

De Ingeniør-, Natur- og
Sundhedsvidenskabelige Fakulteter
Byggeri og Anlæg
Vand og Miljø
Sohngårdsholmsvej 57
DK-9000 Aalborg
Telefon +45 9940 8530
<http://www.bsn.aau.dk>

Titel: Separatkolakering af afløbssystemet
i Dømmestrup

Projektperiode:

1. november 2010 – 19. januar 2011

Projektudarbejdelse:

Indiran Sivabala

Vejleder:

Torben Larsen

Opslagstal: 3

Sidetæl: 41

Bilagsantal: 5

Synopsis:

Denne rapport tager udgangspunkt i at separatkolakere afløbssystemet i Dømmestrup. I forbindelse med dimensionering af separatkloakering, er der foretaget analyse i simuleringsprogrammet MOUSE og hvorefter udformes en metode hvorpå afledning af regnvandet kan afregnes.

Til at foretage simuleringer i MOUSE, er der foretaget kalibreringer i MOUSE og bestemt indgangsparametrene til dette.

For at udforme hvorpå afledning af regnvandet kan afregnes er der anvendt 2 modeller, hvor i den ene er udformet efter befæstede arealer og det andet er udformet efter afledningen.

Preface:

This report starting point is separate sewer system in Dømmestrup. In context with the dimension of the separate sewer system, there is made an analyze in the simulation program MOUSE and afterwards there is structured a method where deflection of the rainwater can be coded.

To undertake the simulations in MOUSE, there has been made calibrations in MOUSE and defined entrance parameters for it.

For structuring the deflection of the rainwater there is used to models. The first model is the one structured for the sealed area and the other model is structured after the deflection right.

Forord

Denne rapport er udarbejdet på 7. semester på linjen Bygge og Anlæg under faggruppen Vand og Miljø på Aalborg Universitet i perioden 23. oktober 2010 til 19. januar 2011. Rapporten er dokumentation for afgangsprojektet som diplomingeniør.

Udarbejdelsen af denne rapport sker som en fortsættelse af et praktikophold ved Krüger A/S, hvor hoved opgaven er udarbejdet en fremtidig spildevandsplan, som overholder kravene fra vandplan, for Fåborg-Midtfynen Kommune. Kommune har planer om at separatkloakeres helt. Yderligere undersøgelse af mulighederne omkring separatkloakering nåede jeg ikke omkring i praktikken, men fandt emnet spændende og har derfor valgt at behandle det i dette afgangsprojekt, med udgangspunkt i området Dømmestrup, som ligger nordvestlig del af kommune.

Der bliver kun set på separatkloakering af regnvand. Simuleringer foretaget i MOSE programmet. Og der udarbejdet to hvile i sig selv princip for afledning af regnvandet.

Jeg vil gerne takke medarbejderne på Krüger A/S for den hjælp de har ydet under afgangsprojektet.

Læsevejledning:

Rapportens afsnit er nummereret fortløbende efter kapitel, afsnit og underafsnit. Figurer og tabeller er nummereret i henhold til kapitel, så den første figur i kapitel 5 har nummer 7.1, den anden nummer 5.2 osv. Forklarende tekst til figurer og tabeller findes under de givne figurer og tabeller. Formler angives efter nummerering i parentes.

Kildehenvisninger er lavet efter Harvard-metoden. Altså fremtræder kilder således som følgende [Efternavn, År]. En sådan henvisning fører til litteraturlisten bag i rapporten, hvor bøger er angivet med forfatter, titel, udgave og forlag, mens internetsider er angivet med forfatter, web-adresse, titel og dato. I litteraturlisten er titlerne sorteret alfabetisk efter forfatterens efternavn. Fodnoter bruges forklarende og uddybende for enkelt ord, og er anbragt første gang det pågældende ord anvendes

I rapporten findes bilagshenvisninger der leder til bilagsrapporten. Denne indeholder beregninger og anden dokumentation til understøtning af rapporten. Bilag C Den findes på den vedlagte CD.

Indholdsfortegnelse

1	Beskrivelse af lokalitet og målsætning	6
2	Kalibrerings analyse.....	9
2.2	Nedbør	10
2.3	Flow data	12
2.3.1	Rør kapacitet	13
2.4	Delkonklusion for kalibrering analyse	13
3	Fastlæggelse af hydrologisk reduktionsfaktor	14
3.2	Delkonklusion for kalibrering analyse	18
3.3	Del konklusion på fastlæggelse af hydrologisk reduktionsfaktor	18
3.4	Fastlagte sikkerhedsfaktor fra skrift 27	19
4	Separatkloakering af Dømmestrup.....	21
4.2	Krav for afledning af regnvand	21
4.3	Status situation	21
4.3.1	Ændring af ledningsnet	23
4.4	Løsning for opstuvning til terrænet	23
4.5	Bassin	25
4.5.1	Teoretisk metode for beregning af bassin størrelse	25
4.6	Hydraulisk kontrol med historisk regn	27
4.7	Omkostninger for traditionel separat kloakering.....	28
4.8	Omkostninger for utraditionel separatkloakering.....	29
5	Betalingsvedtægt for regnvand	31
5.2	Fire modeller om betalingsvedtægt	31
5.2.1	Fordele og ulempe ved de fire modeller	32
5.2.2	Del konklusion for de fire modeller	33
5.3	Udformning af betalingsvedtægt	34
5.4	Udformning af betalingsvedtægt efter befæstede areal	34
5.4.1	Vejarealers betalingsvedtægt efter befæstede areal	35
5.4.2	Ejendoms betalingsvedtægt efter befæstede areal	35
5.4.3	Konklusion på betalingsvedtægt efter befæstede areal	36
5.5	Udformning af betalingsvedtægt efter afledningsret.....	36
5.5.1	Eksempel på afledningsret for ejendom.....	36
5.5.2	Begrænsning på udledning efter afledningsret fra privatejendomme	37
5.5.3	Udformning af betalingsvedtægt for vejareal efter afledningsret	37

5.6 Konklusion på betalingsvedtægt efter afledningsret	38
6 Ledningsnet efter afledningsret.....	39
7 Konklusion	40
8 Litteraturliste.....	41
 Bilag I: Fastlæggelse af indsivningsmængde	2
I.I Spildevand	2
I.II Indsivning.....	3
I.III Sammenligning af totale indløbsmængde til pumpestationer.....	4
Bilag II	5
Bilag III: MOUSE.....	7
III.I Beregningsgang i MOUSE	8
III.II Overflademodel	8
III.III Rør model.....	8
III.IV Fejlkilder	9
III.V MOUSE ind og out put filer.....	10
III.V.I Inputs filer.....	10
III.V.II Output	10
Bilag IV: Spektral analyse ved hjælp af Multispec Program.....	11
IV.I Definer analysetype	11
IV.II Selve analysen	11
IV.III Resultat	13

E-Bilag

Flow Data (mappe)

Beregning af hydrologiske reduktionsfaktor (excel)

MOUSE- modellen Dømmestrup(Mappe)

1 Beskrivelse af lokalitet og målsætning

Dette kapitel indeholder en kort beskrivelse af formålet med rapporten samt en demografisk beskrivelse af projektlokaliteten.

Midt på Fyn findes Fåborg-Midtfyn kommune, placeringen ses på figur 1-1. Kommunen har et areal på 637 km² og et indbyggertal på ca. 52.000 [Fåborg-Midtfyn, oktober 2010] og er i vækst, mht. bosætning og erhvervsudvikling. I området findes der bakker, skove og søer. Nr. Lyndelse, Nr. Søby, Lumby, Freltofte og Dømmestrup findes i Fåborg-Midtfyn kommune. Ovennævnte byer ligger i den tidligere Årslev Kommune og hører under den gældende spildevandsplan for Årslev Kommune fra 2003, indtil der laves en ny kommuneplan.



Figur 1-1 Fælleskloakeret område er markeret med lyserød og separat kloakeret er markeret med gul. Åerne er illustreret med mørkeblå farve.

På nuværende tidspunkt ledes spildevand og regnvand fra byerne Nr. Lyndelse, Nr. Søby, Freltofte, Lumby og Dømmestrup til rensning på Ejby Mølle Renseanlæg i Odense. Herfra udledes det til Odense Å og videre til Odense Fjord. Fåborg-Midtfyn Spildevand A/S har besluttet at rense spildevandet fra Nr. Lyndelse på Sdr. Nærå rensanlæg, som ligger i øst for Nr. Lyndelse i Fåborg Kommune, i stedet for at aflede spildevandet til rensning i Odense Kommune. Spildevandet fra Nr. Lyndelse ønskes pumpet til Sdr. Nærå ved at etablere ny trykledning fra Spanget, som ligger i Nr. Lyndelse. Desuden skal spildevand fra

Dømmestrup nu pumpes til Spanget. Efter rensning på Sdr. Nærå Renseanlæg udledes spildevandet til Vindinge Å og videre til Nyborg Fjord.

Under praktikperioden er det fundet frem til, at der er i alt syv udløb, der ikke overholder udledningskravet fra vandplanen om, at udledningen skal være på 250 m³/red.ha/år. De syv udløb er fordelt mellem de fire byer: Nr. Lyndelse, Nr. Søby, Dømmestrup og Freltofte. Dømmestrup er fælleskloakeret. Opblandet spildevand ledes via pumpestation til den afskærende ledning fra Nr. Lyndelse-Højby mod Odense. Ved pumpestationen findes et forsinkelsesbassin med aflastning til recipienten. Nr. Lyndelse og Nr. Søby er delvis separatkloakeret. Problemstillingen med de for store udledninger blev løst ved at forøge pumpeydelsen ved Dømmestrup og Freltofte, samt ved at udbygge to bassiner placeret i Nr. Søby og i Nr. Lyndelse.

Fåborg-Midtfyn Forsyning har på længere sigt planer om at separatkloakere hele området. Ved at separatkloakere hele Nr. Lyndelse og omegn kan vandmængden, som sendes til Sdr. Nærå renselanlæg reduceres, da regnvandet i stedet afledes direkte til recipienten. Herved opnås en større driftsbesparelse til rensning af spildevand samt pumpning fra Nr. Lyndelse til Sdr. Nærå renselanlæg. Samtidig kan udbygningen af spildevandsbassiner minimeres. Til gengæld er der udgifter til separering af regnvand og vedligeholdelse af separate regnvandsledninger og regnvandsbassiner.

De fremtidige klimaændringer er muligvis med til at øge regnmængden. Og der er risiko for, at de nuværende regnvandsledninger er for små, og der dermed skal fortages en opdimensionering af ledningsnettet. DANVA har udført en analyse af forskellige scenarier for, hvordan de øgede regnmængder kan håndteres.

“Denne analyse viser, at decentral håndtering af regnvand samfundsøkonomisk er væsentligt billigere end en opdimensionering af det traditionelle kloaknet.”¹

Spørgsmålet er, hvordan der kan skabes en decentral håndtering af regnvand?

Der kan indføres en betalingsvedtægt for afledning af regnvand, således, at hver grundejer i fremtiden betaler i forhold til hvor meget regnvand, der afledes. Hvis det synliggøres for borgerne, at det kan betale sig at håndtere regnvand på egen grund, bliver udledningen af

¹ Kilde: <http://www.danva.dk/Default.aspx?ID=2710&TokenExist=no>

regnvand til spildevandssystemet og regnvandssystemet minimeret. Håndtering af en del af regnvandet vil ske decentralt på ejendommene. Dermed minimeres opdimensionering af ledningssystemet.

I dette projekt ønskes det at skitsere en sådan betalingsvedtægt og finde ud af, hvordan man bedst beregner hvor meget regnvand, der afledes fra hver enkelt grund i Dømmestrup.

Fremgangsmåden er at dimensionere en separatkloakering af Dømmestrup og se på omkostningerne ved separat regnvandshåndtering og vedligeholdelse af regnvandsledninger. I stedet for at dimensionere nye regnvandsledninger, bliver der set på om den eksisterende fælleskloakerede ledninger kan benyttes som regnvandsledninger. Nærmere undersøgelser foretages vha. MOUSE. Derfor kalibreres MOUSE- modellen. Derefter undersøges det, hvordan omkostningerne til regnvandsledningene kan fordeles på hver enkelt grund i Dømmestrup. Pga. tidsmangel bliver der kun set på Dømmestrup.

2 Kalibrerings analyse

Det er vigtigt at kalibrere MOUSE, da specielt den estimerede hydrologiske reduktionsfaktor i MOUSE-modellen kan afvige markant fra den faktiske værdi. Der regnes som standard med en reduktionsfaktor på 0,9, men beregninger viser ofte, at den faktiske reduktionsfaktor er væsentligt lavere i landsbyer. Dette kan bevirke at afløbssystemer bliver overdimensionerede, da der regnes med større vandmasser end det i praksis er tilfældet. Derfor er det vigtigt at kalibrere modellen.

Der er af Krüger A/S fra Søborg lavet en spektral analyse² af projektlokaliteten, hvorfor der er godt styr på det befæstede areal. Det befæstede areal er på 4,5 ha. Projektlokalitetens (Dømmestrup) totale areal er på 19,3 ha. Dvs. ca. 25 % er befæstet areal. Antal person ækvivalent er 88 PE.

