

The background of the entire page is a dark teal color. It is covered with numerous short, white, diagonal lines representing falling rain. Scattered throughout are several white line-art illustrations of leaves in various shapes and sizes, some appearing to be falling. In the lower portion of the image, the tops of several umbrellas are visible, drawn with simple black outlines. One umbrella in the foreground is white, while others behind it are dark. The overall style is minimalist and illustrative.

Byggemodning i Alstrup

Vand & Miljø – Bachelorprojekt – Jonas Press Nielsen – Julie Lisa Magnusen



AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet

Institut for Byggeri og Anlæg

Sofiendalsvej 9-11

9200 Aalborg SV

Telefon: 99 40 84 84

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

Titel: Byggemodning i Alstrup

Tema: Lokal afledning af regnvand

Projektperiode: 21. nov. 2014 til 30. jan. 2015

Projektgruppe: 2P-27

Deltagere:

Jonas Press Nielsen

Julie Lisa Magnusen

Vejleder:

Thomas Ruby Bentzen

Virksomhedskontakt:

Kurt Goul Andersen

Henrik Brødsgaard Pedersen

Oplagstal: 4

Sidetæl: 81

Bilagsantal: 10

Afsluttet den: 30-01-2014

Synopsis:

Denne rapport tager udgangspunkt i byggemodningen af Alstrup nordvest for Holstebro. Holstebro Kommune ønsker at det nye byområde kan håndtere regnvandet lokalt og på terræn således at regnvandet anvendes rekreativt. Samtidigt ønskes vejvand ikke blandet med det øvrige vand fra grunde og grønne arealer. Derfor undersøges det hvordan et system der både tager højde for afvanding af vejene og afvanding af boliggrundene kan etableres. Desuden anvendes der bassiner til at tilbageholde vand før udledning til den nærliggende Ellebæk og nedslivningsbassiner til nedslivning af tagvand.

Ud fra en terrænanalyse vurderes hvorledes åbne vejkanaler og grøfter kan anlægges, således det nuværende terræn udnyttes optimalt. Der er ud fra denne analyse foretaget få ændringer i arealanvendelse ift. lokalplanen for at forbedre afvandingssystemet. Til dimensionering af kanaler og grøfter anvendes den rationelle metode, og regnhændelser med 5 års gentagelsesperiode op til 100 års gentagelsesperiode for regnbede.

For at vurdere om det dimensionerede system har tilstrækkelige kapacitet, bliver det modelleret i Mike Urban. Her bliver det gjort klart, at flere kanaler skal reguleres for at få gentagelsesperioden for vand på terræn, til at stemme overens med kriteriet herfor.

Rapportens indhold er frit tilgængeligt, men offentliggørelse (med kildeangivelse) må kun ske efter aftale med forfatterne.

Forord

Følgende rapport er et afgangsprøjsprojekt udarbejdet af Jonas Press Nielsen og Julie Lisa Magnussen på diplomingeniøruddannelsen 7. semester, vand og miljø fra Aalborg Universitet. Projektet skrives i samarbejde med COWI A/S og tager udgangspunkt i byudviklingen i Holstebro Kommune. Projektets hovedtema er Lokal Afledning af Regnvand (LAR) og omhandler byggemodning i et område nordvest for Holstebro ved Alstrup.

Der rettes tak til vores vejleder, Thomas Ruby Bentzen, og virksomhedskontakter, Kurt Goul Andersen og Henrik Brødsgaard Pedersen, for at muliggøre projektet ved vejledning, hjælp og støtte. Herudover skal Holstebro Kommune og Vestforsyning også modtage stor tak for at støtte projektet og samarbejdet og for at bidrage med materiale. Projektet er udarbejdet i perioden d. 21. oktober 2014 til d. 30. januar 2015.

Det skal noteres, at selvom der på nuværende tidspunkt, af Holstebro Kommune, er udarbejdet grundlæggende planer og materiale, tillader projektgruppen at forholde sig kritisk hertil. Der vil derfor optræde forslag til ændringer af nuværende planer, hvis det er vurderet fra projektgruppens side at muliggøre en mere optimal løsning.

Der vil i projektet blive anvendt programmerne Excel, AutoCAD, ArcGIS og Mike Urban. Disse programmer er blevet anvendt til analyse af terræn, dimensionering af afløbssystem samt simulering og udarbejdelse af tegningsmateriale. Desuden er der anvendt diverse nonkommercielle internetsider til udarbejdelse af kortmateriale. Der er her tale om siderne: Danmarks Miljøportal, GEUS og Kortforsyningen.

Summary

This paper is based on a land development in Alstrup, northwest of Holstebro. The paper describes how to drain off rainwater locally and in open channels, where road- and roof water are separated. It is requested by Holstebro municipality to separate road- and roof water due the pollution in road water. Therefore, it is examined how a system that takes both the drainage of roads and drainage of propriety into account can be established. There will, furthermore, be established basins to delay the water before it is discharged to a nearby stream called Ellebæk and other basins for percolation of roof water.

The first part of the paper is a terrain analysis which is based on an analysis of the existing conditions in Alstrup. The terrain analysis is used to assess where the water will end up naturally and where it will make sense to place road channels, ditches and basins. To improve the drainage system, there are made a few changes in the land use compared to the municipality's district plan.

The Rational method and Colebrook & White are used for the detailed project engineering of the drainage system. To make sure the depth of the road channels does not become deeper than 50 cm, which is a safety precaution, the depth is fixed in the computations. To make the maintenance of the ditches easier, the bottom width of the ditch must be at least 30 cm. Therefore the bottom width is fixed in these computations.

Finally the DHI program, Mike Urban, will be used to verify the designed drainage system. This will be fulfilled by simulating the surface runoff and pipeflow. Three kinds of storm water loads will be used; boxrain with different intensity, CDS rain and historical rain from Holstebro and Herning. Based on the results of these simulations, the system will be regulated until the criterion of the return period has been reached.

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	1
1.1	Holstebro	1
1.2	Alstrup	2
1.3	Problemformulering	4
1.4	Afgrænsning	4
2	Screening af Alstrup	5
2.1	Topografi	5
2.2	Geologi og grundvandsspejl	6
3	Analyse af terræn	10
3.1	Fastlægsselse af grøfter	12
3.1.1	Boligområde A1	13
3.2	Fastlægsselse af vejkanaler	14
4	Beskrivelse af anlæg	16
4.1	Tagvand	16
4.2	Vejvand	18
5	Detailprojektering af anlæg	22
5.1	Koter	23
5.2	Dimensionsgivende regn	24
5.3	Afløbskoefficient	25
5.4	Beregningsmetode	25
5.4.1	Kanaler og grøfter	25
5.4.2	Bassiner	27
6	Afledningssystem for vejvand	28
6.1	Specifikke funktionskrav	28
6.2	Dimensionering af en vejkanal	29
6.3	Volumen af et bassin	31
6.4	Resultater for vejvandssystem	32
7	Afledningssystem for tagvand	33
7.1	Specifikke funktionskrav	33
7.2	Dimensionering af en grøft	33
7.3	Bassinvolumen for et fællesareal	36
7.4	Resultater for tagvandssystem	37
8	Modellering i Mike Urban	40

8.1	Forudsætninger	40
8.2	Afgrænsninger	40
9	CDS- og kasseregn på system	42
9.1	Regn	43
9.2	Resultater	44
9.2.1	Kanaler og grøfter	44
9.2.2	Bassiner og fællesarealer	48
9.3	Delkonklusion	49
10	Historisk regn på systemet	51
10.1	Regnserier	51
10.2	Resultater	52
10.3	Delkonklusion	53
11	Diskussion	55
12	Konklusion	57
13	Perspektivering	58
14	Litteraturliste	60
A	Afvanding af boligområderne	
B	Afledning af regnvand	
C	Resultater af historisk regnserier	

Kapitel 1

Indledning

I takt med aktuelle klimaændringer vil Danmark i fremtiden formentlig opleve mere intense regnhændelser, som det eksisterende afløbssystem ikke kan håndtere. Det vurderes, at skybrud vil kunne opleves oftere, og at de nuværende dimensionsgivende regnhændelser bliver hyppigere, hvilket er grunden til, at der indgår klimafaktorer ved dimensionering i dag. Langvarige regnhændelser og skybrud, som det, der ramte København den 2. juli 2011 eller Nordjylland den 16. oktober 2014, er eksempler på, hvor galt det kan gå, når store mængder vand ikke følger det forløb, som det er tiltænkt. I det første eksempel skyldtes det, at afløbssystemet ikke havde tilstrækkelig kapacitet til at aflede de store vandmængder, og i det andet eksempel skyldtes det, at et nærliggende vandløb løb over grundet mange dages regn. [Olesen, 2011] [Hansen, 2014].

I 2009 blev et lovforslag om "vurdering og håndtering af risiko for oversvømmelse" implementeret i dansk lovgivning. Dette lovforslag forpligter Danmark, eller nærmere de enkelte kommuner til at lave materiale, som beskriver risikoen for oversvømmelser. Dette får nu kommunerne i landet til at overveje nye måder at håndtere regnvandet, således at det ikke belaster det eksisterende afløbssystem. Lokal Afledning af Regnvand (LAR) er en af disse metoder, der har til formål at håndtere regnvand hvor det falder. [Holstebro Kommune, 2011]

Måderne, hvorpå regnvand kan håndteres, hvor det falder, er mange. Alt fra grønne tage til regnbede, rekreative kanaler og bassiner, er tiltag, der lige nu eksperimenteres med. Dette med henblik på dels at mindske risikoen for oversvømmelser men også for at genanvende regnvand rekreativt. Desuden har det en økonomiske gevinst, at rørdimensioner kan gøres mindre.

At håndtere regnvandet lokalt er en metode, som Holstebro Kommune er interesseret i at anvende. Dette skyldes en kombination af konsekvenserne af ovennævnte klimaændringer og den udvikling, der er i kommunen lige nu. I byen Holstebro er LAR-løsninger højaktuel, da byen er i udvikling i flere retninger. Det er især i de nye byområder, hvor der fra kommunens side er et ønske om, at klimasikre grundejerne ved at aflede regnvandet på utraditionel vis. Et af ønskerne er at føre regnvand i åbne kanaler, hvor det enten kan fordampe eller nedsive og samtidig sørge for, at vejvand og vand fra grundene ikke bliver blandet. Dette skyldes, at vejvand indeholder forurenende stoffer, der stammer fra bilernes dæk, bremses og brændstof. Vejvandet ledes til de større bassiner for, at de forurenende stoffer bundfæles, før vandet ledes ud i Ellebæk.

1.1 Holstebro

Holstebro Kommune er en kommune i vækst både befolknings- og erhvervsmæssigt. Kommunen forventer at bygge 150 boliger om året i perioden 2013-2025, som samlet set betyder 1800 nye boliger. [Holstebro Kommune, 2013a] De nye boliger forventes fordelt på tre større udviklingsområder, herunder

Alstrup mod nordvest, som dette projekt omhandler. Der forventes 25-35 nye boliger om året i Alstrup, hvor det samlede antal nye boliger er 220. [Holstebro Kommune, 2014]

I forbindelse med at kommunen vokser i alle retninger, er anlæggelsen af Holstebromotorvejen vedtaget og forventes indviet i efteråret 2018. [Holstebro Kommune, 2013b] I forlængelse af denne og i forbindelse med det nye boligområde Alstrup, forventes Nordre Ringvej at forlænges mere mod vest. Se figur 1.1 for illustration af linjeføring af den nye motorvej og forlængelse af Nordre Ringvej samt det nye boligområde Alstrup. [Holstebro Kommune, 2013d] Den fremtidige infrastruktur vil komme til at gavne områder som Alstrup, da den vil øge fremkommeligheden i området.



Figur 1.1: Linjeføring for den nye motorvej samt fremtidig udbygning af Nordre Ringvej mod vest. [Holstebro Kommune, 2013c]

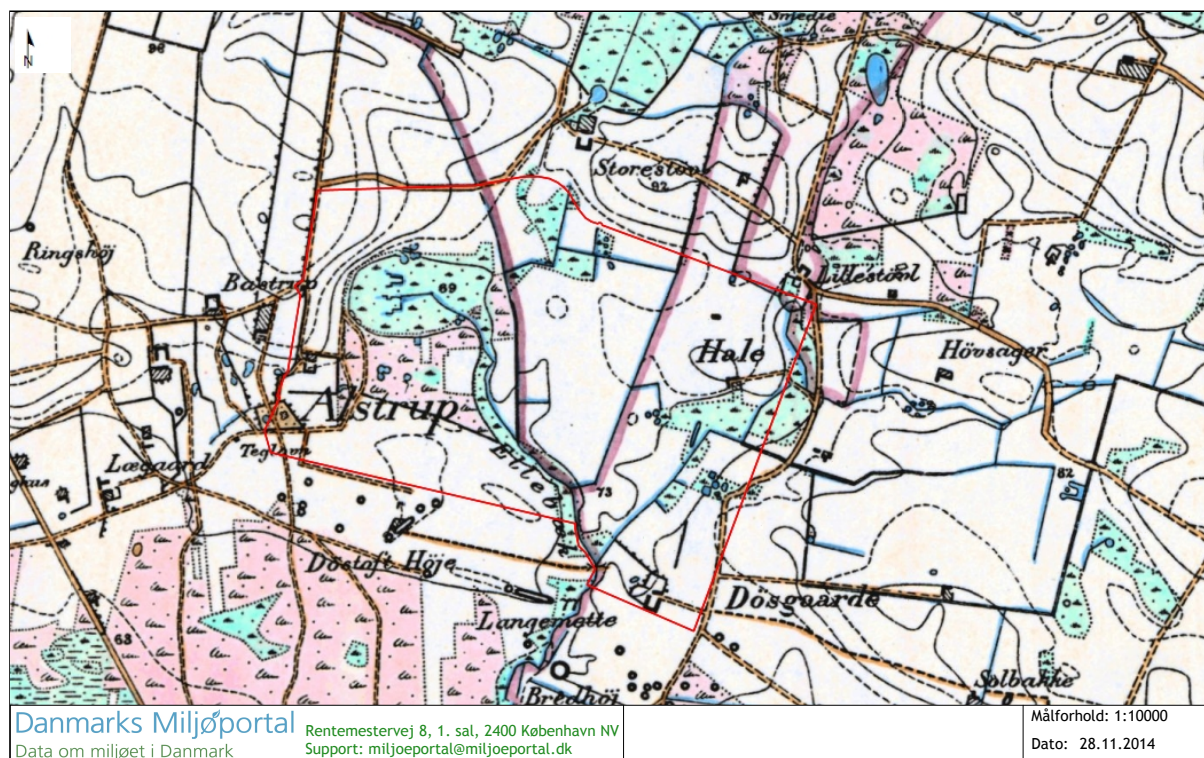
1.2 Alstrup

Lokalplanområdet er på ca. 78 ha, hvoraf 51 ha skal anvendes til en ny sø, offentlige grønne områder, regnvandssøer, idrætsformål og et lokalcenter. Dette giver ca. 27 ha til boligbebyggelse, som er illustreret på figur 1.2 (s. 3), hvor arealanvendelsen også er angivet. Som det er illustreret på figur 1.3 (s. 3), kan det ses, at der tidligere har været vandhuller og små søer i området, hvor kommunen ønsker den store sø udgravet. Der har været tørvegravning i området, som skabte disse vandhuller og småsøer. Senere er arealet blevet opfyldt igen, så jorden kunne dyrkes.

Som tidligere beskrevet ønsker Holstebro Kommune at håndtere regnvandet på terræn, hvilket gør dette til et vigtigt element i projekteringen af området. Regnvand fra grunde vil blive håndteret på boliggrundene og i de grønne fællesområder, hvorfra det transporteres i f.eks. grøfter og render til byområdets grønne arealer. Dette giver mulighed for fordampning, nedsivning og forsinkelse under transporten. Det regnvand, der falder på vejene, vil derimod blive transporteret til de forskellige nedsivningsbassiner via kanaler langs vejene.



Figur 1.2: Arealanvendelse af Alstrup samt markering af Etape 1.



Figur 1.3: Historisk kort over området. Det fremtidige Alstrup er markeret med rødt. [Danmarks Miljøportal, 2014]

Dette projekt tager udgangspunkt i første etape af byggemodningen i Alstrup, som er delområdet øst for Ellebæk, der er markeret som Etape 1 på figur 1.2 (s. 3). Dette består af to områder. Et til parcelhuse (A1 og A2) og et til rækkehuse (B1). Desuden er der et fællesareal (C), der kan anvendes som regnvandsbassin.

Gældende for område A1 og A2 er, at bebyggelsesprocenten maksimalt må være 35 %, og for område B1 må denne maksimalt være på 45 %. Regnvand fra tage og terrasser skal ledes til nedsivning enten på egen grund eller til nedsivningsbassiner på fællesarealerne, og disse må maksimalt udgøre 50 % af grundens samlede areal. [Holstebro Kommune, 2014]

1.3 Problemformulering

Projektet omhandler lokal afledning af regnvand i et fremtidigt boligområde i Holstebro Kommune. Her er det valgt at gå i dybden med dimensionering af afvandingssystemet af den del af byggemodningen, som vil blive påbegyndt først. Projektets fokusområde er de fremtidige kanaler, der skal håndtere regnvandet fra grunde og veje, samt de bassiner, der skal bruges til magasinering af vandet. Regnvandskanalerne i dette område vil i første omgang blive detailprojekteret med henblik på at vurdere de regnmængder, som disse og de grønne arealer skal håndtere. Desuden vil kanalerne til vejvandet blive detailprojekteret med henblik på at vurdere størrelsen af bassinerne. Dette gøres på baggrund af en terrænanalyse hvis formål er, at give et overblik over vandets nuværende forløb. Grundet topografien bliver det nødvendigt at lede regnvand over Ellebæk. Følgende spørgsmål forsøges besvaret:

- Hvordan forløber vandet i det eksisterende terræn?
- Hvordan kan et holdbart afvandingssystem for vejvand dimensioneres med kanaler langs vejene?
- Hvordan ledes vandet fra grundene mest hensigtsmæssigt til de grønne arealer, således at mest vand nedsiver undervejs?
- Hvordan påvirkes afvandingssystemet af henholdsvis kasseregn og historiske regnserier?
- I hvilket omfang er det muligt at anvende vejbanerne som kanaler ved opstuvning?
- I tilfælde af overløb hvor og hvordan kan dette vand udledes?
- Hvordan kan regnvand ledes over Ellebæk?

1.4 Afgrænsning

I projektet afgrænses der fra størstedelen af byggemodningen med henblik på at gå i dybden med et mindre område. Ved større regnhændelser antages det, at de ekstra mængder vand, der falder uden for området også bliver håndteret uden for området, således at Ellebæk ikke modtager store mængder vand, der påvirker afledningen af vand i Alstrup. Desuden antages det, at regnvandet fra boldbanerne ikke påvirker det valgte område, da det enten nedsives lokalt eller ledes udenom området.

Kapitel 2

Screening af Alstrup

I følgende kapitel beskrives topografien, geologien og grundvandspotentialet i det valgte område. Dette anvendes senere til udarbejdelse af en terrænmodel og vurdering af relevante beregningsværdier.

2.1 Topografi

Terrænet i området er overvejende kuperet og stiger mod nord. Mulige grundejere beliggende i den nordvestlige del af området kan forvente op mod flere meters fald på egen grund jf. figur 2.1. I det nordvestlige hjørne af området er terrænkote kote 31, og denne falder ned til den drænedes sø, hvor terrænkote er omkring kote 21.

I de andre retninger er området hovedsagligt fladt, men fælles er, at der er fald mod den drænedes sø, som det er planlagt at skulle genetableres. I Etape 1 er topkote kote 24. Områdets højeste punkt befinder sig relativt midt i området, hvilket betyder, at noget af regnvandet i området skal ledes til et bassin mod nordøst, mens det resterende skal krydse Ellebæk og udledes i det bassin, der ligger nord for natursøen.

Topografien vil blive reguleret mindst muligt i området og er betinget af de eksisterende boliger.

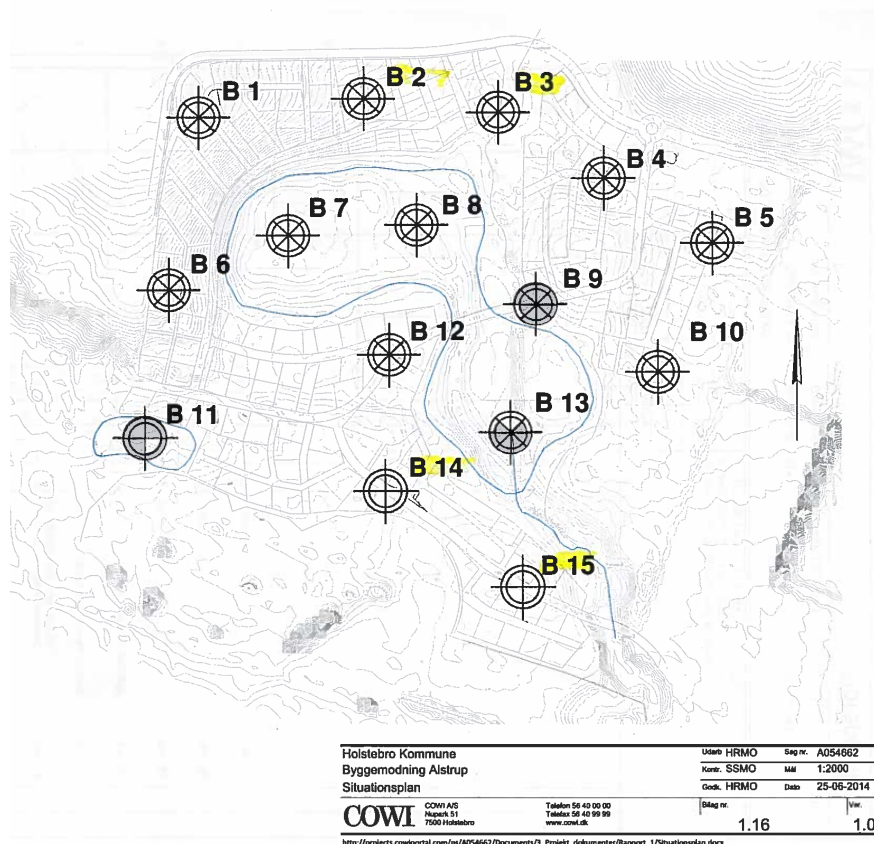


Figur 2.1: Topografisk kort med 0,5 m højdekurver.

Ifølge den geotekniske undersøgelsesrapport kan vejene etableres på de jordlag, der er under afrømningsniveau, AFRN. AFRN ligger mellem 40 cm og 60 cm under eksisterende terræn. Det kan vise sig nødvendigt med afgravning eller påfyldning af sand alt efter hvilken kote og med hvilket fald, de forskellige veje skal have. [COWI A/S, 2014]

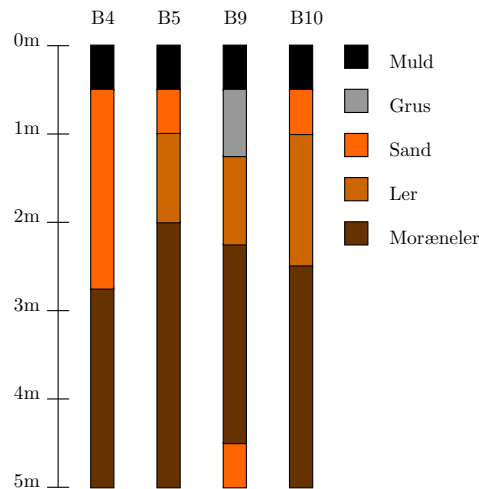
2.2 Geologi og grundvandsspejl

COWI A/S har udarbejdet en geoteknisk undersøgelsesrapport for Holstebro Kommune, hvor der i alt er foretaget 15 boringer, B1-B15, i området d. 6. maj 2014. På figur 2.2 er boringernes placering illustreret. Boringerne B4, B5, B9 og B10 ligger alle indenfor det i projektet valgte område og disse boringer er derfor særlig interessante.



