres. Afstrømningsmodellen kan benyttes til at analysere specifikt på lokalt niveau og lave individuelle løsninger.

Der laves terrænændringer i projektområdet, for at føre regnvandet hen til områder der via screeningsanalysen er acceptabel at oversvømme under en ekstremhændelse.

DEL II

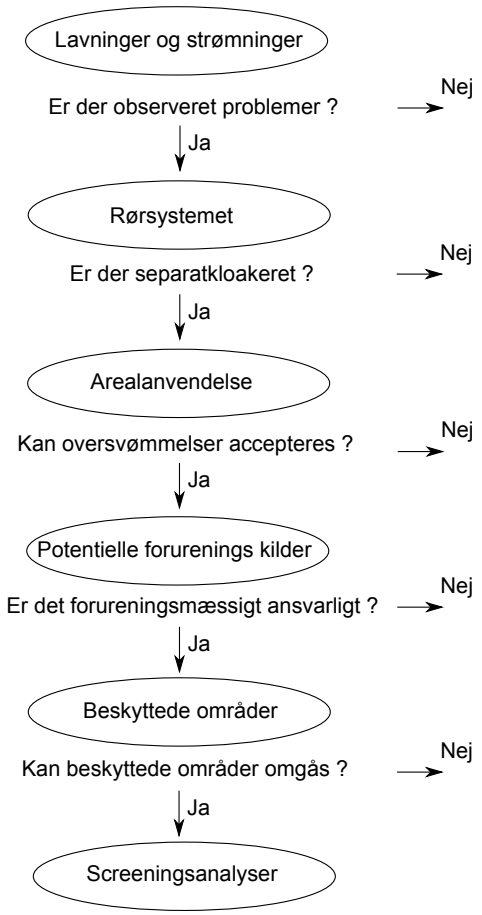
ANALYSE

5 Analyse af projektområdet

I analysen gennemgås flere delelementer omkring projektlokaliteten. Der laves en lokalitetsafgræsning på baggrund af områdetopografien.

5.1 Metode til GIS analyse af projektlokaliteten

Analysen af projektlokaliteten udføres for at afgrænse projektlokaliteten til at projektområde samt for at indsamle relevant information. Den indsamlede information bruges til at vurdere hvorvidt terrænændringer i projektområdet er en anvendelig løsning til klimasikring. Figur 5.1 viser proceduren for analysen, og hvordan det kan besluttes, hvorvidt terrænændringer kan anvendes som klimasikring. Figuren kan anvendes ved at udføre analyserne i den opstillede rækkefølge og svare på ja/nej spørgsmålene efter hver analyse. Ved svaret nej bør det overvejes, om en anden løsning findes bedre. Hver cirkel indikerer en analyse og Alle analyser bliver gennemgået i de efterfølgende afsnit. Ved sidste spørgsmål ledes der videre til screeningsanalyser, som beskrives senere i rapporten.



Figur 5.1: Gennemgående struktur i analysen.

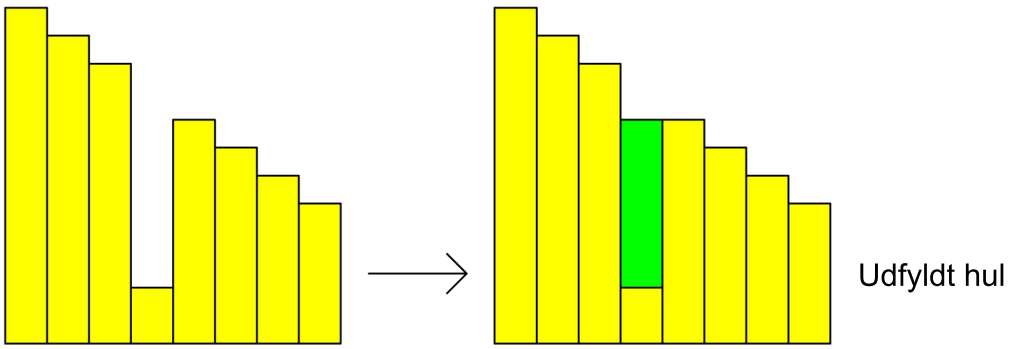
Ud fra tidligere regnhændeler og kendte oversvømmelser er projektlokaliteten valgt. Projektområdet afgrænses ud fra en dybdegående hydrologisk analyse af den digitale overflademodel i GIS, hvor områdets grænser findes ud fra topografiske oplande hvorved strømningsvejene indenfor projektområdet lokaliseres. Fremgangsmetoden for denne analyse samt den digitale overflademodel beskrives i det følgende.

5.1.1 Hydrologisk analyse af den digitale overflademodel

Den digitale overflademodel DSM [1] er undersøgt for strømningsveje samt topografiske oplande indenfor projektlokaliteten i Aalborg Øst. I den digitale overflademodel har hver celle en værdi svarende til en kote. Der er benyttet en digital overflademodel, da denne beskriver jordoverfladen inkluderet alle objekter, det vil sige toppen af bygninger og træer. Den digitale overflademodel over Aalborg er fra 2001, og har højdeinformation i én meter grid. Den er hentet fra Geodatabiblioteket ved Aalborg Universitet [Aalborg Universitets institut 20, 2012].

Til den hydrologiske analyse i GIS anvendes værktøj fra *Spatial Analyst Tools*, hvor værktøj fra undermenuen *Hydrology* benyttes.

Udfyldning af små huller/dræn i den digitale overflademodel Først indlæses DSM filen i GIS, hvorefter der udføres en proces, der fjerner små fejl i opløsningen af dataene i den digitale overflademodel. Dette er fejl, hvor nogle celler kan have en unaturlig lav værdi i forhold til de omkringliggende celler. Hvis ikke sådanne fejl rettes, kan der opstå problemer i forhold til afgrænsninger af topografiske oplande. Til dette benyttes værktøjet *Fill*, som fylder huller til den nærmeste celles mindste værdi. I denne analyse er alle huller uanset dybde fjernet. På den måde er det muligt at bestemme strømningsretningen i landskabet. På figur 5.2 kan der ses, hvordan *Fill* forbedrer overflademodellen så fejl rettes i forhold til højdeniveauet.



Figur 5.2: Illustration af fjernelse af fejl i den digitale overflademodel. [ArcGIS, 2012]

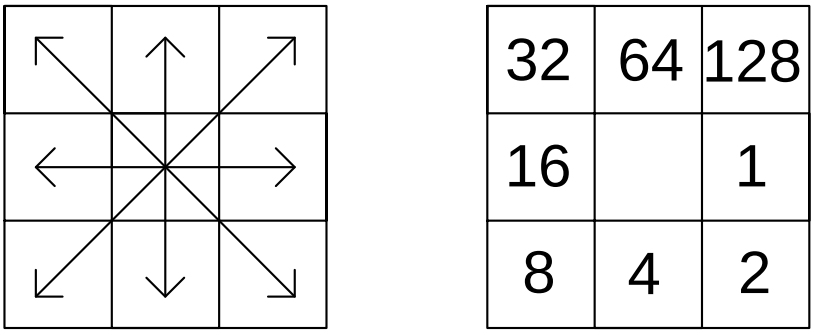
[1] digital surface model

På figur 5.3 ses et eksempel på hvordan værktøjet *Fill* har bearbejdet den digitale overflademodel.

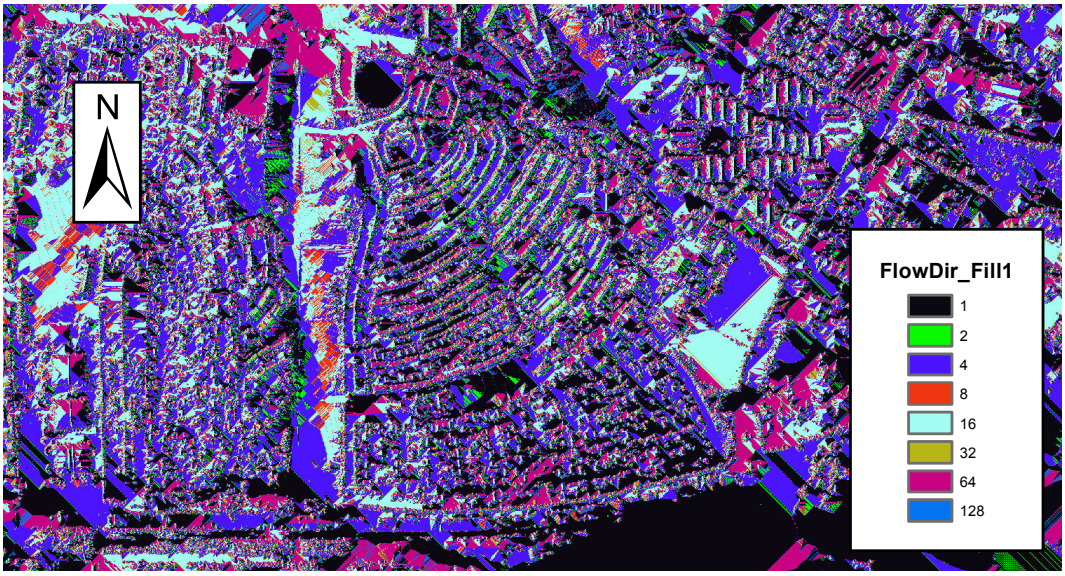
Figur 5.3: Udsnit af den digitale overflademodel omkring området Tornhøjparken, hvor værktøjet *Fill* har fjernet fejl i terrænet. Værdierne angivet i label på figuren er kote i meter.

Udarbejdelse af flow retning

Til udarbejdelsen af flow retning benyttes værktøjet *Flow Direction*. Værktøjet giver hver celle en flow retning, hvor GIS følger skemaet på figur 5.4 til definition af flow retning. Det kan ses, at der er otte muligheder for flow retning. Hvis en celle har værdien én, kan der på figuren ses, at flow retningen er mod øst og sådan fremdeles. På figur 5.5 ses et udsnit fra GIS, hvor flow retning kan ses i forhold til farve samt tal. Ud fra skemaet på figur 5.4 kan flow retning ses i forhold til figuren.



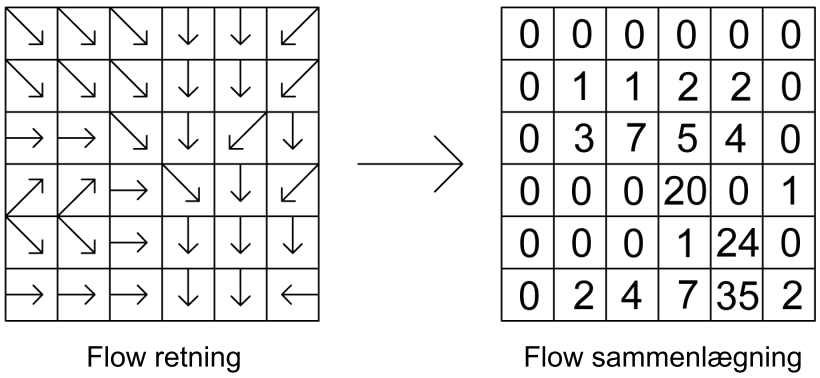
Figur 5.4: Flow retning i GIS. [ArcGIS, 2012]



Figur 5.5: Udarbejdelse af flow retning i GIS hvor flow retning kan ses i forhold til farve samt tal.

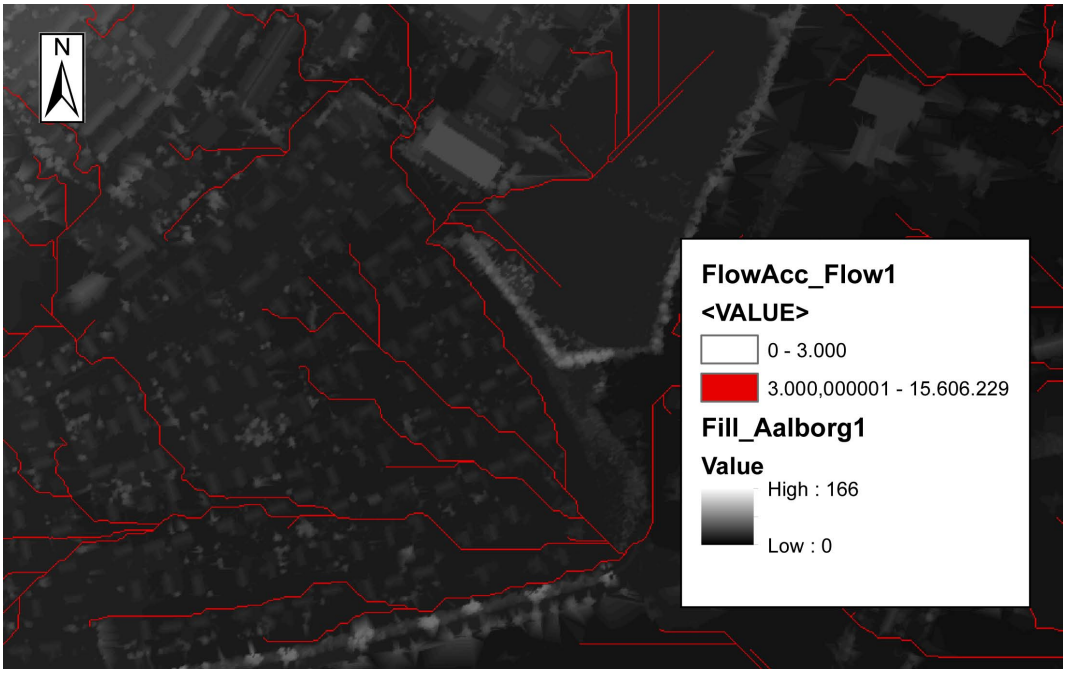
Udarbejdelse af flow sammenlægning

Værktøjet *Flow Accumulation* beregner flowet ind i hver celle, ved at sammenlægge de celler, der strømmer ind i hver nedstrøms celle. Dette er illustreret på figur 5.6.



Figur 5.6: Eksempel på flow sammenlægning i GIS. [ArcGIS, 2012]

På figur 5.7 ses et udsnit fra GIS, hvor *Flow Accumulation* er lagt ind over den udarbejdede fordybningsfrie digitale overflademodel. Flow sammenlægningen er vist med rødt for alle de celler, der mindst har 3000 opstrøms celler strømmende igennem sig, hvilket svarer til et opstrømsområde på mindst 3000 m^2. Figuren viser området ved Tornhøjsparken. Det kan ses, at disse strømningsveje passer ret godt overens med de strømningsveje, som COWI har udarbejdet på det tidligere benyttede strømningskort på figur 3.1.

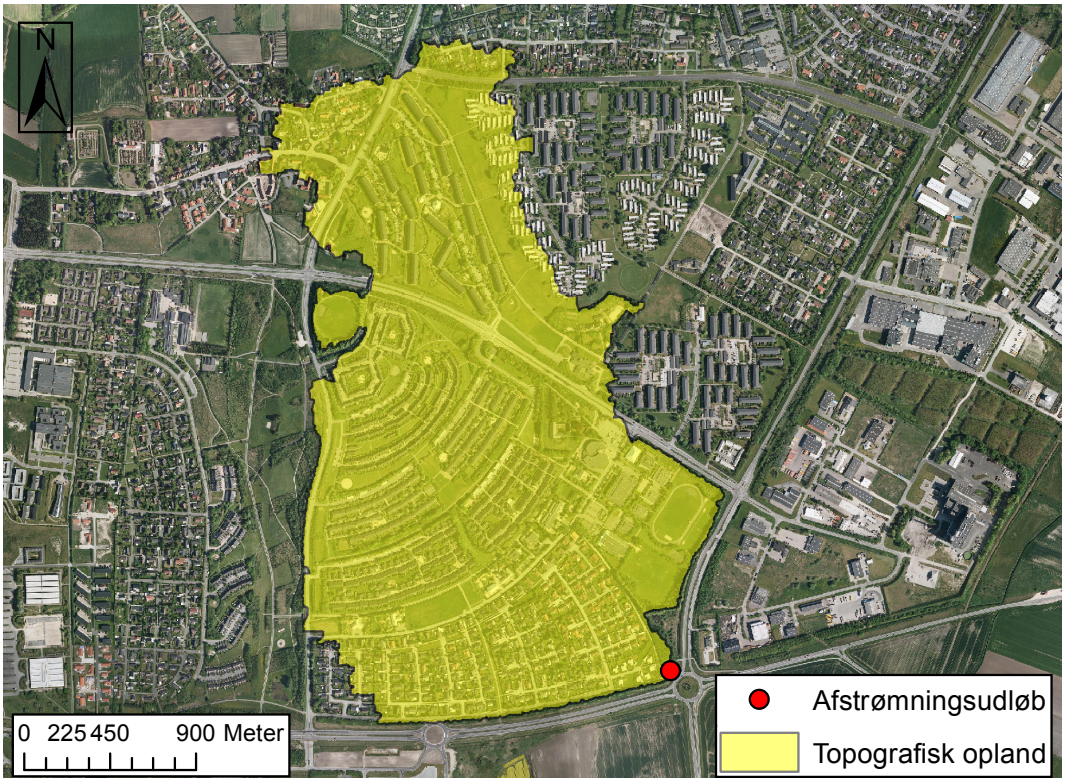


Figur 5.7: Flow sammenlægning i GIS. Vist ud fra den fordybningsfrie digitale overflademodel. De røde linjer er celler med mindst 3000 opstrøms celler.

Afgrænsning af topografiske oplande

Før denne proces skal der defineres et udløb til de topografiske oplande. Værktøjet *Identify* benyttes til at lokalisere placeringen for udløbet af et topografisk opland. Dette gøres ved at finde det punkt på flow sammenlægningslinjen, der har det største sammenlagte flow indenfor et udvalgt område. Derudover benyttes værktøjet *Snap Pour Point* til at binde punktet fast. Hvis ikke det er lykkes at finde det punkt på flow sammenlægningslinjen, som har den største flow sammenlægning, kan *Snap Pour Point* bruges til at søge, inden for en selvvalgt defineret snapdistance på flow sammenlægningslinjen, efter en celle med en større flow sammenlægning.

Værktøjet *Watershed* bruges til at afgrænse det topografiske opland, hvor det valgte *Snap Pour Point* er udløbet til oplandet. Det vil sige, at alt opstrøms for udløbet kommer med i det topografiske opland. Dette ses på figur 5.8, hvor udløbet er markeret med rød og det topografiske opland er markeret med gul.

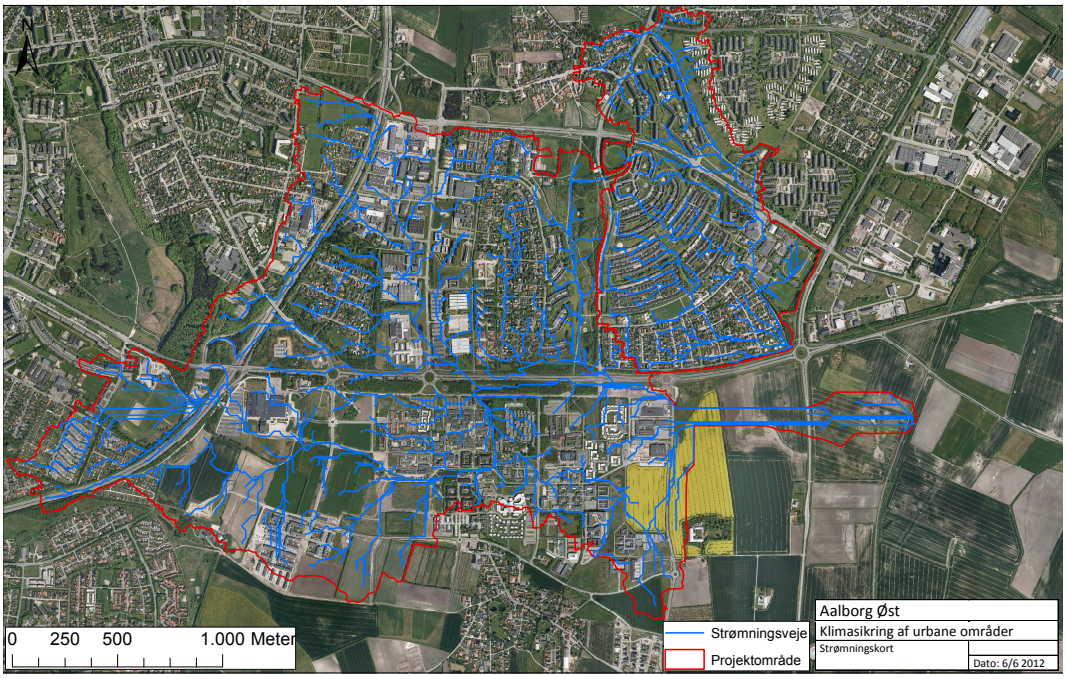


Figur 5.8: Topografisk opland udregnet i GIS ved hjælp af ovenstående proces.