De data, som er til rådighed for at kalibrer modellen, er:

- Målte flow data for hele Nr. Lyndelse og omegn fra Odense kommune
- Målte indløbsmængder til forskellige pumpestationer i Fåborg
- Spektral analyse
- Regndata fra SVK-målerne

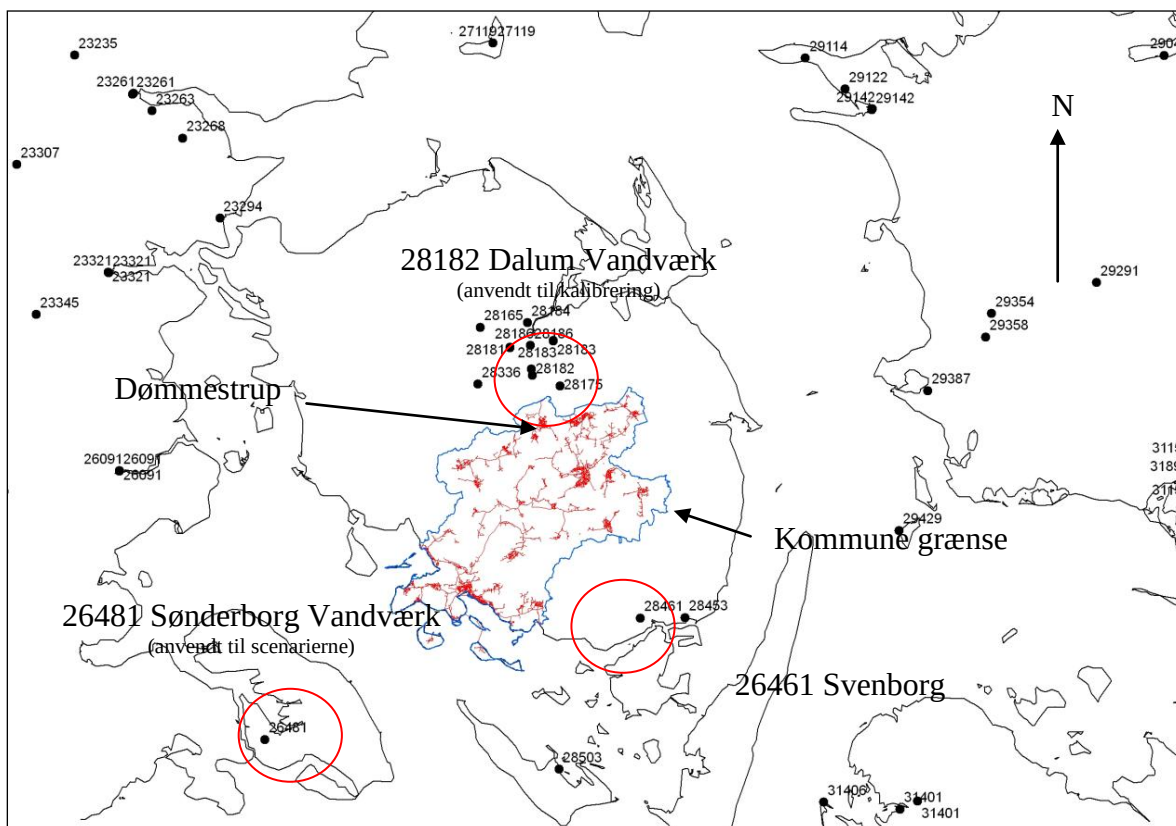
Indløbsmængder for forskellige pumpestationer i Fåborg findes for perioden 2009 -2010. Men indløbsmængden findes kun for hele døgn (den akkumuleres indløbsmængde for hele døgn). Dette benyttes til at fastlægge spildevandsmængde og indsivningsmængde for Dømmestrup. Dette ses på Bilag I.

Odense kommune har målte flowet fra Fåborg Kommune, da de får penge fra Fåborg kommune for de mængder spildevand, som Fåborg Kommune sender til Odense Kommune. Flowet blev målt i Volderslev, ca. 3 km fra Dømmestrup.

² Ud fra et ortofoto, tekniske kort med placering af bygninger og køreveje, laves en analyse/beregning for permeable og impermeable overflader.

2.2 Nedbør

Der findes ingen regnmåler på projektlokaliteten. Til kalibreringen er det valgt at anvende regndata fra SVK regnmåler 28182 Dalum Vandværk i perioden 2006 til april 2010. Regnmåleren 28182 står i Odense, ca. 6 km væk fra Dømmestrup. Placeringen af måleren i forhold til oplandet kan ses på figur 2.2-1.



Figur 2.2-1 Regnmålere fra SVK er placeret omkring Faaborg-Midtfyn. Kommunegrænsen er markeret med blå, og regnmåler 28182 Dalum vandværk, 26461 Svenborg og 26481 Sønderborg Vandværk er markeret med røde cirkler.

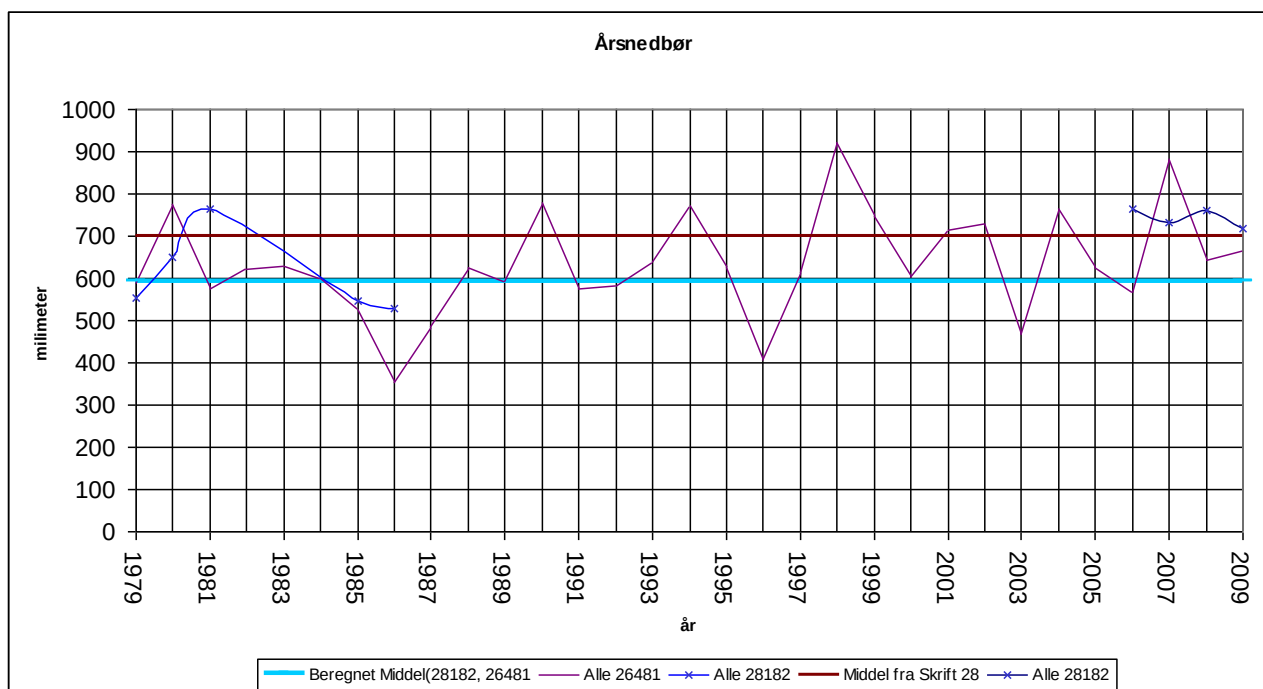
Det antages, at måleren 28182 nogenlunde beskriver regnmængden for projektlokaliteten, selvom måleren er placeret lidt uden for projektlokaliteten. Regnmåleren 28175 Odense Højby ligger tættere på projektlokaliteten, men desværre startede registreringen først fra d. 20 /05-2009; derfor er den valgt fra.

Ved valg af regnhændelse, vælges frontregn, da disse regnskyer har større vertikal udstrækning end konvektionsregn. Frontregn bestemmes ved yderligere at vælge to andre regnmålere, som ligger tæt på Dømmestrup. Den ene er fra Sønderborg vandværket, som ligger ca. 50 km sydvest for Dømmestrup. Og den anden er fra Svenborg, som ligger ca. 30 km sydøst for Dømmestrup. Alle tre regnmåleres nedbørmængder sammenlignes, og de regnhændelser, der ligger meget tæt på hinanden, vælges.

Ved at benytte denne metode med at vælge frontregn kan det antages, at der i Dømmestrup er faldet tilnærmelsesvis samme regnmængde, som der bliver målt på Dalum vandværket.

Til beregning af opstuvning til terræn og bestemmelse af bassinstørrelse benyttes SVK-regnmåler 26481 Sønderborg vandværk i periode 01/01-1979 til 28/04-2010, med en effektiv periode på 30,08 år. Regnmåleren står i Sønderborg. Selvom regnmåleren står ca. 30 km væk fra projektlokaliteten, vurderes det ud fra skrift 26 (Regional variation af ekstremregn i Danmark), at regnmåleren fra Sønderborg er den bedste til beregning af scenariet.

Det er også vigtigt at kigge på, hvordan nedbøren er i disse perioder 2006 til 2010 i forhold til de andre år. Derfor er figur 2.2-2 fremstillet, som viser nedbør pr. år i perioden 1979 til 2010 for begge regnmålere, 28182 og 26481.



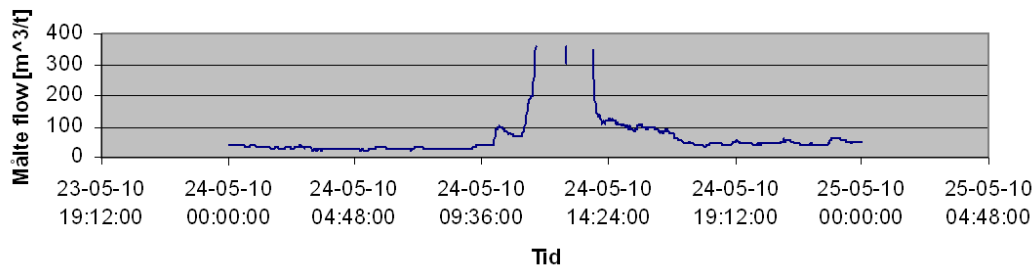
2.2-2 Nedbør for SVK regnmåler 28182 og 26481

Der er ingen registrerede data fra måleren 28182 i perioden 1988 til 2004. I kalibreringen benyttes dog kun data fra 2005 til 2009, og derfor har de manglende data ingen betydning. Det ses tydeligt, at den beregnede middelnedbør på 592 mm, ligger lavere end middelnedbøren fra skrift 28 (Regional variation af ekstremregn i Danmark, ny bearbejdning) på 700 mm. Begge regnmålerne registrerede mere end den beregnede middelnedbør i perioden 2006 til 2009.

2.3 Flow data

Der findes ingen flow data for Dømmestrup, men der findes flowdata for hele Nr. Lyndelse og omegn. I og med at Dømmestrup indgår i Nr. Lyndelse og omegn, kan det antages at den hydrologiske reduktionsfaktor for Nr. Lyndelse og omegn er tilnærmelsesvis det samme som for Dømmestrup.

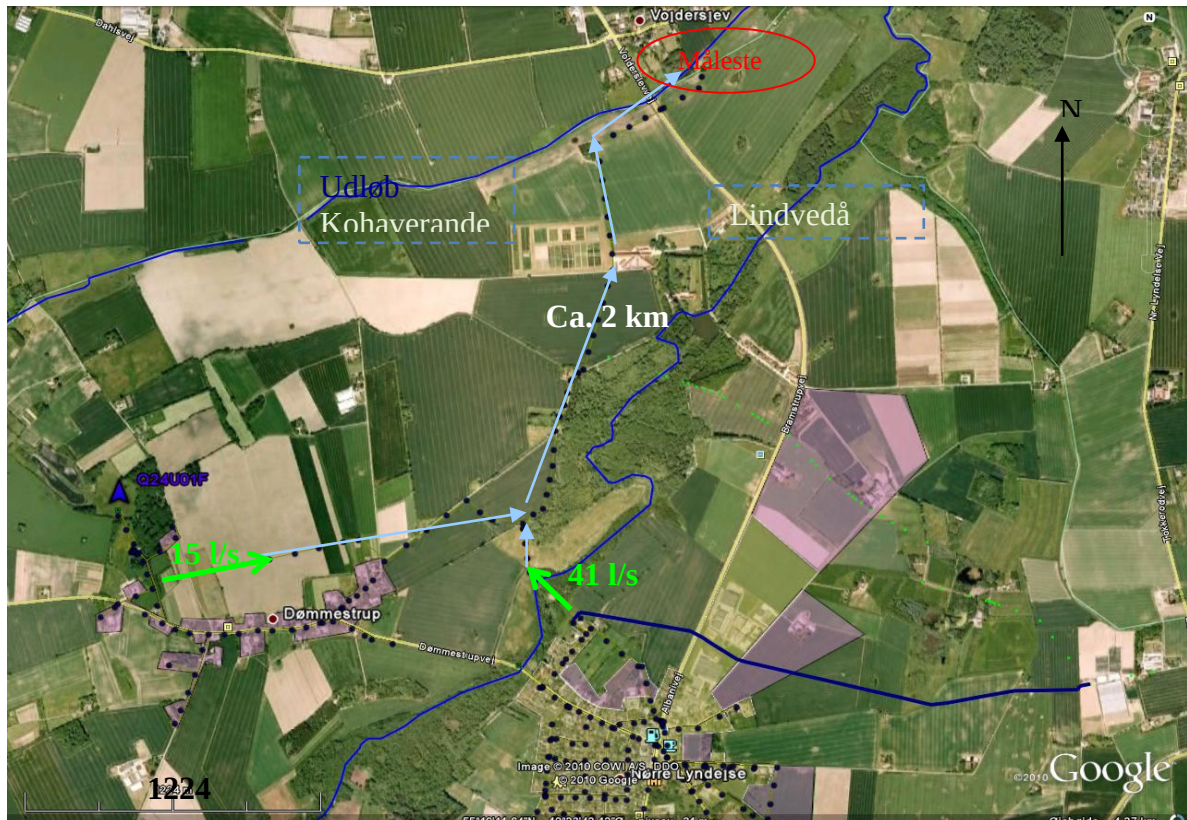
Flow data findes kun i nogle perioder. Målte flowdata for 24. maj 2010 i målestedet jf. figur 2.3-1 fremgår i nedenstående figur. 2.2-1 Selve tabeldataene, som benyttes til at lave diagrammet, kan ses på bilags-cd'en under mappen "Flow data".