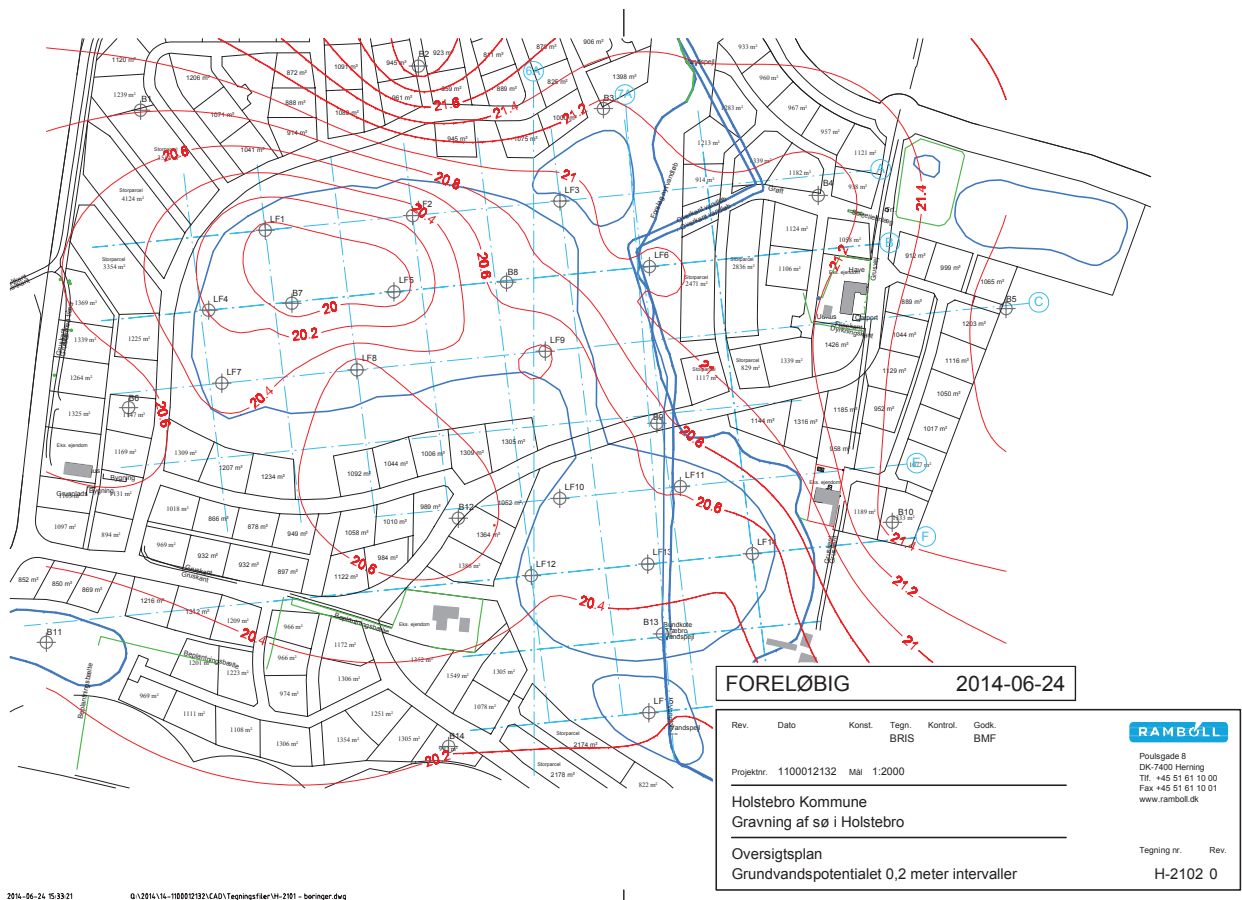
Figur 2.2: Oversigtskort over boringernes placering fra den geotekniske undersøgelse. [COWI A/S, 2014]

Fælles for boringerne i Etape 1 er, at der i de øverste 0,3 m er fundet muldholdigt overjord. I B9 er der fundet aflejringer i form af sand og leret grus fra ca. 0,5 m til ca. 1,8 m under terræn. I de tre øvrige boringer indenfor det valgte område er der under overjorden senglaciale aflejringer i form af sand og ler til en dybde på mellem 1,9 m til 2,7 m. I de fire boringer er der fra omkring 2,0 m og til boringens bund glaciale aflejringer i form af moræneler og sand. På figur 2.3 (s. 7) er en simplificeret udgave af de fire boreprofiler, der er i Etape 1.



Figur 2.3: Boreprofiler for B4, B5, B9 og B10.

Det konstateres i den geotekniske undersøgelsesrapport, at der i den nordøstlige del af området er mulighed for nedsivning på trods af den lerede jord, og at der i den sydlige del af området ved boring B11, B14 og B15 er god mulighed for nedsivning. Dette skyldes hovedsageligt, at undergrunden i den sydlige del af området, i overvejende grad består af friktionsjord. [COWI A/S, 2014]



Figur 2.4: Grundvandspotential for Alstrup. [Rambøll A/S, 2014]

I forbindelse med forundersøgelserne af området har Holstebro Kommune bedt Rambøll A/S om at foretage undersøgelser af grundvandsforholdene. Rambøll A/S udførte i alt 30 borer og 5 målinger af vandspejlet i Ellebæk, hvorefter de oprettede 14 støttepunkter i Ellebæk. I borerne blev grundvandsspejlet pejlet og på baggrund af disse data udarbejdede Rambøll A/S et potentiale kort over området. Dette er illustreret på figur 2.4 (s. 7)

Målingerne er foretaget indenfor relativ kort tid, hvilket giver et øjebliksbillede af grundvandspotentialet i området. Målingerne er foretaget i juni 2014, og der kan derfor forventes et højere grundvandsspejl i efterårsmånederne. Grundvandsspejlet ligger højest i den nordøstlige del af Alstrup, hvor grundvandsspejlet er omkring kote 21. Terrænkoten i området ligger mellem kote 22-24, hvilket stemmer overens med pejlingerne fra den geotekniske undersøgelsesrapport, hvor grundvandet ligger 1-3 m under terræn jf. tabel 2.1.

Boring	Dato	Pejling [mut]
B4	6. maj 2014	1,1
	4. juni 2014	1,4
B5	6. maj 2014	3,1
	4. juni 2014	1,7
B9	6. maj 2014	1,8
	4. juni 2014	2,1
B10	6. maj 2014	> 5,0
	4. juni 2014	1,5

Tabel 2.1: Pejlingsdata for boring B4, B5, B9, B10.

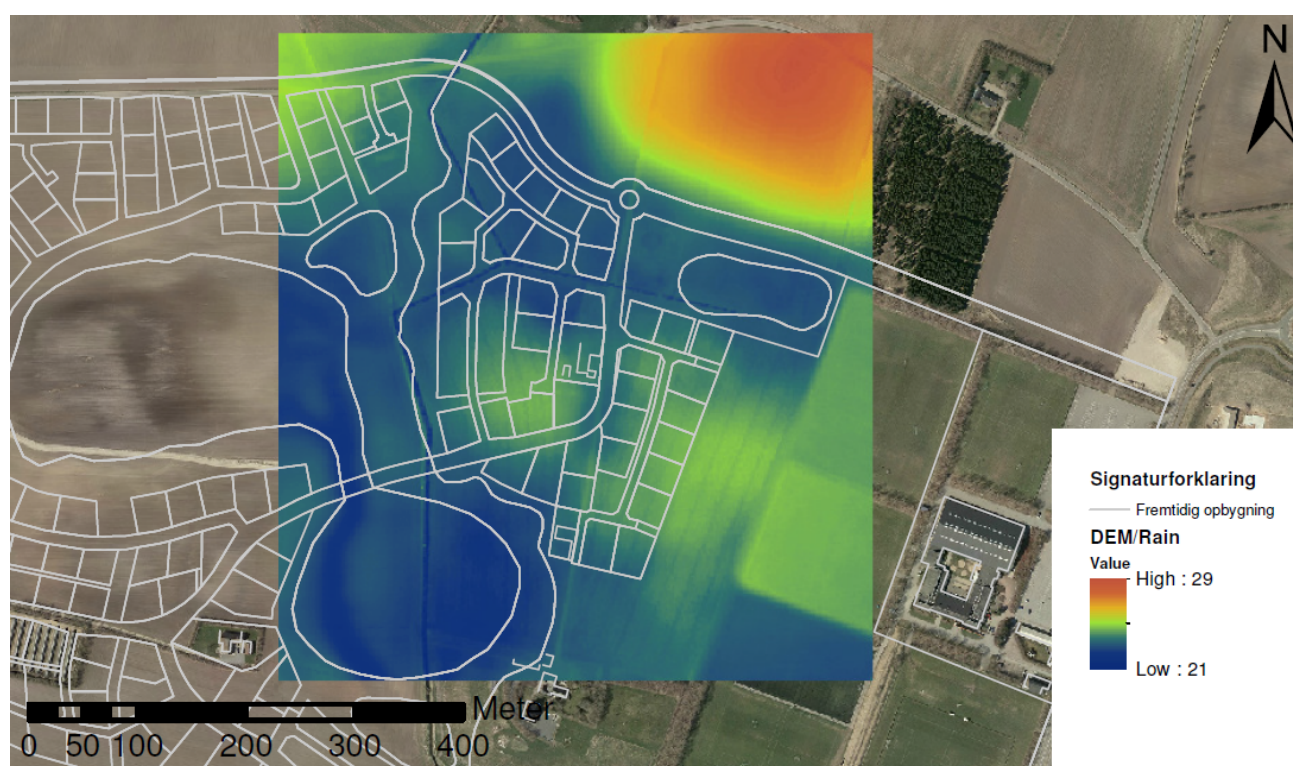
Det vurderes ud fra den geotekniske undersøgelsesrapport og grundvandspotentialet, at det ikke er muligt at lave større nedsivningsbassiner i området. Hermed menes større bassiner, som vil modtage store mængder vand, ligger lavt og er dybe. Det vurderes at mindre nedsivningsbassiner godt vil kunne etableres hvis disse ligger højt og har lille dybde.

Skitseprojektering

Kapitel 3

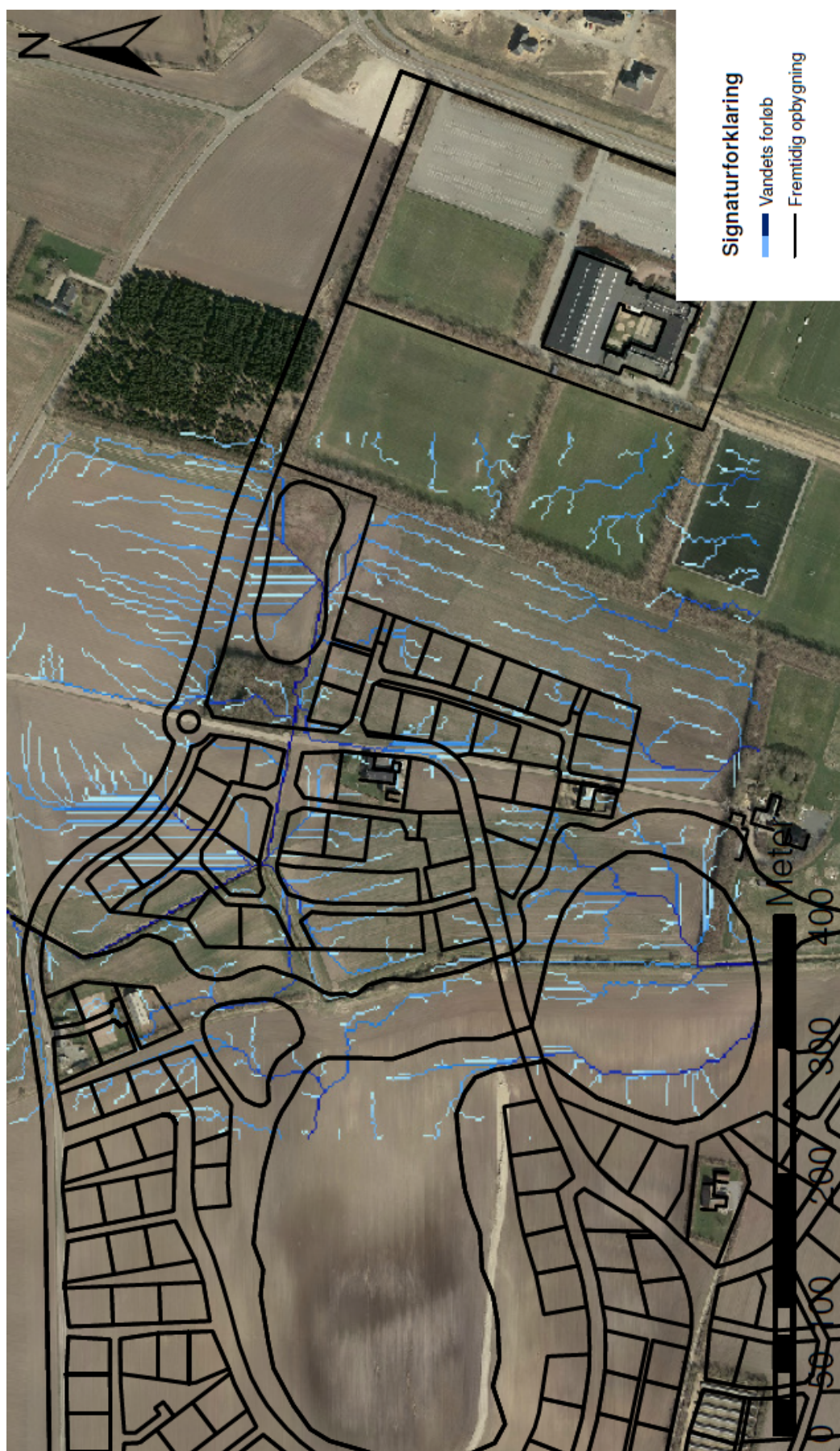
Analyse af terræn

Formålet med en terrænmodel er at vurdere, hvordan de fremtidige kanaler skal placeres, således at terrænet udnyttes bedst muligt. Med terrænmodel menes der en model, der visuelt beskriver strømmingen på overfladevand. Som nævnt tidligere er det fra kommunens side et ønske at adskille vejvand fra boligvand. Dette betyder, at der vil forløbe to slags kanaler i byområdet. Den ene slags vil blive etableret langs vejene, hvor det vil opsamle vejvandet, der efterfølgende ledes til de hertil designede bassiner. Den anden slags vil bestå af skiftevis grøfter og mindre bassiner på de omkringliggende grønne fællesarealer.



Figur 3.1: Højdemodel over Etape 1.

Til grundlag for terrænmodellen anvendes DHyM/RAIN som højdemodel, der er hentet på Geodatastyrelsen, Miljøministeriet [2014]. Modellen er korrigeret mht. bygninger og veje, hvilket der dog ikke er noget af i det betragtede område endnu. Højdemodellen beskriver terrænet, hvilket betyder, at alt udover terræn er fjernet (træer, biler, bygninger etc.). Dette gør det muligt at visualisere vandets forløb i terrænet ved at benytte sig af GIS-programmet ArcMap. På figur 3.1 er højdemodellen illustreret. Denne model udsættes for kommandoen "Fill" i ArcMap, som gør, at de lavninger der er i terrænet bliver fyldte. Det fyldte er de celler uden nogen lavere omkringliggende celler. Dette gør, at "raster layeret" bliver udjævnet, og modellen vil indeholde mindre "støj". "Støj" vil gøre modellen ubrugelig.

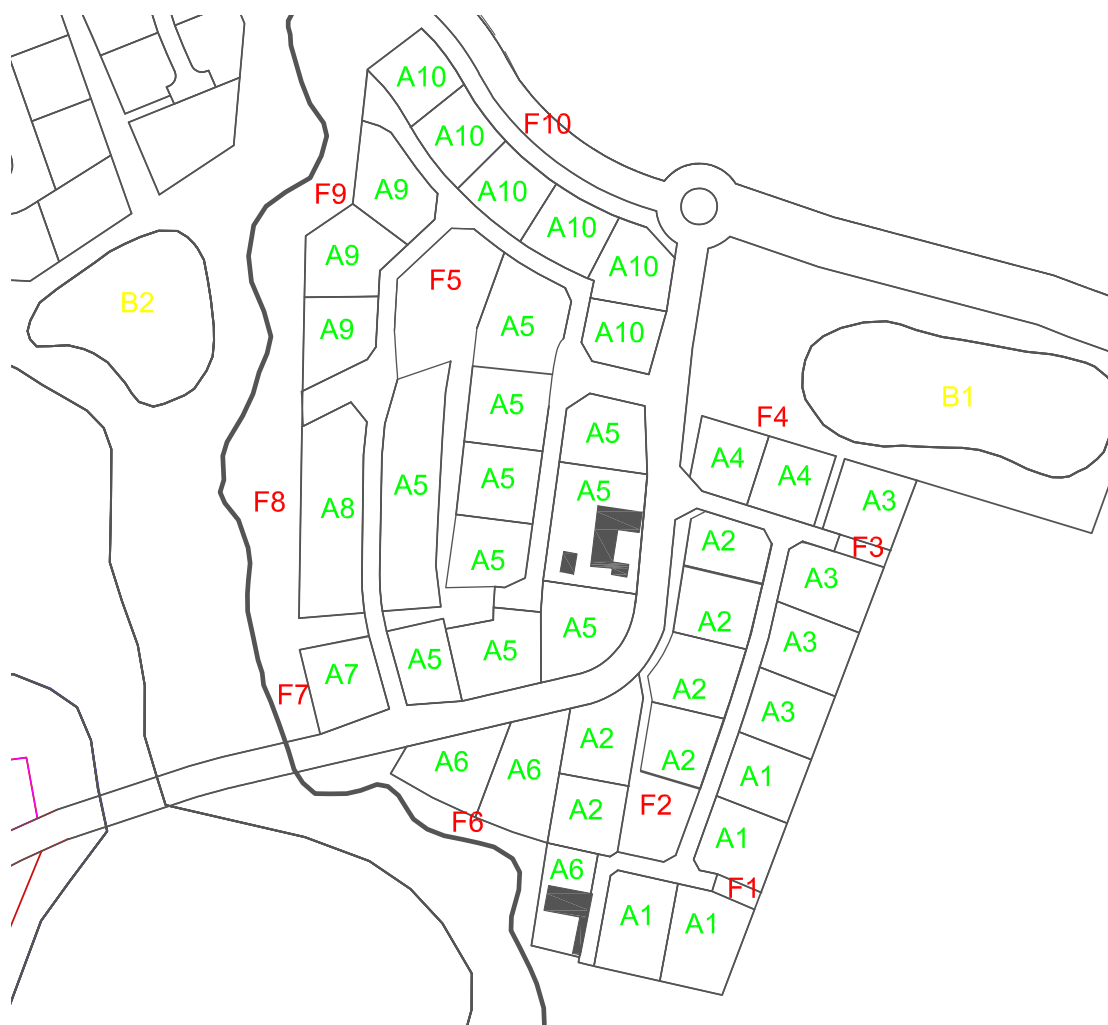


Figur 3.2: Afstrømningen i det eksisterende terræn.

Det fyldte lag udsættes for værktøjet "Flow Direction", som tildeler alle celler en talværdi alt efter, hvilken retning den enkelte celle hælder. Hvis en celle er lavere end sine naboceller, får den tildelt samme talværdi som den laveste af sine naboceller. Med informationen om hver celles hældning og værktøjet "Flow Accumulation" er det muligt, at få ArcMap til at lave en model, der viser, hvor vandet vil samles under en regnhændelse. "Flow Accumulation" gør det, at de celler, som der ikke er andre celler, der hælder imod (topceller), bliver tildelt et 0 (nul). Celler, der ligger lavere (har en eller flere celler som hælder mod sig), får tildelt værdier svarende til antallet af celler opstrøms. På figur 3.2 (s. 11) er de akkumulerede celler illustreret. Vandet løber fra det lyseblå mod det mørkeblå, således at jo mørkere farven bliver, jo mere vand løber der. Det skal noteres, at det er valgt at vise et lavere interval for mængderne for at overskueliggøre afstrømningen.

3.1 Fastlægsselse af grøfter

Ud fra terrænanalysen vurderes fordelingen af regnvand og dets forløb i Etape 1, hvor det på forhånd er fastlagt, at vej- og boligvand skal adskilles og håndteres separat. På figur 3.3 er navngivningen af bassiner, fællesarealer og boliger illustreret. Der er foretaget to ændringer i området ift. lokalplanen, hvor den ene er i boligområde A2 og den anden i boligområde A5.



Figur 3.3: Navngivning af projektområdet, Etape 1, herunder bassiner, fællesarealer og boliggrunde.

I boligområde A2 er de fire sammenhængende boliggrunde placeret langs den østlige vej, således at grøften er bag boliggrundene og ikke ved boliggrundenes indkørsel. Dette vurderes ud fra det eksisterende terræn at være mere hensigtsmæssigt, da vandet naturligt vil løbe mod nordvest på disse grunde, og derfor vil regnvandet naturligt løbe i grøften bag boliggrundene ved denne ændring. Samtidigt er det ikke nødvendigt at rørlægge grøften på mindre strækninger for at etablere indkørsler til boliggrundene.

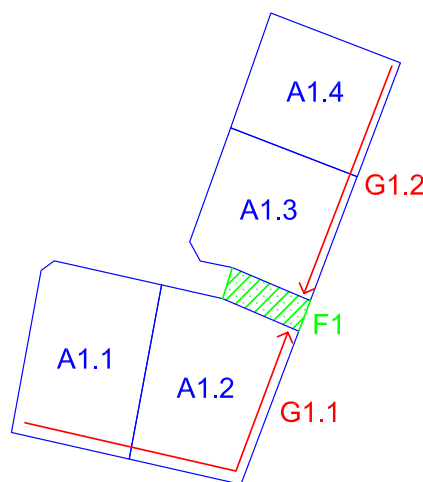
I boligområdet A5 er der planlagt i lokalplanen et fællesareal på en mindre bakketop. Dette gør det mindre anvendeligt som bassin men mere attraktivt som boliggrund. I samme boligområde er der placeret en boliggrund i en dal, hvor regnvandet i dag samles naturligt. I dette projekt vil denne boliggrund blive placeret på det planlagte fællesareal på bakketoppen, og den planlagte boliggrund vil blive anvendt som nedsivningsbassin.

Der er, som tidligere nævnt, to områder i Etape 1 til regnvandsbassiner, som i dette projekt navngives B1 og B2. I skitseprojekteringen beskrives konceptet for de to bassiner.

Fællesarealerne, som anvendes til nedsivning og midlertidige bassiner, er navngivet F1-F10. Boliggrundene er navngivet efter, hvilket fællesareal de udleder regnvand til. Boliger, som udleder til fællesareal F1, navngives A1. Grøfterne fra boliggrund til fællesareal navngives på samme måde, således at bolig A1 udleder til fællesareal F1 via grøft G1.

3.1.1 Boligområde A1

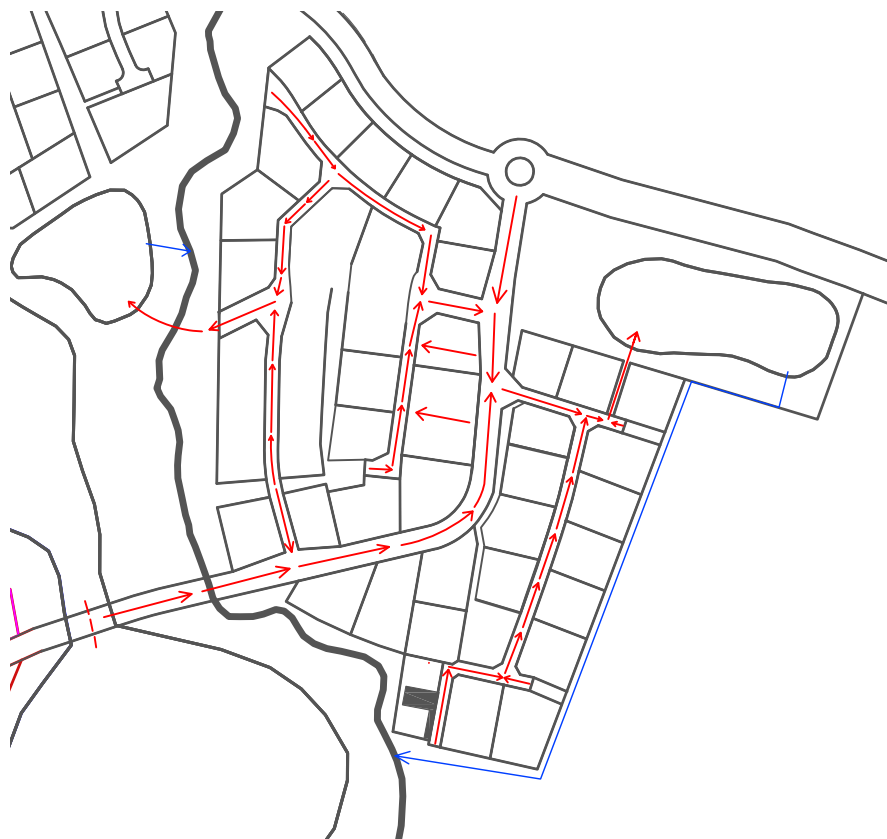
Boligområde A1 omfatter fire boliger, to grøfter og et fællesareal jf. figur 3.4. Bolig A1.1 og A1.2 udleder til grøften G1.1, som udleder til fællesareal F1. Ligeledes udleder grøft G1.2 regnvand fra boligerne A1.3 og A1.4 til fællesareal F1, der anvendes som tørbassin. Se bilag A (s. 62) for illustration af de resterende boligområder.



Figur 3.4: Skitsetegning af afvanding fra boligområde A2.