5.2 Lokalitetsafgrænsning

På figur 5.9 ses det udarbejdede strømningskort, hvor de naturlige strømningsveje for regnvandet er vist. Dette stemmer godt overens med strømningsvejene på oversvømmelseskortet fra COWI, som kan ses på figur 3.1.

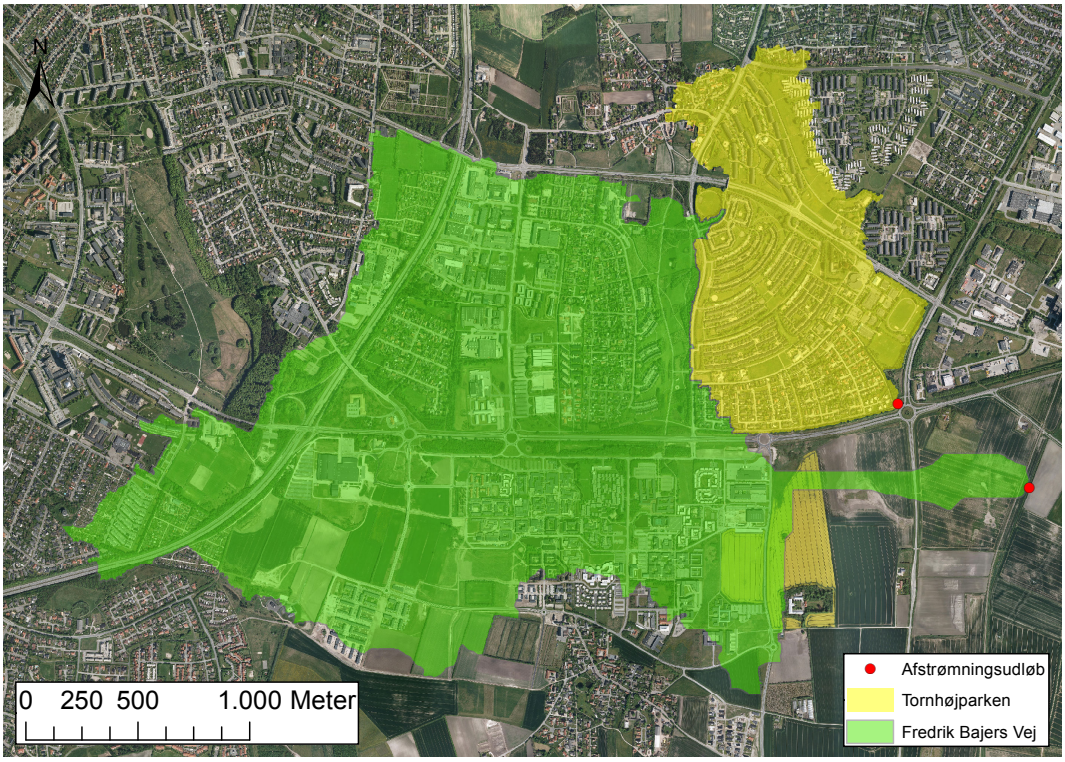
En større version kan ses på det vedlagte strømningskort eller på bilags CD'en.



Figur 5.9: Strømningskort udarbejdet ud fra en GIS analyse.

Efter de naturlige strømningsveje i Aalborg Øst er fundet, findes grænserne for projektlokaliteten ved at udføre en dybdegående hydrologisk analyse af den digitale overflademodel i GIS. GIS betegner overfladen som impermeabel og beregner overfladen i cellestørrelse svarende til cellestørrelsen på den digitale overflademodel. Der er ikke taget højde for viadukter i oplandet under denne analyse.

Det viser sig, at der er to store topografiske oplande i Aalborg Øst. Disse er markeret med gul og grøn på figur 5.10, hvor de røde cirkler beskriver udløbet af strømningen fra det givende topografiske opland. Det kan ses, at Tornhøjsparken og Fredrik Bajers Vej ligger i hvert sit topografisk opland henholdsvis det gule og det grønne.



Figur 5.10: Topografiske oplande i Aalborg Øst hvor de røde cirkler beskriver udløbet af strømningen fra det givende topografiske opland.

I tabel 5.1 ses størrelsen af de to topografiske oplande.

Topografiske oplande	Areal
Tornhøjparken (Gul)	1.219.604 m^2
Fredrik Bajers Vej (Grøn)	4.551.272 m^2

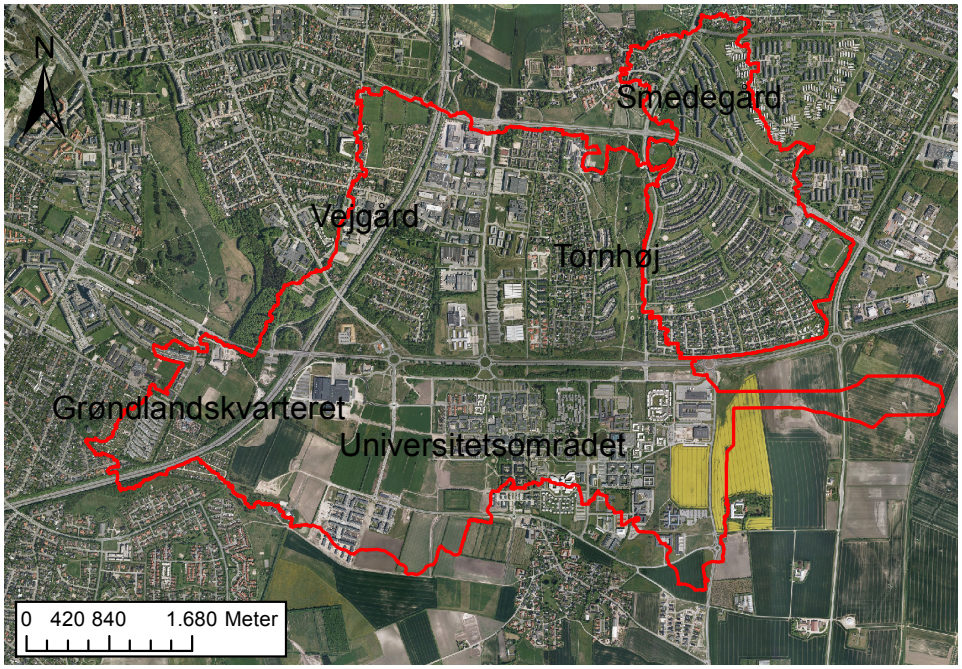
Tabel 5.1: Areal af de respektive topografiske oplande.

5.3 Struktur i projektområdet

Efter projektområdet er blevet afgrænset i forhold til afstrømninger, er det nødvendigt at undersøge strukturen og arealanvendelsen i området. Derudover undersøges og lokaliseres naturbeskyttelse og forurening i projektområdet. Til sidst undersøges afløbsnettet i projektområdet.

Projektområdet er i kommuneplanen inddelt i fem områder. Disse ses på figur 5.11.

- Tornhøj - ligger nord for Universitetsboulevarden
- Smedegård - ligger nord for Humlebakken
- Vejgård - ligger vest for motorvej E45
- Grønlandskvarteret - ligger vest for motor vej E45
- Universitetsområdet - ligger syd for Universitsboulevarden



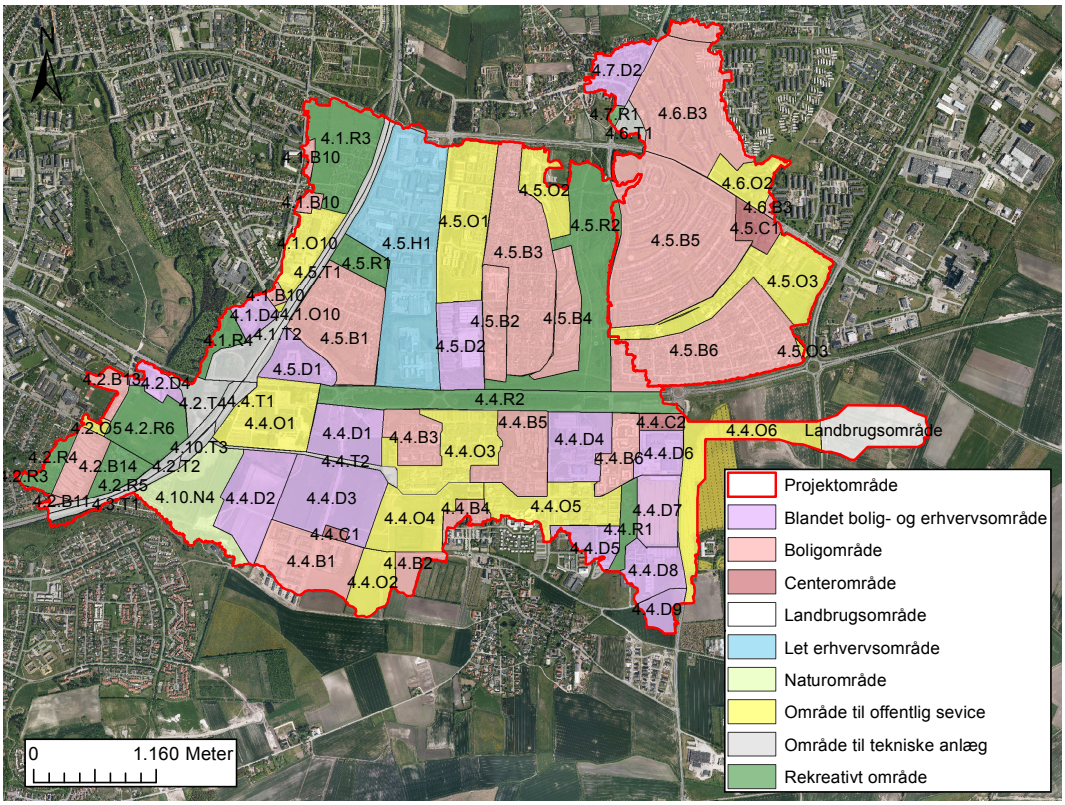
Figur 5.11: Afgrænset projektområde.

5.3.1 Anvendelse af opland

Projektområdet er inddelt i delområder ud fra kommuneplanen i Aalborg Kommune. [Aalborg Kommune, 2006] Delområderne er markeret med en farve, som indikerer områdernes anvendelse. I projektområdedet findes der delområder med følgende anvendelse:

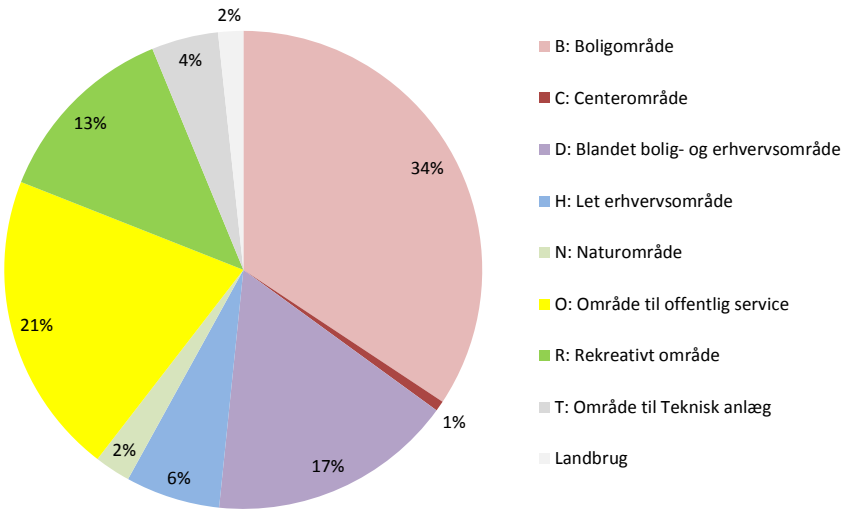
- Boligområder
- Centerområder
- Blandet bolig- og erhvervsområder
- Områder til offentlig service
- Rekreative områder
- Området til tekniske anlæg
- Lette erhvervsområder
- Naturområder
- Landbrugsområder

Fordelingen af delområder kan ses på figur 5.12. Beregninger ses i Excelark 1 og 2 på bilags CD'en.



Figur 5.12: Kort over delområder ifølge kommuneplanen. [Aalborg Kommune, 2006]

På figur 5.13 ses hvordan arealet i projektområdet er fordelt mellem de forskellige typer delområder. Det ses at delområder som er klassificeret som boligområder, sammenlagt har det største areal i projektområdet, hvilke svarer til 34 % ud af projektområdets totale areal. I boligområderne findes der flere typer af boliger bestående af parcelhuse, rækkehuse og lejligheder.



Figur 5.13: Fordelingen af arealanvendelsen i hele projektområdet.

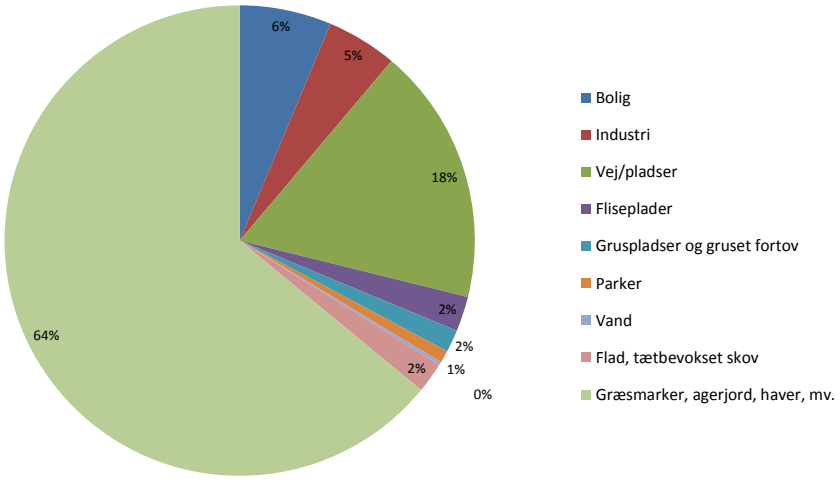
Rekreative områder, samt områderne til offentlig service og blandet bolig- og erhverv, har et areal på henholdsvis 13 %, 21 % og 17 % ud af det total areal. Dette gør disse delområder til markante områder i oplandet. De rekreative områder er primært parkområder. I områder til offentlig service kan der flere steder i projektområdet findes kollegier i kraft af Aalborg Universitets placering. Der findes også skoler samt et psykiatrisk hospital i området. Ligeledes er delområdet, hvor Gigantium er placeret, klassificeret som offentlig service. I områder der er klassificeret som blandet bolig- og erhverv, er områderne enten helt ubebygget eller bebygget med erhverv eller boliger.

Et enkelt område er klassificeret som let erhvervsområde, og har et areal på 6 % ud af totalarealet. I dette område findes der kun industri. Motorvej E45 krydser projektområdet, og er klassificeret som teknisk anlæg med et areal på 4 % ud af det totale areal. Der findes et enkelt naturområde i projektområdet. Dette område er afskåret af projektafgræsningen, og området fylder derfor kun 2 % af det totale areal. I udkanten af projektområdet findes et landbrugsområde, som fylder 2 % af det totale areal.

Der er i projektområdet lavet en manuel måling af arealer i GIS, hvor der er brugt ortofotos fra 2008. Denne er lavet både for at give et andet billede af, hvordan arealerne fordeler sig i projektområdet, men også for at beregne det befæstede areal i projektområdet. I projektområdet er arealerne af følgende kategorier blevet beregnet manuelt:

- Bolig
- Industri
- Vej/pladser
- Flisepladser
- Grudspladser
- Parker
- Vand
- Skov
- Græsmarker, agerjord og haver

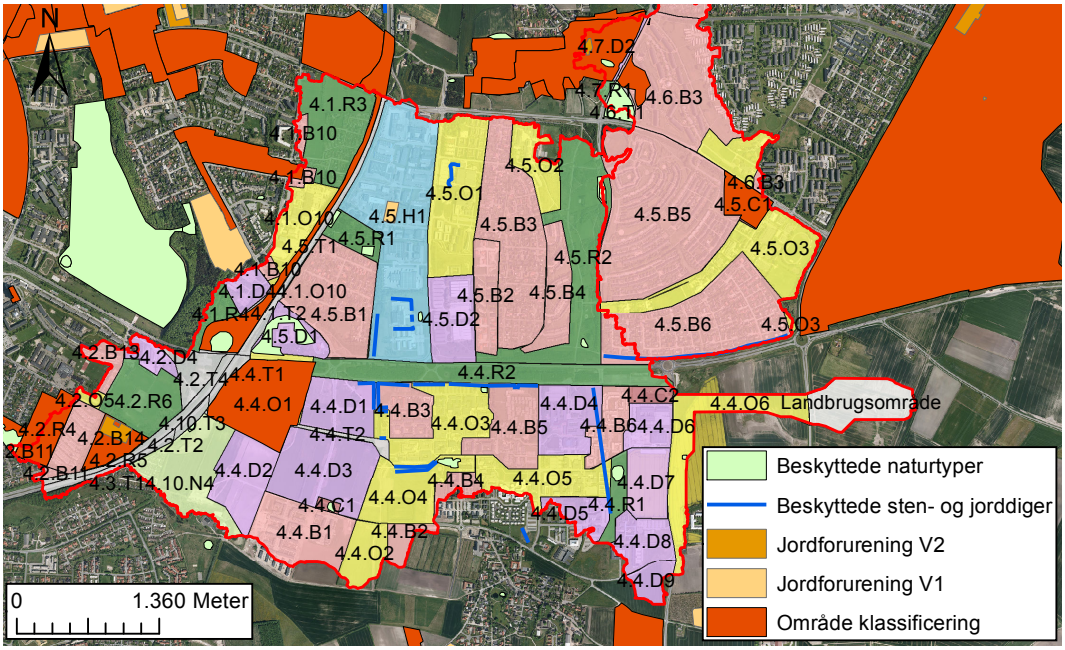
Den procentvise fordeling af de opmålte arealer ses på figur 5.14. Det ses at arealet af græsmarker, agerjord og haver har den største procentdel på 64 %, hvor boliger og industri har et total areal på henholdsvis 6 % og 5 % ud af hele projektområdet.



Figur 5.14: Fordelingen af opmålte befæstede og ubefæstede arealer i projektområdet i procent.

5.3.2 Naturbeskyttelse og forurening

I projektområdet kan der være natur og beskyttede områder, som der skal tages hensyn til ved en eventuel ændring af terrænet. På figur 5.15 kan det ses, at der er flere steder i området, hvor der er beskyttede sten og jorddiger. Disse er jævnfør museumsloven beskyttet imod tilstandsændringer.