Figur 2.2-1 Målte flow i Odense i april måned

Umiddelbart kan det konkluderes, at flowmåleren ikke måler det flow, der er over $363 \text{ m}^3/\text{t}$. Desuden er det uklart, hvordan der kan komme så meget vand ind i den kanal, hvor måleren sidder. Der kan højst pumpes 56 l/s svarende til $201,6 \text{ m}^3/\text{t}$, hvis den angivende pumpeydelse er korrekt. Pumperne fra Dømmestrup har en samlet ydelse på 15 l/s og pumpene ved Spranget har en samlet ydelse på 41 l/s . En geografisk placering af pumperne ses på figur 2.3-1. Det er umuligt, at der sker en indsivning af de resterende $161,4 \text{ m}^3/\text{t}$ igennem rørende. Det svarer til ca. 45 l/s . Først og fremmest må der ses nærmere på selve placeringen af flow måleren og metoden bag flowmåling. Måden Fåborg Forsyning A/S har bestemt flowet på er beskrevet i bilag II. Den maksimale kapacitet af rør til målestedet bestemmes i følgende afsnit.

2.3.1 Rør kapacitet



Figur 2.3-1 Områder med fælles kloakering vises med lilla farve og separat kloakerede områder vises med gul farve. Ledningsnet vises med blå stripper. Trykleddningerne samt retning vises med løsegrøn pil. Målestedet vist med rød cirkel.

For at bestemme rør kapaciteten benyttes figur 5.4 fra bogen Afløbsteknik [Jens med fl., 2002] Vandspejlsfaldet er 2 ‰ og ledningsdiameteren er 0,4 m for ledningen fra Dømmestrup og Nr. Lyndelse mødes, hvor flowmåleren placeret). Desuden er ruheden, k , er sat til 1 mm. Aflæsning af disse værdier på figur 5.4 i afløbsteknikbogen giver en maksimal kapacitet på 100-110 l/s. Dette svarer til 360 – 396 m³/t.

2.4 Delkonklusion for kalibrering analyse

Umiddelbart kan det konstateres, at målingerne er mistænksomme. Selve rørets maksimale kapacitet er langt større end begge pumbers tilsammen. Det målte flow er mere end hvad, der burde komme. Den samlede pumpeydelse fra begge pumpesteder er 56 l/s. Dette svarer til, at den maksimale vandføring til Volderslev er kun er på 56 l/s, svarende til 200 m³/t. Det er stadig ikke klart, hvordan der kan måles en vandføring på 363 m³/t. Der må muligvis være indsigning i røret. For at sige mere om situationen, må der laves en TV-inspektion.

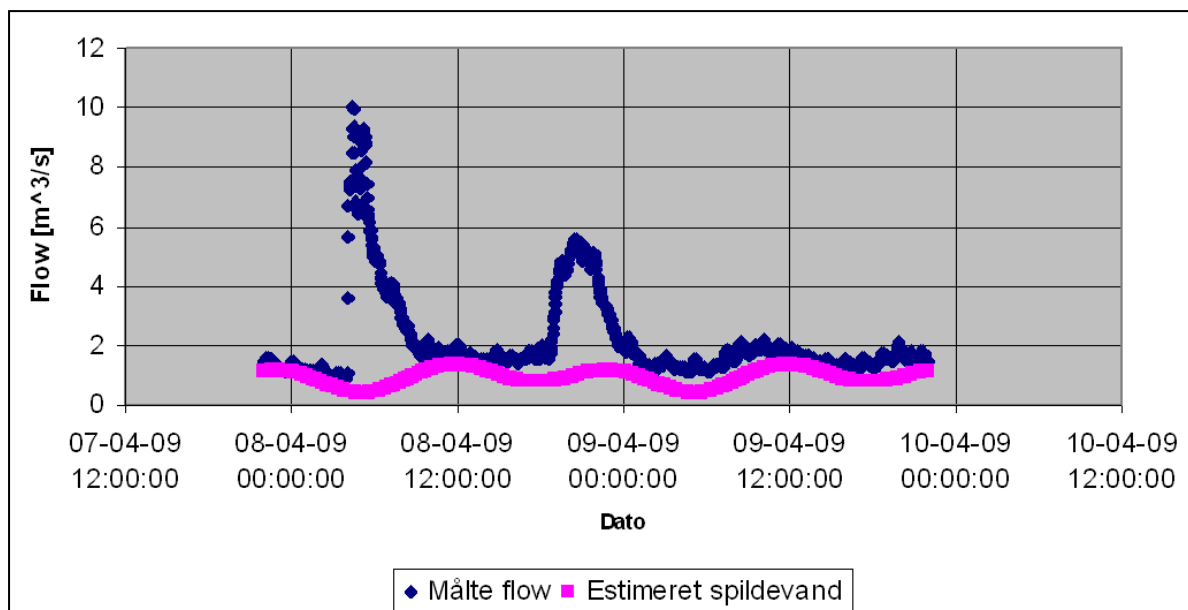
Modellen kalibreres alligevel ud fra de flow data, der er til rådighed. Dette fremgår i følgende afsnit.

3 Fastlæggelse af hydrologisk reduktionsfaktor

Modellen bliver kalibreres for hele Nr. Lyndelse og omegn. Dvs. for alle fire byer, Dømmestrup, Frelltofte, Nr. Søby og Nr. Lyndelse. For at kalibrere den hydrologiske reduktionsfaktor i MOUSE ud fra regn og afløbshændelser er det nødvendigt at kende tilslutningsgraden, det befæstede areal, som indgår i afløbskoefficienten. Tilslutningsgraden er sat til én, da det antages, at alle er tilsluttet i afløbssystemet. Til beregningen kan MOUSE benytte tre forskellige beregningsmetoder. Her bruges model A, hvilken svarer til tid- og areal metoden. Beskrivelse af MOUSE samt forskellige parametre fremgår på Bilag III.

Den hydrologiske reduktionsfaktor bestemmes ud fra sammenhørende målinger af nedbør og afstrømning for oplandet. Regndybden mod afstrømningsdybden afbildes (det afstrømmede volumen normeret med befæstede areal) for den målte hændelse. Hældningen på den lineære regression, som laves ud fra de målte værdier, er den hydrologiske reduktionsfaktor, og skæringspunktet med x-aksen er det initiale tab.

En grafisk afbildning af denne hændelse ses på nederste graf 2.5-1



Graf 2.5-1 De målte flow på de angive tidspunkt i m³ ses på y-aksen. Flowet blev målt på Voldeslev, ca. 2 km væk fra Dømmestrup. Den blå graf er det målte flow fra flow måleren, og den lyserøde er estimeret spildevand for Nr. Lyndelse og omegn.

Afstrømningdybden findes ved at integrere den blå kurve fra grafen 2.5-1. Da flowmåleren sidder på et fælleskloakeret system måler den både på regn- og spildevand. For udelukkende at regne på regnvandet findes der en flowmåling fra en gennemsnitlig tørvejrsgang som giver en gennemsnitlig spildevandsmængde, der fratrækkes den samlede afledning.

Da flowmåleren registrerer med fast interval hvert femte minut, kan det samlede volumen også findes ved at gange de målte liter pr. sekund med fem minutter. Derefter deles der med det befæstede areal for projektlokaliteten. Dermed findes afstrømningsdybden i mm.

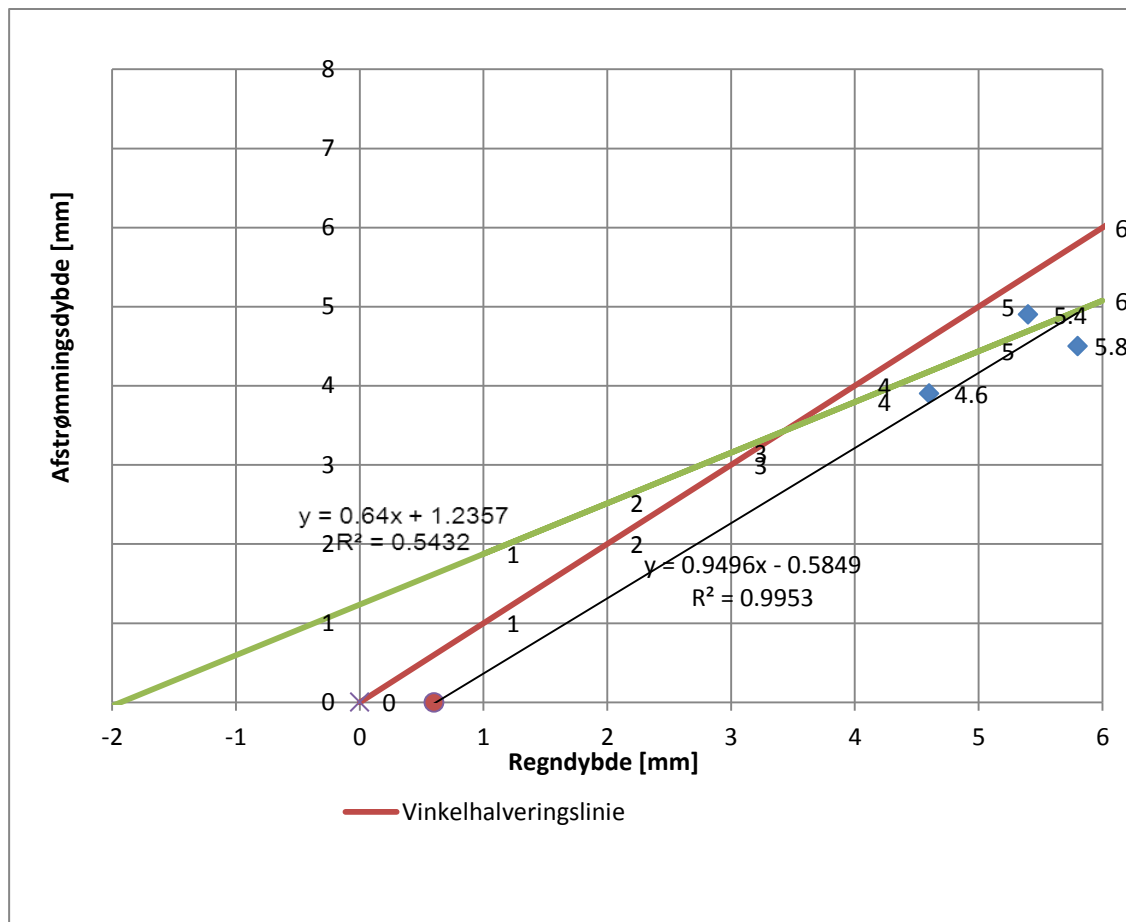
Bestemte regnhændelser, afstrømningsdybden samt regndybde ses i tabel 2.5-1.

Hændelse	Regndybde 26481 Sønderborg	Regndybde 28461 Svendborg	Regndybde 28182 Odense	Afstrømnings dybde [mm]
15 august 2006	0,8 mm	3 mm	5,8 mm	4,5 mm
20 august 2006	1,8 mm	2,8 mm	4,6 mm	3,9 mm
08 april 2009	5,4 mm	6,4 mm	5,4 mm	4,9 mm

Tabel 2.5-1 Regnhændelse, afstrømningsdybde og regndybde.

Regnmålerne angiver informationer omkring tidspunkt, intensitet og varighed af regnen. Tidspunktet og regnvarigheden bruges til at lokalisere hændelsen i flowmålerens data. Udsvinget på flowmåleren er forsinket i forhold til tidspunktet for regnhændelsen, da det tager tid før hele det befæstede areal bidrager, og før vandet fra yderzonerne når flowmåleren.

De fundne afstrømningsdybder plottes i et koordinatsystem sammen med de tilhørende regndybder, som er indhentet fra regnmåleren 28182, hvorefter den bedste rette linje indtegnes. Den hydrologiske reduktionsfaktor findes som hældningen af kurven.