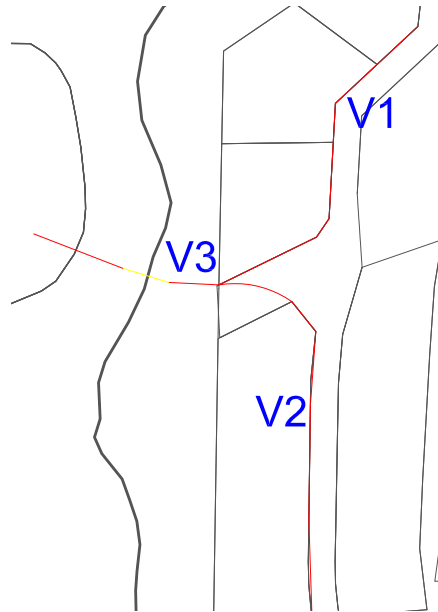
3.2 Fastlægsselse af vejkanaler

Ud fra det nuværende terræn er det blevet vurderet, hvordan kanaler kan anlægges og transportere vejvand fra Etape 1 og videre til bassin B1 og B2. På figur 3.5 er det illustreret hvordan vandet fra vejene skal fordeles i Etape 1. Størstedelen vil blive ledt til bassin B1, i overvejende grad grundet topografien, men også pga. områdets fremtidige opbygning. På figur 3.5 symboliserer de røde pile den vej som vejvandet skal afvandes fra vejene i fremtiden. De blå pile er udløb og overløb fra de forskellige bassiner.



Figur 3.5: Afledning af vejvandet i Etape 1.

Da afledningssystemet etableres med kanaler i stedet for rør, vil der ikke blive etableret rendestensbrønde, som det er typisk i fælles- og separatsystemer. Der vil derimod være indløb til kanalerne med jævne mellemrum. Typisk navngives rør i et afløbssystem efter de brønde som de ligger i mellem jf. Winther et al. [2011], men for overskuelighedens skyld er det valgt at navngive hver kanal i systemet V1-V13. Kanalerne vil løbende have indløb i form af ophold i kantstenen, hvor der i stedet er placeret en rist. I princippet kunne kanalerne deles op mellem hvert indløb, tildeles et opland og dets dimensioner beregnet herefter. Det vurderes dog, at det vil være mere realistisk, at en kanal har samme tværsnit langs hver vej, således at kanalerne kun ændrer dimensioner, når der sker en tilkobling af andre kanaler eller, når en kanal krydser en vej.



Figur 3.6: Vejkanaler med navne for det vejvand, der ledes til bassin B2 fra Etape 1. Gult markerer en overførelse.

Systemet navngives med et "V" og et efterfølgende tal. Tallet beskriver rækkefølgen, som kanalernes dimensioner beregnes i. Der er to systemer for vejvandet. Det, der afleder vand til B1, og det, der afleder til B2. Systemet, der afleder til B2, er det mindste og er illustreret på figur 3.6. I bilag B (s. 67) er det resterende afledningssystem for vejvandet illustreret samt det opland der er tildelt hver kanal.

Kapitel 4

Beskrivelse af anlæg

Projektet ligger vægt på, at regnvandet håndteres på terræn, således at det bidrager rekreativt til boligområdet. Derfor er der valgt åbne kanaler langs vejene til vejvand og grøfter til tagvand. Denne løsning har desuden den økonomiske fordel, at kanaler er billige i drift og vedligeholdelse, da disse er lettere at rense end eventuelle rør. Kanalerne må dog forventes at være dyrere at fremstille og derved anlægge, da disse skal have dimensioner, der ikke er standardiserede i modsætning til et system, der bliver rørlagt. Også grøfter er billigere, dels fordi anlæggelsen er billigere, men også fordi det er den enkelte grundejer, der har ansvaret for at disse bliver vedligeholdt. Alle bassiner og fællesarealer dimensioneres derfor også som åbne. Hovedopbygningen i området er, at alt vejvand føres i de åbne kanaler langs vejene til enten bassin B1 eller B2, hvor det udledes til Ellebæk. Tagvandet føres via grøfter til et fællesareal, hvor det nedsives.

4.1 Tagvand

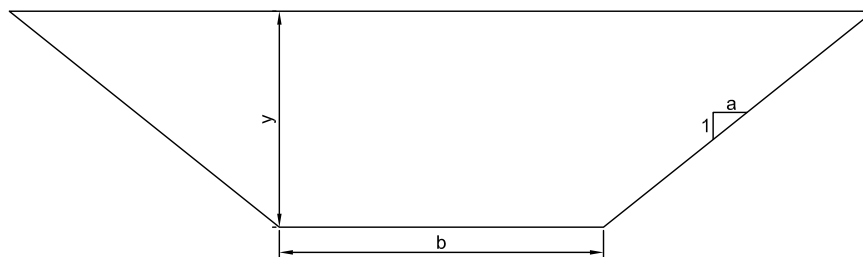
Tagvandet skal udledes til fællesarealerne via grøfter. Figur 4.1 viser forskellige eksempler på hvordan tagvandet kan afledes til grøfterne. I projektet projekteres disse ikke, men det er tænkt, at vandet afledes på lignende vis.



Figur 4.1: Eksempel på afledning af tagvand til grøft. [Teknologisk Institut, 2013], [Hillerød Kommune, 2013]

Grøfterne dimensioneres som trapezer og skal blot være en fordybning i græsplænen, så det umiddelbart ikke kan ses i terrænet, se figur 4.2 (s. 17) for principskitse af grøfternes tværsnit. Der arbejdes med en bundbredde på minimum 30 cm og en topbredde på maksimum 1 m. Dette er for, at grøfterne ikke tager

for meget areal af boliggrundene, og samtidig sikre dette en bred nok bund til at en græsslåmaskine kan slå græsset i grøften.



Figur 4.2: Principskitse af tværsnitsprofil for en grøft med angivelse af bundbredde, dybde og anlæg.

Tagvandet udledes til fællesarealerne, som enten udformes som et nedsivningsbassin lignende figur 4.3 eller som regnbede lignende figur 4.4 (s. 18). Ved fællesarealerne udformet som et bassin, kan det være nødvendigt at lave en nedfaldssti af større sten lignende det på figur 4.3 for at forhindre erosion, da der kan forekomme store fald fra grøft til bassin grundet terrænet i området. Ved ekstremregn er der overløb fra fællesarealerne til vejene, således at tagvand blandes med vejvand og vejene tages i brug som kanaler. Både nedsivningsbassiner og regnbede skal dimensioneres med en så lille dybde som muligt grundet geologien og den høje grundvandsstand, ellers vil der ikke kunne nedsives i disse områder.



Figur 4.3: Eksempel på anvendelse af fællesareal. [Wadlow, 2010]

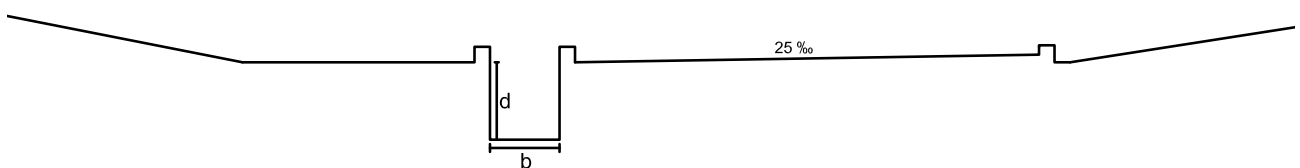
Regnbede kan anlægges med flere forskellige typer af planter, græsarter, buske og træer. Det er vigtigt, at vælge planter, som kan stå under vand i længere perioder men samtidigt ikke visner i tørvejrperioderne. Det kan være en god ide at variere dybden i bedet, således at de planter, der kan tåle mere fugt er i områder med størst dybde og omvendt planter, der er mindre gode til det, placeres i de lave områder. Varieres dybden bliver der også større variation i typen af planter, og der kan skabes et mere naturligt område. [Haveselskabet, 2013a]



Figur 4.4: Eksempler på regnbede. [Haveselskabet, 2013b]

4.2 Vejvand

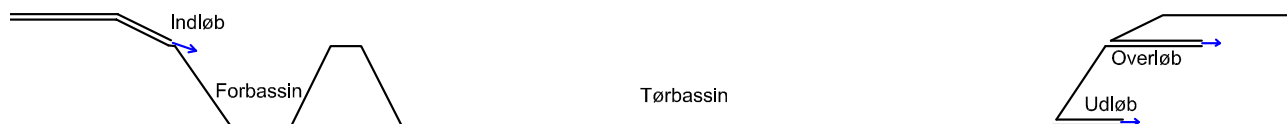
På figur 4.5 illustreres vejens opbygning af et tværsnitsprofil. Vejen skal have en hældning på mindst 25‰ med hæld mod kanalen jf. Vejdirektoratet [2000]. Der skal være kantsten på begge sider af vejen samt mellem fortov og kanal, således at biler og cykler ikke kan køre i kanalen, der desuden ikke ønskes dybere end 0,5 m af sikkerhedsmæssige årsager. Kanalerne udføres som rektangulære betonkanaler, og der vil derfor ikke forekomme nedsivning af regnvandet under vej-kassen i forbindelse med transporten, hvilket kan nedsætte vejens bæreevne. Indløb til kanalerne sker via sideriste i kantstenene ud mod vejen, således at der ved ekstrem regn ikke er overløb ud mod boliggrundene men på vejene, således at disse anvendes som kanaler. Vejkanalen udføres som en betonkasse de steder, hvor kanalen krydses af veje eller indkørsler.



Figur 4.5: Principskitse af tværsnitsprofil af vej inklusiv vejkanal, fortov og boliggrunde.

Bassinerne udføres som figur 4.6 (s. 19), hvor der er indløb til et forbassin, som vil have et permanent vandspejl, og med et overløb til et tørbassin, hvorfra der er udledning til Ellebæk. Al bundfald vil ske

i forbassinet, og derfor skal denne være nem tilgængelig for at gøre vedligeholdelsen mere optimal. Tørbassinet fyldes ved nedbør, og der udledes med $1\text{ l}/(\text{s} \cdot \text{red. ha})$ til Ellebæk. Overløbet tages i brug ved større regnhændelser, hvor regnvandet fra boligområderne begynder at bidrage til bassinerne, som medfører at, flere hektarer bidrager, og der må derfor udledes det mere vand.



Figur 4.6: Principskitse af bassintværsnit med indløb, forbassin, tørbassin, udløb og overløb.

Bassinerne skal være grønne områder, som kan anvendes til fællesareal i tørvejrperioder. Figur 4.7 er et eksempel, på hvordan et sådan bassin kan se ud. I dette projekt udføres bassinerne på lignende vis, hvor der anlægges mindre bakker i området til at "guide" vandet rundt fra indløb til udløb.



Figur 4.7: Eksempel på tørbassin. [susDrain, 2012]

Ellebæk skal som tidligere nævnt krydses. Dette vil udføres som en mindre akvædukt, som også anvendes som bro. Figur 4.8 (s. 20) er et eksempel på en mindre akvædukt. I dette projekt vil det dog være en lukket kanal, som føres over, således at det er muligt for fodgængere at anvende denne kanal som bro. En principskitse af dette er illustreret på figur 4.9 (s. 20).



Figur 4.8: Eksempel på en mindre akvædukt. [Guardabarrancosa, 2012]



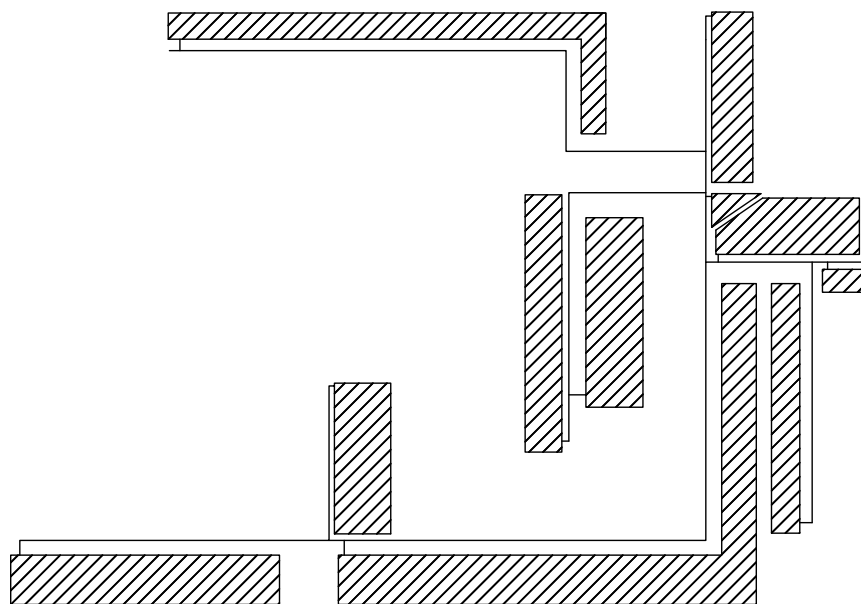
Figur 4.9: Principskitse af lukke kanal til at lede vand over Ellebæk.

Detailprojektering

Detailprojektering af anlæg

I kapitel 3 (s. 10) blev linjeføringen af grøfterne, der skal aflede tagvand fra grundene, og kanalerne, der skal aflede vejvand, fastlagt. Desuden blev der i kapitel 4 (s. 16) beskrevet koncepter for, hvorledes regnbede, bassiner for tagvand og bassiner for vejvand, skal designes, således at vandet bliver tilbageholdt og nedsivet i videst muligt omfang.

I denne del vil grøfterne, kanalerne og bassinerne blive dimensioneret ud fra fastlagte koter, dimensionsgivende regnhændelser samt fastlagte parametre, der anvendes i den rationelle dimensioneringsmetode. Som bekendt beregnes dimensionerne i kanaler og rør i den rationelle metode ud fra en forudsætning om, at koncentrationstiden til et bestemt rør eller kanal svarer til varigheden af den dimensionsgivende regn. Ydermere svarer oplandet til den pågældende kanal til summen af oplande opstrøms. Et eksempel på, hvordan kanal- og oplandssystemet kan simplificeres til at skabe overblik til beregning ved den rationelle metode, er illustreret på figur 5.1.



Figur 5.1: Simplificerede afvandingssystem til brug i den rationelle metode. De skraverede felter er oplande.

De beregnede dimensioner for grøfter, kanaler og bassinerne vil blive udsat for kasseregnhændelser samt historiske regn i næste del af rapporten. Dette gøres med henblik på at udarbejde en simulering af det dimensionerede anlæg samt undersøge påvirkningen på systemet af større regnhændelser end de dimensionsgivende. Simuleringerne laves desuden med henblik på, at vurdere hvor vidt den rationelle metode er nok til at dimensionere et afløbssystem efter. Til simulering vil programmet Mike Urban blive anvendt.

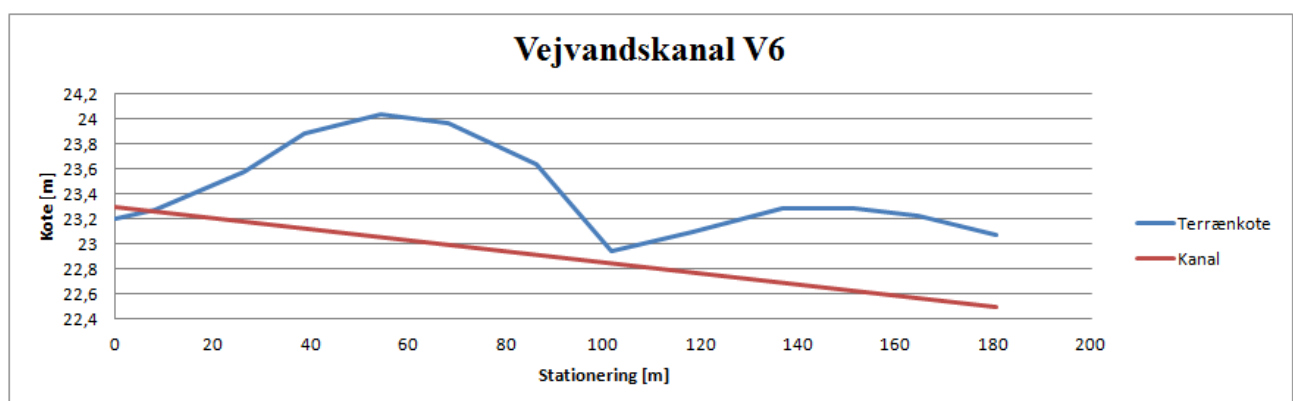
I det følgende vil først de generelle antagelser og forudsætninger for beregningsgrundlaget blive beskrevet både for systemet for vejvand og tagvand. Herefter vil de specifikke forudsætninger for de to systemer blive belyst med tilhørende beregningseksempler.

5.1 Koter

På figur 5.2 er illustreret start- og slutkoterne på kanalerne og grøfterne. Disse koter er blevet fastlagte dels ud fra dimensioneringen af afløbssystemet og dels ved at vurdere, hvad der er acceptabelt, at terrænregulere området med.



Figur 5.2: Start og slutkoter på grøfter og kanaler



Figur 5.3: Længdeprofil af kanal med nuværende terræn.

På figur 5.3 (s. 23) er længdeprofilen på en af kanalerne til vejvandet illustreret. Det er her tydeligt, at der både er behov for at afgrave jord, men det ses også, at påfyldning er nødvendigt. I de elektroniske bilag A og B er alle længdeprofilerne for kanaler og grøfter illustreret. Ved at fastlægge start- og slutkoterne på kanaler og grøfter fastlægges hældningen, som både har indflydelse på dimensionerne af disse men som også direkte påvirker forskydningsspændingerne langs siderne.

5.2 Dimensionsgivende regn

Intensiteten på den regn, som systemet skal dimensioneres efter, afhænger af en regnvarighed og en gentagelsesperiode. I følge Holstebro Kommunes spildevandsplan jf. Holstebro Kommune [2011] ønskes nye separatloakerede afløbssystemer dimensioneret, således at der står vand på terræn hver femte år. Derfor dimensioneres kanalerne, grøfterne og bassinerne for en gentagelsesperiode på fem år.

I august 2014 udgav Spildevandskomiteen skrift 30 IDA Spildevandskomiteen [2014], som er det bedste bud på dimensionsgivende regnhændelser landet over. Skriftet blev udgivet sammen med et regneark, som er et værktøj, der ud fra indtastede koordinater og gentagelsesperiode, beregner intensiteter af lokale regnhændelser. Koordinaterne bliver dels brugt til at bestemme årsnedbøren og dels finde ud af, om det er i region 1 eller 2, der ønskes regnhændelser for. Regnearket benytter ligning 5.1 til at beregne intensiteten af forskellige regnvarigheder.

$$i = \alpha \cdot (t_r + \theta)^{-\nu} \quad (5.1)$$

Hvor

t_r	Regvarighed	[min]
α	Beregningskonstant	[-]
θ	Beregningskonstant	[-]
ν	Beregningskonstant	[-]

Intensiteterne er også afhængig af en sikkerhedsfaktor, som korrigerer for anvendelsen af historiske regnserier samt klimaforandringer og fremtidig byudvikling. Sikkerhedsfaktoren beregnes ud fra ligning 5.2. Hvor der anvendes en korrektionsfaktor, $f_{\text{regnserie}}$, på 1,3, en klimafaktor, f_{klima} på 1,1 og en sikkerhedsfaktor, $f_{\text{fortætning}}$ på 1,0. Den vægtede sikkerhedsfaktor bliver da 1,43 jf. ligning 5.3 (s. 24).

$$q_{\text{design}} = f_{\text{regnserie}} \cdot f_{\text{klima}} \cdot f_{\text{fortætning}} \quad (5.2)$$

$$= 1,3 \cdot 1,1 \cdot 1,0$$

$$q_{\text{design}} = 1,43 \quad (5.3)$$

I tabel 5.1 er α , θ og ν angivet for gentagelsesperioderne ét, fem og hundrede år, som er de anvendte dimensionsgivende gentagelsesperioder, hvor q_{design} er medregnet. Vejkanalerne ønskes at have en for-

skydningsspænding, der er større end 2,5 Pa for 10% af en ét års hændelse. Dette skyldes, at de derved vurderes selvrensende. Grøfterne derimod ønskes at have en forskydningsspænding lavere end 2,5 Pa for en ét års hændelse for at undgå erosion. Desuden dimensioneres nogle af fælles områderne efter 100 års hændelser.

	T = 100 år	T = 5 år	T = 1 år
α	535,40	193,95	104,25
θ	7,24	4,33	3,16
ν	0,81	0,75	0,72

Tabel 5.1: Parametre til beregning af intensiteten af dimensionsgivende regnhændelser.

5.3 Afløbskoefficient

Afløbskoefficienten angiver, hvor stor andel af oplandet, der udleder regnvand til anlægget. I projektet er der fire forskellige typer af oplande, vej-, indkørsel-, boliggrund- og rækkehusoplande, og disse har alle forskellige afløbskoefficienter, som er angivet i tabel 5.2. Koefficienterne er afhængig af den hydrologiske reduktionsfaktor, α , tilslutningsgraden, γ , og befæstelsesgraden, β , og beregnes ud fra ligning 5.4.

$$\varphi = \alpha \cdot \gamma \cdot \beta \quad (5.4)$$

Oplandstype	α	γ	β	φ
Vej	1,00	1,0	1,00	1,00
Indkørsel	0,75	1,0	1,00	0,75
Boliggrund	1,00	1,0	0,35	0,35
Rækkehus	1,00	1,0	0,45	0,45

Tabel 5.2: Afløbskoefficienter til projektets oplandstyper.

5.4 Beregningsmetode

Der anvendes samme beregningsmetode til dimensionering af grøfter og kanaler, dog med forskelligt tværsnit. Ligeledes dimensioneres bassin B1, B2 og øvrige fællesarealer med nedsivningsbassin efter samme beregningsmetode.

5.4.1 Kanaler og grøfter

For at grøfterne og kanalerne er dimensioneret med tilstrækkelig kapacitet skal ligning 5.5 være opfyldt.

$$\frac{Q_{\text{fuld}}}{Q_{\text{dim}}} \leq 1 \quad (5.5)$$

Til beregning af dimensionerne af grøfter og kanaler er der taget udgangspunkt i Colebrook & Whites formel, C&W, som ses i ligning 5.6, og som er beskrevet i Winther et al. [2011]. Ud fra denne formel er det muligt at beregne hastigheden, der sammen med en fastsat bredde eller dybde, kan bruges til at beregne den ukendte dimension. Ved den beregnede hastighed og dimensionerne kan vandføringen Q_{fuld} beregnes på traditionel vis, og vil ved indsættelse i ligning 5.5 (s. 25) give 1, da Q_{fuld} vil være lig med Q_{dim} .

$$\sqrt{\frac{2}{f}} = 6,62 - 2,45 \cdot \ln \left(\frac{k}{R} + \frac{4,66}{\text{Re} \cdot \sqrt{f}} \right) \quad (5.6)$$

Hvor

f	Friktionsfaktor	[-]
k	Materialets ruhed	[m]
R	Hydraulisk radius	[m]
Re	Reynoldstal	[-]

Reynoldstallet kan udtrykkes som i ligning 5.7.

$$\text{Re} = v \cdot \frac{R}{\nu} \quad (5.7)$$

Hvor

v	Middelhastigheden	[m/s]
ν	Vands kinematiske viskositet	[m ² /s]

Ud fra denne formel og formlen for energilinjegradiënten, der er vist i ligning 5.8, er det muligt at isolere hastigheden, v , som kan bruges til at beregne dybden eller bredden af kanalerne eller grøfterne. Forudsætningerne herfor er, at vandføringen, Q , er beregnet ud fra den dimensionsgivende regn, og at enten bredden eller dybden er fastlagt. Herefter kan den manglende dimension beregnes ved at iterere ligningen. I ligning 5.9 (s. 27) er hastigheden fra C&W formel isoleret. Dette udtryk er for et vilkårligt tværsnit.

$$I = f \cdot \frac{v^2}{2g \cdot R} \quad (5.8)$$

Hvor

g	Jordens tyngde acceleration	[m/s ²]
---	-----------------------------	---------------------

$$v = 4,52 \cdot \sqrt{2g \cdot R \cdot I} - 1,73 \cdot \sqrt{2g \cdot R \cdot I} \cdot \ln \left(\frac{k}{R} + \frac{4,7 \cdot \nu}{R \cdot \sqrt{2g \cdot R \cdot I}} \right) \quad (5.9)$$

Udover, at dimensionerne kan beregnes ud fra ovenstående formler, beregnes hastigheden som sagt også. Dette gør det muligt at beregne koncentrationstiden fra et opland opstrøms ud fra kendskab til de forgående grøfter og kanalers længder. Koncentrationstiden er for en grøft eller en kanal, den længste koncentrationstid fra det system, der ligger opstrøms eller oplandets koncentrationstid. Dette betyder, at koncentrationstiden øges des længere ned i systemet, der beregnes. Dette giver lavere regnintensiteter, men da oplandet, der tages med, også bliver større, bliver kanalerne og grøfterne også gradvist større nedstrøms.