Figur 5.15: Kort over delområder i projektområdet. Kortet viser beskyttede områder samt forureninger. [Danmarks Miljøportal, 2012]

I projektområdet findes der flere typer af beskyttet natur, og flere steder i Universitetsområdet findes der små søer. En sø eller et vandhul skal være over 100 m^2 for at være beskyttet af naturbeskyttelseslovens §3. Der ligger to større søer i projektområdet, hvilket er i delområde AAU Alfreds Nobels Vej (4.4.O4) samt delområdet Niels Bohrs Vej (4.4.R1). Derudover ligger der en sø i delområde Langagervejkvarteret (4.5.R1) samt i Bundgårdsparken (4.5.R2). Det findes et større område med beskyttet hede, som ligger ved Hadsundvej (4.5.D1). Ved tilkørslen til motorvejen (4.5.T1) ligger ligeledes et stykke beskyttet hede. I projektområdet findes to moser. En beliggende i Langagervejkvarteret (4.5.R1) samt en i området kaldet vandforsyningen (4.5.T1). I området kaldet Bundgårdsparken (4.5.R2) ligger et overdrev, og i samme punk ligger to fredet fortidsminder, en rundhøj fra oldtiden samt en skyttegrav fra nyere tid (år 1940-1945) [Kulturarv, 2012]. Hele projektområdet er klassificeret som et område med begrænsest drikkevandsinteresse. Inden for projektområdet observeres der flere områder som antages at være lettere forurenet, kaldet områdeklassificering, og typisk vil byzoner altid være lettere forurenet. Områder udenfor byzoner kan også klassificeres som lettere forurenet, hvis kommunen har kendskab hertil. Områderne som er klassificeret som lettere forurenet:

- Hadsundvej Syd m.m. (4.1.B10)
- Kolonihaver (4.2.R4)
- Kolonihaver (4.2.R5)
- Gigantium (4.4.O1)
- Tornhøj (4.5.C1)
- Motorvejen (4.5.T1)
- Blåkildevej m. fl. (4.6.B3)

I projektområdet findes der også områder, der er jordforurenet. En jordforurening klassificeres enten som V1 eller V2. Disse ses på figur 5.15. Ved en V1 forurening er der aktiviteter på arealet eller aktiviteter på andre nærtliggende arealer, der kan være kilde til jordforurening på stedet. Ved en V2 klassificering er der en stor sikkerhed for, at en forurening på grunden kan være skadelig for mennesker og miljø. [Danmarks Miljøportal, 2012] Et enkelt område på Langagervej (4.5.H1) har en jordforurening klassificeret som V1. På delområdet med kolonihaver (4.2.R5) findes en jordforurening klassificeret som V2, hvilket betyder, at det er dokumenteret, at forureningen på området er af sådan en art, at den kan være skadelig. [Danmarks Miljøportal, 2012]

5.3.3 Afløbssystemet i projektområdet

Afløbssystemet for regnvandsledningerne i projektområdet er beskrevet ud fra spildevandsplanen gældende for perioden 2008-2019 for Aalborg Kommune. [Forsyningsvirksomhederne, 2012] Afløbssystemet er i alle bebyggede områder separatkloakeret, og i ubebyggede områder er en separatkloakering planlagt. Enkelte delområder i projektområdet er klassificeret som fællesprivat. Dette betyder, at afløbssystemet er et privatejet separatsystem med afløb til det offentlige spildevandsanlæg. Flere vejstrækninger er overfladevandskloakeret. Der er tale om motorvejsstrækningen, Humlebakken, Budumvej samt Universitetsboulevarden. Vandet fra motorvejen afstrømmer til de to regnvandsbassiner. Disse ses placeret langs motorvejen på figur 5.16.

Figur 5.16: Struktur af afløbssystemet for projektområdet. Kortet er ændret fra originalen, da regnvandsbassiner og pumper er fremhævet. [Forsyningsvirksomhederne, 2012]

Langs Universitetsboulevarden løber Toppentuebækken. Alt overfladevand fra projektområdet afstrømmer til Toppentuebækken, der har udløb i Limfjorden via Romdrup Å. Kanterne langs Toppentuebækken er konstrueret således, at bækken kan bruges som regnvandsbassin, hvis vandet i bækken går over sine bredder. Bækken er inddelt i flere bassiner adskilt af dæmninger langs Universitetsboulevarden. På figur 5.17 ses et af bassinerne langs Toppentuebækken. På figur 5.16 er det markeret med et rødt kryds, hvor fotografiet er taget.

Figur 5.17: Bassin langs Toppentuebækken.

Toppentuebækken havde indflydelse på oversvømmelsen af Tornhøjparken samt markområdet syd for Tornhøjparken efter ekstremregnen den 15. August 2006. I disse områder er terrænet lavtliggende i forhold til det resterende opland, og derfor blev store vandmængder samlet her. Dette, kombineret med at pumpen i området satte ud, var skyld i den voldsomme oversvømmelse. Efterfølgende er der indsat drosling ved Budumvej samt ved rundkørslen ved Føtex. Der er også indsat en ekstra pumpe ved Tornhøjparken.

Udover de åbne bassiner langs Toppentuebækken, er der yderligere fem åbne bassiner i projektområdet. De åbne bassiners placering ses markeret med en blå firkant på figur 5.16. Derudover indeholder projektområdet tre private bassiner, et rørbassin samt to pumpestationer. Disse ses markeret med henholdsvist orange, rød og lilla på figur 5.16.

6 Screeningsanalyse

Der laves screeninger af projektområdet. Med det formål at kortlægge mulighederne for terrænændringer i projektområdet. Screeningsanalyserne laves på baggrund af den viden der er tilegnet tidligere i analysen, hvor det blev bevist, at der er problemer med oversvømmelser i projektområdet, samt at terrænændringer i området, muligvis kan være med til at løse disse problemet. Der udarbejdes tre screeningsanalyser ud fra projektområdet. På bilags CD'en i Excelark 3, 4 og 5 findes beregninger til understøtning af hver screeningsanalyse.

6.1 Metode til screening

Screeningerne er nærgående analyser af projektområdet, hvormed det endeligt kan afgøres om terrænændringer er en mulighed i projektområdet. Yderligere kan screeningerne afbilde hvor i projektområdet, en terrænændring vil gøre situationen bedre.

Der laves screeningsanalyser for at belyse visse områder i projektområdet. Det er valgt, at lave tre typer screeningsanalyser:

- Værdianalyse - En analyse af samfundsmæssige og økonomiske værdier i projektområdet.
- Kildeanalyse - En analyse der viser hvor regnvandet vurderes at afstrømme fra.
- Potentialeanalyse - En analyse for potentiale til ændringer i terrænet eller tilbageholdelse af regnvand i projektområdet.

Disse tre screeninger er valgt, da de samlet, men også hver for sig, kan kortlægge information i projektområdet. De tre screeninger skal føre frem til en vurdering af, hvor i projektområdet det er muligt at lave tiltag i terrænet til styring af ekstremregn. Der laves løsningsforslag hvor der ikke er konflikter mellem screeningsanalyserne.

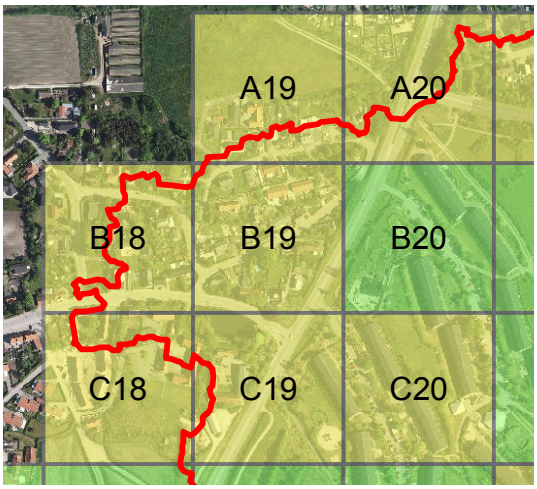
Der laves et kort som viser resultatet af hver enkelt screening. Tidligere i analysen af projektområdet blev der i afsnit 5.2 lavet en projektafgrænsning. Denne afgrænsning bliver delt op i grid, hvor det er vurderet for projektområdet, at en gridstørrelse på 160x160 meter er passende. Gridstørrelsen er valgt ud fra at en celle bør dække flere bygninger, men stadig have en størrelse som gør at der ikke opstår konflikt, når en celle skal klassificeres. Dette gør det lettere at vurdere hver screening.

Ved hver screening anvendes de samme tre klassifikationer; lav, middel og høj. Der er valg tre klassifikationer for at overskuelige gøre processen, når en gridcelle skal klassificeres. Disse er på kortet farvelagt, som det ses i tabel 6.1. Det ses i tabellen, at farverne for de tre screeninger, problem, værdi og kilde er ens, mens de er omvendt i screeningen for potentiale. Dette er valgt, da et højt potentiale skal syntes positivt, hvorfor der er valgt den grønne farve og ikke den røde.

	Lav	Middel	Høj
Værdikort	Grøn	Gul	Rød
Kildekort	Grøn	Gul	Rød
Potentialekort	Rød	Gul	Grøn

Tabel 6.1: Farve på de tre klassifikationer i hver screening.

Udkanten af projektområdet kan ikke alle steder udfylde et kvadrat. Et kvadrat i udkanten af projektområdet vurderes ud fra det areal, som ligger i kvadratet. Et eksempel på dette kan ses på figur 6.1.



Figur 6.1: Udsnit af et screeningskort hvor udkanten af projektområdet ses.

I projektområdet er der bygninger eller steder, som kan vurderes at have større økonomisk værdi end andre. Dette er områder, som vil tage skade af en oversvømmelse, og hvor en oversvømmelse vil generere en form for tab i samfundet. Dette vil ofte blive opgjort i et økonomisk tab. Det kan være svært præcis at bestemme, hvor og hvad der har en samfundsmæssig eller økonomisk værdi og derfor ikke bør oversvømmes. Det er vigtig at lave denne screening, da det giver et billede af hvilke områder, der kan oversvømmes uden økonomiske tab for samfundet eller private.

På kildekortet lokaliseres de områder i projektområdet, som er medvirkende til en afstrømning til kloaksystemet, og som under ekstremregn kan bidrage til en eventuelt oversvømmelse. Enkelte område vil under ekstremregn bidrage i større grad end andre, og bliver derfor vurderet som en høj kilde. Generelt opfattes befæstede arealer, såsom hustage, veje og pladser, som områder der bidrager til kloaksystemet, men i tilfælde af ekstremregn, skal der tages højde for flere parametre. Det kan for eksempel være et vandløb der oversvømmes, og vil bidrage med vand, som der under normale omstændigheder ikke tages højde for. Der bør også tages højde for terrænets hældning, da der under ekstremregn kan være en tendens til at infiltrationen på ubefæstede områder ophører. Der skal tages højde for, at en højtklassificeret gridcelle ikke er ensbetydende med, at denne gridcelle med sikkerhed vil forårsage en oversvømmelse. Blot at sandsynligheden for at en oversvømmelse vil opstå er større, hvis mange sammen liggende gridceller i et område kan klassificeres som værende en høj kilde.

Det kan være vigtigt at kende de områder, som potentielt kan være kilde til oversvømmelse. Disse områder kan være medvirkende til at finde en løsning, hvor regnvandet på terrænet kan ledes til et andet område.

Potentialekortet laves for at vise hvor i projektområdet der er potentiale for terrænændringer. Under udarbejdelsen af potentialekortet er der foretaget en vurdering af hvert enkelt grid og dets potentiale til terrænændringer og tilbageholdelse af regnvand, hvorefter gridcellen gives en klassificering. Screeningen for potentialet i projektområdet er delvist lavet på baggrund af problem- og værdikortet. Dette ses, da en gridcelle med stor terrænstigning ikke har et højt potentiale for terrænændringer. Samtidig vil det være ukorrekt at tilbageholde vand på steder, hvor det er observeret, at der er objekter, der bør beskyttes mod vand. Under analysen af projektområdets struktur, blev jordforureninger og naturbeskyttede områder i afsnit 5.3.2 lokaliserede. Dette skal der tages hensyn til i screeningen for potentialet. Af hensyn til overfaldeafstrømning bør der ikke tilbageholdes regnvand på jordforurenede områder. Ligeledes kan der ikke laves terrænændringer på steder, der er beskyttet mod tilstandsændringer.

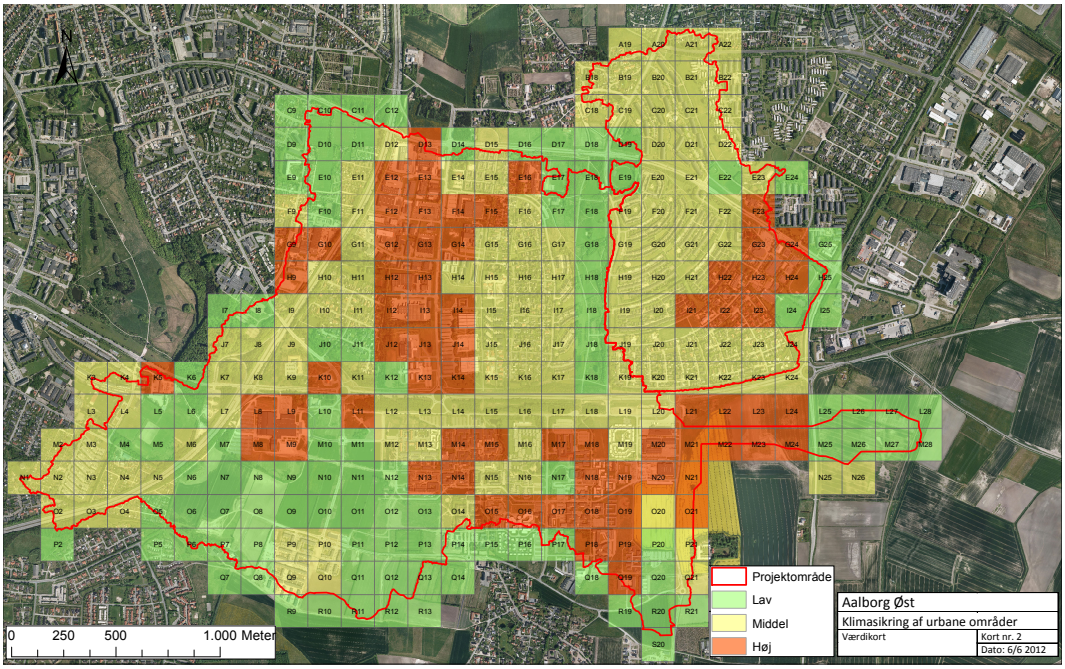
Hvert kort laves efter en manuel bedømmelse, og kan med fordel laves som et samarbejde mellem flere faggrupper, da hver screening har sit fokusområde. Specielt i screeningen for værdier, kan det anbefales at kortet laves i samarbejde med økonomer eller andre med kvalificeret viden. Værdikortet til dette projektområde er udført uden indvirken fra andre faggrupper end den ingeniørmæssige. I det efterfølgende bliver valg og resultater fra hver screening gennemgået.

6.2 Værdifulde områder

Til udarbejdelsen af værdikortet er der opstillet guidelines for områder, der vurderes at have høj værdi. De opstillede guidelines, som værdikortet er lavet ud fra, er udelukkende vurderet af en ingeniørmæssig baggrund. De højtvurderede områder er:

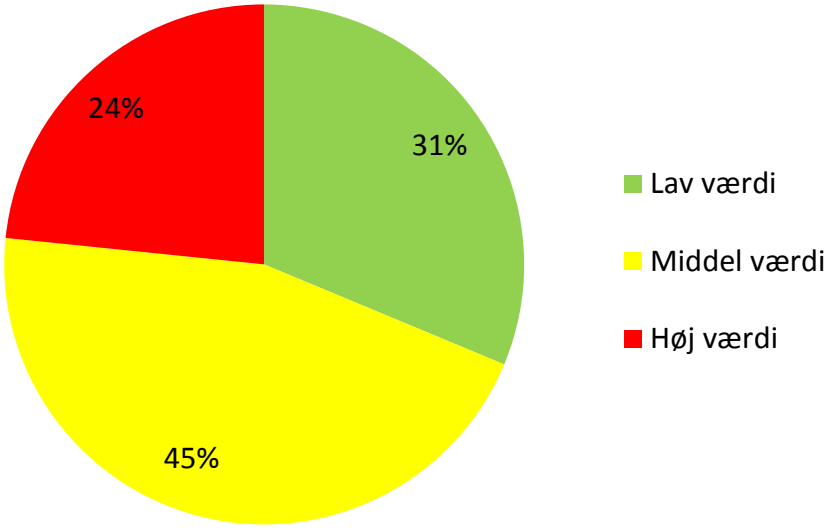
- Skoler
- Industri
- Placering af kommende sygehus

Værdikortet som viser resultater fra værdiscreeningen kan ses på figur 9.1. En større version kan ses på det vedlagte kort nr. 1 eller på bilags CD'en.



Figur 6.2: Værdikort udarbejdet fra screeningsanalysen.

Industri vurderes til en høj værdi. Dette skyldes at en oversvømmelse af industrielle bygninger ikke kun må formodes at drage stor økonomisk skade på firmaet, men kan også påvirke andre firmaer, som eventuelt kan være afhængig af det involverede firma. Boligområder klassificeres generelt som middel, mens rekreative områder og ubebyggede områder klassificeres som lav værdi. Generelt er infrastruktur klassificeret som middel værdi, da det vurderes at i tilfælde af oversvømmelse af veje, kan en anden rute ofte vælges. Der er ikke taget højde for personlig værdi, da denne værdi vurderes at være meget anderledes end samfundsmæssig og økonomisk værdi. På figur 6.3 ses den procentvise fordeling af de tre klassifikationer.



Figur 6.3: Den procentvise fordeling af kategorierne lav, middel og høj på værdikortet.

Det ses på figuren, at der er flest celler, som er klassificeret som middel, 45 %, mens der er 24 % og 31 % celler, som er klassificeret som henholdsvis høj og lav. Hvis et område er klassificeret som middel eller høj, betyder det ikke, at en tilbageholdelse af vand i disse områder er total udelukket, blot at der er elementer, der skal gøres opmærksom på i disse celler. En tilbageholdelse af regnvand kan derfor være mere problematisk, og der bør være en vis kontrol over tilbageholdelsen.

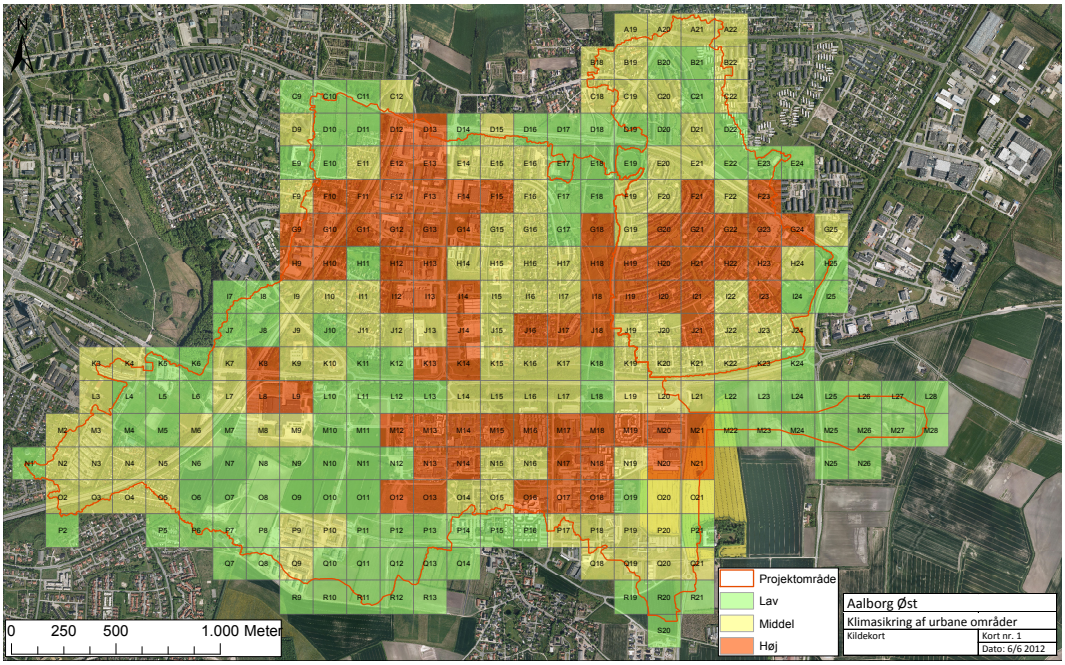
6.3 Kilder

Til udarbejdelsen af kildekortet anvendes tidligere beregninger af befæstede arealer i projektområdet, som er beskrevet i afsnit 5.3.1, og kan ses på figur 5.14. Disse opmålte arealer anvendes til at bestemme klassificeringen af kilder på kildekortet. Dette gøres ved at lægge arealet af de befæstede arealer sammen i hvert kvadrart. Det vurderes at de arealer, hvor der vil ske afstrømning fra, er bolig, industri, veje/pladser samt flisepladser. Det er altså procentdelen af disse arealer som vurderes i hvert kvadrat. Ved kildekortet er der ikke taget hensyn til fremtidige planer i projektområdet. Der er bevidsthed omkring fremtidige planer vedrørende et Universitetshospital i projektområdet, men på grund af manglende informationer omkring disse planer, er der ikke taget hensyn til dette.