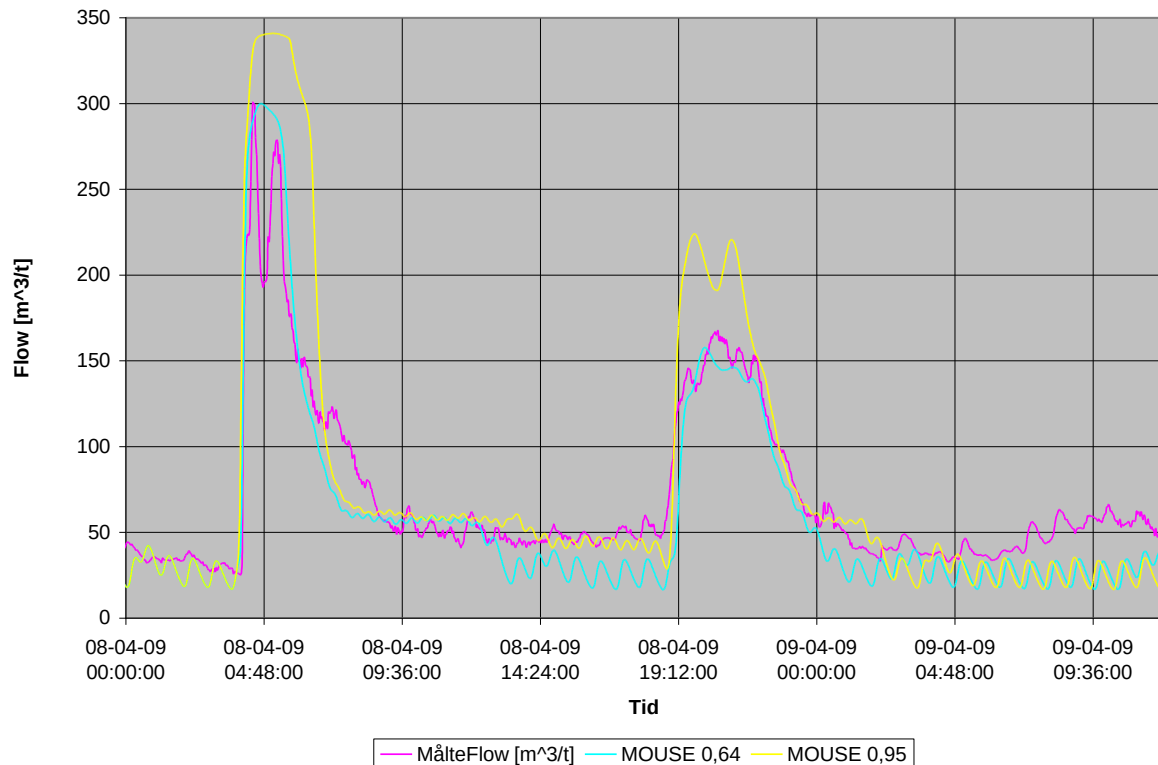


Figur 2.5-1 Figur til bestemmelse af den hydrologiske reduktionsfaktor. På y-aksen vises volumen for de tre regnhændelser divideret med det befæstede areal, mens de tilhørende regndybder fra flowmålingerne er plottet på x-aksen. Hældning af den bedste rette linje beskriver den hydrologisk reduktionsfaktor, mens skæringen med x-aksen beskriver initialtabet. Det punkt, der vælges som initialtabet i praksis er markeret med et rødt punkt.

Ud fra Figur 2.5-1 ses det, at den hydrologiske reduktionsfaktor er 0,64. Beregningen fremgår på Bilags-CD'en (Beregning af hydrologisk reduktionsfaktor). Den lineære regression for de tre punkter giver en skæring med x-aksen ved -2. Dette svarer til et initial tab på -2 m, hvilket i praksis er umuligt. Derfor laves en ny lineær regression, hvor linien tvinges til at gå igennem punkt (0;0,6). Dette gøres ved at spejlvende de tre punkter 180 grader fra punktet (0;0,6). Denne linje giver en hydrologisk reduktionsfaktor på 0,95.

Begge værdier (0,64 og 0,95) indsættes i MOUSE, hvorefter det kan kontrolleres, om modellen og de målte hændelser stemmer overens. Det undersøges, om såvel volumen som peak værdierne passer mellem MOUSE-modellen og de målte værdier. Hvis der er små afvigelser, kan der kalibreres yderligere ved at ændre på Manningstallet.

Sammenligning af den målte værdi og beregnede værdi fra MOUSE for regnhændelsen 08-april 2009 kan ses på graf 2.5-2.



Graf 2.5-2 Hændelse den 08-april 2009

På grafen 2.5-2 ses det, at en hydrologisk reduktion på 0,64 passer rimeligt godt med de målte flowværdier, mens beregninger med en standardværdi for den hydrologiske reduktionsfaktor på 0,95 tydeligt viser sig at overestimere virkeligheden. Dermed vil bassinets dimensionering blive overdimensioneret.

For at eftervise kalibreringen undersøges afvigelserne mellem de målte resultater fra flowmålen og resultaterne fra modellen med en hydrologisk reduktionsfaktor på 0,64. Ud fra grafen kan det konstateres at en hydrologisk reduktionsfaktor på 0,95 afvigere markant.

Volumenafvigelserne opgjort i procent ses i tabel 2.5-2

Hændelse	Målte volumen	Beregnet volumen	Afgivelse i % [målte/beregnet]
15. august 2006	2773 m ³	980 m ³	65 %
20. august 2006	5129 m ³	1156 m ³	77 %
08. april 2009	3085 m ³	2180 m ³	29 %

Tabel 2.5-2 Volumenafvigelse.

Umiddelbart kan det konstateres, at der er en stor afvigelse for hændelsen den 20. august 2006. Det kan skyldes af mange grunde. Der er også en stor forskel i regndybden; fx registrerer Sønderborgs regnmåler 0,8 mm, mens andre to registrerer 3 mm og 5,8 mm. Det antages, at der den 20. august 2006 er faldet nogenlunde den samme mængde nedbør i

Fåborg-Midtfyn som er faldet på Dalum vandværk. Dette burde kontrolleres med de andre regnmåler fra Odense for at undgå fejlmålinger.

Desuden kan der ud fra grafen ses en lille afvigelse i spildevandsmængde mellem den målte og beregnede. Ud fra Bilag I- Fastlæggelse af indsivningsmængde kommer det frem til, at indsivning samt spildevandsmængde passede meget godt med de målte værdier. Derfor ser det ud til, at der er indsivning mellem Drømmestrup og flowmåleren i Volderslev.

Som nævnt i afsnit 2.4, må der laves en TV-inspektion for at sige mere om situationen på denne strækning.

3.2 Delkonklusion for kalibrering analyse

Umiddelbart kan det konstateres, at målingerne er mistænksomme. Selve rørets maksimale kapacitet er langt større end begge pumpe-tilsammen. Det målte flow er mere end hvad, der burde komme. Den samlede pumpeydelse fra begge pumpesteder er 56 l/s. Dette svarer til, at den maksimale vandføring til Volderslev kun er på 56 l/s, svarende til 200 m³/t. Det er stadig ikke klart, hvordan der kan måles en vandføring på 363 m³/t. Der må muligvis være indsivning i røret. For at sige mere om situationen, må der laves en TV-inspektion.

Modellen kalibreres alligevel ud fra de flow data, der er til rådighed. Dette fremgår i følgende afsnit.

3.3 Del konklusion på fastlæggelse af hydrologisk reduktionsfaktor

Der ses en tydelig volumen afvigelse mellem den beregnet volumen fra MOUSE og målte volumen.. Dette kan skyldes af flere grunde. Der er ikke nogen regnmålere på projektlokaliteten Nr. Lyndelse og omegn. Nærmeste regnmåler ligger ca. 6 km væk fra projektlokaliteten. Undersøgelse viser at nedbøren kan variere kraftige på afstande helt ned til 500 m [Evanet. december 2010]. Dertil kommer det, at der ikke ses en lineær sammenhæng mellem nedbør og afstrømning, som det er antaget i kalibreringen. Den fundne hydrologiske reduktionsfaktor på 0,64 passer meget godt sammen med tabelværdien for den hydrologiske reduktionsfaktor på mellem 0,6 og 0,8. Desuden passer hændelsen fra den 8. april 2009 meget godt sammen med en MOUSE-beregning, hvor den hydrologiske reduktionsfaktor sat til 0,64. Derfor er det valgt at beregne videre med en hydrologisk reduktionsfaktor på 0,64.

3.4 Fastlagt sikkerhedsfaktor fra skrift 27

Fåborg-Midtfyn kommune har valgt at følge minimumskravene, beskrevet i skrift 27, for opstuvning til terræn. For separatkolakerede, to strenget bolig og erhvervsområdet, gælder den tilladlig gentagelsesperiode ved opstuvning til kritisk kote (til terræn) på 5 år. Definitionen til terræn dækker over dækselskote for brøndene.

Obicon A/S har udarbejdet en rapport, for Fåborg-Midtfyn kommune, om funktionspraksis for afløbssystemerne under regn. Værdierne er angivet i tabel 3.3-1.

	Rationelle metode	Modellering CDS	Modellering LTS
Statisk usikkerhed	1,30	1,25	1,20
Forøget regnintensitet pga. Kilmafaktor	1,20	1,20	1,20
Fortætning	1,20	1,20	1,20
Samlet(S_s)	1,87	1,80	1,73

Tabel 3.3-1 Sikkerhedsfaktor for dimensioneringsberegninger for eksisterende byggeri i Fåborg-Midtfyn Kommune.

Den statistiske usikkerhed ligger gennem regnserie, tilsluttet areal, afløbskoefficiente, Manningstallet mv. Denne usikkerhed vil være mindre jo mere viden man har om afløbssystemet og regn.

Statistisk set er nedbør øget i større eller mindre grad siden 1930, [Skrift 27]. Fåborg-Midtfyn kommune vælger som udgangspunkt et sikkerhedstillæg for klimaforandringer på 20 %.

Generelt forventes det af Fåborg-Midtfyn Kommune, at de befæstede arealer øges, pga. etablering af indkørsler, terrasser, parkeringspladser og befæstede pladser. Derfor er der valgt at indbygge sikkerhed mod fortætninger ved, som udgangspunkt, at vælge et usikkerhedstillæg på 20 % til afløbskoefficienten.

Her i projektet er der benyttet sikkerhedsfaktorerne nævnt i tabel 3.3-1 nederste linie (Samlet S_s): Sikkerhedsfaktor multipliceret med hydrologiske reduktionsfaktor.

I MOUSE er der ikke nogen steder, hvor der kan tages højde for sikkerhedsfaktorer. For at denne kan komme i betragtning vælges der at multiplicere sikkerhedsfaktor med hydrologisk reduktionsfaktor ved beregningerne i MOUSE. I formel 3.3-1 fremgår hvordan det afstrømmende volumen fra grunden til ledningsnet kan bestemmes.

$$V = A \cdot (\alpha \cdot S_s) \cdot \beta \cdot \gamma \cdot (R - R_0) \quad (3.3.1)$$

Hvor,

V	er det afstrømmede volumen
A	er arealet
R	er regndybden
R ₀	er initialtabet
α	er hydrologiske reduktionsfaktor
β	er befæstelsesgraden
γ	er tilslutningsgraden

Produktet af α , β og γ kaldes også for afløbskoefficienten.

4 Separatkloakering af Dømmestrup

I dette afsnit ses nærmere på en traditionel separatkloakering af regnvand Dømmestrup.

Som nævnt i afsnit 2, "Beskrivelse af lokalitet og målsætning", er Dømmestrup i dag fælleskloakeret. I Dømmestrup findes der to pumpestationer og et forsinkelsesbassin, som har et volumen på 78 m³. I den nuværende situation, ledes opblandet spildevand fra Dømmestrup via pumpestation Kohavegyden til den afskærende ledning mod Odense. Ved pumpestation Kohavegyden findes et forsinkelsesbassin med aflastning til recipienten Kohaveranden. Ved separatkloakering undgås der at benytte pumpestation ved Kohavegyden, da regnvandet kan afledes til recipienten via forsinkelsesbassin. Men spildevandet skal pumpes videre mod Nr. Lyndelse via pumpestation Kohavegyden. Ledningsnets struktur ses på figur 4.3-1a og 4.3.1-b.

4.2 Krav for afledning af regnvand

Regnvandet skal transporteres væk fra oplandene i Dømmestrup, uden gener for det omkringliggende miljø, inden udledning til Kohaveranden strømmer videre til Odense Å.