Grøfternes og kanalerne forskydningsspænding langs kanterne beregnes ud fra ligning 5.10. Disse forskydningsspændinger bruges til at vurdere, om kanalerne er selvrensende, og om der vil forekomme erosion i grøfterne.

$$\tau = \gamma \cdot R \cdot I \quad (5.10)$$

Hvor

$$\gamma \mid \text{Vands specifikke tyngde} \quad [\text{N/m}^3]$$

5.4.2 Bassiner

Ofte er det længerevarende regnhændelser, der er dimensionsgivende for bassiner. Bassinernes størrelse beregnes ud fra ligevægtsligningen, der er opstillet i ligning 5.11. Denne beskriver, at volumen af bassinet er lig med det, der løber ind i bassinet fratrukket det, der løber ud. Det, der løber ud af bassinet omfatter både udløb og nedsivning.

$$\text{vol} = (i \cdot F_r - Q_{\text{ud}}) \cdot t_r \quad (5.11)$$

Hvor

$$\begin{array}{l|ll} F_r & \text{Det reducerede areal} & [\text{ha}] \\ Q_{\text{ud}} & \text{Vandføring ud af bassinet} & [\text{m}^3/\text{s}] \end{array}$$

I denne formel indsættes forskellige regnintensiteter med tilhørende regnvarigheder, og den kombination, der giver det største volumen, er den dimensionsgivende regnvarighed.

Afledningssystem for vejvand

I nedenstående kapitel vil beregningsforudsætninger for kanaler og bassiner til vejvandet blive beskrevet. Desuden gennemgås et beregningseksempel på både en kanal og et bassin. Kapitlet vil blive rundet af med resultaterne for kanaler og bassiner. Beregningsmetoder og antagelser fra kapitel 5 (s. 22) ligger til grund for dette kapitels beregninger.

6.1 Specifikke funktionskrav

Vejkanalerne adskiller sig fra grøfterne på flere punkter. Kanalerne skal udføres i beton og med rektangulære tværsnit, hvilket påvirker ruheden og den hydrauliske radius, R . Ruheden for beton er blevet sat til 1,5 mm og ligningen for R er opstillet i ligning 6.1. Desuden er afløbskoefficienten, φ , sat til 1, da det vurderes, at alt vand, der falder på kørebanen, render ned i kanalerne. Desuden vurderes det, at parcelhuse og rækkehuse vil have indkørsler, som har en tilslutningsgrad til vejkanalerne på 1,00. Befæstelsesgraden af indkørslerne sættes til 0,75. I tabel 6.1 er parametrene, der er brugt til at beregne afløbskoefficienten, listet. Det antages, at indkørslerne har et befæstet areal på 40 m² ud fra en forudsætning om, at en indkørsel er 4 m bred og 10 m dyb. Koncentrationstiden for vejene er vurderet til at lægge mellem 0 og 10 min. 0 min er for kanaler uden opland, der modtager alt vand fra kanaler opstrøms, mens 10 min for de største oplande. I beregningen af dimensioner er det desuden dybden af kanalen, y , der itereres, mens bredden, b , er fastlagt. Det er af sikkerhedsmæssige årsager ikke ønskeligt at kanalerne bliver dybere end en halv meter.

Paramter	Indkørsler	Veje
Befæstelsesgrad	0,75	1,00
Tilslutningsgrad	1,00	1,00
Hydrologisk reduktionsfaktor	1,00	1,00

Tabel 6.1: Parametre til beregning af afløbskoefficient af indkørsler og veje.

$$R = \frac{A}{P} = \frac{y \cdot b}{2y \cdot b} \quad (6.1)$$

Hvor

A	Areal	[m ²]
P	Våd parameter	[m]

Det tjekkes desuden om kanalerne er selvrensende for vandføringen for 10 % af en ét års hændelse. Dette gøres ved at beregne forskydningsspændinger i kanalen. Disse skal være højere end 2,5 Pa. Det vurderes

dog, at et ens tværsnit for hver vej er at fortrække rent æstetisk, samt at det anlægsmæssigt også vil være at fortrække, at kanalernes tværsnit ikke ændrer sig udover ved samlinger af andre kanaler.

6.2 Dimensionering af en vejkanal

Følgende beregningseksempel tager udgangspunkt i vejkanal V6. I tabel 6.2 er de parametre og variabler, der er anvendt til beregningen af dybden, listet.

Paramter	Betegnelse	Værdi
Oplandsareal	F	0,2727 ha
Afløbskoefficient	φ	1
Start kote		23,3 m
Slut kote		22,5 m
Koncentrationstid	kc	10 min
Kanallængde	L	181 m
Hældning	I	4,4 ‰
Ruhed	k	1,5 mm
Vands kinematiske viskositet	ν	$1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
Fastsat bredde	b	0,3 m
Start gæt af y	y	0,1 m

Tabel 6.2: Parametre til beregning af dybde af vejkanaler

I dette tilfælde tilhører koncentrationstiden det tilhørende opland i stedet for koncentrationstiden fra V4's opland sammenlagt med transporttiden i V4. Først beregnes intensiteten for den dimensionsgivende regn ud fra ligning 5.1 (s. 24). Desuden rundes koncentrationstiden ned for at undgå at underdimensionere systemet.

$$i = 193,95 \cdot (10 \text{ min} + 4,33)^{-0,75} \cdot 10 \quad (6.2)$$

$$i = 236,581/(\text{s} \cdot \text{ha}) \quad (6.3)$$

Faktoren 10, der er ganget på, er for at få intensiteten fra $\mu\text{m/s}$ til $1/(\text{s} \cdot \text{ha})$. Intensiteten, i , ganges med det reducerede areal, som i dette tilfælde er oplandsarealet fra V4, V5 og V6, for at beregne den dimensionsgivende vandføring.

$$Q = (F_{r, V4} + F_{r, V5} + F_{r, V6}) \cdot i \quad (6.4)$$

$$= 0,4899 \text{ ha} \cdot 261,051/(\text{s} \cdot \text{ha})$$

$$= 127,891/\text{s}$$

$$Q = 0,128 \text{ m}^3/\text{s} \quad (6.5)$$

Det første bud på hastigheden kan beregnes ud fra de ovenstående oplysninger ved at benytte ligning 5.9 (s. 27).

$$v = 4,52 \cdot \sqrt{2g \cdot R \cdot I} - 1,73 \cdot \sqrt{2g \cdot R \cdot I} \cdot \ln \left(\frac{k}{R} + \frac{4,7 \cdot \nu}{R \cdot \sqrt{2g \cdot R \cdot I}} \right) \quad (6.6)$$

$$v = 4,52 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,82 \text{ m/s}^2 \cdot \frac{0,1 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m}}{2 \cdot 0,1 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m}} \cdot 0,004} - 1,73 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,82 \text{ m/s}^2 \cdot \frac{0,1 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m}}{2 \cdot 0,1 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m}} \cdot 0,004} \cdot \ln \left(\frac{0,0015 \text{ m}}{\frac{0,1 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m}}{2 \cdot 0,1 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m}}} + \frac{4,7 \cdot 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}{\frac{0,1 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m}}{2 \cdot 0,1 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m}} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,82 \text{ m/s}^2 \cdot \frac{0,1 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m}}{2 \cdot 0,1 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m}} \cdot 0,004}} \right)$$

$$v = 0,78 \text{ m/s} \quad (6.7)$$

Denne hastighed bruges sammen med vandføringen og den fastlagte bredde til at udregne en ny dybde, y , i kanalen.

$$y = \frac{Q}{\frac{v}{b}} \quad (6.8)$$

$$y = \frac{\frac{0,110 \text{ m}^3/\text{s}}{0,78 \text{ m/s}}}{0,3 \text{ m}}$$

$$y = 0,47 \text{ m} \quad (6.9)$$

Den nye beregnede dybde, y , indsættes nu som et nyt gæt, og ovenstående proces gentages indtil, at dybden y er tilpas præcis. V6 får dimensionerne $0,30 \text{ m} \times 0,37 \text{ m}$.

For at regne forskydningsspændingen udføres ovenstående beregninger igen, men denne gang med en regnhændelse med en ét års gentagelsesperiode. Derved kan en ny R beregnes. Det eneste, der mangler i ligning 5.10 (s. 27) er da den specifikke tyngde, γ , som beregnes ud fra vands densitet og jordens tyngdeacceleration. Forskydningsspændingen kan beregnes ud fra ligning 6.10.

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (6.10)$$

$$= 999,70 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,82 \text{ m/s}^2$$

$$\gamma = 9817 \text{ N/m}^3$$

$$\tau = 9817 \text{ N/m}^3 \cdot 0,037 \text{ m} \cdot 0,004$$

$$\tau = 1,62 \text{ Pa} \quad (6.11)$$

Som det fremgår af ligning 6.10 (s. 30) er forskydningsspændingen ikke større end de 2,5 Pa som var kravet for selvrensning. Det vurderes dog, at selvom dette ikke er tilfældet, er åbne kanaler nemmere at komme til at rense end rør. Kanalen optimeres ikke yderligere.

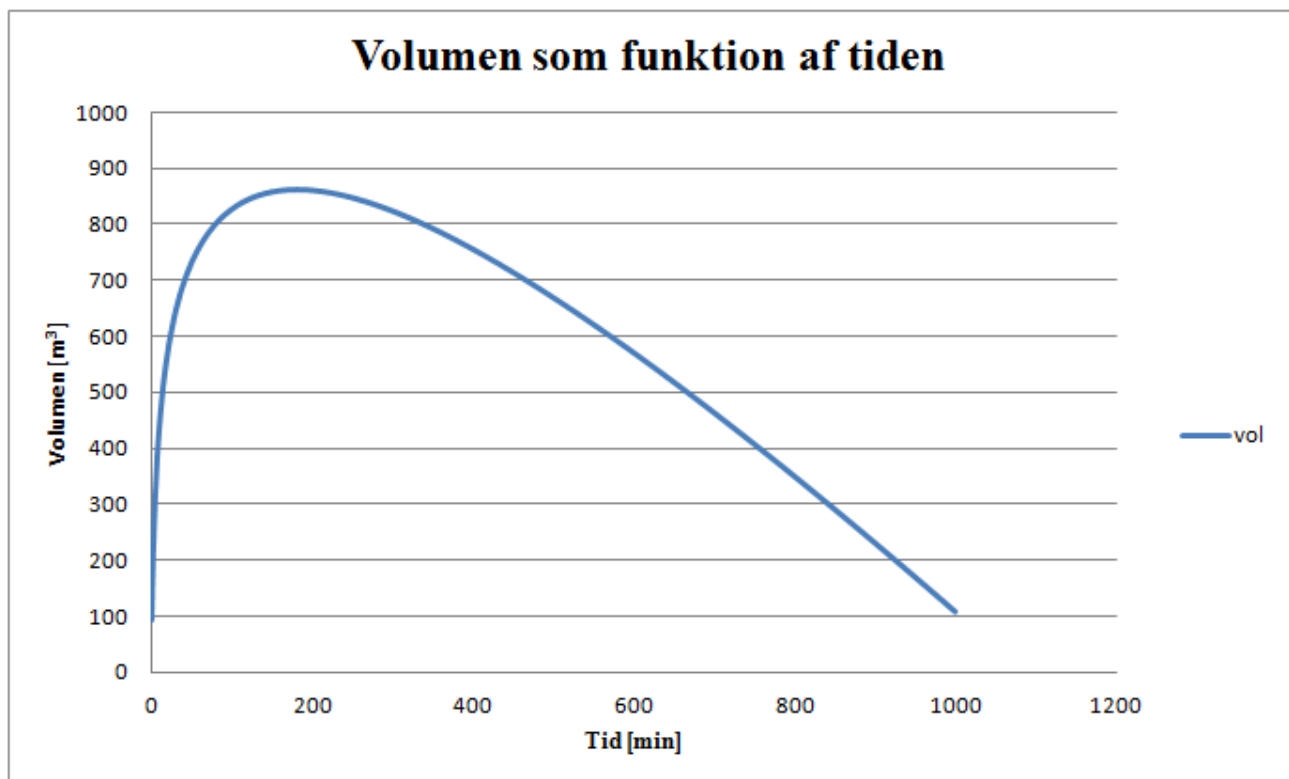
6.3 Volumen af et bassin

I det følgende vil volumenberegningen af bassin B1 blive gennemgået. Som det er blevet forklaret tidligere bliver volumen af bassinet beregnet på baggrund af ligevægtsligningen ligning 5.11 (s. 27). For bassin B1 gælder det, at dens samlede opland svarer til oplandet fra vejkanalerne V4 til V13 og dertilhørende indkørsler. Dette giver et samlet reduceret areal på 1,70 ha. Med en udledningstilladelse på 1 l/(s · red. ha) og regnintensiteterne for fem års hændelser, er det muligt at beregne vandmængderne for hver regnvarighed. I ligning 6.12 beregnes bassinvolumenet, mens der på figur 6.1 er illustreret bassinets volumen som funktion af regnhændelsen.

$$\text{vol} = (3,78 \mu\text{m/s} \cdot 1,70 \text{ ha} - 1 \text{ l/(s} \cdot \text{red. ha)} \cdot 1,70 \text{ ha}) \cdot 182 \text{ min} \quad (6.12)$$

$$\text{vol} = 860,6 \text{ m}^3 \quad (6.13)$$

Dette er desuden det maksimale volumen og derfor det volumen som bassin B1 skal dimensioneres efter. Den værste regnhændelse er på lidt over tre timer.



Figur 6.1: Volumen af bassin som funktion af tiden.

6.4 Resultater for vejvandssystem

I tabel 6.3 er resultaterne for kanalerne angivet. Øvrige parametre og variabler samt illustrationer over kanalernes længdeprofil og eksisterende terræn er at finde i elektronisk bilag A.

Navn	Bredde [m]	Dybde [m]	Forskydningsspænding [Pa]
V1	0,20	0,18	1,50
V2	0,20	0,21	1,81
V3	1,50	0,08	1,37
V4	0,30	0,19	1,34
V5	0,20	0,12	0,94
V6	0,30	0,37	1,62
V7	0,20	0,32	0,96
V8	0,30	0,43	2,23
V9_1	0,25	0,26	0,93
V9_2	0,25	0,42	1,74
V10	0,29	0,44	2,75
V11	0,50	0,48	1,54
V12	0,20	0,32	1,39
V13	0,44	0,46	2,89

Tabel 6.3: Resultater for vejkanalerne.

Det skal noteres, at dimensionen for vejkanal V13 er mindre end dimensionen for den forudgående vejkanal V11. Af den grund fastsættes V13's dimensioner til at være de samme som V11's. I tabel 6.4 er resultaterne for de to bassiner B1 og B2 angivet.

Navn	Reducerede areal [ha]	Volumen [m ³]	Regnvarighed [min]
B1	1,70	860,58	182
B2	1,08	545,58	182

Tabel 6.4: Resultater for bassinerne til vejvand.

Afledningssystem for tagvand

I følgende kapitel beskrives beregningsforudsætningerne til dimensionering af grøfter og fællesarealer. Der gennemgås ligeledes et beregningseksempel for begge dele, og kapitlet afrundes med en opsamling af resultaterne for grøfter, regnbede og nedsivningsbassiner. Beregningsmetoder og antagelser fra kapitel 5 (s. 22) ligger til grund for dette kapitels beregninger.

7.1 Specifikke funktionskrav

Grøfterne dimensioneres forskelligt fra vejkanalerne, hvilket resulterer i nogle andre beregningsforudsætninger. Grøfterne udformes som en trapez og en lavning i græsplænen, hvilket giver en ruhed på 300 mm og en anden hydraulisk radius jf. ligning 7.1. Der regnes med en afløbskoefficient på 0,35 og 0,45 for henholdsvis parcelhuse og rækkehuse og er beregnet på baggrund af de parametre der står i tabel 7.1. Desuden antages en koncentrationstid for oplandet på 5 min. For grøfterne vælges der en dybde, y , og bundbredden, b , itereres. Der ønskes en minimums bundbredde på 30 cm og en topbredde på maksimal 1 m. For grøfterne ønskes der en kantforskydningsspænding på maksimalt 2,5 Pa for en 1 års hændelse. Dette er for at forhindre erosion i grøfterne. Desuden er der ingen udløb fra fællesarealerne, der regnes kun med nedsivning for disse.

Parametre	Parcelhuse	Rækkehuse
Befæstelsesgrad	0,35	0,45
Tilslutningsgrad	1,00	1,00
Hydrologisk reduktionsfaktor	1,00	1,00

Tabel 7.1: Parametre til beregning af afløbskoefficient for parcelhuse og rækkehuse.

$$R = \frac{A}{P} = \frac{y \cdot (b + a \cdot y)}{b + 2y \cdot \sqrt{1 + a^2}} \quad (7.1)$$

7.2 Dimensionering af en grøft

Anvendte parametre og variabler til beregningseksemplet er listet i tabel 7.2 (s. 34) og gældende for grøft G3.1.

Først beregnes intensiteten for den dimensionsgivende regn ud fra ligning 5.1 (s. 24).

$$\begin{aligned} i &= 193,95 \cdot (5 \text{ min} + 4,33)^{-0,75} \cdot 10 \\ i &= 360,671 / (s \cdot \text{ha}) \end{aligned} \quad (7.2)$$

Herefter beregnes vandføringen i grøften.

$$Q = F \cdot \varphi \cdot i \quad (7.3)$$

$$= 0,3369 \text{ ha} \cdot 0,35 \cdot 360,671 / (\text{s} \cdot \text{ha})$$

$$= 42,51 / \text{s}$$

$$Q = 0,0425 \text{ m}^3 / \text{s} \quad (7.4)$$

Parameter	Betegnelse	Værdi
Bidragene areal	F	0,3369 ha
Afløbskoefficient	φ	0,35
Koncentrationstid	kc	5 min
Start kote		23,9 m
Slut kote		23,7 m
Grøft længde	L	91 m
Hældning	I	2,03 ‰
Ruhed	k	300 mm
Vands kinematiske viskositet	ν	$1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}$
Fastsat dybde	y	0,25 m
Anlæg	a	1,25 m/m
Startgæt på bundbredde	b	0,5 m

Tabel 7.2: Beregningsparametre for grøft G3.1.

Vandføringen kan nu anvendes til at beregne hastigheden i grøften ud fra ligning 5.9 (s. 27).

$$v = 4,52 \cdot \sqrt{2g \cdot R \cdot I} - 1,73 \cdot \sqrt{2g \cdot R \cdot I} \cdot \ln \left(\frac{k}{R} + \frac{4,7 \cdot \nu}{R \cdot \sqrt{2g \cdot R \cdot I}} \right) \quad (7.5)$$

$$= 4,52 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,82 \text{ m/s}^2 \cdot \frac{0,25 \text{ m} \cdot (0,5 \text{ m} + 1,25 \cdot 0,25 \text{ m})}{0,5 \text{ m} + 2 \cdot 0,25 \text{ m} \cdot \sqrt{1 + 1,25^2}} \cdot 0,00203}$$

$$- 1,73 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,82 \text{ m/s}^2 \cdot \frac{0,25 \text{ m} \cdot (0,5 \text{ m} + 1,25 \cdot 0,25 \text{ m})}{0,5 \text{ m} + 2 \cdot 0,25 \text{ m} \cdot \sqrt{1 + 1,25^2}} \cdot 0,00203}$$

$$\cdot \ln \left(\frac{0,3 \text{ m}}{\frac{0,25 \text{ m} \cdot (0,5 \text{ m} + 1,25 \cdot 0,25 \text{ m})}{0,5 \text{ m} + 2 \cdot 0,25 \text{ m} \cdot \sqrt{1 + 1,25^2}}} \right)$$

$$+ \frac{4,7 \cdot 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}}{\frac{0,25 \text{ m} \cdot (0,5 \text{ m} + 1,25 \cdot 0,25 \text{ m})}{0,5 \text{ m} + 2 \cdot 0,25 \text{ m} \cdot \sqrt{1 + 1,25^2}}} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,82 \text{ m/s}^2 \cdot \frac{0,25 \text{ m} \cdot (0,5 \text{ m} + 1,25 \cdot 0,25 \text{ m})}{0,5 \text{ m} + 2 \cdot 0,25 \text{ m} \cdot \sqrt{1 + 1,25^2}} \cdot 0,00203}$$

$$v = 0,27 \text{ m/s} \quad (7.6)$$

Den beregnede hastighed og tidligere beregnet vandføring anvendes til at beregne den nye bundbredde i grøften.

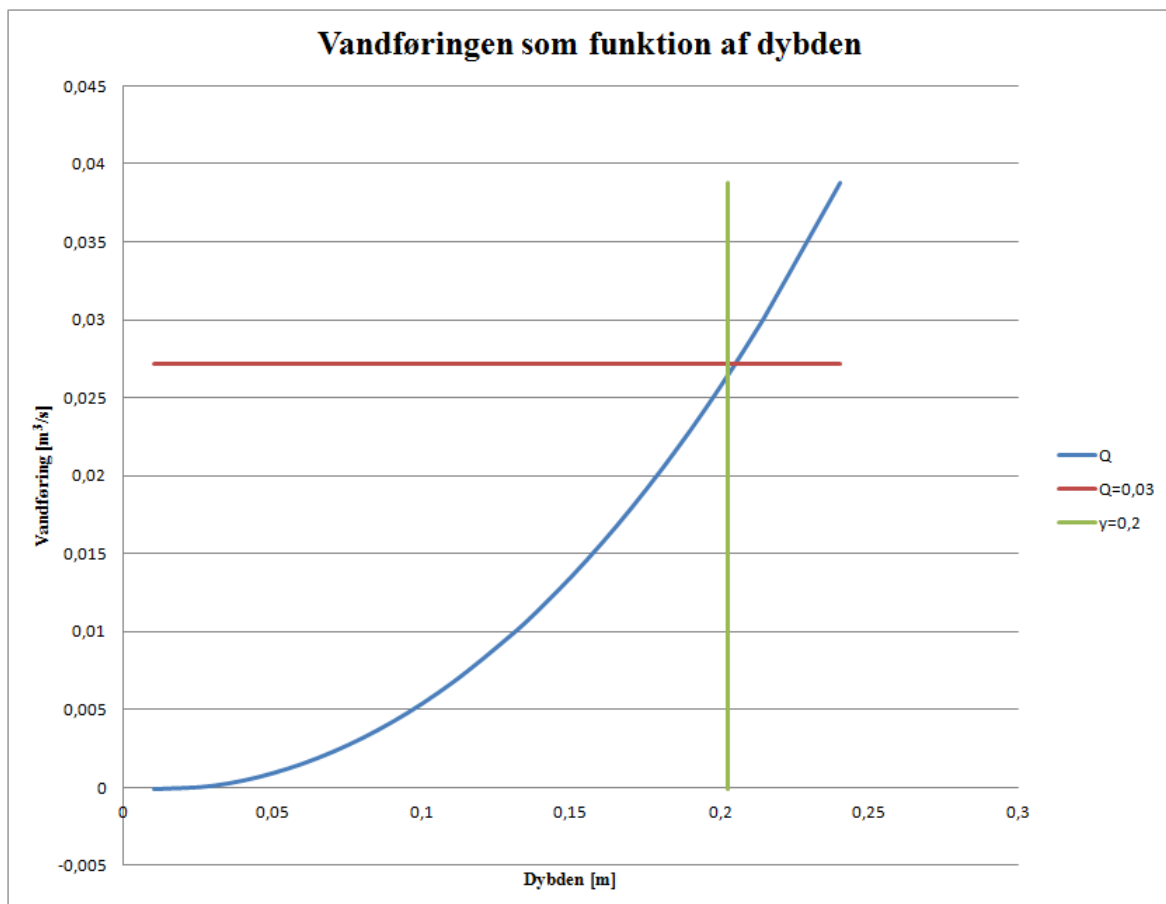
$$b = \frac{\frac{Q}{v} - a \cdot y^2}{y} \quad (7.7)$$

$$= \frac{\frac{0,0425 \text{ m}^3/\text{s}}{0,27 \text{ m/s}} - 1,25 \cdot 0,25 \text{ m}^2}{0,25 \text{ m}}$$

$$b = 0,32 \text{ m} \quad (7.8)$$

Den nye bundbredde indsættes nu som et nyt gæt og ovenstående proces gentages indtil, at bundbredden er tilpas præcis. Grøft G3.1 ender med at få en bundbredde på 0,37 m, topbredde på 0,99 m, et anlæg på 1,25 og en dybde på 0,25 m.

Efterfølgende tjekkes forskydningsspændingen for en 1 års hændelse, og denne skal som tidligere nævnt maksimalt være 2,5 Pa. Det er samme procedure som ovenstående bortset fra, at tværsnittet er fastlagt, og der beregnes en naturlig dybde, y . Vandføringen udregnes for en række forskellige y -værdier med et stigende interval på 25 mm. Vandføringen, som matcher den udregnede vandføring for en 1 årshændelse, er den der tilhører den naturlige dybde. Se figur 7.1 for illustration af dette.



Figur 7.1: Sammenhæng mellem dybden, y , og vandføringen, Q .