Hvert kvadrat vurderes ud fra følgende guidelines:

- Størrelsen af det befæstede areal
- Hældningen på terrænet samt retningen
- Bygninger af en vis størrelse
- Større asfalteret pladser
- Asfalteret veje med store terrænhældninger
- Vandløb

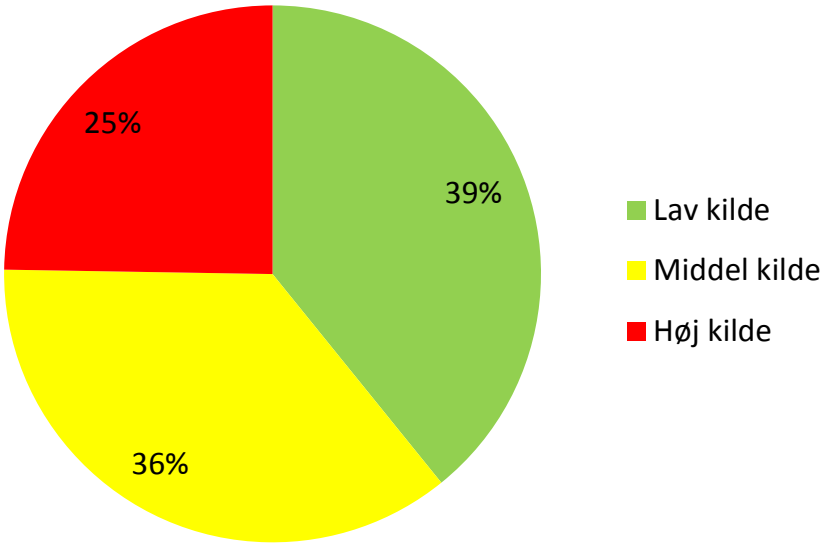
Kildekortet som viser resultatet fra screeningen af kilder kan ses på figur 6.4. En større version kan ses på det vedlagte kort nr. 2 eller på bilags CD'en.



Figur 6.4: Kildekort udarbejdet fra screeningsanalysen.

Det ses, at områder klassificeret som højt kildegrundlag primært er samlet i tre grupper. Den ene gruppe er samlet omkring Langagevej, hvor der ligger et større industrikvarter. En anden gruppe af problematiske områder ligger ved Næsumvej og Bundgårdsparken. Disse områder er præget af rækkehuse samt et større parkområde. Områderne er klassificeret højt på grund af den store terrænhældning, som i området er kombineret med en høj procentdel af befæstede arealer. Den tredje gruppe er i Universitetsområdet. Dette område er præget af en høj procentdel af befæstede arealer. Derudover ligger der en sø i området, med et tilhørende kanalanlæg, hvor der vurderes at være risiko for en oversvømmelse under en ekstremregn. Udover disse tre grupperinger er et lille område ved Gigantium også højt klassificeret. På kort nr. 2 ses, at områder uden bebyggelse bliver klassificeret som lavt kildegrundlag.

En optælling af antallet af lav, middel samt højt klassificerede gridceller, kan ses på figur 6.5, hvor den procentvise fordeling af de tre klassifikationer er vist.



Figur 6.5: Den procentvise fordeling af områder med klassifikationerne lav, middel og høj.

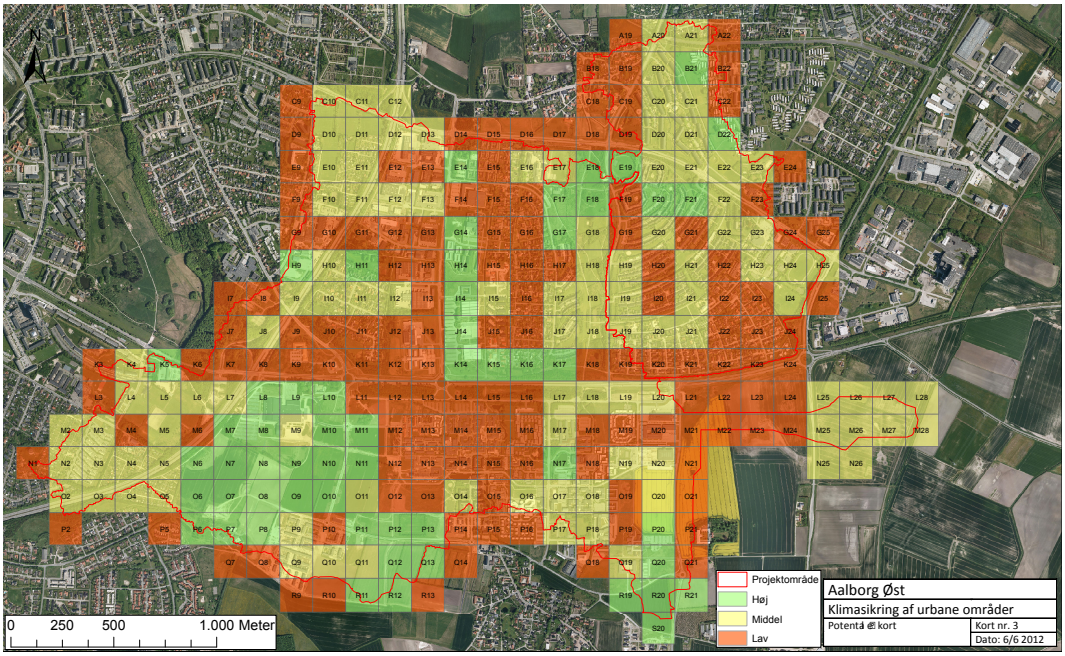
25 % af projektområdet er klassificeret som højt kildegrundlag, mens 36 % og 39 % er klassificeret som henholdsvis middel og lav. Som beskrevet i metodeafsnittet, vil placeringen af gridceller med højt kildegrundlag have større betydning end mængden. Det har betydning for projektområdet, at de 25 % med høj kilde primært ligger samlet i tre grupperinger, da det hentyder til, at der i projektområdet findes store områder med en høj afstrømning. Dette kan derfor medvirke til oversvømmelser i lavt liggende områder i projektområdet. Havde gridcellerne med høj kilde ligget mere spredt i projektområdet, kunne det betyde, at der ikke ville samles store vandmængder, og dermed kunne en oversvømmelse undgås.

6.4 Potentialeområder

Til udarbejdelsen af potentialekortet laves følgene guidelines for højt potentiale:

- Ingen jordforurening
- Ingen naturbeskyttelse
- Undgå celler med høj værdi

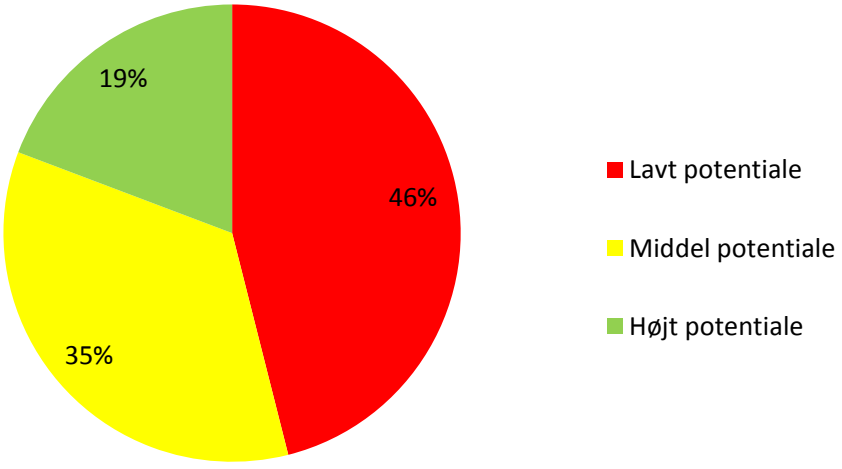
Der laves en vurdering af potentialet for terrænændringer og tilbageholdelse af vand i hver gridcelle. Potentialekortet som viser resultatet af screeningen kan ses på figur 9.2. En større version kan ses på det vedlagte kort nr. 3 eller på bilags CD'en.



Figur 6.6: Potentialekort udarbejdet fra screeningsanalysen.

En gridcelle klassificeres som højt potentiale, hvis cellen er ubebygget eller uden store terrænstigninger. Er der observeret bygninger i et kvadrat, er det muligt at klassificere som middel, i enkelte tilfælde høj hvis der ses en mulighed for tilbageholdelse af regnvand. I dette tilfælde må der ikke ske skade på bygninger. Det vurderes, at der er muligheder for tilbageholdelse af regnvandet på større græsarealer samt parkeringspladser.

En optælling af de klassificerede gridceller ses på figur 6.7.



Figur 6.7: Den procentvise fordeling af høj, middel og lav potentiale i projektområdet.

Det ses på figuren, at 19 % af projektområdet har et højt potentiale for tilbageholdelse af regnvand, mens henholdsvis 30 % og 51 % har et middel eller lavt potentiale. For at et

område kan klassificeres som høj, skal det næsten være ubebygget. Dette har gjort, at procentdelen af højt klassificeret områder er lav. Derfor er der flere celler, som er klassificeret som middel eller lav. Mængden af kvadrater med lavt potentiale skyldes primært, at der er områder i projektområdet, hvor der er tæt bebyggelse, samt at der var flere gridceller, hvor der er beskyttede eller forurenede områder.

DEL III

AFSTRØMNINGSMODEL

7 Afstrømningsmodel

Der udarbejdes en afstrømningsmodel som skal underbygge analysen og vise at terrænændringer i projektområdet kan muliggøres.

7.1 Metode til modelopsætning

I det følgende beskrives mulige relevante modeller inden for emnet "klimasikring af urbane områder" i forhold til terrænændringer.

Strømningskort

Strømningskortet kan også kaldes en overflademodel. Det viser strømningsveje og fordybninger i terrænet. En sådan model kan laves i GIS. Denne model er anvendt i analysen til at lokalisere topografiske oplande inden for projektområdet. En dybdegående beskrivelse af denne model ses i afsnit 5.1.

Hydrodynamisk afløbsmodel

En hydrodynamisk afløbsmodel opstilles i programmet MOUSE eller MIKE Urban. En sådan model viser, hvor der sker opstuvninger i projektområdet. Herefter kan resultatfilen bearbejdes i GIS, hvor oversvømmelser kan analyseres på en overflademodel. Denne model udarbejdes som det første trin i afstrømningsmodellen for projektområdet.

Kombineret hydrodynamisk afløbs- og overflademodel

Denne model en kombination af en hydrodynamisk afløbsmodel i 1D og en 2D overflademodel. En sådan model kan opsættes i MIKE Urban via funktionen 2D overland. Det er en model, som er mere præcis end de to førstnævnte, på grund af den direkte kombination mellem rørmodel og overflademodel. Modellen beskriver strømninger samt bevægelsesveje på terrænet. Der er punkter, der ikke tages højde for i modellen. Blandt andet bliver der ikke taget højde for havvandstandsstigninger. Det er heller ikke muligt at tilkoble funktionen "Rain on DEM", hvilket vil sige, at der kun tages højde for opstuvninger til terræn og ikke overfladeafstrømninger fra regnen. Denne model bliver brugt til udarbejdelsen af afstrømningsmodellen for projektområdet, som beskrives i kapitel 7.3.

7.1.1 Anvendelige regnserier

Formålet med afstrømningsmodellen er at undersøge om terrænændringer kan forhindre ødelæggelser fra en ekstremregn. Derfor kan det være relevant at anvende flere typer regn, når der laves simuleringer i afstrømningsmodellen. Der skal udvælges en regn, der kan betegnes som en ekstremhændelse. I skrift 27 beskrives tre typer af regnserier.

Ud fra landsregnrækken kan der bestemmes en kasseregn. Her udvælges en relevant gentagelsesperiode med en bestemt regnvarighed, hvorefter regnintensiteten bestemmes. Denne regnrække bruges ofte til mindre beregninger.

En CDS-regn[1] er en kunstig regnserie, der dækker over information for en hel regnkurve. CDS-regnen indeholder informationer omkring maksimale middelintensiteter for et interval af varigheder for en valgt gentagelsesperiode. Denne regntype anvendes ofte i danske dimensioneringer.

En historisk regn er i Danmark et godt grundlag for dimensionering af afløbssystemer, da data er samlet fra 41 regnmålere i perioden 1979 til 1997. En historisk regn kan ikke anvendes alle steder, men skal udvælges til den konkrete situation for det enkelte projekt. [Spildevandskomiteen, 2005]

Den valgte regnhændelse kan klimafremskrives ved at anvende klimafaktorer fra skrift 29, se tabel 2.2.

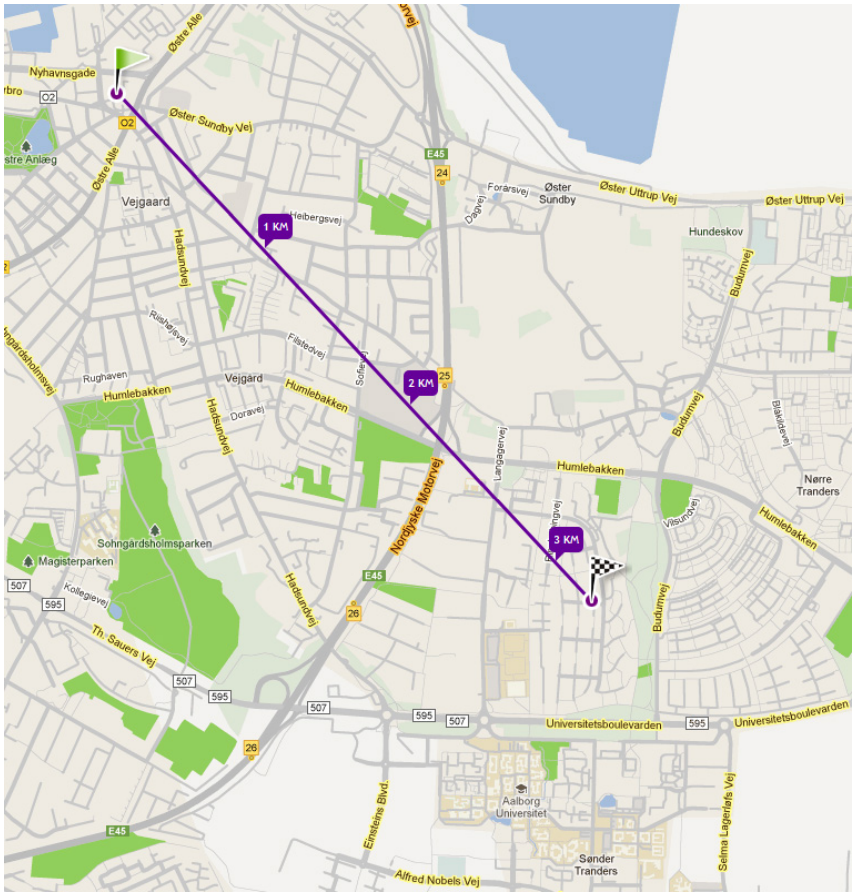
Der kan i den efterfølgende analyse benyttes to former for regnhændelser. Der kan benyttes en historisk regn fra en lokal regnmåler eller en CDS-regn. Til analysen er det valgt at benytte en lokal regnhændelse udtaget fra regnmåleren ved Aalborg Østerport med stationsnummer 20304. Den udvalgte regnhændelse er hændelsen fra 2006 som gav store oversvømmelser i Aalborg Øst. Regnen beskrives i afsnit 7.2. Det er valgt at brug en lokal regnhændelse, da det giver en mulighed for at kalibrere afstrømningsmodellen.

Det er ikke valgt at analysere ud fra en CDS-regn, men hvis der skal benyttes en CDS-regn til analysen, skal det være en CDS-regn genereret ud fra en gentagelsesperiode større end 5 og 10 år, da der i projektet kun analyseres for ekstreme regnhændelser.

[1] Chicago Design Storm

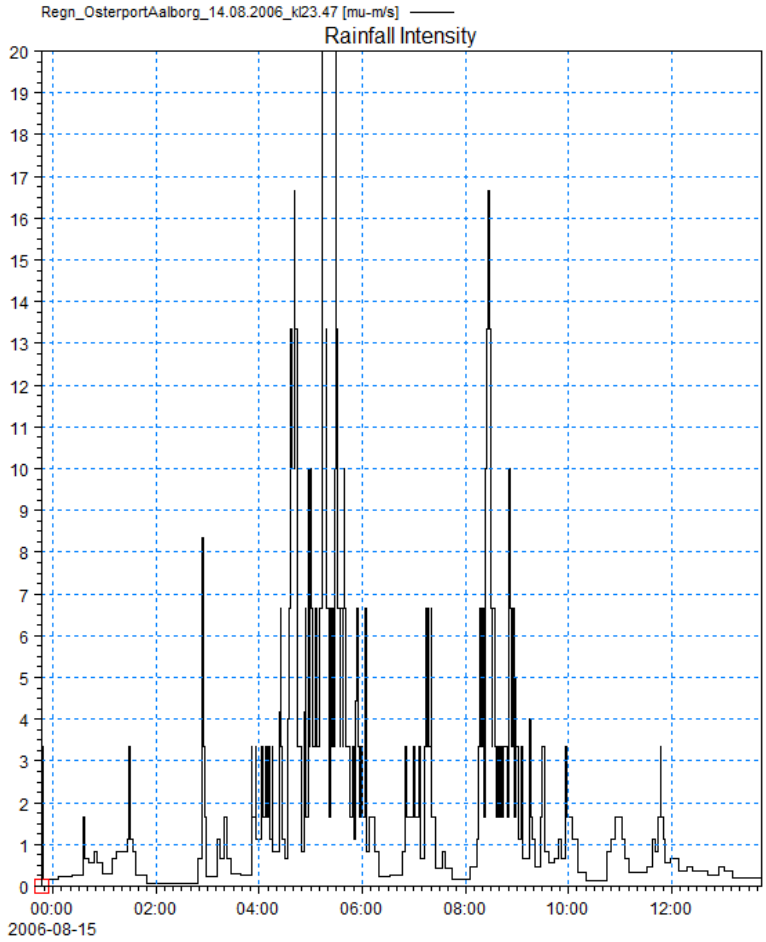
7.2 Ekstremhændelsen den 15. august 2006

Til kalibrering af modellen benyttes regnhændelsen der skabte oversvømmelsen i Aalborg Øst den 15. August 2006. Hændelsen var på 76,2 mm, hvilket svarer til cirka 11 % af årsmiddelnedbøren for Aalborg. Regnhændelsens intensitet er udtaget fra regnmåleren ved Aalborg Østerport med stationsnummer 20304. På figur 7.1 ses regnmåleren placeret ca. tre km fra projektområdet.



Figur 7.1: Placering af regnmåler nr. 20304 ved Aalborg Østerport i forhold til projektlokaliteten.