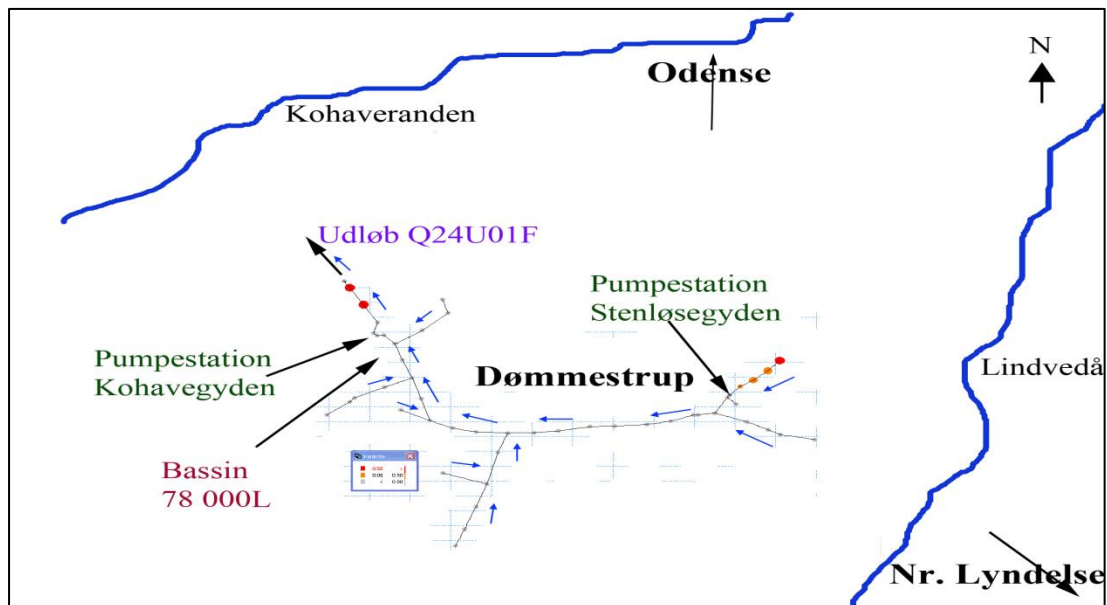
Recipientmyndighedens krav til vandmiljøet er:

- At må højst udledes 1 l/s/ha.
- Overløb må højst være 250 m³/red. ha/år

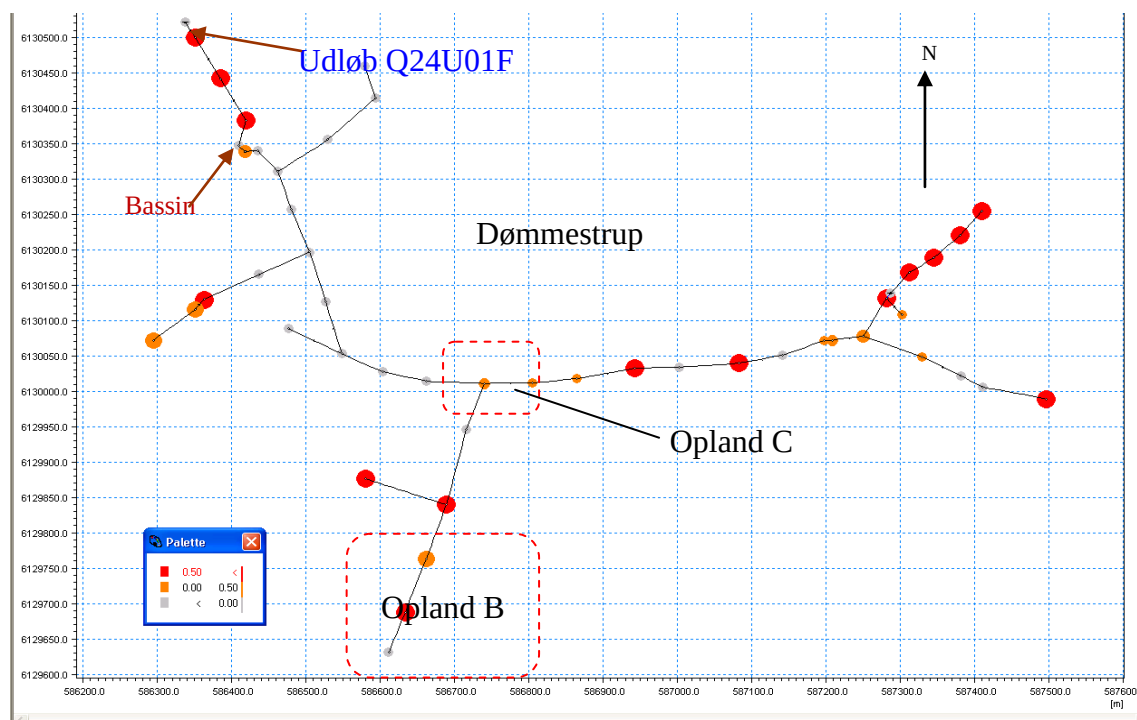
Kommunens serviceniveau, for den tilladelige gentagelsesperiode ved opstuvning til terræn, er på hvert 5. år for de separatkloakerede områder.

4.3 Status situation

Det undersøges som udgangspunkt, om de eksisterende ledninger i fællessystemet kan benyttes som separate regnvandsledninger. Der er derfor udarbejdet en beregning/simulering i MOUSE med en hydrologisk reduktionsfaktor faktor på 0,64, og en sikkerhedsfaktor på 1,73. I beregningerne benyttes, som nævnt i afsnit 2.2 Nedbør, en historisk regndata fra SVK-regnmåler 26481. Da området er på 19,3 ha tillades der i beregningen kun udløb på 19,3 l/s. Figur 4.3-1a og 4.3-1b viser resultat fra MIKE View.



Figur 4.3-1a Status model med hydrologiske reduktionsfaktorer med 0,64. De steder hvor der er grå farve sker der ingen opstuvning til terrænet. Ved orange farve ligger opstuvningshøjde over nul til 0,5 m. Ved steder hvor der er markeret med rød farve sker der en opstuvning over 0,5 m. Strømrøtning vises med blå pil på ledningsnettet.

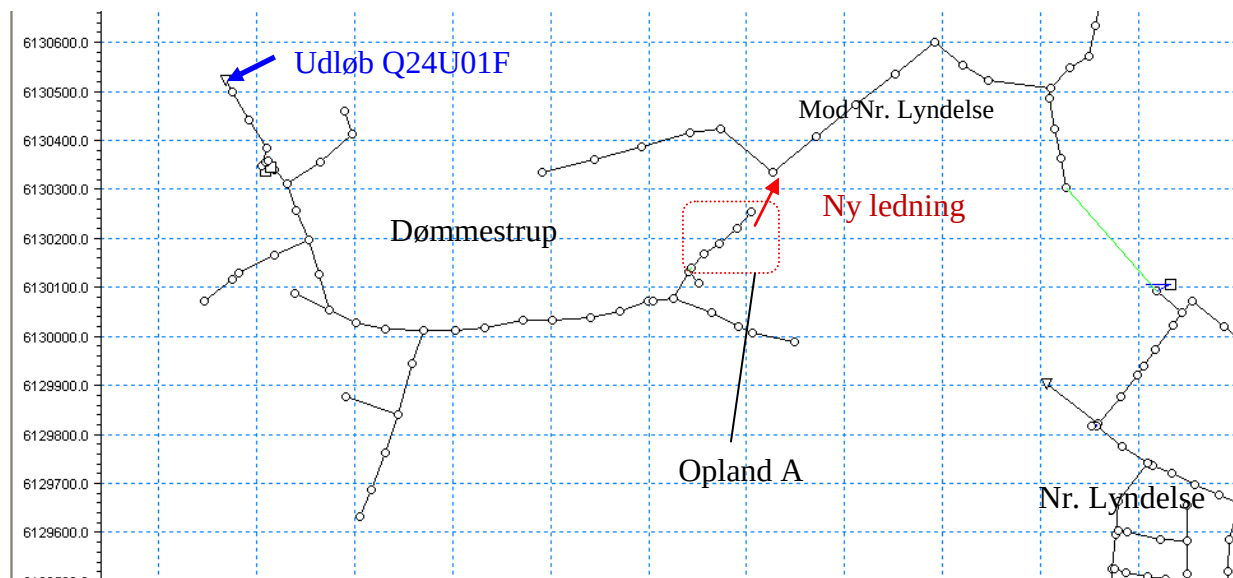


Figur 4.3-1b Status model med hydrologisk reduktionsfaktor på 0,64 og en sikkerhedsfaktor på 1,73. De steder hvor der er grå farve sker der ingen opstuvning til terrænet. Ved orange farve ligger opstuvningshøjde over nul til 0,5 m. Ved steder markeret med rød farve sker der en opstuvning over 0,5 m.

Der sker en opstuvning flere steder, jf. figur 4.3-1b, da der regnes med en sikkerhedsfaktor på 1,73. Mange af de eksisterende ledninger er for små, hvis de skal overholde serviceniveauet. Det skyldes bl.a., at den eksisterende pumpestation ved Kohavegyden er blevet fjernet, da regnvandet kan udledes til Kohaveranden. Desuden er bassinet, placeret

ved Kohavegyden, er for lille til at fungere som forsinkelsesbassin. Største belastning sker i oplande, som ligger i nordøstlig del af Dømmestrup.

4.3.1 Ændring af ledningsnet



Figur 4.3.1-2 Gamle ledningsstruktur af Dømmestrup og Nr. Lyndelse. Oplande der omstruktureres i ledningsnet vist med rød firkant.

Regnvandet og spildevandet i det nuværende system fra opland A, som markeret med rød firkant på figur 4.3.1-2, pumpes fra Stenløsegyden videre mod udløbet Q24U01F. Koteforskellen mellem opland A og Nr. Lyndelse muliggøre, at regnvandsledningene kan dimensioneres som gravitetledningerne således, at der kan spares på driften pumpen. Fremover ledes vandet fra område A til Nr. Lyndelse, i stedet for pumpe mod udløbet Q24U01F. Spildevandet fra opland A kan også ledes mod Nr. Lyndelse via gravitationsledning. Fjernelse af pumpestationer er med til at formindske vandføring i systemet på Dømmestrup.

De andre problemer som der skal løses fra status situation er:

- Opstuvning til terræn – ved at forøge rør ledningsdiameter
- Tilbageopstuvning fra bassin – forøge bassinstørrelse

4.4 Løsning for opstuvning til terrænet

Den traditionelle måde at løse problemet med opstuvning på, er at forøge ledningsdiameteren. Den teoretiske måde at bestemme ledningsdimensioner for regnvandsledninger, ved hjælp af den rationelle metode.

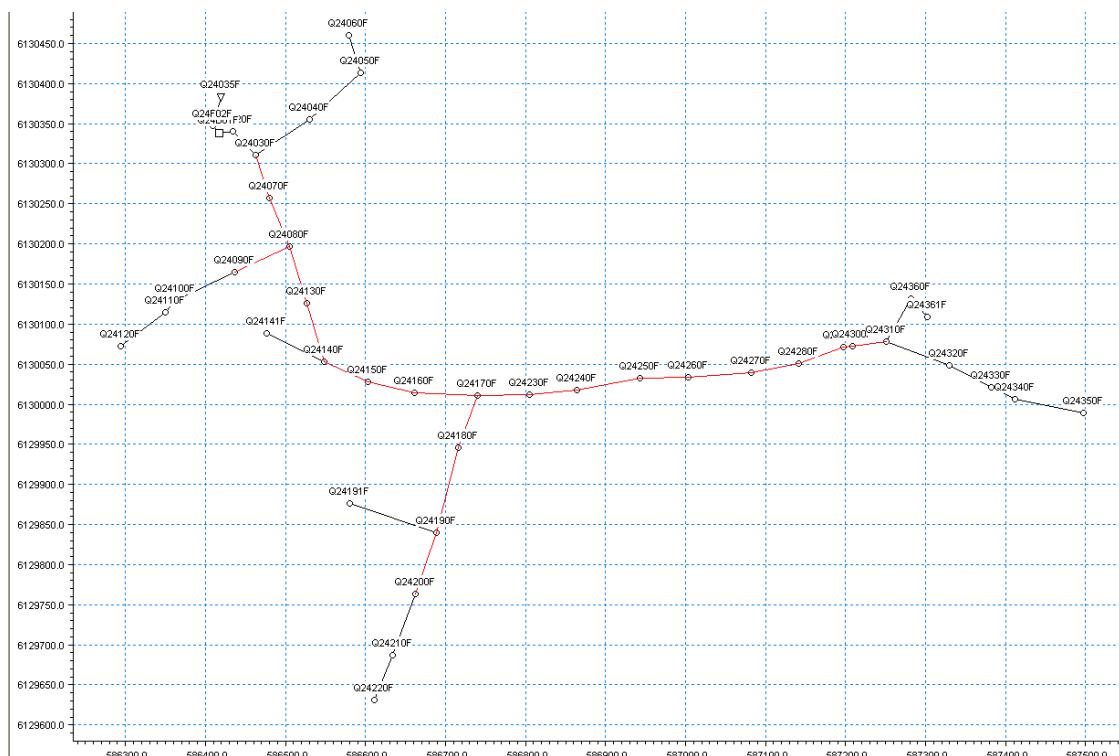
Den rationelle metode er en simplificering af Tid-Areal metoden. Denne metode kaldes også for afløbstidsmetoden eller forsinkelsesmetoden. Rationel metode har en begrænsning, når der ses på et forgrenet opland, da det kun er den største koncentrationstid der betragtes. Hvis der er to oplande med store koncentrationstider, som ikke mødes i samlingspunktet samtidig, vil rørene muligvis blive underdimensioneret. Derudover kan metoden ikke anvendes, hvis der i opstrøm i oplandet, bassiner eller overløbsbygværk.

$$q = \phi \cdot A \cdot c \cdot t_r^\alpha + \theta \cdot t_r^\alpha \quad (4.4-1)$$

Hvor,

- q er regnvandsmængden
- ϕ er områdets afløbskoefficienten
- A er områdets størrelse
- t_r er regnhændelsen
- c og α er parameter, som afhænger af regnserien og overskridelseshyppigheden
- θ er en faktor der tager højde for små regnvarigheder i regnkurven

Der er valgt at fortage analysen af opstuvning til terrænet i MOUSE. Simulationen i MOUSE laves med 5 års CDS regn, og til sidst kontrolleres med historisk regn fra Svendborg, 26481. For at løse opstuvningsproblemet i oplande C, jf. figur 4.3-1b, skal ledningsdiameter i oplande B forøges. Dermed er der fjernet den ”prop” som holdt vandet tilbage og gav anledning til opstuvning.