Grafen illustrerer at en naturlig dybde på 0,2025 m giver en vandføring på 0,0272 m³/s og en ny hydraulisk radius, R, på 0,124 m, som giver følgende forskydningsspænding:

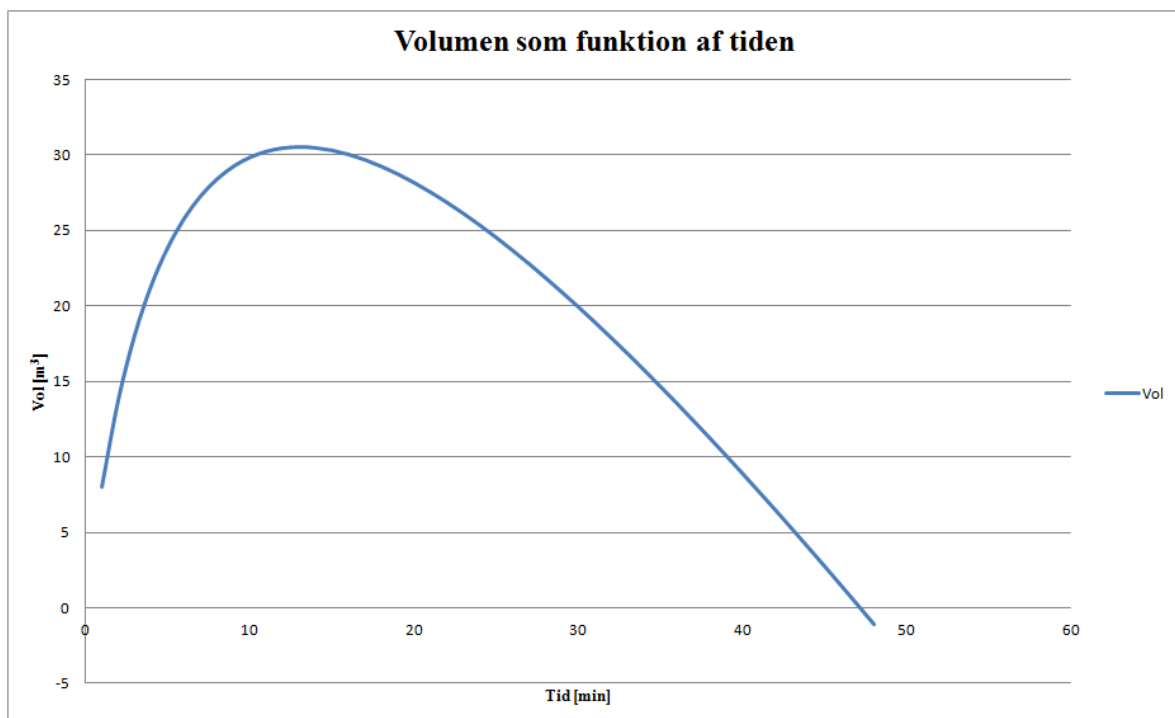
$$\tau = 9817 \text{ N/m}^3 \cdot 0,124 \text{ m} \cdot 0,00203 \quad (7.9)$$

$$\tau = 2,47 \text{ Pa} \quad (7.10)$$

Forskydningsspændingen er under 2,5 Pa og det antages at der er sikret mod årlig erosion. Værdien er kun lige under, så der kan forekomme erosion allerede ved en regnhændelse med en 1,1-års gentagelsesperiode. Der er i projektet valgt at antage, at der ved en forskydningsspændingen på over 2,5 Pa, er erosion i grøfterne, hvilket måske er lidt højt sat, da værdien er sat ud fra selvrensning i lukkede rør og ikke erosion i åbne kanaler. Der forventes derfor ikke erosion i grøfterne på årlig basis, dog vurderes det at ændringer i grøftens tværsnit højst sandsynligt vil forekomme naturligt med tiden ligeledes et almindeligt vandløb tilpasser sig over tid.

7.3 Bassinvolumen for et fællesareal

Det følgende beregningseksempel er for fællesareal F3. Det er samme fremgangsmåde, som det tidligere gennemgåede beregningseksempel for bassin B1. Der er i alt fire boliger, som bidrager til fællesarealet, og som tidligere nævnt er der ingen udløb, derfor er det kun nedsivning, som er dimensionsgivende. Ud fra boring B5 jf. figur 2.3 (s. 7) vurderes det, at der lige under terræn er sand og der antages derfor en hydraulisk ledningsevne på $1 \cdot 10^{-5}$ m/s jf. Spildevandskomiteens tilhørende regneark til skriftet "LAR Dimensionering". En regnvarighed på 13 min giver det største volumen på 30,5 m³ jf. figur 7.2, hvilket giver en dybde på 0,17 m.



Figur 7.2: Volumen af nedsivningsbassin som funktion af tiden i minutter.

7.4 Resultater for tagvandssystem

I tabel 7.3 er resultaterne for grøfterne listet, alle grøfter har anlæg 1,25. Beregningsværdier og beregninger for øvrige grøfter og fællesarealer er at finde i elektronisk bilag B. Det bemærkes, at grøft G2.1 og G5.2 begge har en topbredde over 1 m, men dette accepteres, da grøfterne løber på fællesarealer.

Navn	Bundbredde [m]	Topbredde [m]	Dybde [m]	Forskydningsspænding [Pa]
G1.1	0,39	0,94	0,22	2,28
G1.2	0,44	0,94	0,20	1,70
G2.1	3,54	3,87	0,13	0,74
G3.1	0,37	0,99	0,25	2,47
G5.1	0,45	0,98	0,21	2,29
G5.2	1,23	1,85	0,25	2,41
G10.1	0,34	0,84	0,20	2,21

Tabel 7.3: Resultater for grøfterne.

I tabel 7.4 er resultaterne for fællesarealerne angivet. Der er anvendt en regnhændelse på 100 år for fællesareal F2 og F5 samt kun anvendt halvdelen af det tilgængelige areal. Fællesarealerne kan udføres med naturlige lavninger og bakker, selvom der anvendes en 100 års regnhændelse. Regnvarigheden er varigere mellem 12 og 16 min, som er kortere intense regnhændelser, som vil forekomme i sommerperioden, hvor der også er den højeste fordampning, som ikke er medregnet.

Navn	Regnhændelse [år]	Volumen [m ³]	Dybde [m]	Regnvarighed [min]
F1	10	37,48	0,23	16
F2	100	63,23	0,12	12
F3	10	30,50	0,17	13
F5	100	186,48	0,20	15

Tabel 7.4: Resultater for fællesarealerne.

Til dimensionering af regnbede er Spildevandskomiteens regneark for "Dimensionering af LAR-anlæg" anvendt. Resultater samt input er listet i tabel 7.5.

Navn	Regnhændelse [år]	Befæstet areal [m ²]	Dybde [m]	Areal [m ²]
F4	100	671	0,2	290,5
F6	100	1312	0,2	568,1
F7	100	516	0,2	223,4
F8	100	1113	0,2	481,9
F9	100	1263	0,2	546,9
F10	100	2060	0,2	892,0

Tabel 7.5: Resultater samt input for regnbede.

Ovenstående resultater angiver, at der ved regnhændelser større end 5 år kun er to fællesarealer F1 og F3, som bidrager til vejkanalerne. Resterende fællesarealer bidrager umiddelbart først ved regnhændelser større end en 100 års hændelse.

Verificering

Modellering i Mike Urban

I følgende del bliver det detailprojekteret system modeleret i DHI programmet Mike Urban. Dette gøres med henblik på at undersøge, hvordan det dimensionerede system opfører sig, når det udsættes for forskellige regnhændelser.

De første regnhændelser systemet bliver udsat for, er de dimensionsgivende kasseregnhændelser, der blev brugt til at detailprojektere systemet. Dette skyldes, at det ønskes undersøgt i hvor stor grad modellen stemmer overens med det tidligere projekteret. Også CDS-regnhændelser vil blive anvendt til at vurdere om systemet overholder kriterierne eller ej. Dernæst bliver systemet udsat for en historisk regnserie, med henblik på at vurdere om gentagelsesperioden, som systemet er dimensioneret efter, stemmer overens med målte regndata.

8.1 Forudsætninger

I Mike Urban indsættes "nodes" som laves til en brønde hver gang en kanal eller grøft ændrer retning eller løber sammen med andre kanaler eller grøfter. Derfor vil Mike Urban udregne et enkelttab igennem disse brønde, selvom de ikke eksister i virkeligheden. Det er dog muligt at minimere enkelttabet således, at effekten af disse er minimale, hvilket også gøres i modellen.

Selvom modellen rent grafisk ikke ligner virkeligheden mht. geometrien i sving mm., så regner Mike Urban med de rigtige længder af kanaler og grøfter, eftersom disse er indsat manuelt. Den samme forudsætning gælder ved bassin B1 og B2, der begge har så vid udstrækning i programmet, at det rent grafisk ikke stemmer overens med virkeligheden.

Til sidst forudsættes det, at der stadig er mulighed for sammenligning mellem det system, der blev dimensioneret i detailprojekteringen, og det system, der bliver simuleret i Mike Urban, selvom der bliver anvendt forskellige overflademodeller og bølgemodeller. I Mike Urban vil der som overflademodel blive anvendt tid-areal metoden, og en fuldt dynamisk bølgemodel, som kan tage højde for eksempelvis opstuvning. Disse adskiller sig fra metoden, som blev brugt under detailprojekteringen ved at være mere detaljeret.

8.2 Afgrænsninger

Det er nødvendigt at vurdere, hvor stor en detaljeringsgrad modellen skal have ift., hvor usikre de indsatte parametre er. Dette skyldes, at en større detaljeringsgrad ikke nødvendigvis er ensbetydende med en bedre model. Der er derfor foretaget en række afgrænsninger i modellen. Nogle af tingene der er afgrænset for, fordi der ikke har været tilstrækkelig information til at gøre modellen mere detaljeret. Andre steder er det blevet vurderet, at en større detaljeringsgrad ikke vil øge modellens nøjagtighed.

I modellen er der fokus på regnvandssystemet i Etape 1. Det er derfor valgt at se bort fra udformningen af udledningen til Ellebæk. Der er dog lavet en hurtig overslagsberegning for at vurdere størrelsen af røret, der leder vandet fra bassinerne B1 og B2 videre til Ellebæk. Det samme gælder overløbene fra alle bassiner, hvor det er fastlagt, at der er overløb langs hele bassinets bredde. Til sidst er det ikke muligt at tildele bassinerne i Mike Urban vilkårlig geometri. Derfor er bassinerne dimensioneret som trapez-formede prismer med samme volumen som de projekterede bassiner.

Udover de afgrænsninger, der er i forhold til udløb, overløb og bassinerne, er der også afgrænset i forhold til de forskellige oplande. Mike Urban indsætter rektangulære oplande da der vælges en tid-areal kurve, som er lineær. Dette stemmer dog nogenlunde overens med de forskellige former for oplande, der er i projektet, og accepteres da oplandene har den korrekte størrelse og koncentrationstid. Desuden bliver oplandene placeret for enden af kanalerne hvilket betyder, at der kun bliver påført vand i det første indløb. Dette skyldes ønsket om at komme så tæt på detailprojekteringen som muligt.

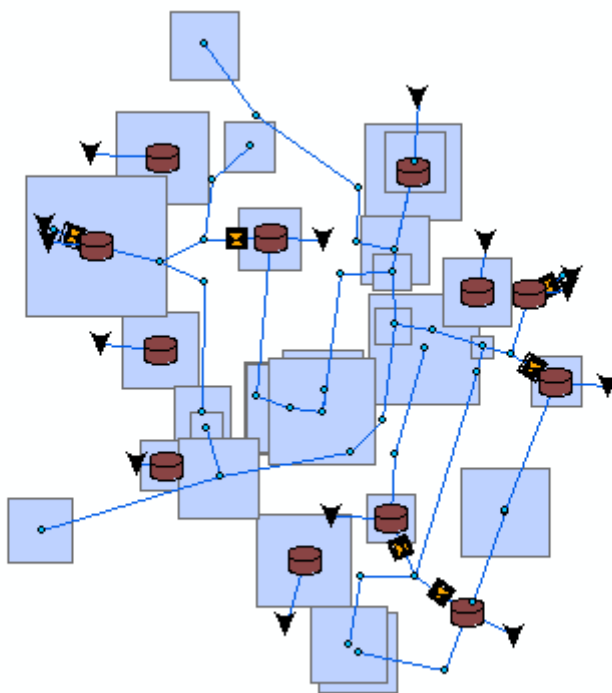
For bassinerne, der er beliggende på fællesarealerne, er der kun medregnet nedsivning og altså ikke fordampning. Dette accepteres, dels fordi nedsivningen er sat højt taget i betragtning af, at jorden er leret ca. 1 m under terræn, og dels fordi bassinerne dimensioneres efter kortere regnvarigheder, der oftest forekommer i sensommeren, hvor fordampningen er relativ høj.

Den effekt sne har på systemet er der heller ikke taget højde for. Sne kan i nogle tilfælde give anledning til større vandmængder, når det smelter, men er også med til at nedsætte systemets kapacitet. Det samme gælder frost, der evt. kan få vandet i bunden af kanalerne til at fryse, til og derved nedsætte kapaciteten.

Kapitel 9

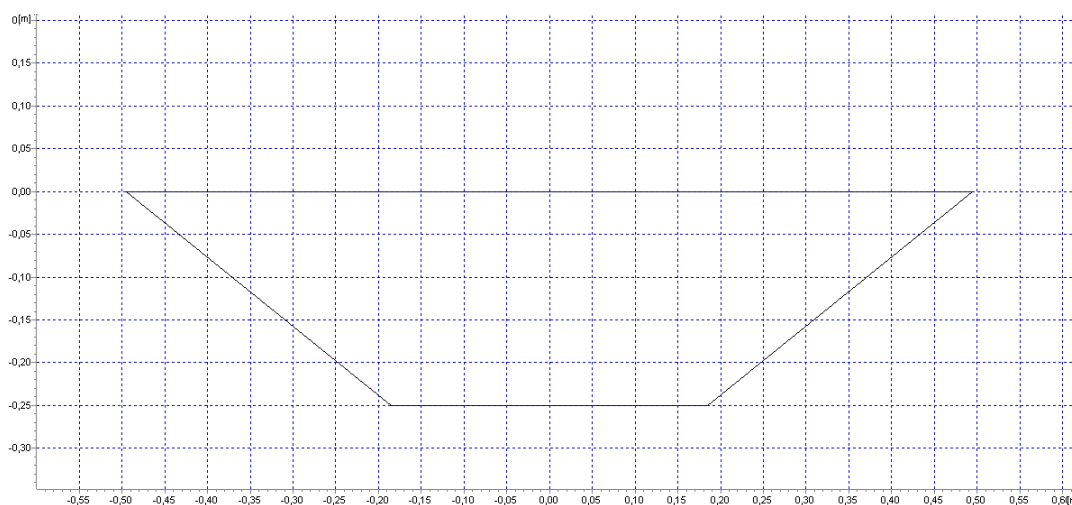
CDS- og kasseregn på system

På figur 9.1 er Mike Urban modellens opbygning illustreret. Som det fremgår af figuren er kanaler og grøfter blevet simplificeret mht. deres forløb. Der, hvor længden af kanaler og grøfter ikke stemmer overens med det anvendte i detailprojekteringen, er den samme længde som under detailprojekteringen angivet i programmet, således at Mike Urban anvender denne i stedet.



Figur 9.1: Visuel opbygning af Mike Urban model.

Selvom der i projektet er tale om åbne kanaler, er det nødvendigt at regne på lukkede tværsnit af ledningerne. Dette skyldes, at Mike Urban ikke kan håndtere vandstande, der er højere end kanalens eller grøftens dybde, fordi programmet regner med faste afstande mellem beregningspunkterne i modellen. På figur 9.2 (s. 43) er tværsnittet af grøft G3.1 illustreret. I stedet for at regnvandet stuver op til kritisk niveau, som er defineret som terræn i kanalerne og grøfterne, vil det stuve op i de fiktive brønde. Mike Urban indsætter da et bassin med en diameter, der er tusinde gange så stort som brønddiameteren, og begynder da at fylde dette fiktive bassin op. På den måde forsvinder der ikke vand fra systemet, da vandet ledes tilbage til de brønde det stuvede op i.



Figur 9.2: Tværsnitsprofil af grøft G3.1.

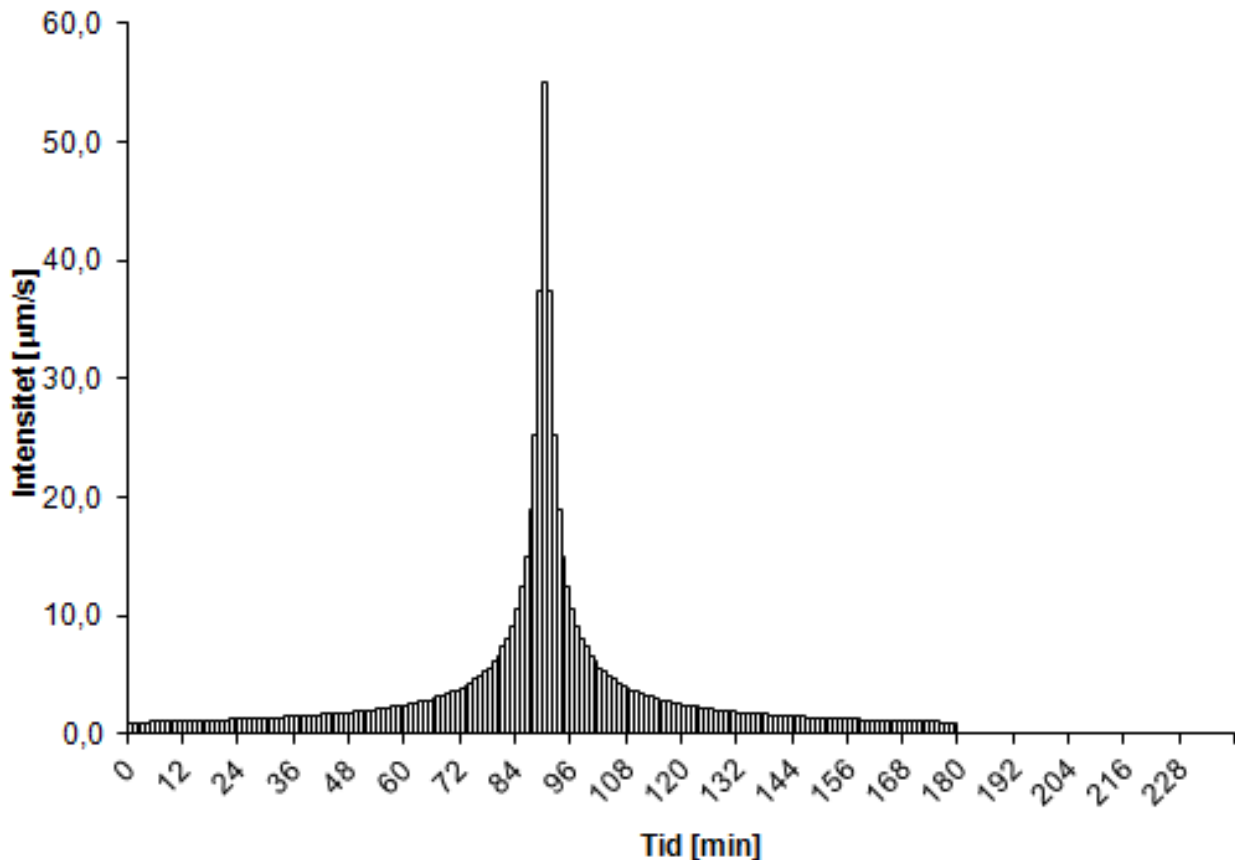
I bassinerne B1 og B2 er der påsat en vandbremse på den ledning, der leder vand ud af systemet. I programmet bliver denne kaldt for 'regulation', og på bassinerne er det sikret, at disse kun udleder $1\text{ l}/(\text{s} \cdot \text{red. ha})$. Ved fællesarealerne er der også påsat en 'regulation' på de ledninger, der leder vandet over til en udledning. Denne opbygning fungerer som nedsivning, hvor 'regulation' er sat til jordens hydrauliske ledningsevne multipliceret med bassinets overfladeareal.

9.1 Regn

For at vurdere om modellen stemmer overens med det detailprojekterede mht. vejkanalerne og grøfterne, simuleres modellen med forskellige kasseregn. For at vurdere bassinerne og nedsivningsbassinerne på fællesarealerne ift. det detailprojekterede, belastes systemet med en CDS-regn med en gentagelsesperiode på 5 år og en varighed mellem 3 og 15 timer. Regnintensiteterne for kasseregnene med tilhørende regnvarighed er listet i tabel 9.1. Der er her tale om de samme regnintensiteter, der blev brugt under detailprojekteringen, med en gentagelsesperiode på 5 år. På figur 9.3 (s. 44) er CDS-regnen med en varighed på 180 min og en gentagelsesperiode på 5 år illustreret. [IDA Spildevandskomiteen, 2014]

Regnvarighed [min]	Regnintensitet $\text{l}/(\text{s} \cdot \text{ha})$
2	483
5	361
10	261
20	175
30	135
60	84
120	51
180	38

Tabel 9.1: Regnvarigheder med tilhørende regnintensiteter.



Figur 9.3: CDS-regnserie med 180 min varighed.

På baggrund af regnhændelserne simuleres en overfladeafstrømningen, der derefter benyttes til at simulere afstrømningen i kanaler og grøfter samt bassiner og fællesarealer. De kanaler, der ligger i starten af systemet, vil være lettere at få til at stemme overens med det detailprojekteret end de kanaler, der ligger senere. Dette skyldes, at den dimensionsgivende regnintensitet er valgt efter rørafstrømningstiden for det opland, der er længst væk fra den kanal, der betragtes. Dette kan resultere i, at andre intensiteter kan bidrage med en større vandføring.

9.2 Resultater

I elektronisk bilag C er Mike Urban modellen med de originale tværsnit vedlagt. Desuden er resultaterne vedhæftet. I det følgende bliver grøfter og kanaler sammenlignet med det detailprojekterede. Ydermere vil det også blive vurderet, om bassinerne har tilstrækkelig volumen i Mike Urban modellen i forhold til det dimensionerede. I tilfælde af, at modellen ikke har tilstrækkelig kapacitet på dele af strækningen, vil disse strækninger blive tilpasset, således at de kan håndtere den hændelse, hvorved der sker opstuvning. Mike Urban modellen for regulerede tværsnit er vedlagt som elektronisk bilag D.

9.2.1 Kanaler og grøfter

De kanaler, som ligger opstrøms er vejkanalerne: V1, V2, V4, V5, V7, V8, V9_1 og V12. For grøfterne er der tale om samtlige grøfter med undtagelse af G5.2, som har indløb fra oplande langs dennes

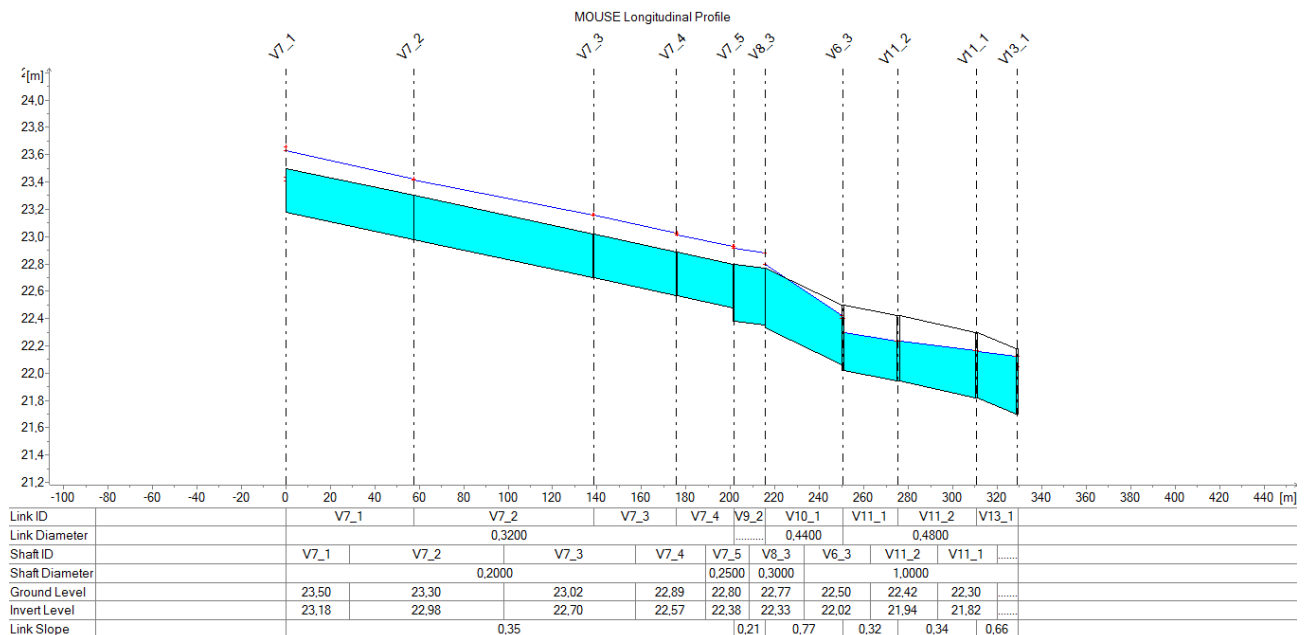
strækning. Da Mike Urban som sagt ikke kan regne på åbne kanaler, vurderes en kanal eller grøft at være stuvet op til terræn, hvis den fiktive brønd nedstrøms for kanalen eller grøften er stuvet op til terræn. Grunden til det er, at Mike Urban selv anvender dette kriterium i forbindelse med LTS-simulering, der beskrives senere i rapporten. For kanaler og grøfter er det de korte og højintense regnhændelser, der er dimensionsgivende, og derfor bliver deres kapacitet vurderet ud fra regnhændelser med varigheder mellem 2 min og 30 min. I tabel 9.2 er udnyttelsesgraden for ovennævnte kanaler og grøfter til forskellige regnvarigheder listet. Denne beregnes ved at dele den største vandstand i den pågældende brønd ud fra Mike Urban simuleringen med det kritiske niveau i det punkt. Værdierne i kolonnen 'Dimensionsgivende regn' angiver regnvarigheden, som kanalerne og grøfterne er blevet dimensioneret efter i den rationelle metode.