Regnhændelsen begyndte den 14. august kl. 23.47 og sluttede den 15. august kl. 13.45. I alt en hændelse over 838 minutter. På figur 7.2 ses regnintensiteten over regnhændelsens forløb.



Figur 7.2: Regnintensiteten af regnhændelsen den 15. august 2006. X-aksen angiver tid og y-aksen angiver intensitet målt i μ-m/s.

Regnhændelsen kan deles ind i tre spidsperioder i tidsintervallerne kl. 04.00 - 06.00, kl. 06.50 - 7.30 og kl. 8.20 - 9.10. Regnhændelsen har fire ekstreme peaks på over 14 μ-m/s, hvilket via landsregnrækken svarer til en regn med varighed på ti minutter med en gentagelsesperiode på to år [Winther et al., 2006]. De to kraftigste peaks er målt til 20 μ-m/s, og tre af de største peaks er faldet på under 50 minutter i tidsintervallet kl. 04.00 - 06.00. Det kan forventes, at opstuvningerne i afløbsmodellen vil starte under den første spidsperiode i tidsintervallet kl. 04.00 - 06.00. De efterfølgende to spidsperioder kan medvirke til opstuvning, da der stadig er regnvand i afløbssystemet fra den første kraftige spidsperiode.

Analyse af gentagelsesperioden

Den anvendte regnhændelses fra 2006 omtales som en ekstremregn. Regnhændelsen analyseres for at vurdere, om renhændelsen statistisk er repræsentabel. Dette gøres ved at bestemme regnhændelsens gentagelsesperiode.

Programmet WinRegn benyttes til at beregne maksimale regnintensiteter for forskellige regnvarigheder under regnhændelsen [PH-CONCULT, 2012]. Herefter bestemmes en passende gentagelsesperiode, ved brug af excelark udarbejdet fra Spildevandskomiteens skrift

28 [Spildevandskomiteen, 2008]. Gentagelsesperioden til hver regnintensitet og -varighed kan ses i tabel 7.1.

Regnvarighed [min]	5	10	30	60	180	360	720	1440
Regnintensitet [μm/s]	14,0	11,33	8,0	7,01	3,71	2,84	1,72	0,88
Skrift 28								
Gentagelsesperiode [år]	0,8	1,2	3,7	13,6	26	80	110	65

Tabel 7.1: Regnintensiteten under regnhændelsen i 2006 med tilhørende gentagelsesperiode.

I tabellen kan det ses, at der ved mindre regnvarigheder er en lav gentagelsesperiode. For eksempel har regnvarighederne på 5 og 10 minutter en gentagelsesperiode på henholdsvis 0,8 og 1,2 år. Den største gentagelsesperiode er på 110 år ved regnvarigheden på 720 minutter.

Regnhændelsen fra 2006 har som beskrevet en regnvarighed på 838 minutter. Det kan dermed vurderes, ud fra det statistiske grundlag i tabellen, at regnhændelsen fra 2006 er en ekstrem regnhændelse, da gentagelsesperioden er på omkring 100 år.

7.3 Beskrivelse af afstrømningsmodel

Under ekstreme regnhændelser kan regnvand gøre stor skade i urbane områder. Dette kan ske, når afløbssystemet bliver fyldt op med vand. Når dette sker, kan yderligere regnvand ikke afstrømme til afløbssystemet. Dette vil betyde, at regnvandet bliver transporteret på terrænet, hvor det afstrømmer til de lavest liggende områder. Dette kan skabe store oversvømmelser, da der ofte i de lavest liggende områder sker opstuvning til terræn, på grund af at afløbssystemet er belastet af den store regnmængde, der kommer fra oplandet opstrøms. Vandet har først mulighed for at blive transporteret videre via afløbssystemet, når der igen er kapacitet, eller når jorden har infiltreret vandet.

Der laves en afstrømningsmodel over projektområdets afløbssystem og terræn. Afstrømningsmodellen er en kombination af en hydrodynamisk afløbsmodel i 1D og en 2D overflademodel. Modellen er opsat og udregnet i MIKE Urban fra DHI.

Afløbsmodellen opsættes som en almindelig MOUSE model i MIKE Urban. Modellen bruges til at beregne regnvandets forløb i rørsystemet samt til at vise kritiske punkter i form af opstuvningen til terræn. Modellen laves om til en afstrømningsmodel ved at koble en overflademodel til MOUSE modellen. Dermed kan modellen beskrive strømninger samt bevægelsesveje på terrænet.

Området Tornhøjparken bruges til kalibrering af den kombinerede hydrodynamiske afløbsmodel i 1D og 2D overflademodellen. Til kalibrering af modellen benyttes regnen der skabte oversvømmelsen i Aalborg Øst den 15. august 2006. Der er ikke meget data til grundlag for en kalibrering. Der benyttes luftfoto af oversvømmelsen i Tornhøjparken, hvor der kalibreres på den hydrologiske reduktionsfaktor, så oversvømmelsen i afstrømningsmodellen er ensartet med oversvømmelsen på luftfotoet. Kalibreringen sætter en del begrænsninger. Der mangler tidspunkt for hvornår fotoet er taget, men det vurderes, at fotoet er taget på

det tidspunkt, hvor oversvømmelsen stod højest. Derudover havde steds- og tidsspecifikke dybdeoplysninger omkring oversvømmelsen gjort en kalibrering mere præcis.

Overflademodellen har en gridstørrelse på 1x1 meter. Derfor bliver området i Tornhøjparken, som der bruges til kalibreringen, simuleret med denne gridstørrelse. Den kombinerede model over hele afløbsmodellen bliver simuleret i en gridstørrelse på 5x5 meter for at give en passende beregningstid.

Den kalibrerede model benyttes til at undersøge mulighederne for styring af regnvand via terrænændringer. Der undersøges et opsat scenarie, hvor en endelig overflademodel beskriver løsningsforslaget i projektområdet.

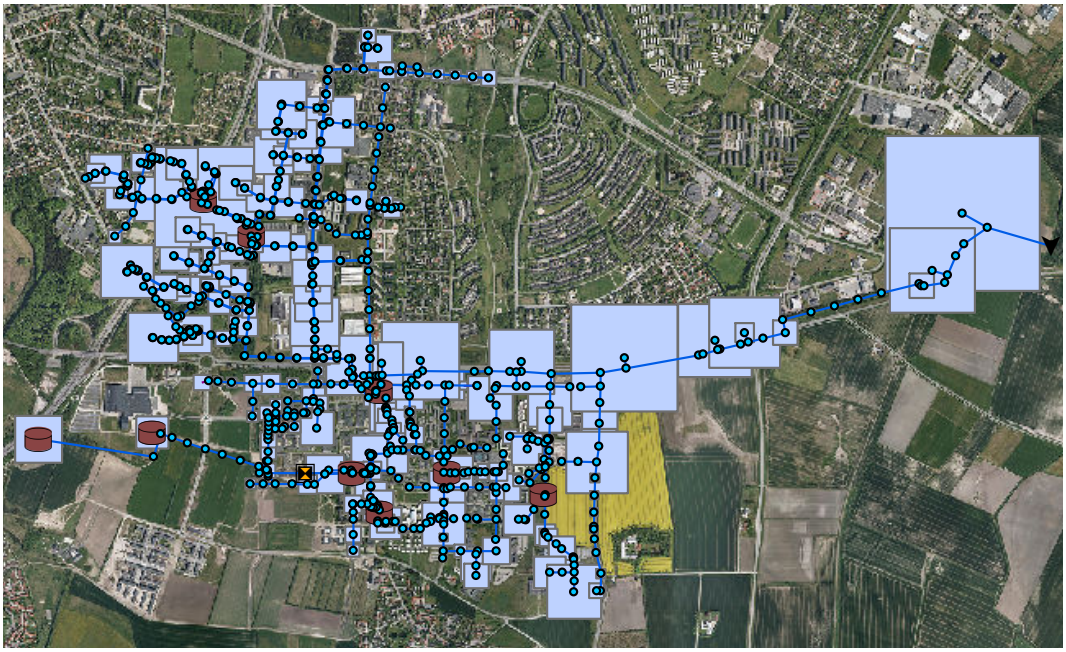
7.3.1 Afløbsmodel

Afløbsmodellen beskriver rørsystemet for regnvandsledninger inden for projektområdet som består af brønde, ledningsdiametre, oplandsarealer, bassiner osv. Afløbsmodellen er opbygget ud fra en overflade- og rørmodel. Overflademodellen beregner, hvor meget regnvand der kommer fra oplandene ned i rørmodellen, hvor rørmodellen beregner vandets videre forløb. I MOUSE-delen i MIKE Urban er der flere forskellige muligheder for valg af overflademodel. I dette projekt benyttes tids-areal metoden[2], da denne indeholder få parametre til kalibrering. Disse er den hydrologiske reduktionsfaktor, initialtab og koncentrationstid på overfladerne. I MOUSE-delen i MIKE Urban er der tre valgmuligheder for bølgeteori. I dette projekt vælges der dynamisk bølgeteori, da kinematisk og diffusiv bølgeteori er en forsimpling af dynamisk bølgeteori.

Afløbsmodellen er udleveret af Envidan i form af MPR, HGF og UND filer fra MOUSE. MPR-filen er en projektfil, der beskriver opsætningen af modellen, hvor HGF-filen beskriver netværksdata og UND-filen beskriver hydrologiske data samt oplandsdata [Envidan, 2012]. Disse filer er tilpasset således, at afløbsmodellen er anvendelig i MIKE Urban, hvor blandt andet koordinaterne på brønde samt catchments er omskrevet fra system 34 til UTM/ETRS89. Ved omskrivning af sådanne filer samt importering af filerne til MIKE Urban kan noget af den informative data, i form af netværksdata, hydrologiske data og oplandsdata, gå tabt. Der er registreret tabt data for åbne tværsnit i form af kanaler og bække samt information omkring tilslutning af brønd til catchment. Disse informationer er fundet i HGF- og UND-filen, hvorefter de er indtastet manuelt i MIKE Urban. Derudover er data for standardværdierne til de forskellige overflademodeller i MOUSE gået tabt ved importeringen. Disse er også genindtastet for alle overflademodeller, da manglende information giver error.

På figur 7.3 ses den udleverede afløbsmodel fra Envidan.

[2] overflade model A i MOUSE-delen i MIKE Urban



Figur 7.3: Udleveret afløbsmodel fra Envidan.

Beskrivelse af den relevante struktur i afløbsmodellen

Kanaler og bække er i afløbsmodellen beskrevet som åbne tværsnit. Det drejer sig om kanalen i og omkring Universitetsområdet samt Toppentuebækken. Toppentuebækken, som er beskrevet i afsnit 5.3.3, er konstrueret som åbne bredde tværsnit med mellemliggende rørstrækninger. De mellemliggende rørstrækninger virker som en slags dæmning, og dermed kan bækken under kraftig regn fungere som åbent regnvandsbassin. Toppentuebækken har også den funktion, at den fører alt regnvandet videre til udløbet for afløbsmodellen placeret ved Romdrup Å. Udløbet er opsat som konstant randbetingelse med en vandstand på én meter.

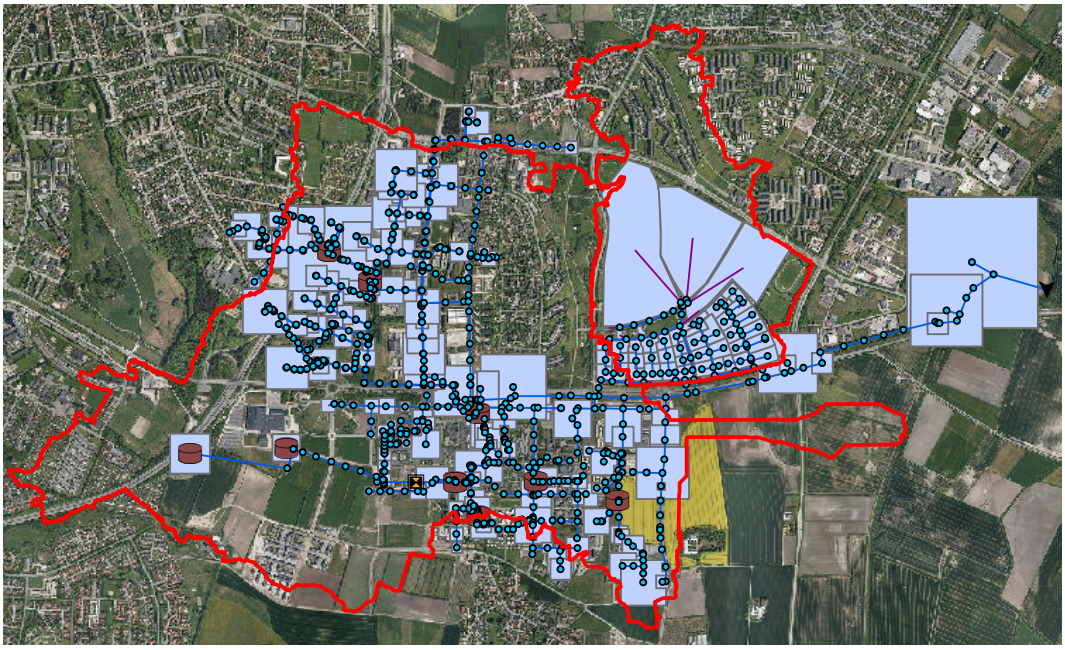
Catchments er opsat således, at de dækker over et givent område. Catchments fra den gamle udleverede MOUSE model er alle kvadrater, hvor enkelte områder er beskrevet med ét catchment og én brønd i afløbsmodellen.

Området Tornhøjparken benyttes til kalibrering af den kombinerede model. Det kan ses på figur 7.3, at Tornhøjparken, plus de ovenliggende boligområder Næssundvej m.fl, Tornhøj og Tornhøjvej m.fl, er beskrevet ud fra tre store firkantede catchments. Områdernes placering kan ses på figur 3.2. For at kalibreringen af den kombinerede model er mulig, er det nødvendigt at have en præcis beskrivelse af afløbsmodellen i Tornhøjparken. Derfor er denne del af den oprindelige afløbsmodel ændret. Denne del af afløbsmodellen er opsat ud fra information udleveret af Envidan omkring brøndplacering, dæksel- og bundkote samt ledningsdiametre. Tornhøjparken beskrives i dybden med mindre catchments, hvor området nord for Tornhøjparken beskrives ved tre store catchments, der er koblet til afløbsmodellen i det nordlige område af Tornhøjparken. Det befæstede areal for de tilføjede catchments er udregnet via en GIS-analyse af områderne, se Excelark 2 på bilags CD'en. Arealerne med en afløbskoefficienten på 1, det vil sige tagflader og veje, er lagt sammen med arealerne for

flisepladser, der under normale omstændigheder har en afløbskoefficient på 0,6-0,7. I dette tilfælde antages flisepladser at have en afløbskoefficient på 1, da det i projektet anses som en sikkerhedsfaktor under ekstreme regnhændelser. Til beregningen af befæstede areal er der anvendt ortofotos fra 2008, hvilket kan medføre en overestimering i de efterfølgende beregninger med afstrømningsmodellen, da den benyttede overflademodel er fra 2001.

Pumpen, beskrevet i afsnit 5.3.3, i det sydlige område af Tornhøjparken satte ud under oversvømmelsen den 15. august 2006 [Envidan, 2012]. Derfor er denne ikke medtaget i rørmodellen, da det giver en mere realistisk modellering af oversvømmelsen. Derudover strækker afløbsmodellen sig en anelse ud over projektlokalitetsafgrænsningen i vest. Denne del vælges medtaget i modellen, da regnvandet fra dette område via rørmodellen afstrømmer til Toppentuebækken.

Den ændrede afløbsmodel samt afgrænsning af projektområdet kan ses på figur 7.4. Data for afløbsmodellen findes på bilags CD'en i Model nr. 1.



Figur 7.4: Fysiske struktur af rørsystemet med placering af forskellige elementer af regnvandssystemet. Den røde afgrænsning beskriver projektområdet.

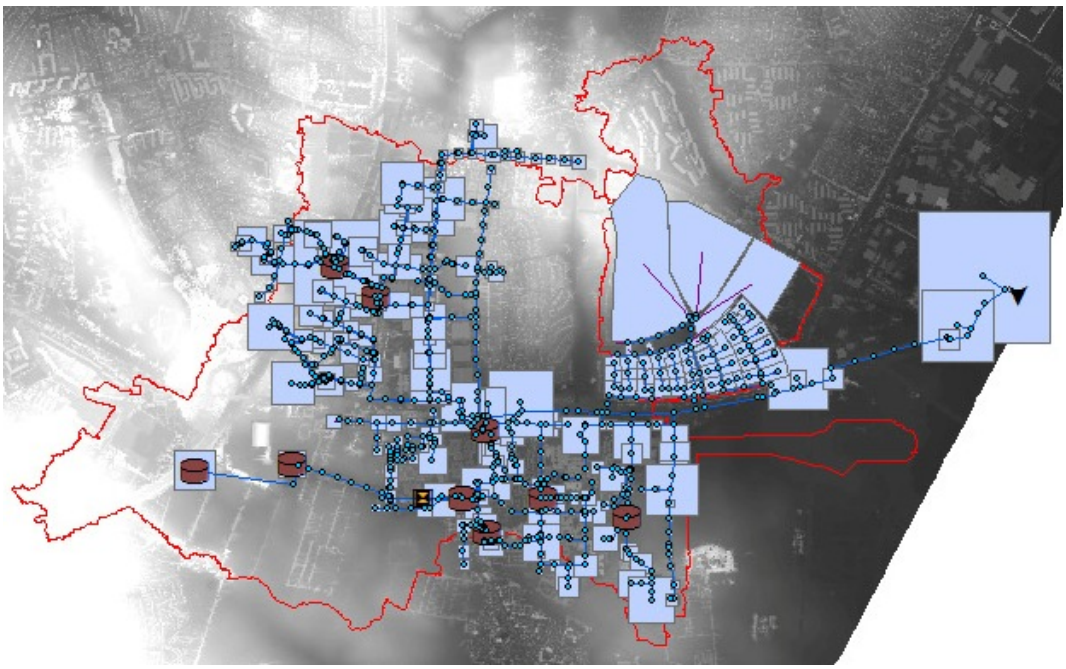
7.3.2 Kobling af afløbs- og overflademodel

Når afstrømningsmodellen skal sættes op benyttes funktionen 2D overland i MIKE Urban til at generere 2D-overflademodellen. Som datagrundlag til 2D-overflademodellen kræves en terrænmodel i fin opløsning. Der benyttes den samme digitale overflademodel, som er beskrevet i afsnit 5.1.

Der er forskel på terrænniveauet i de opgivende koter på brønde i afløbsmodellen og terrænkoterne på den digitale overflademodel. For at skabe en ligevægt mellem koterne er der lavet en fitning af de to modeller. Først er en gennemsnitlig forskel i brønd- og terrænniveau mellem de to modeller udregnet. Der er enkelte ekstreme afvigelser, hvilket vurderes

som forskelle på over to meter, og disse er sorteret fra. Området Tornhøjparken er benyttet til denne fitning, og den gennemsnitlige forskel er fundet til 1,12 meter. Understøtning til dette ses i Excelark nr. 6 på bilags CD'en. Herefter er overflademodellen sænket med den angivende længde. Brønde som i afløbsmodellen har fået et terrænniveau højere end overflademodellen, efter sænkningen af denne, er dermed blevet fittet til niveau med overflademodellen. Dette har medført en koblet model, hvor langt de fleste brønde ligger i kote med terrænniveauet på overflademodellen.