Figur 4.4-1 På figuren fremgår de ledninger, hvor dimensionerne af diameteren skal forøges, markeret med rød farve, for at overholde kravet.

4.5 Bassin

Der er stadig opstuvningsproblem ved bassinet. Opstuvningshøjde er på 0,13 m ved en ændret bassinstørrelse på 600 m³.

Normalt kan et bassin kan have forskellige hovedformål:

- Recipientbeskyttende foranstaltning, samt udjævning af afstrømning til udløb i recipienten
- Reduktion af oversvømmelsesproblemer

Ved udledning af separat regnvand kan bassinet beskytte recipienten mod hydraulisk og stofmæssig overbelastning.

I Dømmestrup ligger bassinet på Kohavegyden, nordvestlig del af Dømmestrup, jf. figur 4.3-1a. Under MOUSE simulering er fundet frem til at opstuvningen forekommer ved bassinet, da det ikke er tiltrækkelig stort. I og med at der må max. udledes 1 l/s/ha fra bassinet, er der kun to løsningsmuligheder:

- Forøge størrelsen af bassinet ved Kohavegyden
- Formindske udledning af regnvandet fra de forskellige oplande i Dømmestrup

Her vælges det at løse problemet ved at forøge størrelsen af bassinet ved Kohavegyden. Først beregnes størrelsen af bassinet efter den teoretiske måde. Derefter kontrolleres i MOUSE med historisk regn. Størrelsen af bassinet kan også beregnes i MOUSE, ved at ændre på størrelsen af bassinet og køre en historisk regn, ind til den passende størrelse er fundet.

4.5.1 Teoretisk metode for beregning af bassin størrelse

Forudsætningerne antaget for beregningen af bassinet er som følgende:

- Der regnes på separatsystemer
- Der antages fuldtløbende rør
- Der antages stationær ensformig strømning
- Gentagelsesperiode T er lig 5 år for regnvandsledningerne
- c sættes til 28 070, og α til 0,76 og t_r , gyldighedsområde for T=5 år er 15 min til 4 døgn [Linde et al. 2002, s. 61]
- Oplandsarealet er på 19,3 ha og befæstet areal er på 4,5 ha

Fremgangsmåden for at bestemme størrelsen af bassinet er ved at bestemme afløbstallet, a, først og dernæst regnintensiteten, i, derefter bestemmes længden af regnhændelsen, t_r . Til sidst benyttes formel 4.5 for at finde bassin volumen.

$$V_r = (i - \alpha) \cdot t_r \cdot A_{bef} \quad (4.5)$$

Hvor,

V_r er volumen [m^3]

A_{bef} er den befæstede areal [ha]

Afløbstallet bestemmes til 4,29 l/s/ha vha. formel 4.6.

$$a = \frac{Q_a - Q_s}{A_{bef}} \quad (4.6)$$

Hvor,

Q_a er den maksimale vandføring i afløbsledningen på 19,3 [l/s]

Q_s er tørvejrsvandføringen fra opland før bassin på ~ 0 [l/s]

Ud fra formel 4.7 er intensiteten af den værste regnhændelse bestemt til 17,87 l/s/ha.

$$i = \frac{a}{1 - \alpha} \quad (4.7)$$

Hvor,

α er en parameter, der afhænger af overskridelseshyppigheden for en gentagelsesperiode [-]

Længden af regnhændelsen, t_r , bestemmes til 16 048 s, vha. formel 4.8. Denne værdi ligger indenfor gyldighedsintervallet på 15 min til 4 døgn.

$$t_r = \left(\frac{c \cdot (1 - \alpha)}{a} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (4.8)$$

Hvor,

c er en parameter, der afhænger af regn serien [-]

I formel 4.8 beregnes den regntid, hvorved bassinet får den største belastning. Ud fra formel 4.5 beregnes størrelsen af bassinet til $1236 m^3$. Bassinet er i dag $10 m^3$, og skal således udvides med $1226 m^3$. Bassinet kan derfor udføres f.eks. med dimensioner på 88,5 X 14 X 1 m, hvilket giver et volumen på $1239 m^3$. Der er ikke plads til at udvide sådan et bassin. Der må opkøbes nærliggende områder for at udbygge sådan et bassin, ellers skal der findes et andet sted, hvor vandet kan ledes til før det udledes til recipienten.

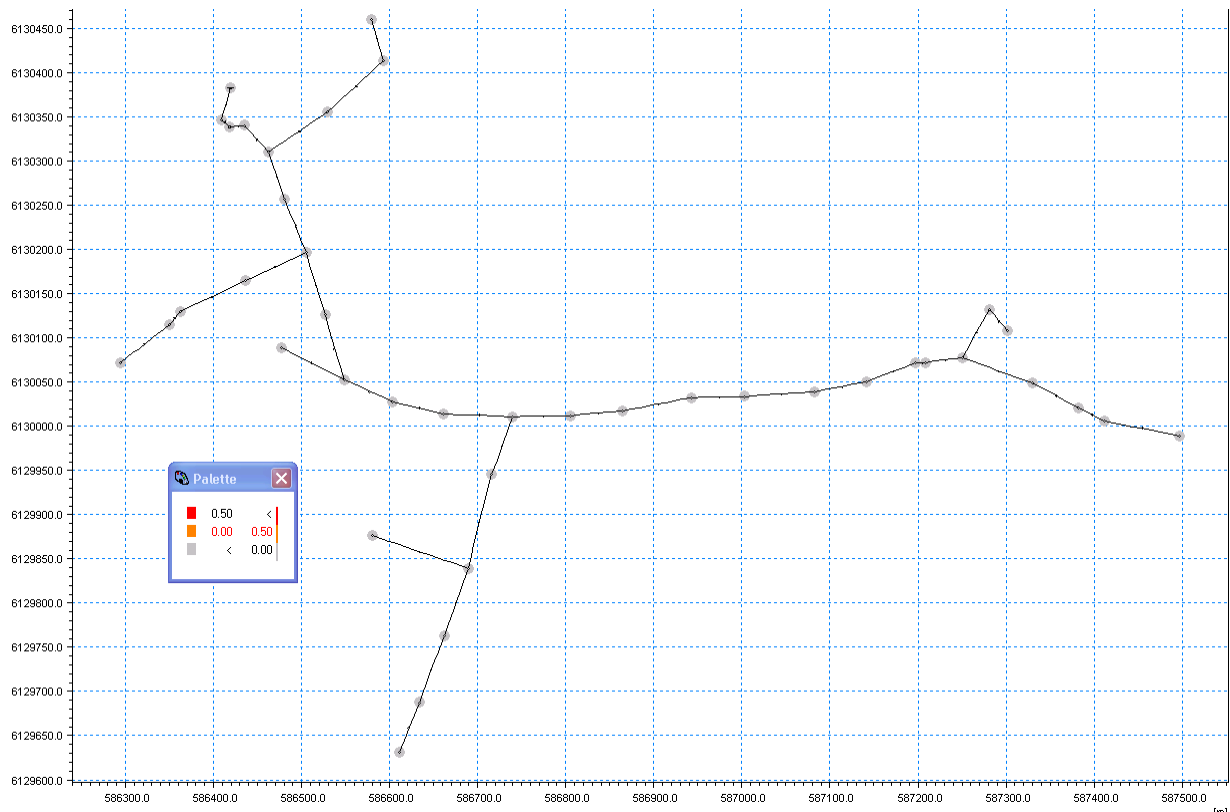
Men ulempen ved den ovennævnte metode er, at der eksempelvis ikke kan tages højde for ”koblede regn”³. Ved at benytte en historisk regn over længere periode i MOUSE, kan der tages højde for koblede regn.

Desuden har bassinet ikke kapacitet til at rumme afstrømning fra alle regnhændelse. Af økonomiske årsager ønskes der ikke at udbygge sådan et bassin, hvorfor bassinet forsynes med et nødoverløb til recipienten. Nødoverløbet træder i funktion, når bassinet er flydt op.

³ Det er regnhændelse lige efter hinanden, hvor vandet ikke når at blive ledt væk, før der kommer ny regn

4.6 Hydraulisk kontrol med historisk regn

I MOUSE modellen rettes størrelsen af bassinet til 1239 m³. Herefter er der kørt en LTS-beregning med en historisk regn serie fra Svenborg. Resultat fra Mike View ses på figur 4.6-1.



Figur 4.6-1 Et resultat view fra MIKE View for den endelige plan model. Ifølge MOUSE-beregning viser de grå farver tydeligvis, at der ikke er nogen problemer med opstuvningen.

I den udarbejde planløsning er der ikke noget opstuvningsproblem. Der var dos problemer med opstuvning til terrænet i flere steder i statusmodel. Disse problemer løses ved at ændre på i alt 22 ledninger. Størrelsen af bassinet er ændret fra 78 m³ til 1239 m³. Der er ikke plads til udbygge sådan et bassin ved Kohavegyden. Derfor skal pladsen til bassinet købes fra de nærliggende områder. Omkostning af den udarbejdede planløsning beskrives nærmere i det efterfølgende afsnit.

4.7 Omkostninger for traditionel separat kloakering

Dømmestrups ledningsnet er på ca. 2840 m. Ved den traditionelle separatkloakeringsmetode skal der ændres på 1300 m af ledningsnettet. For at beregne omkostninger ved at ændre på 1300 m regnvandsledningsnettet benyttes et estimeret overslagspris, jf. tabel 4.7-1.

	City	By	Land
Entreprenørydelser	Pris kr/stk/m	Pris kr/stk/m	Pris kr/stk/m
Fællesledninger	4000	2500	2000
Separat spildevandsledninger	3000	2000	1500
Separat regnvandsledninger	6000	3000	2500
Trykledninger	2500	1500	1500
Fællesstik	25000	15000	10000
Separatstik	25000	15000	10000

Tabel 4.7-1 Værdierne der benyttes til at beregne anlægspriser for Fredericia kommune fra Krüger A/S

Ændring af ledningsnettet på 1300 m koster ca. 3,25 mio. kr. Levertiden er fastlagt til 100 år. Levetiden på den resterende del af ledningsnettet på 1540 m er fastlagt til 50 år. Vedligeholdelse af ledningsnettet er vurderet til at være 0,2 % af omkostning af det samlede anlæg. Denne er fastlagt til 14 210 kr./år.

Bassinet udformes som et åbent vådt bassin. Begrundelsen for dette er, at et åbent bassin skaber mere naturliv i de omkring liggende områder og ser mere attraktiv ud for Dømmestrup. Ulempen ved et åbent bassin er, at dette efter et stykke tid vil muligvis betragtes som en sø, og vil muligvis tilhøre under §3 områder. Som konsekvens heraf vil bassinet betragtes som en sø, hvorfor der ikke kan foretages ændringer hverken på strukturen eller miljøet.

Der skal etableres et bassin på ca. 1240 m³, oprindeligt 78 m³. Der er antaget at omkostning ved etablering af bassinet vil være på 1500 kr/m³. I alt koster det 5,22 mio. kr. Vedligeholdelse og drift er fastlagt til 0,2 % af den totale omkostning for udbygning af bassinet.

Tabel 4.7-2 viser en oversigt over hvad koster for at drive sådan et regnvandsledningsnet samt bassinet.

Regnvandsledning	Pris	Pris/år
Regnvandsledning 1300 m (enhedspris 2500 kr./m)	3250000 kr	
Total ledningsnet genanskaffelses værdi (1300 m *2500 kr./m) +(1540 m*1500 kr./m)	5560000 kr.	
Vedligeholdelse og drift af ledningsnet (0,2 % af total nuværdi)		11120 kr/år
Værditab (total værdi /levetid)		78700 kr/år
Bassin		
Bassin udbygning fra 78 m ³ til 1240 m ³ (enhedspris på 1500 kr./m ³)	1743000kr	
Vedligeholdelse af bassin		3486 kr./år
Værditab (total værdi /levetid)		17430 kr./år
Total omkostning for ledningsnet		110736 kr/år
Total reduceret areal fra Dømmestrup	4,5 ha	
Ledningsnet pr red. m ²		2,46 kr./red. areal m ²

Tabel 4.7-2 Oversigt over omkostning for Dømmestrup forsyning for afledning af regnvandet efter traditionel metode.

Det er antaget at total omkostning skal betales af borgene på Dømmestrup. For at simplificere beregningen er det antaget, at den samlede pris skal fordeles pr. reduceret areal på Dømmestrup. Ved extreme hændelser bidrager permeable arealer også til afledning af regnvandet, men dette ses det bort fra.

4.8 Omkostninger for utraditionel separatkloakering

I dette afsnit er der set nærmere på den utraditionelle måde, at separat kloakere området. Her antaget det, at den eksisterende fællesledning bibeholdes som regnvandsledning. For at overholde kravet fra både kommunen og recipientmyndighederne pålægges en afledningsret til borgene således, at der kommer en øvre grænse for udledning fra deres grunde. Der vil således aldrig være opstuvning til terrænet i fællesdelen af regnvandssystemet. Hvis det sker en opstuvning, så er det vandet fra vejarealer der skaber opstuvning.