Kanal/ Grøft	Dimensions- givende regn	Udnyttelsesgrad [%]				
		2 min	5 min	10 min	20 min	30 min
V1	5 min	90	127	102	89	75
V2	5 min	89	109	103	91	77
V3	5 min	18	27	36	45	54
V4	5 min	70	100	174	92	77
V5	2 min	70	100	174	92	77
V6	10 min	71	110	164	116	92
V7	10 min	83	125	215	116	91
V8	5 min	88	131	177	115	93
V9_1	5 min	83	125	215	116	91
V9_2	10 min	88	125	177	115	93
V10	10 min	71	110	151	116	92
V11	10 min	65	106	126	110	93
V12	10 min	65	106	126	110	93
V13	10 min	81	129	106	91	68
G1.1	5 min	41	56	60	74	87
G1.2	5 min	26	43	60	74	87
G2.1	5 min	36	37	48	56	66
G3.1	5 min	28	49	68	85	99
G5.1	5 min	60	78	75	62	53
G5.2	5 min	56	74	74	62	66
G10.1	5 min	10	15	20	25	30

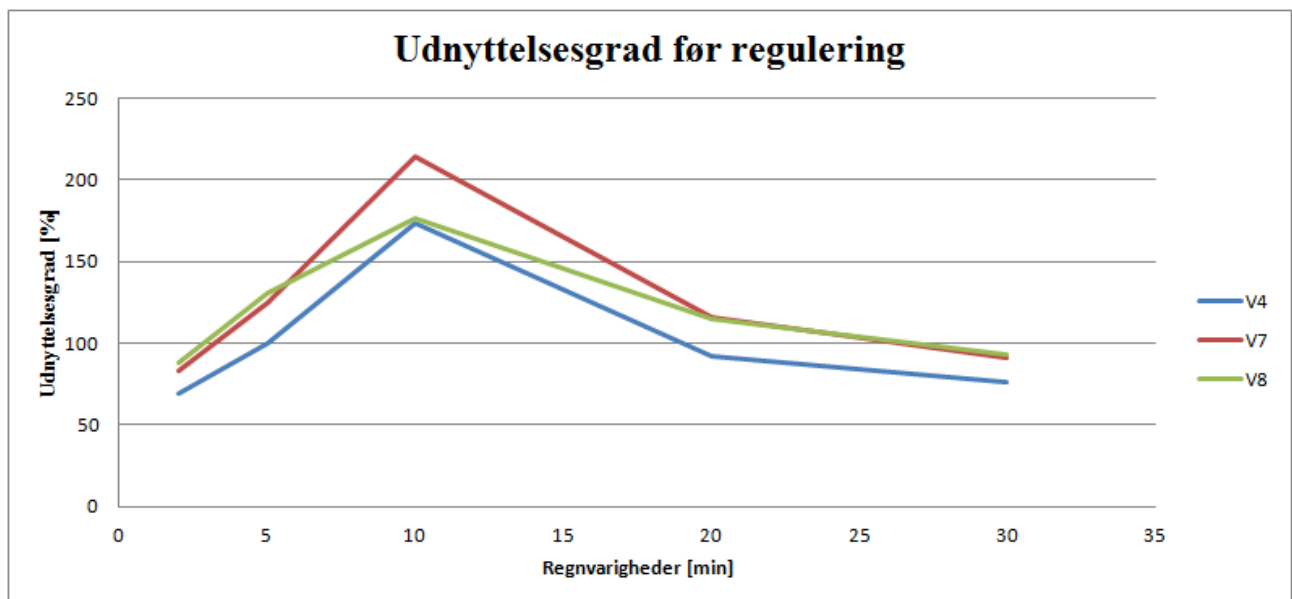
Tabel 9.2: Udnyttelsesgrad for de enkelte kanaler og grøfter i procent.

Som det ses ud i ovenstående tabel, er der flere steder, hvor systemet ikke kan overholde regnhændelser med en gentagelsesperiode på 5 år. Desuden skal det noteres, at kanaler, der er dimensioneret ved kortere regnvarigheder og højere regnintensiteter, stuver op til terræn ved længere hændelser. Et eksempel herpå er illustreret på figur 9.4 (s. 46). På figur 9.5 (s. 46) er udnyttelsesgraden for tre vejkanaler V4, V7 og V8 med koncentrationstider på hhv. 5 min, 10 min og 5 min illustreret på baggrund af de data,

der er listet i ovenstående tabel. Dette skyldes, at der i flere kanaler forekommer opstuvning til terræn, som resulterer i, at hele systemet støver op opstrøms. Disse kanalers dimensioner reguleres, således at systemet i overorden grad overholder kriteriet om fuldtløbende kanaler og grøfter ved regnhændelser med en gentagelsesperiode på 5 år. De nye dimensioner for disse tre kanaler er opgivet i tabel 9.3 (s. 47). Beregningerne for udnyttelsesgraden for de originale og regulerede kanaler og grøfter er at finde i elektronisk bilag E og F.



Figur 9.4: Længdeprofil af V7, V9_1, V10, V11 og V13.



Figur 9.5: Udnyttelsesgrad for tre kanaler med manglende kapacitet.

Kanal	Dybde [m]	Bredde [m]
V1	0,18	0,25
V2	0,21	0,25
V3	0,10	1,50
V6	0,37	0,35
V8	0,43	0,35
V9_2	0,42	0,50
V11	0,48	0,75
V12	0,32	0,25
V13	0,48	0,85

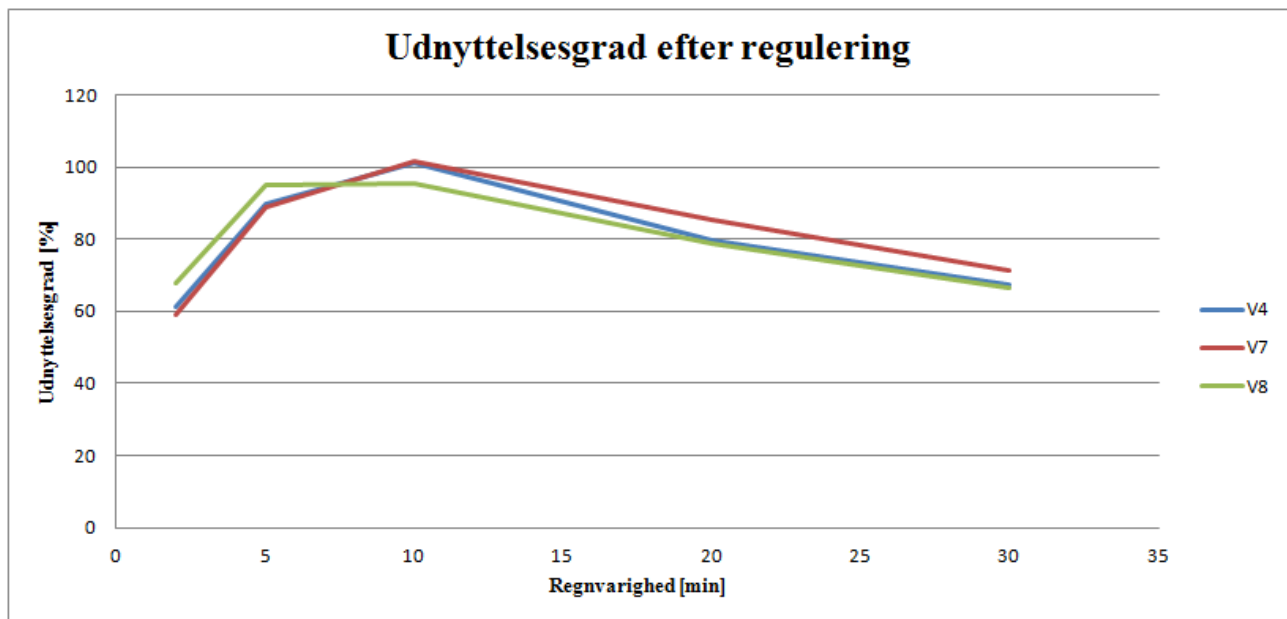
Tabel 9.3: Nye dimensioner for kanaler efter regulering.

Med de nye dimensioner bliver udnyttelsesgraden af de kanaler, der før reguleringerne stuede op, som listet i tabel 9.4.

Kanal/ Grøft	Dimensions- givende regn	Udnyttelsesgrad [%]				
		2 min	5 min	10 min	20 min	30 min
V1	5 min	77	101	97	77	65
V2	5 min	76	102	99	79	68
V3	5 min	18	27	36	45	54
V4	5 min	61	90	101	80	67
V5	2 min	61	90	101	80	67
V6	10 min	56	82	91	78	66
V7	10 min	59	89	102	85	71
V8	5 min	68	95	95	79	67
V9_1	5 min	59	89	90	72	59
V9_2	10 min	67	95	95	79	67
V10	10 min	53	82	91	78	66
V11	10 min	42	70	83	71	58
V12	10 min	54	81	98	80	67
V13	10 min	57	105	99	78	68

Tabel 9.4: Udnyttelsesgrad for kanalerne, med regulerede dimensioner.

På figur 9.6 (s. 48) er illustreret de tre vejkanaler V4, V7 og V8, som ikke havde tilstrækkelig kapacitet før reguleringen. Disse stuer ikke længere op til terræn, ligesom de øvrige kanaler også har opnået en udnyttelsesgrad på omkring 100 % ved den dimensionsgivende regnvarighed.



Figur 9.6: Udnyttelsesgrad for V4, V7 og V8 efter regulering af dimensioner.

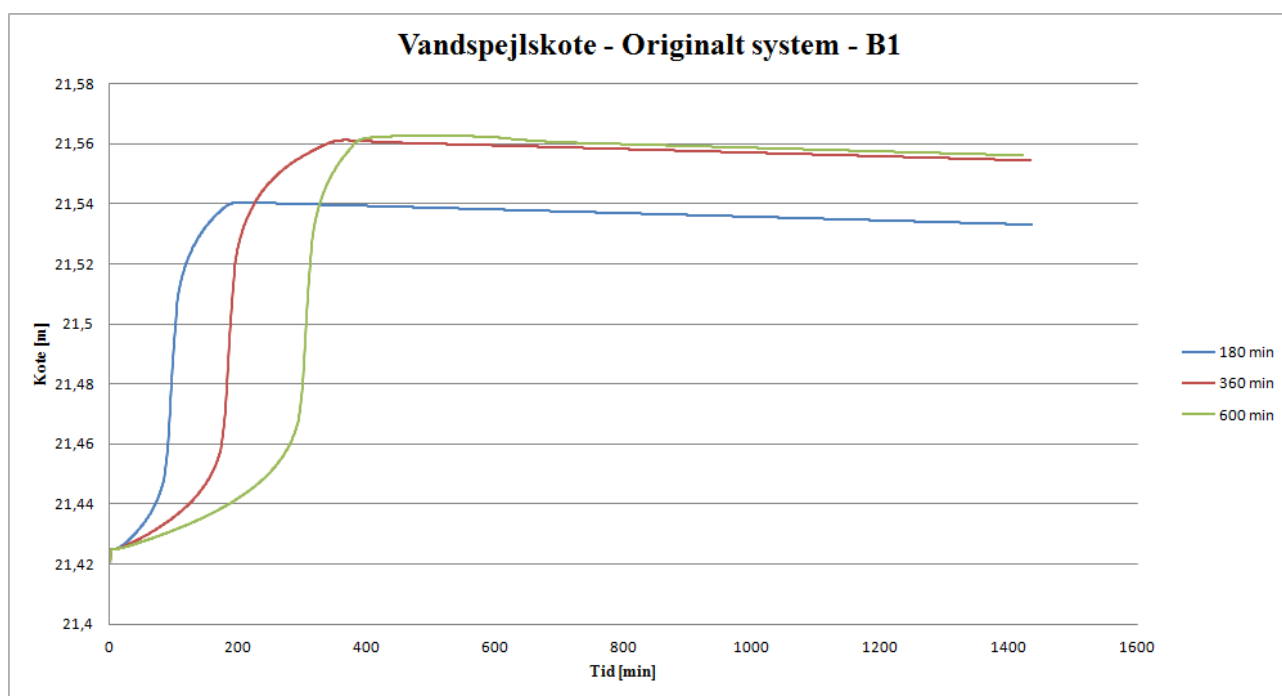
9.2.2 Bassiner og fællesarealer

Bassinerne og fællesarealerne vurderes, i modsætning til kanalerne og grøfterne, ikke ud fra deres udnyttelsesgrad ved forskellige kasseregne, men ud fra om de fyldes ved forskellige CDS-regnhændelser. Regnhændelserne der er dimensionsgivende for bassiner adskiller sig fra de dimensionsgivende regnhændelser for kanaler og grøfter, ved at have en længere regnvarighed. Derfor anvendes der CDS-regnhændelser med en varighed på 3 timer og derover. Med CDS-regnene, der er beskrevet tidligere, er det muligt at bestemme vandstanden i de forskellige vejvandsbassiner og nedsivningsbassiner. I det følgende er der taget udgangspunkt i bassin B1. Resultaterne for de øvrige bassiner er vedhæftet elektroniske bilag C og D, og følge samme princip som B1.

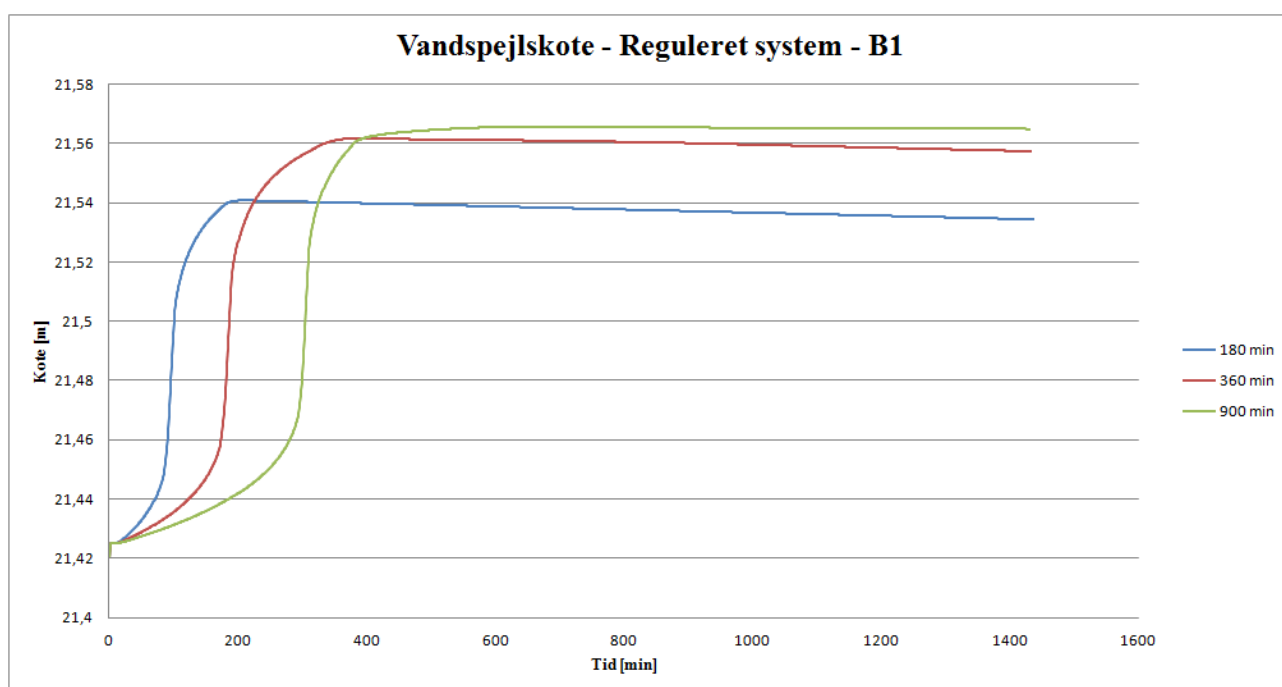
Bassin B1 har topkote i kote 21,56. Der vil derfor forekomme overløb ved vandstande højere end disse. Ifølge det detailprojekterede bør bassin B1 være fyldt ved en tre timers regn med en gentagelsesperiode på 5 år. På figur 9.7 er vandstanden i B1 som funktion af tiden illustreret med forskellige varigheder af CDS-regnhændelser.

Det ses at B1 ikke bliver fyldt ved en varighed på 3 timer som det blev beregnet i detailprojekteringen. Desuden ses det at overløbet træder i kraft ved regnhændelser med længere regnvarigheder. På figur 9.8 er de samme regnhændelser påsat det regulerede system og det ses at det samme gør sig gældende som ved det ikke regulerede system.

I begge tilfælde skal den lange hale noteres. Udledningen på $11/(s \cdot \text{red. ha})$ giver en udledning på $0,0017 \text{ m}^3/\text{s}$ for B1 hvilket svar til en tømmetid på knap 6 dage.



Figur 9.7: Vandstand i B1 ved belastning af CDS-regn på det originale system.



Figur 9.8: Vandstand i B1 ved belastning af CDS-regn på det regulerede system.

9.3 Delkonklusion

Ud fra resultaterne fra Mike Urban kan det vurderes, at forskellen i at anvende den simple rationelle metode og en tids-areal beregnet overflademodel koblet med en fuld dynamisk afstrømningsmodel,

er tilstrækkelig stor til at vejvandssystemet ikke ville kunne håndtere den dimensionsgivende regn. Derfor er de kanaler, der ikke havde tilstrækkelig kapacitet, blevet reguleret i dimensionerne, således at systemet kan håndtere de påsatte kasseregne. Modsat kanalerne har grøfterne tilstrækkelige kapacitet, og disse reguleres derfor ikke.

Både bassiner og fællesarealer har i følge Mike Urban tilstrækkelig kapacitet til den dimensionsgivende regnhændelse, der blev anvendt under detailprojekteringen, men ikke en regnhændelse med en regnvarighed, som er længere end de 3 timer. Dette tyder på at bassinernes design eventuelt skal revurderes og deres udledninger sættes op.

I efterfølgende kapitel vil systemet blive påført historiske regnhændelser med henblik på at vurdere en statistisk gentagelsesperiode for opstuvning til terræn, og om de regulerede dimensioner sikre systemet mod de kriterier, der er stillet. Desuden vil systemet blive udsat for en fremskrevet regnhændelse for at vurdere klimaets virkning på systemet.

Kapitel 10

Historisk regn på systemet

I følgende kapitel beskrives påvirkningen af en historisk regnserie på projektmodellen. Der anvendes en regnserie fra Holstebro og Herning. Sidstnævnte fremskrives med en sikkerhedsfaktor på 1,43. Kapitlet afrundes med en vurdering af resultaterne.

10.1 Regnserier

Der laves i alt fire simuleringer, som er simulering en med regnserien fra Holstebro og tre simuleringer med regnserien fra Herning. Efterfølgende refereres disse som Holstebro, Herning, Fremskrevet og Original Model. Holstebro og Herning er den regulerede model med tilhørende regnserie uden nogen klimafaktor. Fremskrevet er den regulerede model med Herning regnserien og en sikkerhedsfaktor. Original Model er den originale model uden reguleringer med Herning regnserien og en sikkerhedsfaktor. Der anvendes en sikkerhedsfaktor på 1,43, som der også anvendes i detailprojekteringen.

Der er valgt at tage begge regnserier med, da Holstebro er det mest geografisk nøjagtige for netop projektområdet. Dog er målingsperioden på lidt over 10 år jf. tabel 10.1. En kort regnserie kan medføre usikre resultater, da det ikke vides om den største regn i perioden, eksempelvis er en 5, 10 eller 100 års regnhændelse. Grundet denne usikkerhed medtages Herning, som har målingsdata fra en periode på over 35 år jf. tabel 10.1. Statistisk set vil en længere målingsperiode give færre usikkerheder end en kortere målingsperiode.

	Start	Slut	Varighed
Holstebro	03-04-2004	15-01-2015	10 år
Herning	26-03-1979	13-01-2015	35 år

Tabel 10.1: Historisk regnserie data.

Alle grøfter, kanaler, bassiner og fællesarealer med undtagelse af regnbede, er dimensioneret ud fra en 5 års gentagelsesperiode, hvor der er medregnet en sikkerhedsfaktor. Derfor er det resultaterne fra Herning regnserien med sikkerhedsfaktor, som bør have en gentagelsesperiode på 5 år. Regnbedene er regnet for en gentagelsesperiode på 100 år og bør derfor ligge på maksimum for regnserien.

	Vandføring [m ³ /s]	Varighed [min]	Antal jobs [stk]
Holstebro	0,0500	1	1329
Herning	0,0500	1	3312
Fremskrevet	0,0500	1	4657
Original Model	0,0500	1	4657

Tabel 10.2: LTS betingelser for regnserierne.

Ved hjælp af Long Term Statistics i Mike Urban er det muligt at udvælge specifikke regnhændelser ud fra vandføring og varighed og på denne måde mindske mængden af databehandling. Samtidigt sørger LTS for at lave statistik på systemet, således at gentagelsesperioderne for opstuvning til terræn for samtlige brønde og bassiner beregnes. Grundet den lille model og i forvejen korte beregningstid i Mike Urban, er der valgt et lille start kriterie, således at flest mulige regnhændelser medregnes i statistikken. Se tabel 10.2 (s. 51) for start kriterier og antal medregnet jobs.

10.2 Resultater

For alle fire simuleringer er der i tabel 10.3 listet hvor mange "nodes", der har opstuvning til terræn indenfor forskellige intervaller for gentagelsesperioder. Som det fremgår af tabellen har Holstebro modellen ingen gentagelsesperioder over 15 år. Mere korrekt er det over 10 år, da måleperioden for Holstebro kun er på lidt over 10 år. Derfor antager Mike Urban at den største regnhændelse i måleperioden, svarer til en regnhændelse med en gentagelses periode på 10 år. Derfor er det sidste interval for Holstebro ikke 10 - 15 år, men 10 år <.

	Holstebro	Herning	Fremskrevet	Original Model
< 1 år	0	0	1	4
1 - 2 år	1	0	2	16
2 - 5 år	6	1	17	11
5 - 7 år	17	4	8	0
7 - 10 år	7	6	5	2
10 - 15 år	19	8	3	2
15 - 20 år	-	12	5	5
20 - 30 år	-	7	2	3
30 år <	-	12	7	7

Tabel 10.3: Interval for gentagelsesperioder for opstuvning til terræn i brøndene.

Alle kanaler, grøfter, bassiner og fællesareal ønskes som minimum at kunne håndtere regnhændelser med en gentagelsesperiode på 5 år, derfor er det intervallet 5 - 7 år, der er de accepterede værdier. Med undtagelse af regnbedene, da disse er dimensioneret ud fra en gentagelsesperiode på 100 år.

Holstebro modellen er den model med flest "nodes" indenfor det accepterede interval, dog er denne model hverken fremskrevet eller sikker nok, grundet den korte måleperiode, som gør modellen for usikker.

Herning modellen er den model med færrest "nodes" med opstuvning til terræn indenfor de 5 år. Dog er denne model ligeledes ikke fremskrevet, og giver derfor et billede af hvordan afvandingssystemet ville fungere, hvis afvandingssystemet var aktivt i dag, men ikke et billede af hvordan systemet vil opføre sig i fremtiden. Desuden noteres det at størstedelen af "notes" har en højere gentagelsesperiode end de 5 - 7 år, og systemet er derfor overdimensioneret i forhold til eksisterende regnhændelser.

Den originale model har ingen "nodes" indenfor det accepterede interval, og størstedelen af alle "nodes" har opstuvning til terræn indenfor gentagelsesperioden på 5 år.

Den fremskrevne model har nogle få "nodes" som ligger indenfor det accepterede interval. Dog har størstedelen af alle "nodes" opstuvning til terræn ved større gentagelsesperioder end 5 år.

På figur 10.1 (s. 54) er samtlige "nodes" og deres tilhørende gentagelsesperiode illustreret for den fremskrevne model. Se bilag C (s. 69) for resterende modeller. Figuren viser at samtlige regnbede er angivet med sort og har derfor en gentagelsesperiode på 30 år <, som forventet.

Vejkanalerne som udledes til bassin, B2, og bassin B2, har alle en gentagelsesperiode på under 5 år. Med undtagelse af en enkel brønd, hvor de to vejkanaler samles, denne ligger væsentlig højere.