Inden de to modeller, den hydrodynamiske afløbsmodel i 1D og 2D-overflademodellen, kan kobles sammen til en afstrømningsmodel, skal der angives en værdi for størrelse af grid inden for det ønskede koblede areal. Vælges et fint grid, hvor cellestørrelsen er på én meter, hvilket svarer til samme gridstørrelse som overflademodellen, bliver beregningstiden meget tung. Derfor anbefales det kun at vælge en cellestørrelse på én meter under specielle detailberegninger. For simuleringer over større arealer anbefales en cellestørrelse på to til fem meter. En halvering af cellestørrelse betyder groft sagt en firedobling af beregningstid. Jo finere en cellestørrelse der vælges, jo mere præcis bliver beregningen af overfladeafstrømningen. Foruden angivelse af cellestørrelse skal der angives fra hvilken dybde, hvor modellen skal medtage afstrømning. Der er valgt at simulere alt det vand som kommer på terræn, så derfor er flooding depth sat til 0,003 meter. Sammenkoblingen af de to modeller til afstrømningsmodellen sker via en sammenkobling mellem brøndene fra afløbsmodellen og terrænet på overflademodellen. På figur 7.5 ses en sammenkobling af de to modeller.



Figur 7.5: Afstrømningsmodel sammenkoblet af afløbsmodel og overflademodel. Den røde afgrænsning beskriver projektområdet.

Funktionen i 2D overland "Rain on DEM", burde simulere modellen, således at regnen bliver beregnet som faldende hen over terrænmodellen. Funktionen er opsat i MIKE Urban men virker ikke. Dermed er det kun vand, der kommer fra opstuvning af afløbsmodellen, som kan medtages i beregning på overfladen. Dette sætter en begrænsning for at gengive

den virkelige situation under en ekstrem regnhændelse. Dermed er vand som afstrømmer fra områder, der ikke er dækket af et catchment i modellen ikke gengivet i beregningen af overfladeafstrømningen. Afstrømningsmodellen vil derfor ikke være helt korrekt og en lille smule underestimeret. Ved at "Rain on DEM" funktion ikke er anvendelig, sætter det også nogle begrænsninger for, hvordan modellen kan benyttes. Det er for eksempel ikke muligt at se på afstrømningen af regnvandet, inden det rammer afløbssystemet. Dette umuliggør undersøgelsen af et scenarie omkring tilbageholdelse af vand fra ekstremregn på større parkeringspladser. Scenariet kunne opsættes således, at parkeringspladsen enten kunne nedsænkes, eller der kunne opsættes nogle større kantsten plus etablering af en vandbremse i de nærliggende brønde. På den måde kunne parkeringspladsen fungere som et midlertidigt regnvandsbassin under ekstremregn.

En sidste ting som der ses bort fra i afstrømningsmodellen er underføringer i form af viadukter.

7.4 Kalibrering af afstrømningsmodel

Afstrømningsmodellen kalibreres ud fra et luftfoto fra det østlige område af Tornhøjparken. Se figur 7.6. Det vurderes at luftfotoet er taget på det tidspunkt, hvor vandet stod på sit højeste, af hensyn til mulighed for at kalibrere.

Figur 7.6: Luftfoto til kalibrering af afstrømningsmodellen.

Som tidligere beskrevet benyttes regnen der skabte oversvømmelsen i Tornhøjparken den 15. august 2006 som grænseværdi. Oversvømmelsen i afstrømningsmodellen kalibreres ved at ændre på den hydrologiske reduktionsfaktor, så oversvømmelsen er lignende den observe-

rede på figur 7.6. Afstrømningsmodellen opsættes for det østlige område af Tornhøjparken med en cellestørrelse på 1 meter. Dermed har afstrømningsmodellen et grid svarende til terrænmodellens grid. Selvom afstrømningsmodellen kun simuleres for det østlige område af Tornhøjparken, bliver hele afløbsmodellen beregnet under simuleringen, da vand opstrøms, for det østlige område af Tornhøjparken, afstrømmer dertil.

Ud fra teorien bør den hydrologiske reduktionsfaktor, under en ekstrem regnhændelse, ligge et sted mellem 0,8-1, eftersom hele overfladen er vandmættet, af den store vandmængde, og derfor bevirker til afstrømning [Winther et al., 2006]. Under modelleringsforhold kan den hydrologiske reduktionsfaktor sættets yderligere op, hvis befæstelsesgraderne er for lavt sat, eller hvis regnen er underestimeret i regnmåleren, i forhold til det der reelt faldt, før det er muligt at gengive den korrekte oversvømmelse. Derfor er der udarbejdet fire scenarier, som alle er beregnet med ekstremhændelsen fra 2006. På de efterfølgende fire figurer, figur 7.7, 7.8, 7.9 og 7.10, ses den maksimale dybde og udbredelse af oversvømmelsen vist for afstrømningsmodellen simuleret med en hydrologisk reduktionsfaktor på henholdsvis 0,8, 1,0, 1,2 og 1,4. Som forventet kan det ses, at jo større den hydrologiske reduktionsfaktor bliver, jo større bliver udbredelsen og dybden af oversvømmelsen.

Figur 7.7: Det østlige område af Tornhøjparken simuleret med en hydrologisk reduktionsfaktor på 0,8.

Figur 7.8: Det østlige område af Tornhøjparken simuleret med en hydrologisk reduktionsfaktor på 1,0.

Figur 7.9: Det østlige område af Tornhøjparken simuleret med en hydrologisk reduktionsfaktor på 1,2.

Figur 7.10: Det østlige område af Tornhøjparken simuleret med en hydrologisk reduktionsfaktor på 1,4.

Det kan være vanskeligt at vurdere vandstanden på luftfotoet, og derfor tages der i første omgang udgangspunkt i at få modellen til at vise en oversvømmelsen med samme udbredelse om vist på luftfotoet. Det kan ses på figur 7.7, at udbredelsen af oversvømmelsen beregnet ud fra en hydrologisk reduktionsfaktor på 0,8 ikke er tilfredsstillende. Oversvømmelsen simuleret med en hydrologisk reduktionsfaktor på 1,0, 1,2 og 1,4 viser en passende udbredelsen af oversvømmelsen. I tabel 7.2 ses den maksimale dybde af hver oversvømmelse målt i to tilfældige punkter ved forskellige hydrologiske reduktionsfaktorer.

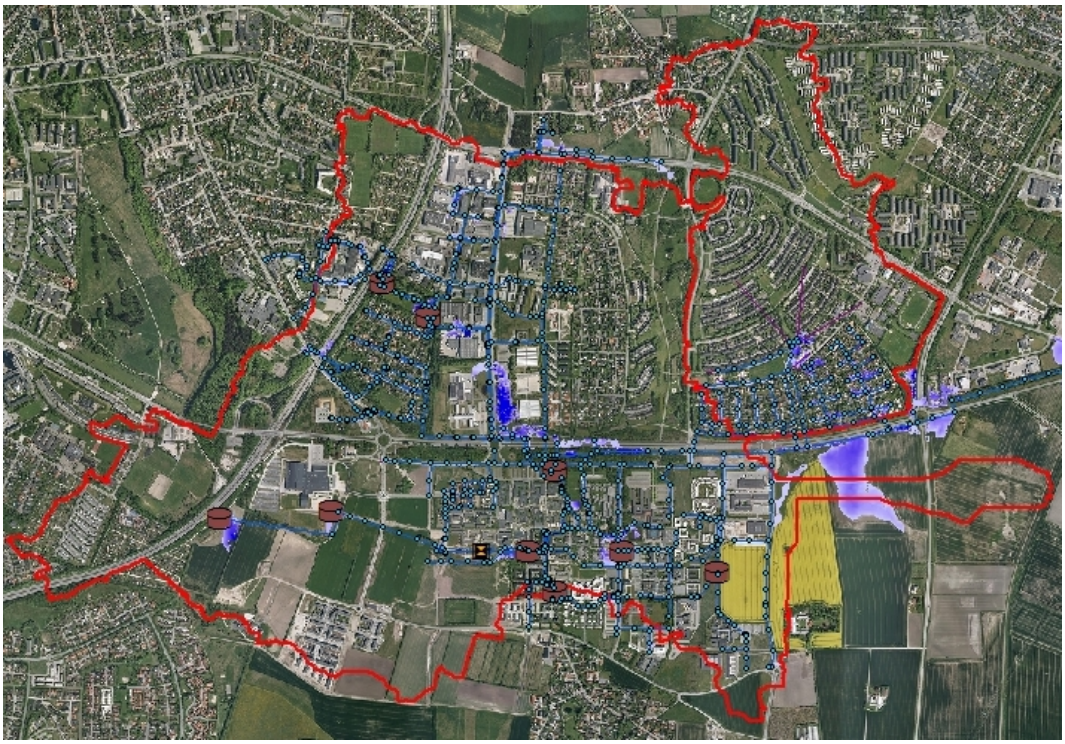
	Hydrologisk reduktionsfaktor			
Dybde [m]	0,8	1,0	1,2	1,4
Punkt 1	1,9	1,26	1,37	1,62
Punkt2	0,25	0,40	0,51	0,63

Tabel 7.2: Dybden vist for to tilfældige punkter i oversvømmelsen ud fra den hydrologisk reduktionsfaktor

Der vælges at arbejde videre med en hydrologisk reduktionsfaktor på 1,0, da dette giver den mindste oversvømmelse af de tre tilbageværende scenarier. Med en hydrologisk reduktionsfaktor på 1,2 eller 1,4 vurderes oversvømmelsen for kraftig, da der opstår mange oversvømmelser i Tornhøjparken på over én meter. Afstrømningsmodellen er som beskrevet en smule overestimeret på grund af fitningen mellem rørmodel og terrænmodel. Derfor kunne en hydrologisk reduktionsfaktor måske i virkeligheden godt have været større end 1.

På figur 7.11 ses hele projektområdet hvor den maksimale dybde og udbredelse af oversvømmelsen er vist for en beregning af afstrømningsmodellen ud fra ekstremregnen i 2006

med en hydrologisk reduktionsfaktor på 1,0. Simuleringen er foretaget i et grid på 5x5 meter for at tage forbehold til beregningstiden, hvilket, som tidligere beskrevet, giver en mindre præcis udbredelse af oversvømmelsen. Når der anvendes et grid på denne størrelse kan der yderligere være en usikkerhed i højden i enkelte gridceller. Flere steder i overflademodellen opstår der enkelte celler hvis værdi er højere end de andre. Dette kan for eksempel skyldes træer. Da hver gridcelle interpolere over 25 celler i overflademodellen, kan en enkelt høj celle i overflademodellen påvirke interpolationen, hvorved cellen får en højere værdi end det vurderes at være realistisk.



Figur 7.11: Projektområdet. Den maksimale dybde og udbredelse af oversvømmelsen skabt af ekstremregnen i 2006 simuleret med en hydrologisk reduktionsfaktor på 1,0.

På figuren kan det ses hvor i projektområdet, der kan forventes opstuvning og transport af vand på terræn under en ekstrem regnhændelse svarende til ekstremhændelsen i 2006. Det kan ses, at industriområdet, Universitetsområdet samt Tornhøjparken er udsatte områder. Derudover er området syd for Tornhøjparken, hvor der er planlagt opførelse af et Universitetshospital en risikozone, da både oversvømmelseskort, se figur 3.1, samt denne model viser, at dette områder vil oversvømme under ekstreme regnhændelser.

7.5 Scenarie

Som tidligere beskrevet udføres der et scenarie, hvor oversvømmelsen på de lokale veje, hvor kalibreringen er fundet sted, i Tornhøjparken ønskes flyttet til den nærliggende boldbane samt buskareal via en terrænændring. På figur 7.12 ses den maksimale dybde og udbredelse af oversvømmelsen simuleret med en hydrologisk reduktionsfaktor på 1,0, og denne situation ønskes forbedret. Der laves terrænændringer på vej nr. 3 og 4 for at lede vandet ud til boldbanen og buskarealet. I appendiks B kan der ses flere forslag til, hvordan terrænændringer kan udføres i urbane områder.

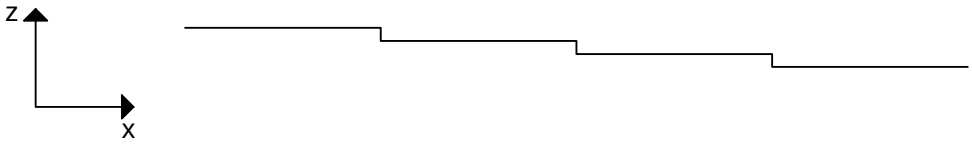
Figur 7.12: Tornhøjparken simuleret med en hydrologisk reduktionsfaktor på 1,0, hvor vejnavn samt tilstødende arealer er navngivet. Oversvømmelsen er vist for den maksimale dybde og udbredelse.

Der udføres en ændring af terrænet på den digitale overflademodel via GIS. Eftersom den digitale overflademodel er i gridstørrelsen af 1x1 meter, bliver den mindste mulige kvadrat for terrænændring også i dette størrelsesforhold. Dette sætter nogle begrænsninger, da det i nogle tilfælde kan være vanskeligt at lave terrænændringer tæt på en privat grund. Dette, samt tidsmæssige årsager, medfører, at det kun har været muligt at lave en grov terrænændring som viser, at det er muligt at flytte vand fra et sted til et andet i en afstrømningsmodel via terrænændringer.

Terrænændringen er foretaget ved at inddele vej nr. 3 og 4 i kvadrater som sænkes så terrænet går fra højere mod lavere niveau. Det ses på figur 7.13 hvilke områder der er sænket.

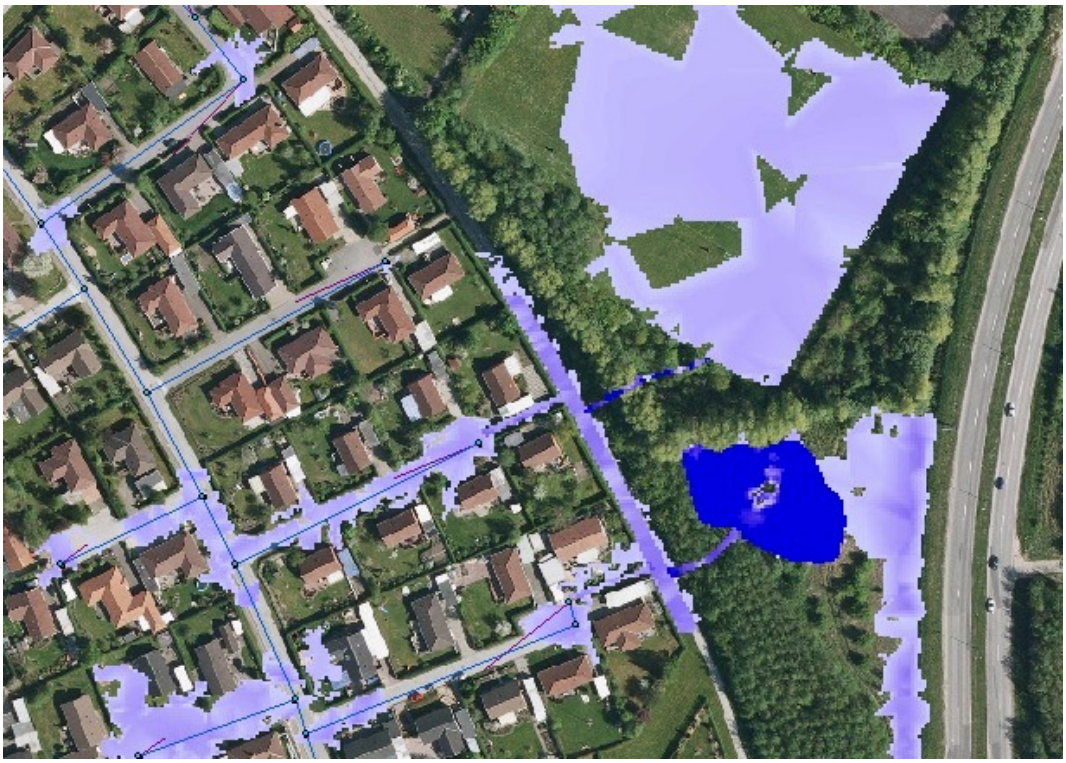
Figur 7.13: Det sænkede område i scenariet.

Fremgangsmetoden for terrænændringen er vist på figur 7.14. Figuren viser, at terrænniveauet er sænket fra et højere niveau mod et lavere ud fra et trappelignende længdeprofil. Denne fremgangsmetode er benyttet på hele strækningen fra vej nr. 3 og 4 til de tilstødende arealer, hvor oversvømmelsen transporteres til.



Figur 7.14: Metode til ændring af terræn i den digitale overflademodel vist som længdeprofil.

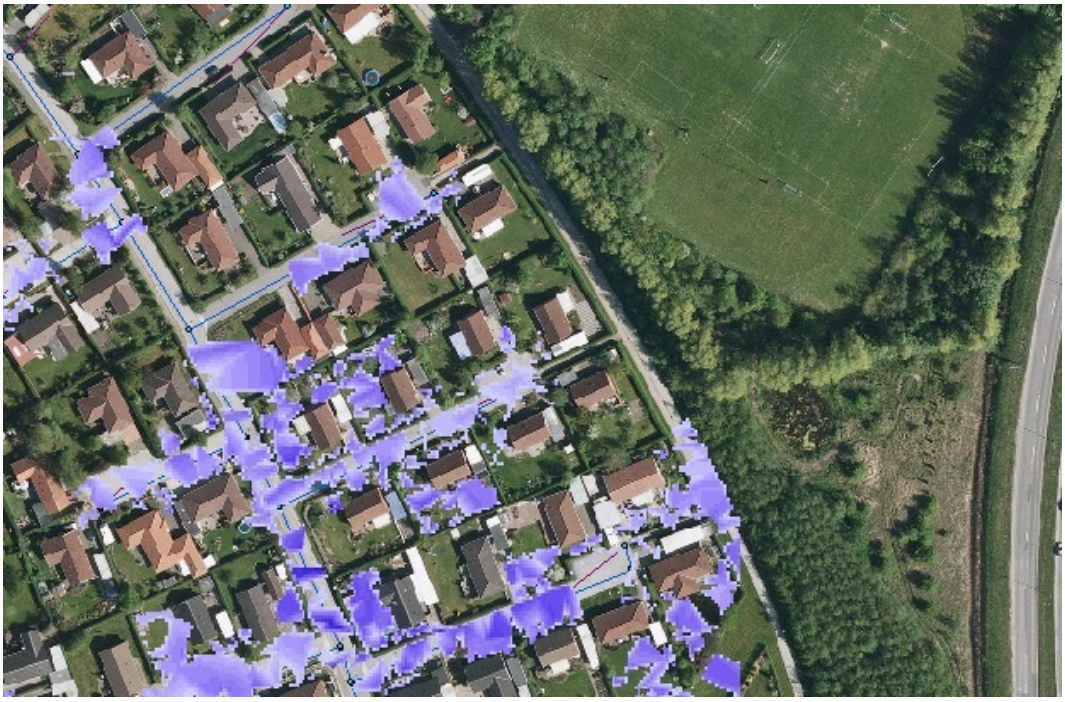
Figur 7.15 viser simuleringen med terrænændringer for den maksimale dybde og udbredelse af oversvømmelsen. Det kan ses, at der er flyttet vand fra Tornhøjparken til de omkringliggende arealer, hvor en oversvømmelse ikke gør skade.



Figur 7.15: Oversvømmelsen i Tornhøjparken simuleret med en hydrologisk reduktionsfaktor på 1,0 samt udførte terrænændringer. Oversvømmelsen er vist for den maksimale dybde og udbredelse.

På figur 7.16 og 7.17 ses situationen af simuleringen af afstrømningsmodellen ti timer efter regnhændelsen.

Figur 7.16: Ti timer efter regnhændelsen. Afstrømningsmodellen er simuleret med en hydrologisk reduktionsfaktor på 1,0 samt udførte terrænændringer.



Figur 7.17: Ti timer efter regnhændelsen. Afstrømningsmodellen er simuleret uden terrænændringer med en hydrologisk reduktionsfaktor på 1,0.