Det antages, at der skal etableres 50 små bassiner i alle de 50 ejendomme som er i Dømmestrup. Herefter beregnes udgiften, svarende til et bassin på 24 m³ for en enkelt husstand, som der skal bygges. Udbygning af ledningsnettet og regnvandsbrønden i en privatejendom er sat til 40 000 kr./husstand

Eget regnvandsledning	Pris	Pris/år
Total ledningsnet genanskaffelses værdi (2840 m*1500 m)	4260000 kr.	
Vedligeholdelse og drift af ledningsnet (0,2 % af total værdi)		8520 kr./år
Værditab (total værdi /levetid)		42600 kr./år
Forsyningsbassin		
Bassin pris ($78 \text{ m}^3 * 1500 \text{ kr/m}^2$)	117000 kr	
Vedligeholdelse af bassin (0,2 % af total værdi)		234 kr./år
Værditab (total værdi /levetid)		1170 kr./år
Privatbassin		
Bassin udbygning (enhedspris på 2500 kr./m^3)	60000 kr	
Vedligeholdelse af bassin (0,2 % af total værdi)		120 kr./år
Værditab (total værdi /levetid)		600 kr./år
Total omkostning for eget ledningsnet		53244 kr./år
Total reduceret areal for privat grunden (0,09 ha)		
Ledningsnet pr red. m^2		59,16 kr./red. areal m^2

Tabel 4.7-3 Oversigt over omkostning for Dømmestrup forsyning for afledning af regnvandet efter utraditionel metode.

Umiddelbart kan der konstateres at den utraditionelle måde er dyrt set fra borgenes side. Denne beregning er foretaget med en gentagelsesperiode på 5 år. Men denne ide vil være optimal hvis den ekstreme regnmængde forsætter med at stige, da den traditionelle måde ikke kan klare disse regnhændelse. Her vil den utraditionelle måde være hensigtsfuld, da oversvømmelsen af arealer vil ske på deres egen grunde i stedet for f.eks. på vejarealer og forårsage problemer for trafikken. Ved den utraditionelle måde vil omkostninger til ledningsnettet i fællesdelen blive billigere, mens omkostninger til små 50 bassiner vil stige end et stort bassin.

5 Betalingsvedtægt for regnvand

I dette kapitel bliver der set på de fordele og ulemper ved fire forskellige betalingsvedtægts modeller. Herefter der udformes to af de fire modeller.

Ved separatloakering af det eksisterende byområde, adskilles afledning af spildevand og regnvand helt. I forbindelse med det, ønskes det også at adskille afledning af regnvand og spildevand, rent økonomisk. Derfor udarbejdes en betalingsvedtægt for regnvandsafledningen alene. Desuden er de fremtidige klimaændringer muligvis med til at øge regnmængden. Dermed er der en risiko for, at de nuværende regnvandsledninger er for små og derfor skal der foretages en opdimensionering af ledningsnettet.

Formålet med betalingsvedtægten for afledning af regnvand er, at få grundejerne til at betale for de reelle udgifter til afledning af regnvand således, at der opstår et incitament til at begrænse de vandmængder som udledes til regnvandssystemet.

Hvis det synliggøres for borgerne, at det kan betale sig at håndtere regnvand på egen grund, bliver udledning af regnvandet til regnvandssystemet minimeret. Håndtering af en del af regnvandet vil ske decentralt på ejendommene. Dermed minimeres opdimensionering af ledningssystemet.

Forudsætningerne for betalingsvedtægt for borgerne og forsyningsvirksomhederne:

- Regnvandssystemet skal adskilles fra spildevandssystemet
- Regnvandssystemet skal betales af grundejere, efter ”hvile i sig selv princippet”. Det betyder at indtægter og udgifter over en årrække skal balancere.
- Formindske udledning fra ejendomme, således systemet ikke overbelastes
- Det vurderes at lokal nedsivning er muligt
- Mindst mulig administrativ omkostninger og det skal være nemt at håndtere

5.2 Fire modeller om betalingsvedtægt

Miljøministeriets spildevandsudvalg har frembragt tre forskellige modeller for ”hvile i sig selv princippet” for afledning af regnvand [Miljøministeriet] og DANVA⁴ med en.

Disse 4 modeller er:

- Regnvandsbidrag beregnet efter grundareal
- Regnvandsbidrag beregnet efter det befæstede areal
- Regnvandsbidrag beregnet efter det reducerede tilsluttede areal

⁴ Dansk Vand- og Spildevandsforening.

- Afledningsret

Her skal afledningsretten forstås, som at der af forsyningsvirksomheden tildeles en bestemt maksimal mængde vandføring til regnvandsystemet fra grundejer.

I det efterfølgende underafsnit, bliver der set på fordele og ulemper ved de ovennævnte fire modeller for afledningen af regnvand.

5.2.1 Fordele og ulempe ved de fire modeller

Model A Regnvandsbidrag beregnet efter grundareal

Her beregnes bidraget som et fast beløb af grundarealet pr m^2 .

Fordele: Nemt at finde frem til beløbet som skal betales til forsyningsvirksomheden, ikke nødvendigt at føre kontrol.

Ulempe: Usikker metode. Der kan muligvis ske det, at en lille grund med et stort befæstet areal udleder mere end et stort areal med et lille befæstet areal. Hvorimod ejeren af et lille areal skal betaler mindre end ejeren af det store areal, selvom ejeren af det store areal udleder mindre til systemet. Desuden er modellen heller ikke brugervenlig mod dem som håndterer regnvandet selv, da regningen altid vil afhænge af arealet.

Model B Regnvandsbidrag beregnet efter det befæstede areal

Her beregnes bidraget som en fast pris pr. kvadratmeter befæstet areal.

Fordele: Tilnærmelsesvis nøjagtigere metode end den foregående. Forholdsvis nemmere at beregne regninger som skal betales af forbrugeren, fx ved hjælp af Spectral analysen. Metoden opfordrer til at dem med mindre befæstet areal belønnes. Mens dem som håndterer regnvandet fra fx tagflade lokalt bliver ikke belønnet.

Ulempe: Ikke tilsluttet areal tælles med. Nødvendig med kontrol om grundejerene befæster arealet ydeligere.

Model C Regnvandsbidraget beregnet efter det befæstede tilsluttede areal

Bidraget beregnes som en fast pris pr. kvadratmeter tilsluttet det befæstede areal.

Fordele: Nøjagtigere metode ift. model A og B. Man betaler for den regnmængde man afleder. Tilskynder til at håndtere regnvandet lokalt.

Ulempe: Kontrol er nødvendigt. Men det er svært at kontrollere, da det er svært at bestemme hvor stor en del af de befæstede areal der bidrager til systemet.

Model D Afledningsret

Her kan man tildele et bestemt afledningsret til at aflede regnvand fra privatgrunde til fællesregnvandsystemet, så der fx maks kommer 130 l/s/ha til regnvandssystemet fra privatgrunde.

Fordel: Nøjagtigere metode. I denne model betaler grundejere for det, de udleder til systemet. Nemmere at kontrollere ved at fastlægge et ledningsrør, som maksimal afleder det ret, som grundejeren blev tildelt fra privatgrund til fællessystemet. Se afsnit 5.5.2.

Ulempe: Grundejerene kan opleve oversvømmelser, hvis de befæster arealet mere, således at afstrømningen bliver mere end hvad de har fået tildelt fra afledningsret. Muligvis vandet fra privat grunde kan løbe videre til nabogrunde, hvis regnvandet ikke bliver håndteret forsvarligt på de enkelte grunde.

5.2.2 Del konklusion for de fire modeller

I model A tages der ikke højde for hverken håndtering af regnvand eller nedsivning på egen grund. Dette kan medføre at der udledes mere vand til systemet.

I model B har grundejere en lille smule indflydelse, da det befæstede areal kan mindskes. Men der tages ikke højde for dem som håndterer regnvandet lokalt.

I model C er det svært at kontrollere de tilsluttede befæstede arealer.

I model D bestemmer folk selv hvor meget de vil udlede op til en fastlagt maksimal udledning. Desuden giver modellen også mulighed for at skrue på prisen for afledning af regnvandet ligesom de andre øvrige modeller, således øges incitamentet til at nedsive vandet på deres egen grund eller udlede mindre til systemet. Dermed belastes systemet mindst muligt. Der er også risiko for, at folk, der håndterer regnvandet lokalt kommer til at forurene grundvandet på længere sigt.

Der er valgt at arbejde videre med model C og D, og udarbejde et forslag til, hvordan en ”hvile i sig selv principet” kan udformes. Model C udformes vha. spektral analyse og udformes for det eksisterende ledningssystem. Dette fremgår i følgende afsnit.

5.3 Udformning af betalingsvedtægt

Afledning af regnvandet til systemet kan opdeles efter to kategorier fra forsyningsvirksomheden:

- Afledning fra private - og erhvervsejendomme
- Afledning fra vejarealer

5.4 Udformning af betalingsvedtægt efter befæstede areal

Her benyttes spektral analyse til at bestemme de befæstede vejarealer, befæstede privatejendomme og grønne områder. Resultatet af fordelingen af arealer fremgår af tabel 5.4-1. Fremgangsmåden fremgår af bilag IV.

	Befæstede m ²	Grønne område i m ²	Total i m ²	[andel/totalareal]	[befæstet/andel]
Vejareal	14 200	11 400	25 600	13 %	55 %
Privat areal	46 400	121 100	167 500	87 %	27 %
Total	60 600	132 500	193 100	100 %	

Tabel 5.4-1 Oversigt over fordelingen af arealer

Vejarealet udgør 13 %, jf. tabel 5.4-1, af det samlede budget og skal indbetales af kommunen, som ejer vejarealet. Resten af de 87 % skal betales af ejeren af privatejendommene.

5.4.1 Vejarealers betalingsvedtægt efter befæstede areal

13 % af budgettet fås fra vejarealer. Dette bestemmes ud fra formel 5.4.1-1

$$P_{vej}(x) = a_{vej}x + b \cap P_{vej}(x) \geq 13\% \text{ Budgettet} \quad (5.4.1-1)$$

Hvor b er lig nul, hvilket betyder, at dem som ikke udleder regnvand til systemet og håndtere regnvandet selv ikke skal betale til forsyning, men de skal dokumentere, at deres del af regnvandet ikke bliver udledet til deres nabogrunde eller forårsage oversvømmelser på vejarealer.

Hældningen, a i [kr./ m² red. areal], fastlægges således at forsyningsvirksomheden ikke får underskud. Dette kan fastlægges efter formel 5.4.1-2.

$$P_{vej}(x) = a_{vej}x + b \Leftrightarrow 13\% \text{ budgettet} = a_{vej}14200m^2 + 0 \Leftrightarrow a = \frac{13\% \text{ budgettet}}{14200m^2} \quad (5.4.1.2)$$

5.4.2 Ejendoms betalingsvedtægt efter befæstede areal

Formlen 5.4.2-1 benyttes til at beregne beløbet som skal betale til forsyningsvirksomheden

$$P_{ejen}(x) = a_{ejen}x + b \cap P_{ejen}(x) \geq 87\% \text{ Budgettet} \quad (5.4.2-1)$$

Hvor b er lig nul, ligesom i formel 5.4.1-1.

Hældningen, a, i [kr./ m² red. areal] og fastlægges således, at forsyningsvirksomheden ikke får underskud. Dette kan fastlægges efter formel 5.4.2-2. Her kan hældning være forskellige fra vejarealet.

$$P_{ejen}(x) = a_{ejen}x + b \Leftrightarrow 87\% \text{ budgettet} = a_{ejen}46400m^2 + 0 \Leftrightarrow a = \frac{87\% \text{ budgettet}}{46400m^2} \quad (5.4.2-2)$$

Så længe folk selv dokumentere for, at deres befæstede areal ikke bliver tilsluttet til systemet kan de få rabat for det. Men det skal være tilstrækkelige lokale afledning eller forsinkelsesbassin uden oversvømmelser, der vil brede sig til naboerne. Løsningsmetoderne skal godkendes af forsyning myndighederne. Det er den nemmeste måde at beregne de tilsluttede befæstede arealer på.

5.4.3 Konklusion på betalingsvedtægt efter befæstede areal

Model C ønskes kun at benyttes til at beregne de eksisterende regnvandssystemer. For at forbedre modellen kan det overvejes, at det skal udformes således, at når det befæstes med mere end 35 % af deres areal, skal de straffes ekstra for det.

Denne model kræver en detaljeret beregning af hvad der karakteriseres som et befæstet område og hvad der er karakteriseres som ikke et befæstet område. Desuden er der også en usikkerhed i beregningen. I og med, at det er baseret på farve.

Efter at der er blevet lavet en beregning om hvad der er befæstet og ikke er befæstet, kan folk selv vælge at befæste deres areal yderligere. Som nævnt i afsnit 5.2.1 er det svært at kontrollere.

Man kan vælge at lade borgerne selv oplyse om hvorledes de bebygger det befæstede areal yderligere. Dette er en billigere løsning end, at man hvert år skal få lavet nye beregninger. Som nævnt tidligere kræver denne metode meget kontrol arbejde og beregningsarbejde.