Vejkanalerne som udles til bassin, B1, har en lav gentagelsesperiode opstrøms i systemet og indenfor det accepterede interval tættest på bassinet. Nær bassinet og bassin B1, er dog under det accepterede interval.

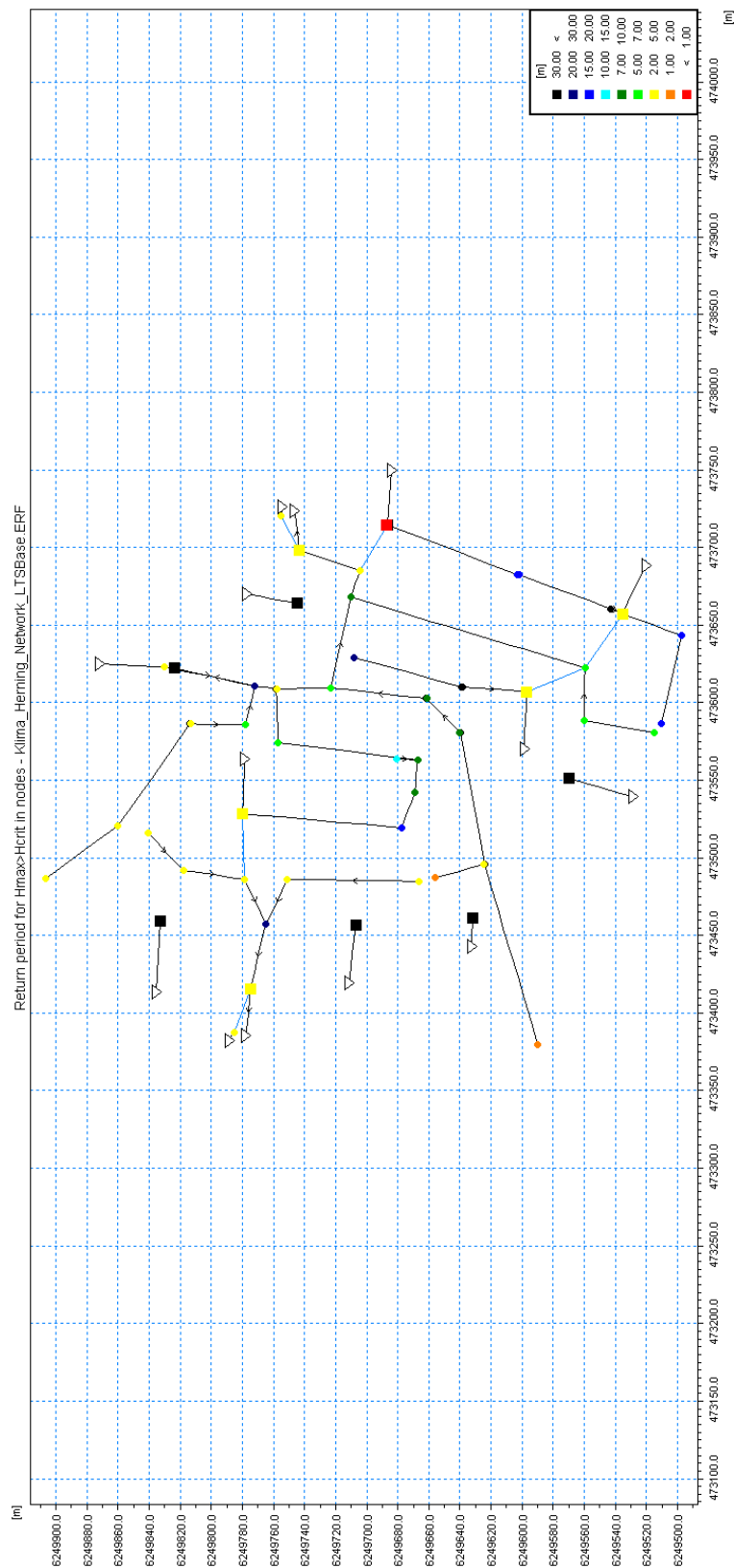
Samtlige grøfter har en gentagelsesperiode på over 5 år, dog har de tilhørende fællesarealer en væsentlig lavere gentagelsesperiode og overholder ikke kravet på 5 år.

10.3 Delkonklusion

Holstebro og Herning har begge kun nogle få "nodes" som har en gentagelsesperiode på under 5 år, dog er disse kun sigende for regnhændelser som forekommer i dag og ikke om 5, 10 eller 100 år. Derfor er disse bedst til sammenligning for hvordan afløbssystemet, ville reagere idag, hvis området stod færdig bygget.

Den original model uden reguleringer, har ingen accepterede "nodes", og det kan derfor konkluderes at reguleringer i systemet er nødvendigt. Dog har den fremskrevne model med tidligere reguleringer ikke mange flere "nodes" som er accepteret, størstedelen har dog en gentagelsesperiode på over 5 år, så der er færre hændelser med opstuvning til terræn ift. den originale model.

Det kan dog konkluderes at afvandingssystemet med reguleringer stadig ikke overholder kravet om ingen opstuvning til terræn før en regnhændelse på over 5 år, og der bør derfor reguleres yderligere, hvis dette vil opnås fuldstændigt.



Figur 10.1: Gentagelsesperiode for opstuvning til terræn for Fremskrevet model.

Kapitel 11

Diskussion

I følgende kapitel diskuteres Mike Urban modellens nøjagtighed. Som det tidligere er blevet konkluderet, stemmer modellen i Mike Urban ikke 100 % overens med det detailprojekterede. Det er derfor nødvendigt at vurdere og diskutere hvorfor der kan være en forskel fra det anvendte i detailprojekteringen og den måde Mike Urban regner på.

De tre punkter der vil blive diskuteret er som følge:

- Grøfterne.
- Vejkanalerne
- Bassinerne og fællesarealerne

For grøfterne blev det vurderet ud fra kasseregningen og de historiske regnserier at disse er overdimensioneret i forhold til det, der blev detailprojekteret. Dette kan skyldes de fiktive brønde, hvis diameter er fastsat efter topbredden af trapeztværsnittet. Dette bidrager med et større volumen til kanalen. Desuden blev gyldighedskriteriet for Mannings formel ikke overholdt under detailprojekteringen, hvilket medførte valget om at udregne dimensionerne på baggrund af Colebrook & White. Dog anvender Mike Urban Mannings formel som impulslikning og der kan derfor evt. forekomme forskelle imellem det projekterede og det simulerede på baggrund heraf.

For kanalerne er der den samme problemstilling som med grøfterne, da der også her er blevet anvendt Colebrook & White under detailprojekteringen og Mannings formel i Mike Urban. Kanalerne er dog mange steder underdimensioneret ifølge Mike Urban modellen hvilket gav anledning til regulering af dimensionerne. En af grundene til at det detailprojekterede havde for små dimensioner kan være at Mike Urban regner med tilbagestuvning, hvilket den rationelle metode ikke tager højde for. Desuden er der i Mike Urban anvendt tid-areal metoden, som modsat den rationelle metode, tager højde for hvilke oplande der bidrager i et bestemt punkt til et bestemt tidspunkt. Dette kan også give anledning til større peakværdier.

Bassinerne og fællesarealerne var ifølge Mike Urban modellen underdimensioneret, da de havde en kapacitet, som var tilstrækkelig ift. den regnhændelse der blev anvendt under detailprojekteringen, men løb over ved regnhændelser med længere varigheder. Dette var særligt et problem med kasseregningene, da der ved længere regnhændelser blev genereret store mængder kunstigt vand i Mike Urban, da programmet ikke kan regne på tomme kanaler. Derfor blev systemet også belastet med en CDS-regn, hvor der ligeledes blev genereret store mængder kunstigt vand og det er derfor nødvendigt at forholde sig kritisk til resultaterne. Udledningerne på især vejbasinerne er desuden relativt lave. Det kan diskuteres om det er muligt at anlægge vandbremsere, der udleder mellem 1 - 2 l/s og desuden om det er rimeligt eftersom et langt større areal reelt set bliver befæstet under byggemodningen. Som det blev nævnt tidligere ligger tømmetiden for vejbasinerne på knap 6 dage, hvilket kan reduceres kraftigt ved eventuelt at øge udledningen til 5 l/s, hvilket Spildevandsplanen, fra Holstebro Kommune, anbefaler som

minimums udledning jf. Holstebro Kommune [2011]. Selvom der ud fra modellen er stor usikkerhed om hvorvidt Mike Urban regner på de detailprojekterede bassiner, vurderes det at bassinerne ikke er skyld i at kanalerne stuver op ved de kortere regnhændelser, da det først er ved de længerevarende regnhændelser at bassinerne har kapacitetsproblemer. Derfor vurderes det, at det stadig er muligt at forholde sig til de øvrige resultater for kanalerne og grøfterne.

Tilsidst bør resultaterne fra simuleringerne med historiske regnserier diskuteres. Her viste det sig at selv ved det regulerede system, vil der for flere kanaler forekomme opstuvning til terræn for regnhændelser med gentagelsesperioder lavere end de 5 år, som var kriteriet. Derfor kan det vurderes om kanalerne skal reguleres endnu engang således at alle dele af systemet overholdte perioden, eller om det tillades at vejene bliver anvendt som kanaler hyppigere end hvert femte år som var kriteriet jf. Holstebro Kommune [2011].

Kapitel 12

Konklusion

Ud fra analysen af terrænet og det nuværende forløb af vandet i området for det fremtidige Alstrup vurderes det, at de eksisterende planer for opbygningen med fordel kan revurderes. Denne vurdering bygger på en terrænmodel, der viste, at et af de planlagte fællesarealer er placeret på en bakketop. Derimod er et af de planlagte parcelhusområder placeret i en lavning, hvorfor de to områder med fordel kan ombyttes. Desuden blev der ud fra en terrænmodel vurderet, at den vestlige del af områdets vejvand skal afledes til et bassin beliggende på modsatte side af Ellebæk via en bro, der også fungerer som akvædukt.

Ud fra et ønske om at håndtere regnvandet lokalt og på overfladen blev håndteringen af vej- og tagvand designet og dimensioneret som åbne kanaler og grøfter. For kanaler betyder det, at de ved krydsning med veje og indkørsler skal lægges i lukkede betonkanaler eller rørlægges. Rent anlægsmæssigt vurderes løsningen til at være dyrere end ved traditionelle afvandingssystemer i form af rørlægning. Dog vil vedligeholdelsen være billigere, da åbne kanaler er nemmere at komme til. Desuden skal rør lægges i frosthøje dybde, hvilket kan medføre, at der skal installeres pumper for at systemet kan fungere. Dette vil også øge driftsprisen for et rørlagt systemet. Bassinerne, der skal håndtere vejvandet, designs med forbassin for at reducere udledelsen af forurenede stoffer i vejvandet, og for at vedligeholdelsen nemmere. Grundet det høje vandspejl samt leret jord er bassinerne til vejvand vurderet uegnet som nedsivningsbassiner, men bassinerne er i stedet dimensioneret med udledning med vandbremse og overløb til Ellebæk. Ved større regnhændelser, hvor udledningen ikke kan følge med eller, der forekommer overløb fra fællesarealerne, skal systemet desuden dimensioneres, således at vejene anvendes som kanaler før vandet render ind på grundene.

For grøfterne, der skal transportere tagvand til fællesarealerne der virker som nedsivningsbassiner, er det valgt at benytte et trapezformet tværsnit. Grunden til dette design er ønsket om, at grøfterne skal indgå som en naturlig og usynlig del af grundene. Ligesom med vejkanalerne er udgifterne til vedligeholdelsen lavere ved denne løsning. Dette skyldes, at det er grundejerne, som sikrer at grøfterne vedligeholdes ved eksempelvis at slå græsset i dem. Grøfterne på grundene vil udover at transportere vandet væk fra grundene også sørge for nedsivning og fordampning heraf i modsætning til en løsning med rør, hvor der hverken vil være fordampning eller nedsivning.

Ved simulering med historiske regnhændelser i Mike Urban, blev det vurderet at den fremskrevne Originale Model, uden reguleringer, ikke overholdte kriteriet for opstuvning til terræn ved en gentagelsesperiode på 5 år. I den model var størstedelen af alle "nodes" underdimensioneret og ingen var indenfor det accepterede interval på 5 - 7 år. Den fremskrevne model med reguleringer havde færre underdimensionerede "nodes" end den originale model og flere "nodes" indenfor det accepterede interval. Ud fra dette konkluderes det, at hvis der ønskes en model uden opstuvning til terræn indenfor en gentagelsesperiode på 5 år, bør der fortsat reguleres i modellen.

Kapitel 13

Perspektivering

Under perspektiveringen beskrives forskellige muligheder for at videreudvikle projektet.

I rapporten antages der en hydrauliske ledningsevne for sandjorden i området i forbindelse med nedsivning i fællesarealerne. Denne kunne i stedet vurderes ved at udføre nedsivningsforsøg i område. Forsøgene kunne også anvendes til at bestemme jordens mætningsgrad, som ikke er medtaget i projektet.

Afvandingssystemet i Mike Urban kan stadig kalibreres og justeres, således simuleringerne bliver mere virkelighedsnære. Der er forskellige beregningsmetoder til beregning af overflademodel og afstrømningsmodel samt forskellige input i modellen, som kan justeres, igen for at gøre modellen mere nøjagtig.

Ligeledes kan detailprojekteringen gøres mere detaljeret ved at anvende tid-areal metoden i stedet for den rationelle metode til dimensioneringen af vejkanaler og grøfter.

I projektet afgrænses et mindre område af Alstrup med henblik på at projektere et afvandingssystem for dette delområde. Der kunne derfor arbejdes videre med at implementere projektets ideer og løsninger til hele Alstrup og skabe et sammenhængende og fungerende system for hele byområdet.

I forbindelse med projekteringen af hele Alstrup området, kunne der udarbejdes et oversvømmelseskort til at illustrere hvor vandet ved større regnhændelser vil samle sig og skabe oversvømmelsesproblemer. Ligeledes kunne der udarbejdes et risikokort, hvor oversvømmelserne vægtes efter et økonomisk perspektiv.

Med hensyn til økonomi kunne der også laves et overslag over systemets samlede pris og senere vedligeholdelse. Ud fra dette kunne priserne for et system svarende til det i projektet dimensionerede og et system med lukkede rør under terræn sammenlignes. Herunder pris for anlæg, drift og vedligeholdelse.

Der kunne arbejdes videre med regnbedene i projektet ved at vurdere hvilke slags planter, der ville kunne leve under de forholdsvis fugtige levevilkår. Herunder kunne regnbedene også dimensioneres mere detaljeret. Dette kunne eventuelt være ved at variere dybden i bedene og skabe variation i plantetyperne grundet de forskellige vandstande, som dette ville skabe.

Ellebæk er et fredet vandløb, og der må derfor ikke ændres på dennes fysiske, biologiske og kemiske egenskaber. Derfor kunne følgende påvirkninger på Ellebæk i forbindelse med en udledning til vandløbet undersøges. Undersøgelsen kunne give indblik i påvirkningen af vandløbets vandstand, risiko for erosion nær udløb fra bassin, truede dyre- og plantearter og vandløbets vandkvalitet.

Til sidst kunne der have været fokus på det planlægnings- og lovgivningsmæssige i en byggemodning, herunder forholdet mellem bygherre, rådgiver og entreprenør, de forskellige myndigheders ansvar o. lign. Desuden kunne øvrige planer i området som helhed vurderes med fokus på hvilke konsekvenser

disse ville have for Alstrup. Der kunne også udarbejdes en plan for udviklingen af Alstrup fra udførelse til overdragelse kunne være taget i betragtning.

Kapitel 14

Litteraturliste

COWI A/S (2014). Byggemodning Alstrup, Geoteknisk undersøgelsesrapport. Udleveret af COWI.

Danmarks Miljøportal (2014). *Arealinformation*. URL:

<http://arealinformation.miljoportal.dk/distribution/>. Downloadet: 28-11-2014.

Geodatastyrelsen, Miljøministeriet (2014). *Kortforsyningen download, DHyM/Rain*. URL:

<http://download.kortforsyningen.dk/content/dhymrain>. Downloadet: 25-11-2014.

Guardabarrancosa (2012). *The Fruits of My Labor Are Small But Sweet*. URL:

<https://guardabarrancosa.wordpress.com/>. Downloadet: 15-12-2014.

Hansen, N. (2014). *Nordjylland fik 148 mm på 2 døgn*. URL: [http:](http://www.dmi.dk/nyheder/arkiv/nyheder-2014/10/nordjylland-fik-148-mm-paa-2-doen/)

[//www.dmi.dk/nyheder/arkiv/nyheder-2014/10/nordjylland-fik-148-mm-paa-2-doen/](http://www.dmi.dk/nyheder/arkiv/nyheder-2014/10/nordjylland-fik-148-mm-paa-2-doen/).

Downloadet: 13-11-2014.

Haveselskabet (2013a). *Gode planter til regnbedet*. URL:

<http://haveselskabet.dk/artikel/gode-planter-til-regnbedet>. Downloadet: 15-12-2014.

Haveselskabet (2013b). *Regnbed*. URL: <http://haveselskabet.dk/artikel/byg-et-regnbed>.

Downloadet: 15-12-2014.

Hillerød Kommune (2013). *Eksempler på LAR*. URL: [http://www.hillerod.dk/da/ForBorgere/](http://www.hillerod.dk/da/ForBorgere/Natur_Miljoe_og_Klima/Klima/Lokal_afledning_af_regnvand/Eksempler_paa_LAR.aspx)

[Natur_Miljoe_og_Klima/Klima/Lokal_afledning_af_regnvand/Eksempler_paa_LAR.aspx](http://www.hillerod.dk/da/ForBorgere/Natur_Miljoe_og_Klima/Klima/Lokal_afledning_af_regnvand/Eksempler_paa_LAR.aspx).

Downloadet: 15-12-2014.

Holstebro Kommune (2011). *Holstebro Kommune Spildevandsplan 2011-2016*. URL:

<http://ipaper.ipapercms.dk/Holstebro/Brochurer/>

[HolstebroKommuneSpildevandsplan20112016/Accessible.aspx](http://ipaper.ipapercms.dk/Holstebro/Brochurer/HolstebroKommuneSpildevandsplan20112016/Accessible.aspx). Downloadet: 19-11-2014.

Holstebro Kommune (2013a). *Indledning - Kommuneplan 2013*. URL:

http://holstebro-kp13.cowi.webhouse.dk/dk/udviklingsmaal_for_kommunen/indledning_-_kommuneplan_2013/indledning_-_kommuneplan_2013.htm. Downloadet: 17-11-2014.

Holstebro Kommune (2013b). *Infrastruktur og trafik*. URL:

[http://holstebro-kp13.cowi.webhouse.dk/dk/udviklingsmaal_for_kommunen/](http://holstebro-kp13.cowi.webhouse.dk/dk/udviklingsmaal_for_kommunen/infrastruktur_og_trafik/infrastruktur_og_trafik_02.htm)

[infrastruktur_og_trafik/infrastruktur_og_trafik_02.htm](http://holstebro-kp13.cowi.webhouse.dk/dk/udviklingsmaal_for_kommunen/infrastruktur_og_trafik/infrastruktur_og_trafik_02.htm). Downloadet: 17-11-2014.

Holstebro Kommune (2013c). *Kortbilag 1 - Planlagte veje og vejklasser*. URL: [http:](http://mygeocloud.cowi.webhouse.dk/apps/viewer/map_list_frame/holstebro/kommuneplan13?layers=kommuneplan13.eksisterende_trafik;kommuneplan13.motorvej;kommuneplan13.planlagt_trafik&lon=930773.68846187&lat=7634148.2034145&zoom=11&srs=EPSG:900913)

[//mygeocloud.cowi.webhouse.dk/apps/viewer/map_list_frame/holstebro/kommuneplan13?layers=kommuneplan13.eksisterende_trafik;kommuneplan13.motorvej;kommuneplan13.planlagt_trafik&lon=930773.68846187&lat=7634148.2034145&zoom=11&srs=EPSG:900913](http://mygeocloud.cowi.webhouse.dk/apps/viewer/map_list_frame/holstebro/kommuneplan13?layers=kommuneplan13.eksisterende_trafik;kommuneplan13.motorvej;kommuneplan13.planlagt_trafik&lon=930773.68846187&lat=7634148.2034145&zoom=11&srs=EPSG:900913).

Downloadet: 20-11-2014.

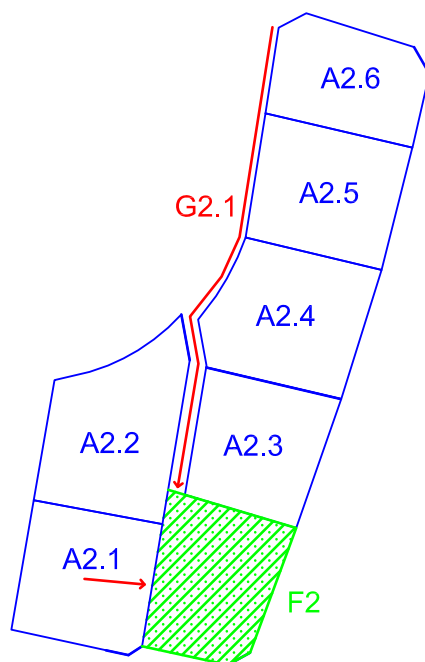
-
- Holstebro Kommune (2013d). *Redegørelse - Infrastruktur*. URL: http://holstebro-kp13.cowi.webhouse.dk/dk/udviklingsmaal_for_kommunen/infrastruktur_og_trafik/redegoerelse_-_infrastruktur_02.htm. Downloadet: 17-11-2014.
- Holstebro Kommune (2014). *Lokalplan nr. 1093*. URL: <http://llk.dk/kyn5fp>. Downloadet: 19-11-2014.
- IDA Spildevandskomiteen (2014). *Opdaterede klimafaktorer og dimesionsgivende regnintensiteter*. URL: https://ida.dk/sites/prod.ida.dk/files/svk_skrift30_0.pdf. Downloadet: 26-01-2015.
- Olesen, M. (2011). *Skybruddet i København - en smagsprøve på fremtidens klima*. URL: <http://www.dmi.dk/nyheder/arkiv/nyheder-2011/07/skybruddet-i-koebenhavn-en-smagsproeve-paa-fremtidens-klima/>. Downloadet: 13-11-2014.
- Rambøll A/S (2014). Undersøgelse for potentialet for gravning af sø ved Alstrup. Udleveret af Holstebro Kommune.
- susDrain (2012). *Component: Detention basins*. URL: http://www.susdrain.org/delivering-suds/using-suds/suds-components/retention_and_detention/Detention_basins.html. Downloadet: 15-12-2014.
- Teknologisk Institut (2013). *Parcelhuse*. URL: <http://www.laridanmark.dk/parcelhuse/32366>. Downloadet: 15-12-2014.
- Vejdirektoratet (2000). *Hæfte 2: traceringselementer*. Nr. ISBN: 87-7923-076-8 i Byernes trafikarealer. From & Co.
- Wadlow, L. (2010). *Detention Ponds*. URL: http://www.tleng.net/Dentention_Pond.html. Downloadet: 15-12-2014.
- Winther, L., Linde, J. J., Jensen, H. T., Mathiasen, L. L. og Johansen, N. B. (6. udgave, 1. opslag, 2011). *Afløbsteknik*. Nr. ISBN: 978-87-502-1015. Polyteknisk Forlag.

Afvanding af boligområderne

Følgende bilag redegør for skitseprojekteringen af afledning af regnvand fra boliggrundene. Herunder beskrives, hvordan regnvandet afledes via grøfter, og hvilket formål fællesarealerne har. Gældende for alle grøfter er, at de er åbne og opsamler vand fra grunden, herunder primært vand fra tage. Desuden er tanken at nedsive og tilbageholde så meget vand som muligt under transporten til fællesarealet.

Boligområde A2

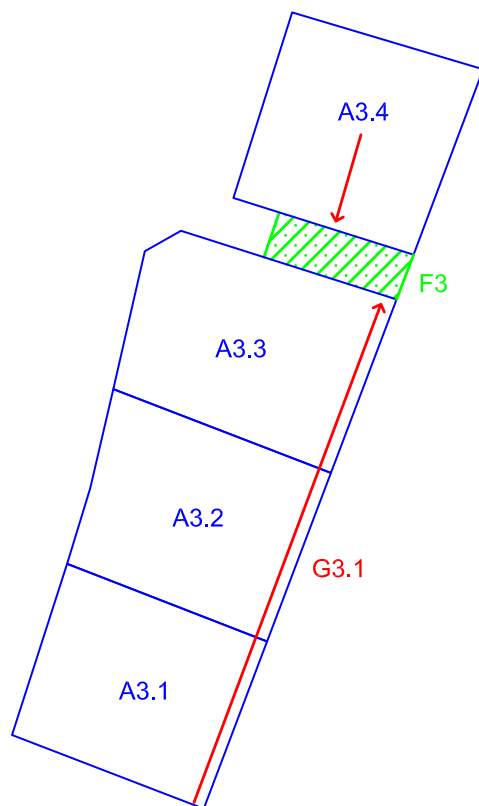
Boligområde A2 omfatter seks boliger, en grøft og et fællesareal jf. figur A.1. Bolig A2.2-A2.6 udleder til grøft G2.1, som udleder til fællesareal F2. Bolig A2.1 udleder direkte til fællesareal F2, der anvendes som tørbassin.