Det kan ses på figur 7.16, at der ligger vandmængder på vejene i Tornhøjparken ti timer efter regngændelsen. Enkelte områder på vej nr. 3 har en dybde på op til 70 centimeter, hvor en generel dybde er under 50 centimeter. Dette skyldes, at den digitale overflademodel kan svinge meget i højdeangivelse fra en celle til en anden. Derfor er enkelte områder blevet sænket for meget i forhold til de omkringliggende, hvilket har resulteret i, at der er dannet små lavninger. Problemet kan løses ved en finere justering af den digitale terrænmodel, men dette er af tidsmæssige årsager undladt. På vej nr. 4 er oversvømmelsen af udbredelse mindsket kraftigt i forhold til simuleringen uden terrænændringer. Sammenholdes figur 7.16 og 7.17 er der en generel tendens til, at oversvømmelsen er mindre udbredt i afstrømningsmodellen med terrænændringer. Der tænkes specielt på vej nr. 2, hvor en langt mindre udbredelse af vandmængden ses.

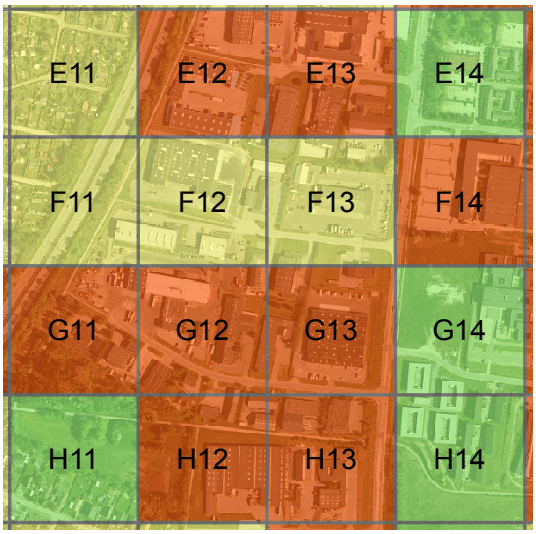
Under denne terrænændring burde der have været foretaget en fitning af overflade- og rørmodellen, da enkelte topkoter på brønde kan komme op over terrænet i og med at overflademodellen er sænket. Dette er undladt.

Af tidsmæssige årsager er der ikke udarbejdet flere løsningsforslag for projektlokaliteten.

Løsningsforslag

Der er for projektområdet udført ét løsningsforslag. Der er observeret, om der er oversvømmelser flere steder. Derfor skitseres der yderligere to forslag. Der er udvalgt to oversvømmelser udfra figur 7.11. Det besluttes derefter ud fra potentialekortet, hvor oversvømmelses kan ledes til.

På figur 7.18 ses et udsnit af potentialekortet. Udsnittet er fra industriområdet, hvor der er lokaliseret en større oversvømmelse.



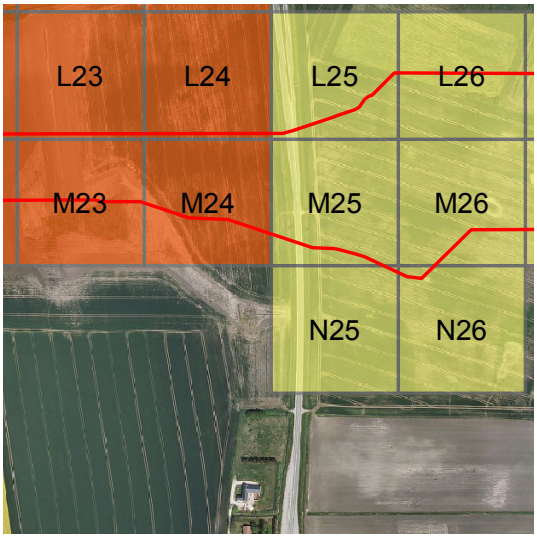
Figur 7.18: Udsnit af potentialekortet til første løsningsforslag.

I tabel 7.3 ses i hvilke celler der er lokaliseret oversvømmelse samt hvilke celler, hvor det kan anbefales at regnvandet ledes til.

Celler med oversvømmelse	E12	F12	G12	G13	H12	H13
Celler hvor vand kan ledes til	F13		G14		H14	

Tabel 7.3: Første løsningsforslag hvor regnvand ledes fra celler med oversvømmelse til andre nærtliggende celler, hvor der er potentiale for terrænændringer.

På figur 7.19 ses et udsnit af potentialekortet. Udsnittet er af området, hvor Universitetshospitalet om cirka 10 år vil ligge. Der er her lokaliseret en større oversvømmelse, hvilket kan opfattes som kritisk, da dette område på værdikortet er klassificeret som høj værdi.



Figur 7.19: Udsnit af potentialekortet til andet løsningsforslag.

I tabel 7.4 ses i hvilke celler der er lokaliseret oversvømmelse samt hvilke celler, hvor det kan anbefales at regnvandet ledes til.

Celler med oversvømmelse	M23			M24		
Celler hvor vand kan ledes til	L25	L26	M25	M26	N25	N26

Tabel 7.4: Andet løsningsforslag hvor regnvand ledes fra celler med oversvømmelse til andre nærtliggende celler, hvor der er potentiale for terrænændringer.

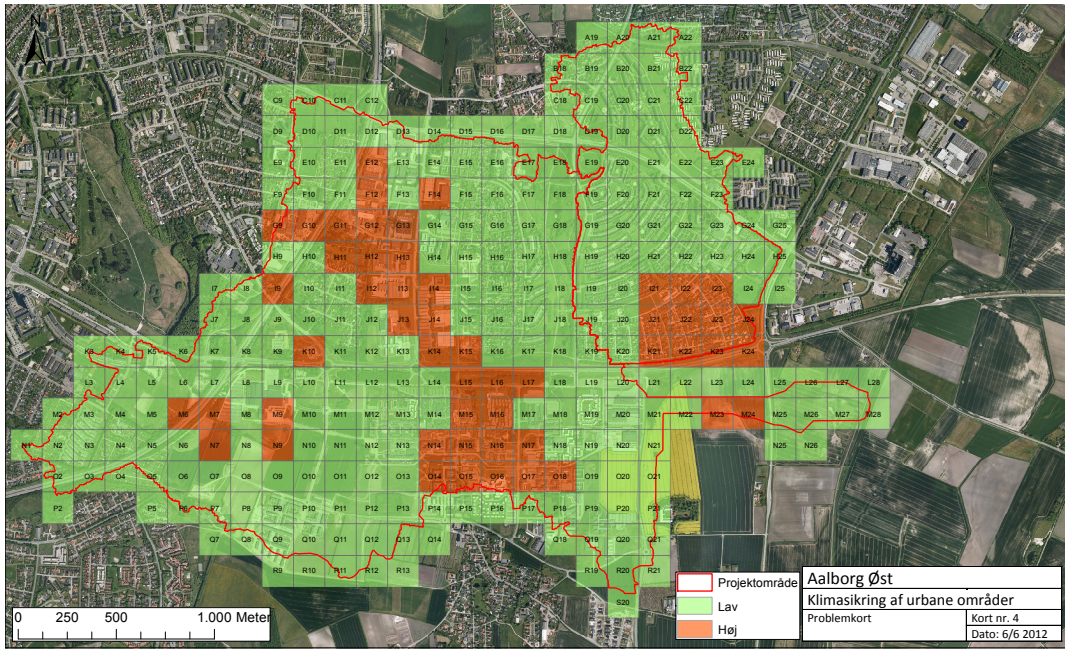
DEL IV

AFSLUTNING

8 Sammenligning

Der laves en sammenligning mellem afstrømningsmodellen og screeningsanalyserne. Der laves et problemkort, som viser oversvømmelser i projektområdet som anvendes i sammenligningen.

Problemkortet laves på baggrund af en simulering af afstrømningsmodellem, hvor opstuvninger ses. En oversvømmelses skabes når der sker opstuvning fra brønde. Jo større opstuvning, jo større oversvømmelse. Problemkortet, som kan ses på figur 8.1, er udarbejdet ud fra figur 7.11 som viser de maksimale oversvømmelser i projektområdet. Problemkortet ses i en større version på kort nr. 4 eller på bilags CD'en.



Figur 8.1: Problemkortet er udarbejdet på baggrund af en simulering af afstrømningsmodellen.

Ved klassificering af problemerne er der skelnet mellem højt eller lavt problem. Ved et højt problem skal der observeres en oversvømmelse i gridcellen. Ved klassificeringen lav er der enten ingen vand på terræn eller en mindre vandmængde, det vil sige under fem centimeter. Der er set bort fra klassifikasionen middel, som er anvendt ved tidligere sceeningsanalyser. Under simuleringen er der anvendt værdi for flood and dry på henholdsvis 0,003 og 0,002 meter, hvilket vil sige, at der vises vand på terræn fra 0,003 meter.

For at vise hvilken værdi områderne der oversvømmes har, laves der er sammenligning af problem- og værdikortet. Der laves ligeledes en sammenligning mellem problem- og potentialekortet, for at vise om potentialet i projektområdet kan udnyttes bedre.

I denne sammenligning anvendes problem- og værdikortet. Resultatet af sammenligningen ses i tabel 8.1, hvor det ses, hvordan gridcellerne i problemkortet fordeler sig i værdikortet.

	Værdikort		
Problemkort	Lav	Middel	Høj
Lav	33 %	35 %	14 %
Høj	1 %	7 %	10 %

Tabel 8.1: Den procentvise fordeling af cellerne i problemkortet når de sammenlignes med værdikortet.

Det ses i tabellen, at der er 33 % og 35 % af cellerne som i problemkortet er klassificeret som lav, men som i værdikortet, klassificeres som henholdsvis lav og middel. Derudover ses det at 10 % klassificeres om højt både i problem- og værdikortet. Disse informationer fortæller, at der hvor oversvømmelsen opstår, generelt er de steder som opfattes som høj værdi. Samt at der hvor der ikke opstår oversvømmelser er i de områder, som har den laveste værdi.

Sammenligningen mellem problem- og potentialekortet over hele projektområdet, ses i tabel 8.2. Det ses at 11 % af cellerne som er klassificeret som højt i problemkortet, og samtidig er klassificeret som lavt potentiale. Det ses også, at der er 35 % og 31 %, som på problemkortet er klassificeret som lavt, men som i potentialekortet klassificeres som henholdsvis lav og middel.

	Potentiale		
Problem	Lav	Middel	Høj
Lav	35 %	31 %	16 %
Høj	11 %	4 %	3 %

Tabel 8.2: Den procentvise fordeling af cellerne i problemkortet når de sammenlignes med potentialekortet.

Det ses i tabel 8.1 og 8.2 at der i projektområdet er et grundlag for at lave terrænændringer, for derved at lede regnvandet til områder hvor værdiklassifikationen er lav, og hvor potentialet er højt. Der bør i sammenligningen mellem problem- og potentialekortet tages hensyn til, at kun en lille procentdel af projektområdet er klassificeret som højt potentiale.

Sammenlignes problem- med kildekortet er der en tendens til, at der hvor der er observeret oversvømmelser, er i de samme områder som på kildekortet. Der observeres en oversvømmelse i industrikvarteret og Universitetsområde. På kildekortet er de samme områder klassificeret som en høj kilde til oversvømmelse. På kildekortet klassificeres Næssundvej og Bundgårdsparken som høj kilde, mens det er Tornhøjparken som oversvømmes. Dette skyldes med stor sandsynlighed, at Tornhøjparken er lokaliseret syd for Næssundvej og Bundgårdsparken, og samtidig er et lavpunkt i projektområdet.

9 Diskussion

Screeningsanalyse

Når screeningsanalyserne udarbejdes kan der opstå spørgsmål for, hvordan screeningen udarbejdes bedst, og hvad den bedste løsning er. Dette vil blive diskuteret i det følgende.

I dette projektområde er der valgt en gridstørrelse på 160x160 meter på screeningskortene. Dette er ikke nødvendigvis den korrekte gridstørrelse til andre projektområder. I dette projektområdet er der flere typer anvendelsesmuligheder, som ofte kan klassificeres forskelligt. Derfor bør gridcellerne ikke være større end de anvendte. Dette kan nemlig skabe en konflikt i klassificeringen af en gridcelle. Det kan være en mulighed at anvende mindre gridceller, men dette havde blot givet en finere klassificering. Anvendelsen af meget små celler kan ikke anbefales, da dette vil betyde, at hvert enkelte bygning i projektområdet bliver klassificeres hver for sig.

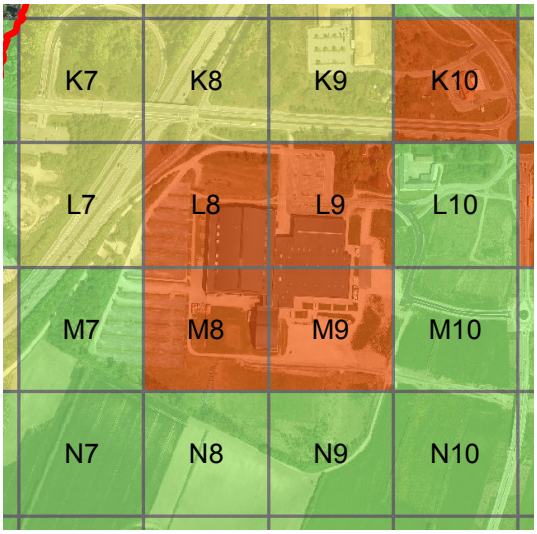
Til hver screening blev der anvendt tre klassifikationer. Dette blev gjort for at overskueliggøre klassifikationen af hver gridcelle. Ved et projektområde der er større end Aalborg Øst, kan der med fordel anvendes flere klassifikationer. Eventuelt kan der i screeningen for værdi anvendes en økonomisk værdisat klassifikation.

I screeningen for værdi er der opstået flere spørgsmål, eftersom der til udarbejdelsen af denne rapport ikke har været tilknyttet personer med den nødvendige viden om økonomiske og samfundsmæssige værdier. Værdikortet bør derfor ses som et udkast til, hvordan et sådan kort kan udarbejdes.

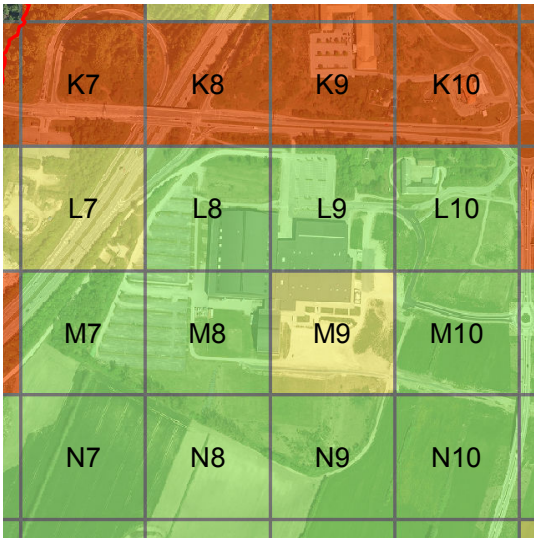
Det har vist sig at være en vanskelig proces at inddele værdikortet i tre klassifikationer. Boliger og motorvejen er klassificeret som middel værdi. Det kan godt diskuteres, hvorvidt disse kan ligestilles. Det kan også vurderes, om en bolig har en højere værdi end motorvejen. Tages der højde for personlig værdi, kan en oversvømmelse i kælderen medføre et stort personligt tab for den enkelte familie. Hvis motorvejen eller andre veje oversvømmes er det stadig muligt for bilister at vælge en anden rute. Der kan opstå spørgsmål om, hvorvidt dette kan skabe kølignende tilstande og forsinkelser, som kan forårsage økonomisk tab for personer samt virksomheder. I dette tilfælde bør der tages hensyn til, at der under ekstremregn højst sandsynligt alligevel vil opstå forsinkelser, da kølignende situationer kan opstå, da hastigheden i trafikken har en tendens til at falde.

På værdikortet er industri samt placeringen af det kommende Universitetshospital klassificeret som høj værdi. Selvom det først er planlagt, at Universitetshospital skal stå færdigt i år 2020, er der valgt at tage højde for dets placering [Region Nordjylland, 2012]. Dette skyldes, at nogle terrænændringer kan være omfattende, og derfor bør der tages hensyn til fremtidige planer i området. I kildekortet tages der ikke hensyn til det kommende Universitetshospital. Dette kan være en fejlkilde, da der burde tages hensyn til forandringer i projektområdet, men da det ikke har været muligt at opnå tilstrækkelig kendskab til kildegrundlaget fra Universitetshospital er dette undladt.

På potentialekortet er der taget hensyn til værdikortet, ved at områder med høj værdi ikke bør oversvømmes. Der er områder på værdikortet som klassificeret til høj værdi, mens det samme område har højt potentiale på potentialekortet. Dette ses ved sammenligning af figur 9.1 og 9.2 som viser området hvor Gigantium ligger i henholdsvis værdi- og potentialekortet.



Figur 9.1: Udklip af værdikort over Gigantium.



Figur 9.2: Udklip af potentialekort over Gigantium.

Grunden til disse klassificeringer skyldes, at Gigantium vurderes at have både samfundsmæssig og økonomisk værdi, hvilket betyder, at bygningen bør beskyttes for oversvømmelse. Rundt om Gigantium ligger der store parkeringspladser, som under en ekstremregn ikke tage stor skade af en mindre oversvømmelse.

Afstrømningsmodel

Afstrømningsmodellen er baseret på en lokal regnhændelse, da det har muliggjort en form for kalibrering af modellen. Dermed er der valgt en hydrologisk reduktionsfaktor som afspejler virkeligheden. Yderligere beregninger burde foretages med statistiske regnhændelser for at analysere modellen ud fra en given gentagelsesperiode, hvor CDS-regn burde benyttes. Dermed muliggør dette en forudsigelse af, hvilken gentagelsesperiode den udarbejdede terrænændring kan benyttes til. Dette kunne principielt også gøres med en historisk regnserie.

Det vurderes, at den valgte regnhændelse fra 2006 er repræsentativ til klimasikring, set i statistisk sammenhæng, da hændelsen har en gentagelsesperiode på omkring 100 år. For at føre klimasikringen helt ud, burde der have været taget højde for klimafremskrivning af regnhændelsen, men dette er af tidsmæssige årsager ikke udført. Skulle det have været gjort, burde regnhændelsen, via tabel 2.2, multipliceres med 1,4 under en klimafremskrivning.

Under udarbejdelsen af afstrømningsmodellen er der foretaget en fitning af overflademodellen og afløbsmodellen. Denne fitning har været nødvendig, da der har været for stor niveauforskel mellem angivet dækselniveau i afløbsmodellen og terrænniveau i overflademodellen. Uden denne fitning har det ikke været muligt at få den ønskede vandmængde på terræn i afstrømningsmodellen. Fitningen vurderes at gøre modellen overestimeret i forhold til vand på terræn, da det har været nødvendigt at sænke nogle af dækselkoterne, for at få topkoten på enkelte brønde ned på terrænniveau med overflademodellen. Da der af tidsmæssige årsager ikke har været muligt at lave løsningsforslag for hele projektområdet, vurderes denne fitning ikke at spille en stor rolle i forhold til at bevise, at det er muligt at flytte vand fra et udsat område til en mindre udsat område i afstrømningsmodellen. Dette ses i det udarbejdede scenarie for Tornhøjparken. Fitningen sætter derfor et stort spørgsmål omkring hvor realistisk den angivende oversvømmelse er. Derfor kan det udarbejdet scenarie kun bruges til at vise en fremgangsmetode til hvordan terrænændringer kan afværge oversvømmelser i urbane områder.