5.5 Udformning af betalingsvedtægt efter afledningsret

For private - og erhvervsejendomme:

Denne model gælder for det nye ledningsnet. I lokalplanen indgår, at hver grundejer har en maksimal afledning fra deres egen grund til fælles regnvandssystemet. Alle grundejere er tvunget til at betale for afledningsrettet. Maksimal afledning beregnes efter arealet af ejendommen. Her ønskes at give en tilladelse til at befæste 35 % af arealet og at have et system som der kan klare 5 års regn hændelse.

Omkostningen mellem at dimensioner et system til 2 år og 5 år er meget lille [Fleming Mandrup Hansen, Krüger A/S]. Og ejerne af ejendomme får mere glad af at have mindre oversvømmelse på deres grund.

5.5.1 Eksempel på afledningsret for ejendom

Ejeren har en ejendom på 0,1 ha. Ejers maksimal befæstelses område fastlægges til 35 %. 25 % til bebyggelse og 10 % terrasse og stier. For at det kan klare en 5 års regnhændelse bør der udledes 130 l/s/ha, [Fleming Mandrup]. Så ejers maksimale udledning er sat til 4,6 l/s

Så der bliver tildelt en afledningsret på 4,6 l/s til den pågældende grundejer. Ejers regning for afledning af regnvandet bestemmes ud fra formel 5.5.1-1.

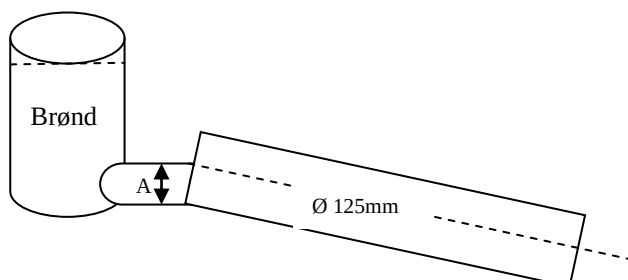
$$P_1(x) = ax \quad (5.5.1-1)$$

Hældningen, a i [kr./ l/s], fastlægges således at forsyningsvirksomheden ikke får underskud. Dette kan fastlægges efter formel 5.5.1-2.

$$\begin{aligned} \sum_{i \in \text{hus tan de}} P_1(x_i) &\geq \text{Budgettet} \\ \Downarrow \\ \sum_{i \in \text{hus tan de}} P_1(x_i) &= \sum_{i \in \text{hus tan de}} a \cdot x_i = |\text{hussta}| \cdot a + a \sum_{i \in \text{hus tan de}} (x_i) = a \left(\sum_{i \in \text{hus tan de}} (x_i) + |\text{husta}| \right) \end{aligned} \quad (5.5.1-2)$$

5.5.2 Begrænsning på udledning efter afledningsret fra privatejendomme

For hver ejendom lægges en tilslutningsledning således, at der ikke udledes mere end det man har købt sig til. F.eks. hvis ejeren har købt afledningsret til 4,6 l/s, så lægges en ledning med en diameter på 125 mm og en hældning på 0,2 % fald og k sættes til 1 mm. Så det kan udledes højst 4,6 l/s. For at benytte denne metode skal ledning altid være delfyldt, og ikke fuldt løbende. For at være delfyldt, udformes ledning som vist på figur 5.5.2-1. Og arealet af den lille rør/hul beregnes efter formel 5.5.2-1



$$\Delta H = \xi \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot A^2} \quad (5.5.2-1)$$

Figur 5.5.2-1 En brønd med afgrænset afledning

Afledningsgrænsen fastsættes efter de rørdimensioner der findes på markedet. Ved ændring af afledningsret må kunden selv betale for omskiftning af rør.

5.5.3 Udformning af betalingsvedtægt for vejareal efter afledningsret

Afledning af regnvandet fra vejarealer skal betales af ejeren af vejarealet, som er kommunen. Ved at gøre det på denne måde, forventes det at vejarealet befæstes mindst muligt.

Her kan man benytte samme model som til privat ejendomme, jf. afsnit 5.3.1. Men her vil man jo helst ikke have vand på vejarealer, da det kan forhindre transportmuligheder. Derfor udformes betalingsvedtægt efter model B. Et eksempel fremgår i følgende afsnit.

Eksempel:

Ud fra Spectral analyse ses at 13 % af Dømmestrup består af befæstet vejareal. Så 13 % af budgettering til regnvandsafledning betales af kommunen, de resterende 87 % af budgettering fra Dømmestrup betales af de private fra Dømmestrup.

5.6 Konklusion på betalingsvedtægt efter afledningsret

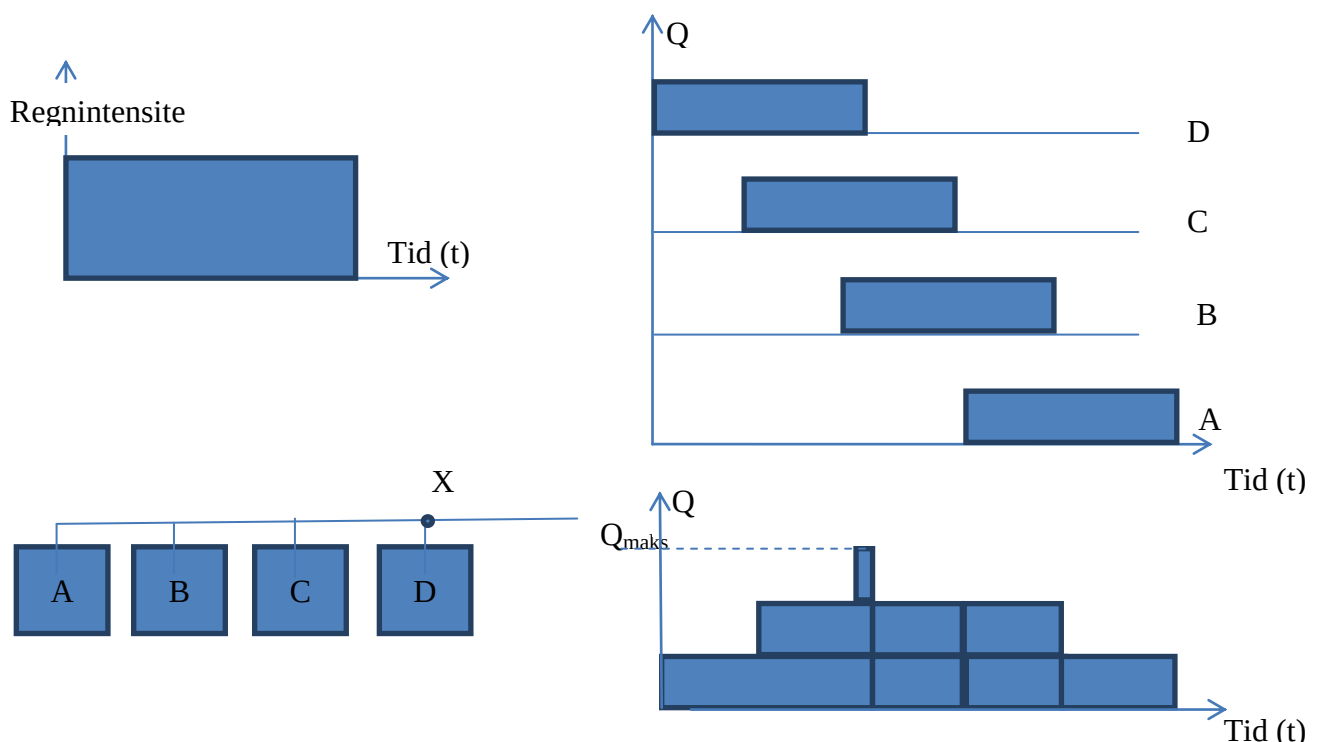
Den udformede afledningsretsmodel (model D) kan gælde for ny separat regnvandsafledning, men modellen kræver ændring af lov om betalingsregler for spildevandsanlæg m.v. og ændring af de enkelte spildevandsforsyningers betalingsvedtægter.

Et andet problem er, at det utilstrækkelige lokale afledning ofte vil føre til oversvømmelser, der vil brede sig til naboerne. Derfor vil det i de fleste tilfælde være uacceptabelt at give grundejer fuld frihed til at vælge denne løsning. Der må gives gode råd til grundejere om hvordan de skal enten genbruge vandet eller skaffe forsinkelses bassin, således håndtering af regnvandet sker på en fornuftig måde. Der skal også rådgives således, at folk har viden nok til at undgå oversvømmelse på deres grunde.

Der opstår der et andet problem at, hældning a, kan ændre sig væsentligt fra forsyning til forsyning, derfor skal taksten godkendes årligt af kommunalbestyrelsen på lige fod med de øvrige takster.

6 Ledningsnet efter afledningsret

Der ses på en situation i afledningsret modellen, hvor regnintensitet er høj at strøming når den maksimal vandføring fra privat grunde til fællesledningerne. Den udformede afledningsret model gør, at der altid er konstant hydrograf fra privat ejendomme til regnvandssystemet, selvom regnvarighed og regnintensiteten er forskellige. Men forsinkelsestiden vil være længere i den nye model (afledningsret model) end forsinkelsestiden i nuværende ledningsnet. Den længevarende forsinkelsestid gør, at det er svært at forudse den maksimale vandføring fra oplandene, jf. figur 6.1-1



Figur 6.1-1 I øvest til højre er en kasse regn vist. Nederste til højre vises oplandes placering og beregningspunkt X. Øverste til venstre er oplandes hydrografer vist. Nederst til venstre er den oplandernes samlet hydrografer til beregningspunkt X vist.

Hvis der antages, at der er tildelt ret til at aflede 130 l/s/ pr. 35 % af arealet og summere alle vandføringer fra privat grunde vil ledningerne i Dømmestrup, som ligger før bassinet, skal kunne klare 10,20 l/s. Her er bidraget fra vejarealer ikke medtaget. Med en diameter på 175 mm med 1,5 % vandspejlsfald vil ledningen klare en vandføring på 10,2 l/s. Her er det antaget at ruheden er på 1,0 mm. Nuværende ledning, som ligger før bassinet i Dømmestrup, er på 700 mm.

Men i følge figur 6.1-1 vil den maksimale vandføring muligvis være mindre end summen af alle vandføringer tilsammen. Den Maksimal vandføring kan beregnes ved en historisk regn.

7 Konklusion

For at bestemme hydrologisk reduktionsfaktor er det benyttet simuleringsprogrammet MOUSE, hvor MOUSE-modellen blev kalibreret. Ved kalibrering er der benyttet den nærmeste regnmåler som ligger ca. 6 km væk fra projektlokaliteten, da der var ikke nogen regnmåler i Dømmestrup. Bl.a. derfor, er der en tydelig afvigelse i målte flow og beregnede flow. Efter kalibrering er der i simulering benyttet en hydrologisk reduktionsfaktor på 0,64.

I dette projekt blev der også set på separatkloakering af Dømmestrup, men dog kun på separatkloakering af regnvandsafledningen. De eksisterende ledninger fra fællessystemet benyttes som regnvandsledninger. Der skal udbygges et bassin på 1240 m³, hvor den eksisterende var på 78 m³. Omkostninger for den traditionelle og utraditionelle separatkloakering af regnvandsafledninger er beregnet. Det kan konkluderes, at der ved den utraditionelle måde kan spare på omkostninger for ændring af systemet i fællesnettet. Men udbygning af de 50 små bassiner er dyrere end udbygning af et stort bassin.

Herudover blev der også udarbejdet to forskellige ”hvile i sig selv” principper for afledning af regnvandet. Afledning af regnvandet fra privatgrunde betales af grundejerne, og afledning af vejarealer betales af kommunen. Det første af de to ”hvile i sig selv” principper udformes efter den tilsluttede befæstede areal vha. spektralanalyse. Det andet princip er udformet efter den såkaldte afledningsret, hvor grundejerne får tildelt den maksimale vandføring fra deres grunde. Den maksimale vandføring beregnes efter størrelsen af arealet. Afgifter fra vejarealer beregnes efter det befæstede areal. Afledningsrets-modellen udformes for de nye udbygningsområder. Det andet princip benyttes hovedsagligt for de eksisterende områder, men kan også anvendes til nye områder. Ved begge modeller kræver ændring af lov om betalingsregler for spildevandsanlæg m.v. og ændring af de enkelte spildevandsforsyningers betalingsvedtægter.

Alt i alt giver denne rapport et indblik i de værktøjer, der kan benyttes til at udforme ”en hvile i sig selv princip” for afledning af regnvandet.

8 Litteraturliste

Evanet

http://www.evanet.dk/temamoder/mode3_2006/EVA-mode%20November%202006%20MAU.pdf

Besøgt: 12/12-2010

Fleming Mandrup (2010) Civil Ingeniør ansat hos Krüger A/S.

Fåborg-Midtfyn

<http://www.faaborgmidtfyn.dk/diverse-sider/tilflytter/fakta-om-faaborg-midtfyn-kommune/>

Besøgt: 28/10-2010

Jens J. Linde, Leif Winther, H.T. Jensen, L.L.Mathiasen og N.B Johansen (2002)
Afløbsteknik. Polyteknisk Forlag. ISBN: 87-502-0827-6

Miljøminister (2010) Materiale udleveret ved møde med aalborg kommune.