Figur A.1: Skitsetegning af afvanding fra boligområde A2.

Boligområde A3

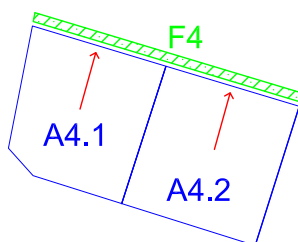
Boligområde A3 omfatter fire boliger, en grøft og et fællesareal jf. figur A.2 (s. 63). Bolig A3.1-A3.3 udleder til grøft G3.1, som udleder til fællesareal F3. Bolig A3.4 udleder direkte til fællesareal F3, der anvendes som tørbassin.



Figur A.2: Skitsetegning af afvanding fra boligområde A3.

Boligområde A4

Boligområde A4 omfatter to boliger og et fællesareal jf. figur A.3. Begge boliger A4.1 og A4.2 udleder direkte til fællesareal F4, der anvendes som regnbed.



Figur A.3: Skitsetegning af afvanding fra boligområde A4.

Boligområde A5

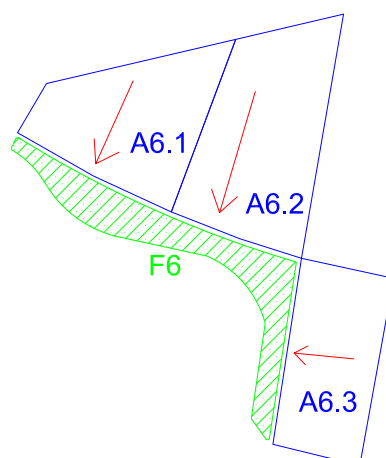
Boligområde A5 omfatter otte boliger, to områder til rækkehuse, en grøft og et fællesareal jf. figur A.4 (s. 64). Bolig A5.3 og A5.4 udleder til grøft G5.1, som udleder til fællesareal F5 via grøft G5.2, som opsamler vand fra bolig A5.5-A5.9. Bolig A5.1 og A5.2 udleder til vejkanal, V8, som udledes til bassin B1. Bolig A5.10 udleder direkte til fællesareal F5, der anvendes som tørbassin.



Figur A.4: Skitsetegning af afvanding fra boligområde A5.

Boligområde A6

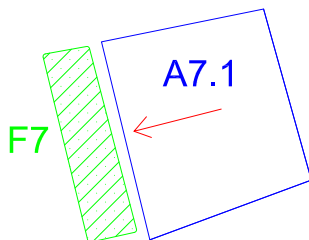
Boligområde A6 omfatter tre boliger og et fællesareal jf. figur A.5. Alle tre boliger, A6.1-A6.3, udleder direkte til fællesareal F6, der anvendes som regnbed.



Figur A.5: Skitsetegning af afvanding fra boligområde A6.

Boligområde A7

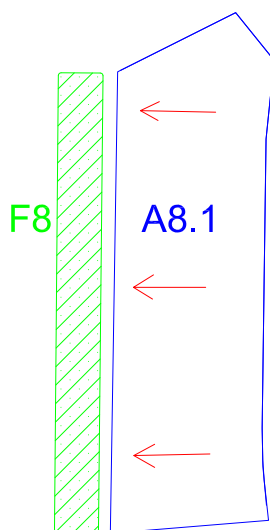
Boligområde A7 omfatter et område til rækkehuse og et fællesareal jf. figur A.6. Boligområde A7.1 udleder direkte til fællesareal, A7, der anvendes som regnbed.



Figur A.6: Skitsetegning af afvanding fra boligområde A7.

Boligområde A8

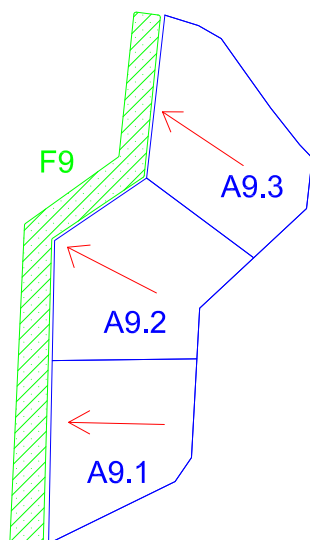
Boligområde A8 omfatter et område til rækkehuse og et fællesareal jf. figur A.7. Boligområde A8.1 udleder direkte til fællesareal A8, der anvendes som regnbed.



Figur A.7: Skitsetegning af afvanding fra boligområde A8.

Boligområde A9

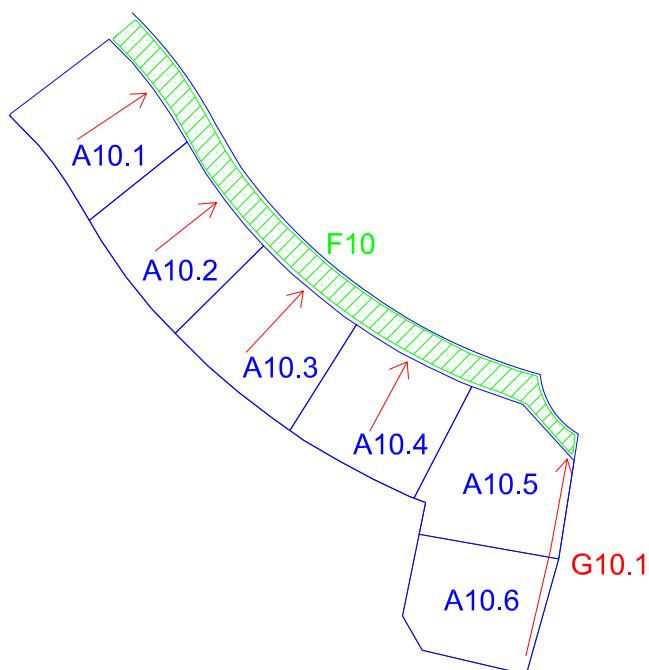
Boligområde A9 omfatter tre boliger og et fællesareal jf. figur A.8 (s. 66). Alle tre boliger, A9.1-A9.3, udleder direkte til fællesareal A9, der anvendes som regnbed.



Figur A.8: Skitsetegning af afvanding fra boligområde A9.

Boligområde A10

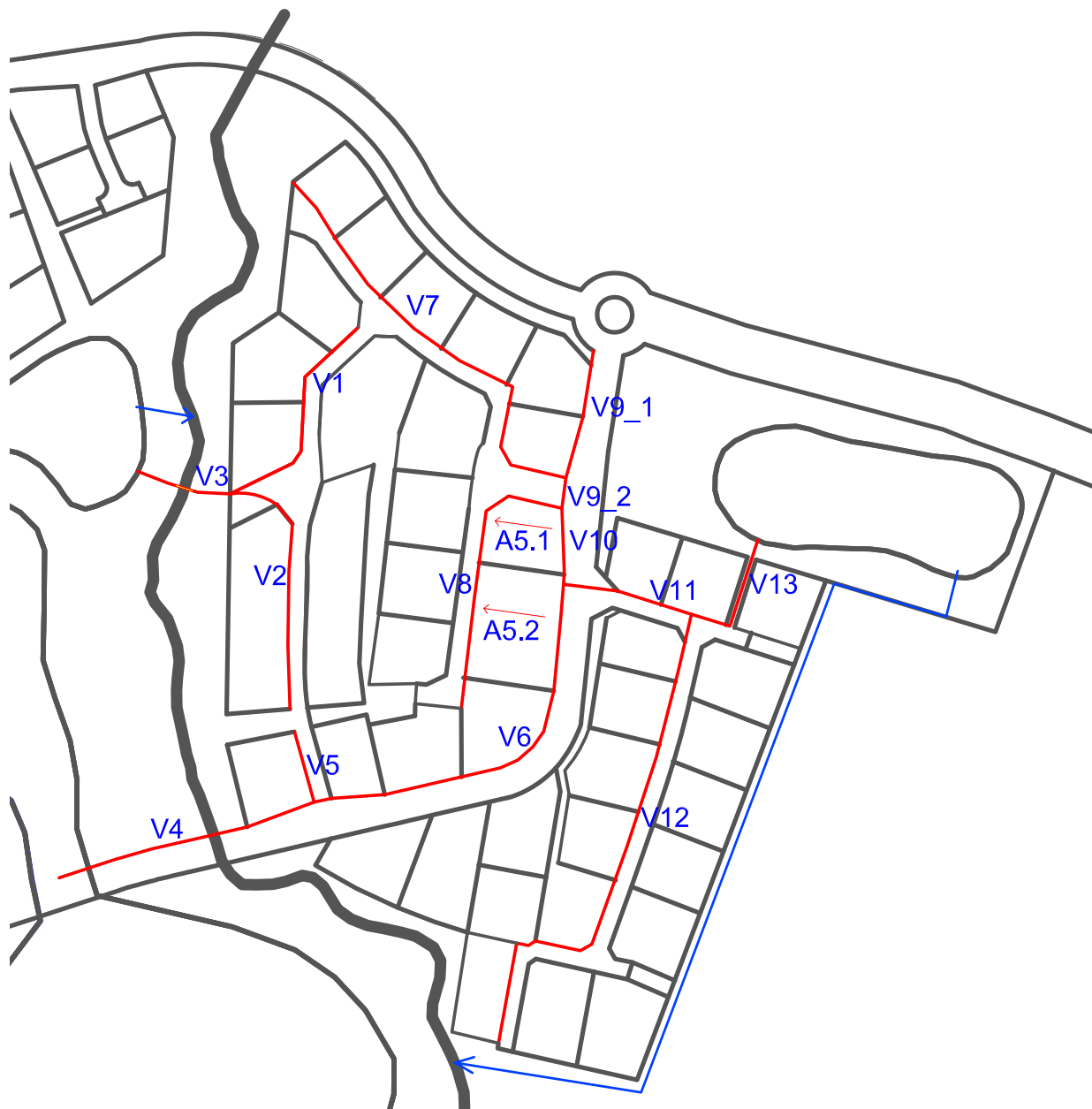
Boligområde A10 omfatter seks boliger, en grøft og et fællesareal jf. figur A.9. Bolig A10.6 udleder til grøft G10.1, som udleder til fællesareal F10. Resterende boliger A10.1-A10.5 udleder direkte til fællesareal F10, der anvendes som regnbed.



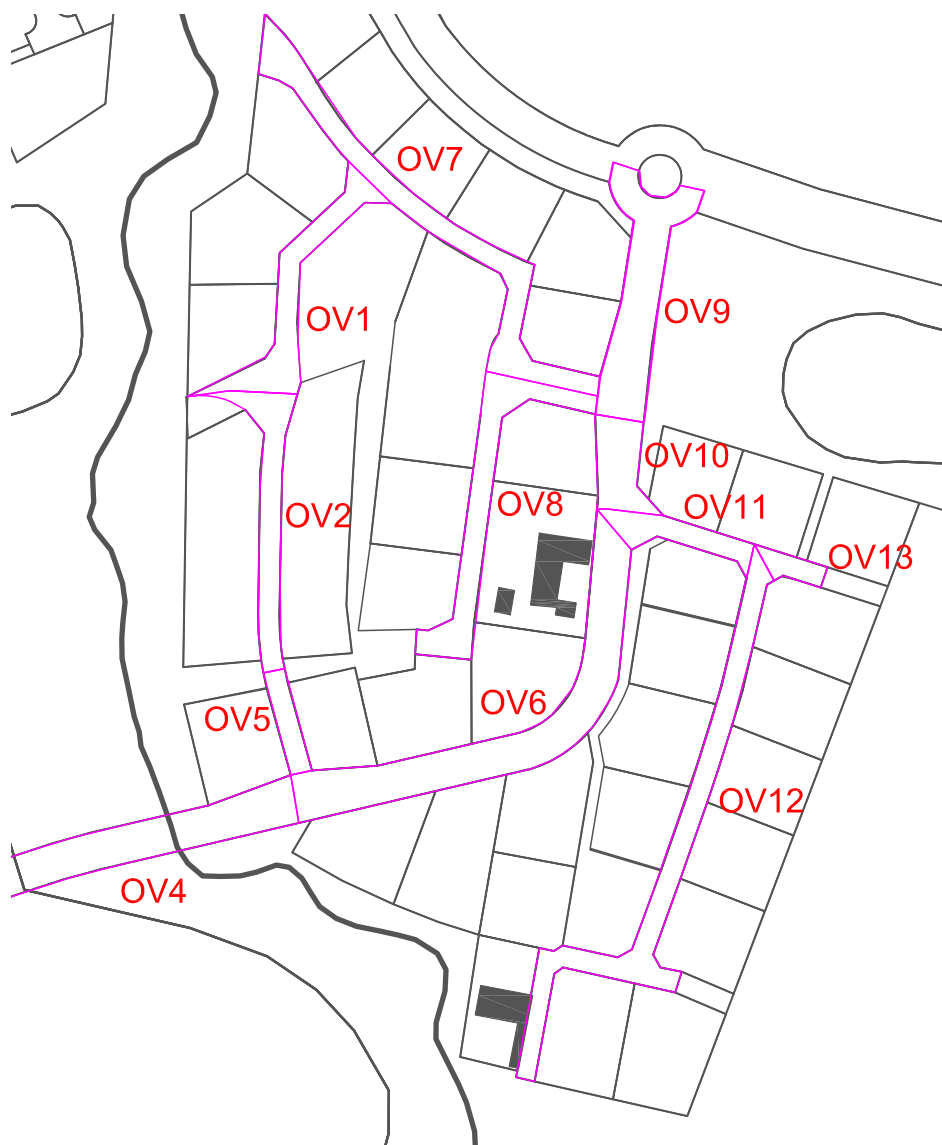
Figur A.9: Skitsetegning af afvanding fra boligområde A10.

Afledning af regnvand

På figur B.1 er kanalerne, der afleder vejvandet i Etape 1 illustreret. Desuden er der på figur B.2 illustreret de opland der hører til de respektive kanaler.

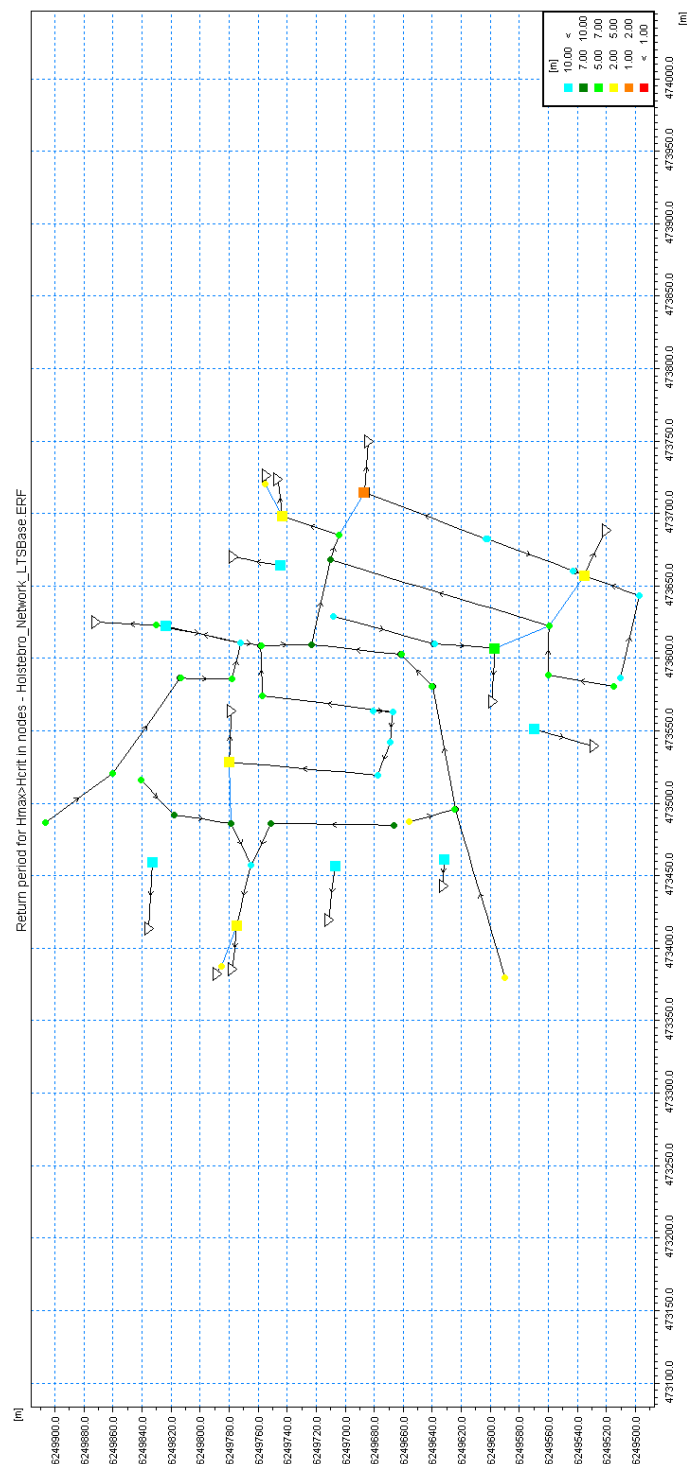


Figur B.1: Kanaler til afvanding af vejvand i Etape 1.

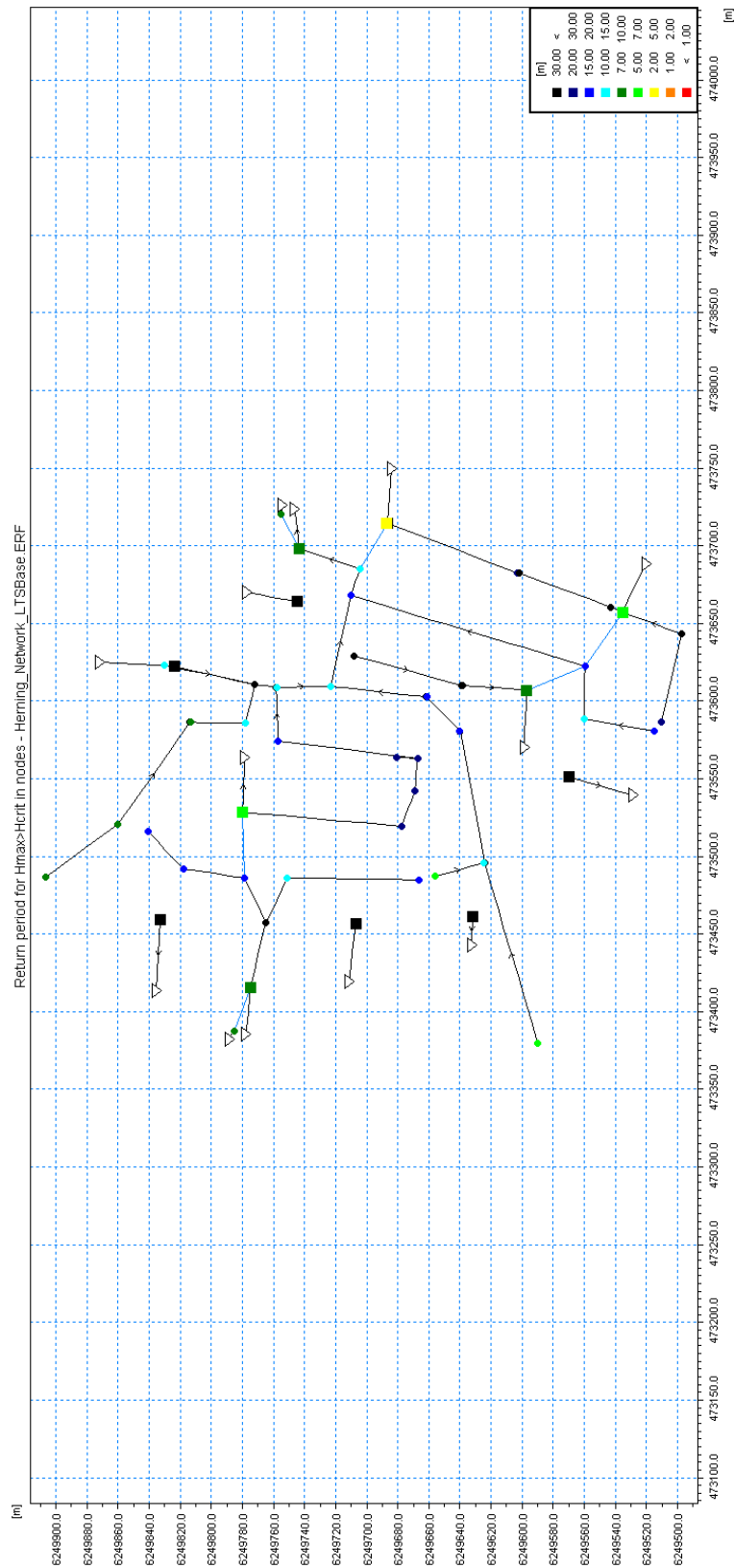


Figur B.2: Opland til kanalerne i Etape 1.

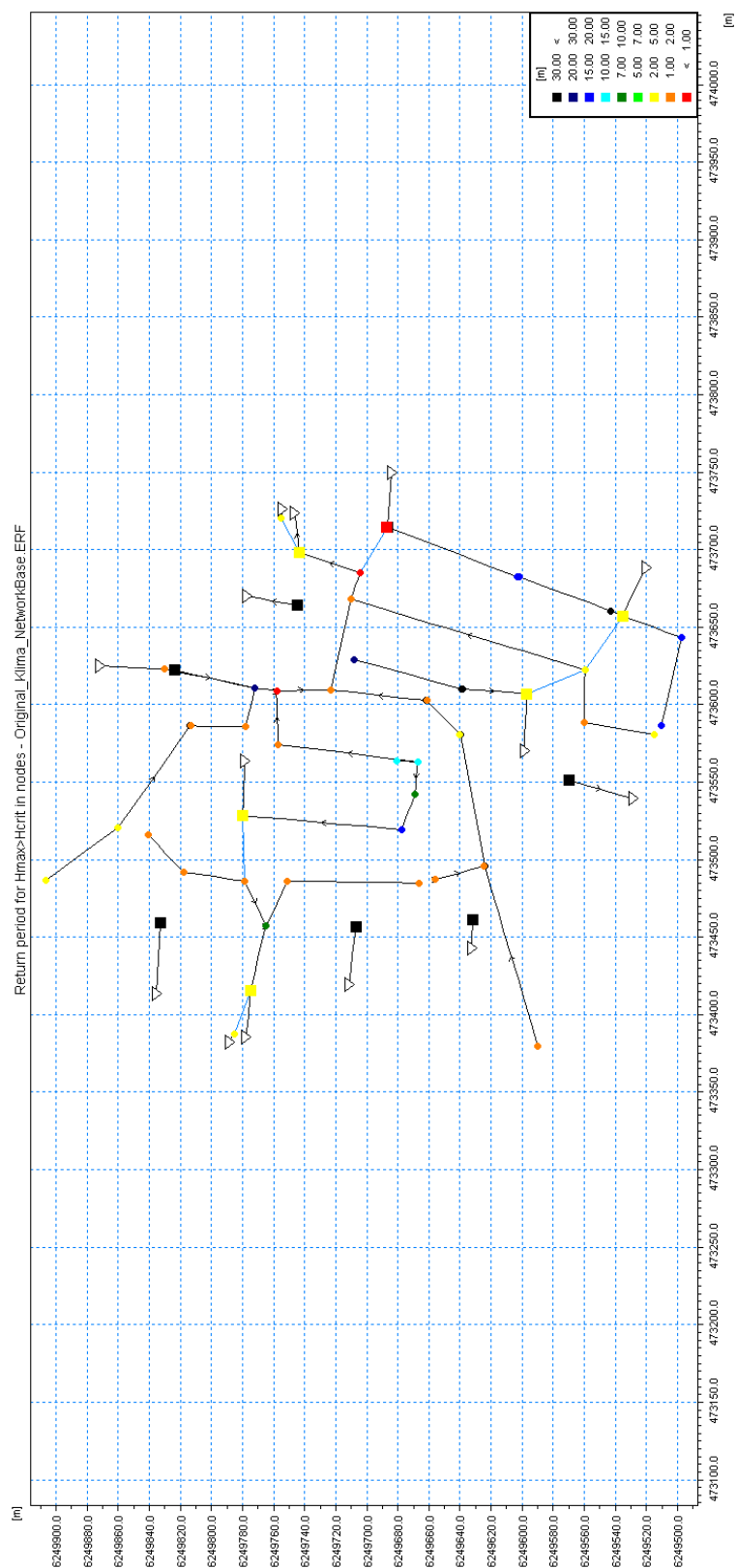
Resultater af historisk regnserier



Figur C.1: Gentagelsesperiode for opstuvning til terræn for Holstebro model.



Figur C.2: Gentagelsesperiode for opstuvning til terræn for Herning model.



Figur C.3: Gentagelsesperiode for opstuvning til terræn for Original model.