Det kan diskuteres, om den udførte terrænændring er for grov, men udarbejdelse af en finere terrænmodel har af tidsmæssige årsager ikke været mulig. Skal der i fremtiden gøres brug af denne metode, kan det stærkt anbefales at udarbejde en finere terrænmodel. Foruden dette problem bør der tages højde for underføringer i form af viadukter. Hvis disse problemstillinger tages op, burde modellen vise et meget realistisk billede af, hvordan en ekstremhændelse vil påvirke projektområdet. Der optræder ikke viadukter i området Tornhøjparken, som afstrømningsmodellen kalibreres ud fra, så derfor burde kalibreringen antages at være valid taget fitningen i betragtning. Valg af gridstørrelse har også betydning for modellens præcision. Jo mindre cellestørrelse i afløbsmodellen jo mere præcis vil strømninger og bevægelsesveje på terrænet blive. Vælges der et fint grid i størrelsen 1x1 meter, bliver beregningstiden meget stor, alt afhængigt af valgt simuleringsareal. Derfor kan det kun anbefales, at benyttet et grid på 1x1 meter under fine detailprojekteringer, hvor et grid i størrelsen 2-5 meter kan benyttes til større områder. Jo større en gridstørrelse der vælges, jo større et areal bliver hvert grid interpoleret over. Det betyder, at hvis der benyttes en digital overflademodel på 1x1 meter og afstrømningsmodellen simuleres over et grid på 5x5 meter, vil for eksempel et træ i overflademodellen med en bredde på 1 meter og en højde på 14

meter blive taget med i betragtningen af interpolationen over gridcellen til afstrømningsmodellen. Dermed kan den modellerede celle få en større værdi end området i virkeligheden har. Dette kan begrænse strømninger og bevægelsesveje i afstrømningsmodellen i forhold til virkeligheden.

Det kan diskuteres, om det udvalgte projektområdet er for stort i forhold til at vise det ønskede resultat, som gerne skulle bunde ud i en afværgelse af oversvømmelse af værdifulde områder og privat ejendomme via terrænændringer. Erfaringen viser, at det er en tung proces at udarbejde en afstrømningsmodel i et fint grid over et større område, så derfor kan det kun anbefales af bruge denne metode til mindre detailløsninger. Skal der ses på terrænændringer for et større område, som dette projektområde vurderes at være, skal de enkelte problematiske områder først lokaliseres, og der skal for de enkelte områder udarbejdes et separat løsningsforsalg. Processen hvor de problematiske områder lokaliseres er fuldført i dette projekt, men udarbejdelsen af valide løsningsforslag for hele projektområdet er ikke fuldført af tidsmæssige årsager. Der er kun vist, at det er muligt at udarbejde en afstrømningsmodel, der via terrænændringer kan afværge oversvømmelser fra et urbant område.

Det kan diskuteres om terrænændringer er den perfekte løsning til klimasikring af urbane områder. Ud fra erfaringer fra dette projekt vurderes det, at det er muligt at bruge terrænet til at afværge oversvømmelser af urbane områder, når der ses på mindre detailopgaver.

10 Konklusion

I projektet "Model for klimasikring af urbane områder" er problemstillingen, om hvorvidt der kan findes en metode for håndtering af overfladevandet i et urbant område under og efter en ekstremregn belyst. Der er udvalgt et projektområde i Aalborg Øst, hvor der i 2006 opstod store oversvømmelser på baggrund af et skybrud. Der er igennem projektet lavet en række analyser, hvor først projektområdets struktur analyseres. Formålet med analyserne er at finde elementer i projektområdet, som kan nedsætte muligheden for at klimasikre via terrænændringer. Der er enkelte områder, såsom beskyttet natur eller forurenet områder, men ikke i en sådan grad at det er ødelæggende for projektet. Der udarbejdes en række screeningsanalyser; kildeanalyse, værdianalyse og potentialeanalyse. Formålet med disse er at vise de muligheder, som der findes i projektområdet, og dermed komme til en løsning, hvor regnvand ledes til områder som opfattes økonomisk og samfundsmæssig lav i værdi, og samtidig har et potentiale for terrænændringer. Det vurderes, at det er en god måde at analysere et projektområde på, og at der kommer nogle vigtige betragtninger og spørgsmål frem under analysen. Dette viser sig specielt i værdikortet. Værdikortet er blot et udkast til, hvordan et sådan kort kan udføres, men det viser stadig, at der er områder, som kan have en så høj samfundsmæssig og økonomisk værdi, at en kraftig oversvømmelse kan være kostelig. Disse analyser bidrager med et overblik over hele projektområdet, og det kan konkluderes, at de er anvendelige til løsningsprocessen.

Der laves en afstrømningsmodel for projektområdet, hvor ekstremregnhændelsen fra 2006 er anvendt som regnhændelse til modellen. Afstrømningsmodellen er en kobling mellem en hydrodynamisk afløbsmodel i 1D og en overflademodel i 2D. Det er lykkes at komme frem til et resultat, hvor der skabes oversvømmelser i projektområdet, ved at anvende en reduktions faktor på 1,0. Disse oversvømmelser er tildels sammenlignelige med hændelsen i 2006, dog er det et dårligt sammenligningsgrundlag, hvilket kan medføre, at modellen ikke simulere helt korrekt. Det har været nødvendigt at fitte modellen, for at simulerer tilstrækkelige store oversvømmelser. Det har været nødvendigt, da der opleves højdeforskel mellem overflade- og rørmodellen. Det har ikke været muligt at afdække grunden til denne forskel.

Der laves et løsningsforslag i Tornhøjparken. Dette er et mindre boligområde i projektområdet. I løsningsforslaget sænkes terrænet på to vejstrækninger. Dette medfører, at opstuvet regnvand strømmer ud på en nærtliggende sti. Herfra er der lavet terrænændringer ud mod en boldbane og et buskareal. Sammenlignes simuleringer før og efter terrænændringerne, kan det konkluderes, at det er muligt at transporterer regnvandet til andre og mere passende områder, såsom en boldbane. Det viser sig, at på grund af udsving i overflademodellen opstår der ophobninger af regnvandet. Derfor skal terrænændringer laves meget detaljeret, eventuelt ved at ændre i hvert gridcelle i overflademodellen.

Der laves et problemkort ud fra resultaterne fra afstrømningsmodellen. Ved at sammenligne dette kort med screeningsanalyserne, kan det konkluderes, at der i 10 % af cellerne i problemkortet er en oversvømmelse i en celle, som på værdikortet er klassificeret som høj

værdi, og derfor bør beskyttes mod oversvømmelse. Ligeledes er der 33 % og 35 % som i værdikortet er klassificeret som henholdsvis lav og middel værdi, hvor der ingen oversvømmelse observeres. Det konkluderes ud fra sammenligningen mellem problem- og potentialekortet, at det er muligt at forbedre dette, da der er 35 % og 31 % celler i potentialekortet som klassificeres som henholdsvis lav og middel, hvor der ikke er observeret oversvømmelse. Det ses altså, at der er muligheder for at regnvandet kan transporteres til andre områder via terrænet.

Gennem projektet er det erfaret, at projektområdet er for stort i forhold til mulighederne for at simulere afstrømningsmodellen i et fint grid. Den gennemarbejdede metode for dette projekt ligger op til terrænændringer i hele projektområdet. Dette begrænses af modelleringsmetoden, da de mest præcise resultater opnås ved en gridstørrelse på 1x1 meter. Dette er kun muligt at anvende på detailområder, da beregningstiden ellers bliver for tung. Dette er medvirkende til, at løsningsforslaget er simuleret over et mindre område med 1 meter grid. Da der anvendes 5x5 meter grid ved en simulering over hele projektområdet, vil udsving i overfaldemodellen medføre, at regnvandet kan ophobes i enkelte celler. Det konkluderes derfor at projektområdet har været for stort til at lave flere løsningsforslag, da disse løsningsforslag skal være udført meget detaljeret for at være realistiske.

Litteratur

Aalborg Forsyning, Kloak A/S (2009). *Vision 2100 - samt udviklingsplan frem til år 2025*. http://www.klimatilpasning.dk/Documents/vision_2100[1].pdf.

Aalborg Kommune (2006). *Kommuneplanrammer for Øst Aalborg*. http://aakwww.aalborgkommune.dk/Kommuneplan/Kommuneplanrammer/Oest+Aalborg/default.htm.

Aalborg Kommune (2011). *Klimastrategi - Tilpasning 2012-2015*. http://www.aalborgkommune.dk/Politik/kommunens-politikker/Documents/Klimatilpasning-vedtaget.pdf.

Aalborg Universitets institut 20 (2012). *Geodatabiblioteket*. http://www.geodatabiblioteket.dk/index.php?option=content&task=view&id=101&Itemid=52.

ArcGIS (2012). ArcGIS 10 Help.

Bax Lindhardt (2011). *København vågner op til store vandskader*. http://www.sn.dk/Koebenhavn-vaagner-op-til-store-vandskader/Danmark/artikel/138441.

COWI (2012). Oversvømmelseskort.

Danmarks Miljøportal (2012). *Data om miljøet i Danmark*. http://kort.arealinfo.dk/.

DANVA (2012). *Klimatilpasning kræver lovændringer*. http://www.danva.dk/Default.aspx?ID=3174&TokenExist=no.

DMI (2011a). *Flere ekstreme regnskyl og storme*. http://www.dmi.dk/dmi/index/klima/temaer/nyt_tema__fremtidens_vilde_vejr.htm.

DMI (2011b). *Klima*. http://www.dmi.dk/dmi/index/klima.htm.

DMI (2011c). *Vejret i Danmark - sommer 2011*. http://www.dmi.dk/dmi/index/danmark/maanedens_vejr_-_oversigt/vejret_i_danmark_-_sommeren_2011.htm.

DMI (2012). *Varsler om farligt vejr i Danmark*. http://www.dmi.dk/dmi/varsel_beskrivelse.

Envidan (2012). MOUSE filer.

Forsyningsvirksomhederne (2012). *Spildevandsplan 2008 - 2019*. http://www.forsyning.dk/forsyningsportal/akk/spvplan2008/kort/R18_sonder-tranders_auc.pdf.

Houghton, J., Ding, Y., Griggs, D., Noguer, M., van der Linden, P., Dai, X., Maskell, K. og Johnson, C. (2001). Climatechange 2001: The scientific basis. Rapport.

IDAmiljø (2012). Blå-grønne løsninger til håndtering af regnvand i byer. Rapport.

Kulturarv (2012). *Fund og fortidsminder*. http://www.kulturarv.dk/fundogfortidsminder/Lokalitet/23180/.

Lars Termansen (2008). *Et værn mod monsterregn*. http://www.nordjyske.dk/artikel/10/5/28/2928774/3/l%E6s-artikel.

Paludan, B., Nielsen, N. H., Jensen, N. N., brink Kjær, A., jens Jørgen Linde og Mark, O. (2011). *En kogebog for analyser af klimaændringers effekter på oversvømmelser i byer*. Nr. ISBN: 978-87-92651-04-4 i Version 2. Danva.

PH-CONCULT (2012). *WinRegn - redigering af regndata*. http://www.phc.dk/software.asp?Subject=Software&Language=dk&SoftwareName=winregn_software.

Region Nordjylland (2012). *Nyt Aalborg Universitetshospital*. http://www.rn.dk/SundhedOgSygehuse/Sygehuse/NytUniversitetssygehus/.

Ritzau (2011). Skybrud over nordjylland.

Spildevandskomiteen (2005). Skrift nr 27 funktionspraksis for afløbssystmer under regn. Rapport.

Spildevandskomiteen (2008). *Skrift 28 regional cds-regneark*. http://ida.dk/netvaerk/fagtekniskenetvaerk/energimiljooguland/spildevandskomiteen/Sider/spildevandskomiteen.aspx.

Spildevandskomiteen (2008). Skrift nr 29 forventede ændringer i ekstremregn som følge af klimaændringer. Rapport.

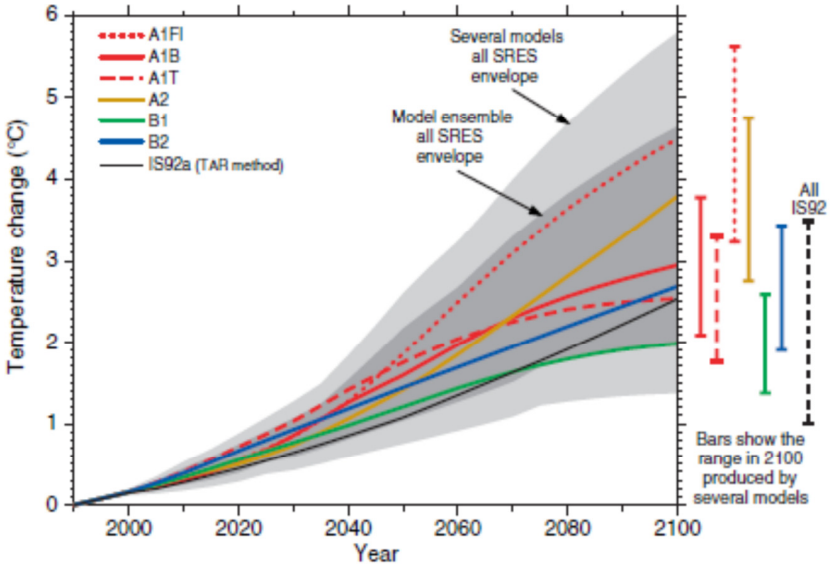
Winther, L., Linde, J. J., Jensen, H. T., Mathiasen, L. L. og Johansen, N. B. (2006). *Afløbsteknik*. Polyteknisk Forlag. ISBN: 87-502-0975-2.

DEL V

APPENDIKS

A Klima scenarier

IPCC har opstillet en række klimascenarier. Disse klimascenarier er en forestilling af hvordan fremtiden kan udvikles. Klimascenarierne der udkom i år 2000 har fire hovedgrupper, A1, A2, B1 og B2. Der findes også et femte scenarie EU2C som også er udviklet af IPCC. Disse fem scenarier beskrives i det efterfølgende. I Danmark anvendes fire klimascenarier, A2, B2, EU2C og A1B. Disse er fremskrevet til år 2100 af DMI. På figur A.1 ses temperaturen fremskrevet til år 2100 for scenarierne. Det ses at inden for de første 50 år er alle scenarierne sammenfaldende.



Figur A.1: Fremskrivningen af temperaturen fra klimascenarier udviklet af IPCC. [Houghton et al., 2001]

De fire scenarier kan alle inddeles i underscenarier, som ses beskrevet i det følgende.

A1-scenarierne resulterer i en høj økonomisk vækst samt en meget forskellig udvikling i udslippet af drivhusgasser, vurderet ud fra hvilket scenariet der anvendes. Scenarierne er karakteriseret ved lav befolkningsvækst. Samtidig forudsættes det at effektiv teknologi hurtigt introduceres. A1-scenarierne kan inddeles i tre grupper, hvor der skelnes i teknologisk udvikling af energisystemet. I A1AI-scenariet anvendes fossile brandstoffer, i A1T-scenariet anvendes ikke fossile energikilder. Ved brug af A1B-scenariet anvendes der en ligevægt mellem alle energikilder.

A2-scenarierne viser en økonomisk udvikling som primært fungerer på regionalt plan. Udviklingen i teknologi er langsom, og der forudsættes en høj befolkningstilvækst. A2-scenarierne resulterer i en mindre økonomisk vækst end A1-scenarierne, hvor drivhusgasudslippet ikke er mindre.

B1-scenarierne forudsætter, at verden er præget af globalisering. Der er høj økonomisk

vækst og teknologisk udvikling. Det forudsættes at forbruget bliver mindre ressourceintensivt samt at ny teknologi udvikles i en miljøvenlig retning. Dette forudsætter en høj økonomisk vækst med en lille miljøbelastning.

B2-scenarierne forudsætter en verden, hvor der lægges vægt på lokale løsninger. Disse løsninger er økonomisk, socialt og miljømæssigt bæredygtige. Den økonomiske vækst er lavere end i B1-scenarierne. Sammenlignes befolkningsvæksten fra B2-scenarierne med A2, stiger denne med en lavere takt i B2. Det forudsættes at der i B2-scenarierne sker et mindre drivhusgasudslip end i A1- og A2-scenarierne. Udslippet vil være højere end i B1.

EU2C beskriver en verden hvor der samarbejdes om aftaler og teknologiske løsninger i et internationalt samfund. Scenariet svarer til EU's målsætning fra 2005. Målet er at ændre adfærd, inden den globale temperaturstigning stiger mere end 2 °C i forhold til det førindustrielle niveau. [DMI, 2011b] [Paludan et al., 2011]

B Tiltag for terrænændringer

Der er flere muligheder for, hvordan et byområde kan sikres mod oversvømmelser. I denne rapport henvises der til løsningsforlag som relaterer til terrænændringer, for dermed at styre regnvandet på terrænet mod arealer hvor en oversvømmelse ikke skaber skade. Generelt vil der være to løsningsmuligheder, som hver kan udføres på flere måder.

- Lokal løsning: Oversvømmelsen fra en opstuvning mindskes ved at terrænet på stedet ændres så vandet ledes til et mere passede sted.
- Fjern løsning: Oversvømmelsen fra en opstuvning mindskes ved at regnvand andet steds i det topografiske opland holdes tilbage fra rørsystemet i en periode.

Løsningsmuligheder

I det efterfølgende ses beskrivelser og billeder af mulige løsningsforslag. [IDAmiljø, 2012]

Når vand opstuver til terræn, vil det i langt de fleste tilfælde opleves, at opstuvningerne starter på vejen, da det er her kloakdækslerne er placeret. Herefter bredes vandet. Der skal anvendes løsninger som forhindrer, at vandet kommer til uønskede områder for eksempel matriklen. Dette kan blandt andet gøres ved at hæve kantstene og fortove. Derved skal der en større opstuvning til, før vandet strømmer ind over kantstenen. En sådan løsning kan eventuelt kombineres med højbede og små trapper, så det ikke forhindrer anvendelsesmulighederne for borgerne.

Når terrænet skal ændres, ved en lokal løsning, kan en mulighed være at anvende hele vejbanen. Dette kan gøres ved at sænke terrænet mod det sted hvor vandet ønskes transporteret til. Hvis det ikke synes nødvendigt at ændre på hele vejes terræn, kan en rande til regnvandet anvendes. Et eksempel på dette ses på figur B.1.

Figur B.1: En nedsænket rande i terrænet. [IDAmiljø, 2012]

Hvis det foretrækkes at lede regnvandet væk via terrænet, kan det ledes mod grønne arealer. Dette kan være arealer mellem boligområder, som det ses på figur B.2, eller sportspladser.

Figur B.2: Græsareal mellem boliger velegnet til mindre oversvømmelse. [IDAmiljø, 2012]

Når der skal laves løsninger, hvor regnvandet skal fjernes fra boligområder eller vejstrækninger, anvendes ofte grønne løsninger for at gøre områderne mere rekreative. Eksempler på dette ses på figur B.3 og B.4.

Figur B.3: Grønt areal i vejkanten. [IDAmiljø, 2012]

Figur B.4 viser, at der findes løsninger som hele året rundt er opsigtvækkende, også selvom det ikke regner. Denne løsning inddrager dele af vejbanen til bede og grønne arealer. Disse bør blot være anlagt på en måde så regnvandet ledes dertil, og kan opbevare vandmængder samt lede vandet væk i tilfælde af ekstremregn.

Figur B.4: På denne vej er der anlagt grønne bede, som er nedsunket. [IDAmiljø, 2012]

Hvis der er muligheder for at ændre i terrænet andre steder i oplandet, så det har betydning for mængden af opstuvede vand, kan det gøres ved at tilbageholde vand, så hastigheden hvorved vandet afstrømmer til afløbsnette bliver mindre. En løsningsmulighed er at tilbageholde regnvandet på større pladser, hvor der ses muligheder for at en oversvømmelse ikke kan gøre skade. Dette kan lade sig gøre ved at anvende vandbremser i afløbsnettet. Det kan eventuel kombineres ved at sænke terrænet på det udvalgte areal.