

UVEDKOMMENDE VAND I GRINDSTED

DIPLOMINGENIØRAFGANGSPROJEKT



AF PERNILLE HOLM
BYGGERI & ANLÆG
VAND & MILJØ
7. SEMESTER
18. JANUAR 2019
AALBORG UNIVERSITET



AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

**7. Semester v/ Det Teknisk-
Naturvidenskabelige Fakultet**

Byggeri og Anlæg
Thomas Manns Vej 23
9220 Aalborg SØ
www.tek-nat.aau.dk

Titel:

Uvedkommende vand i Grindsted

Semester:

7. semester på Byggeri Anlæg
Vand & Miljø

Projekttype

Diplomafgangsprojekt

Projektperiode:

1. november 2018 - 18. januar 2019

Forfatter:

Pernille Holm

Vejleder:

Jesper Ellerbæk Nielsen

Samarbejdende virksomhed:

Orbicon A/S

Kontaktperson:

Kasper Degn Laden

Sidetal: Hovedrapport = 57 sider
i alt = 89 sider

Bilag: 8 + 9 elektroniske bilag

Afsluttet: 17. januar 2019

Synopsis:

Det følgende diplomafgangsprojekt omhandler uvedkommende vand i kloaksystemer. Projektet er to-delt og består af et litteraturstudie og et databehandlingsafsnit. Derudover indeholder projektet et bilags-afsnit.

I litteraturstudiet er det fundet, at uvedkommende vand er et væsentligt problem i flere forsyninger rundt om i Danmark. Af de undersøgte forsyninger udgør uvedkommende vand fra 24% op til 65% af årsmængden på rensningsanlæggene. Hovedårsagen til uvedkommende vand er indsigning, men også fejlkoblinger i separate kloaksystemer kan give anledning til en væsentlig andel af det uvedkommende vand. Forsyningerne erfarer, at 2% til 10% af alle separatkloakerede ejendomme er behæftet med fejl.

I gennem databehandlingsafsnittet er det fundet, at uvedkommende vand i Grindsted, Aalborg Kommune, udgør mellem 46% og 64% af de totale pumpede mængder for årene 2015-2018.

I forbindelse med dimensionering af det nye spildevandssystem til byen er det fundet, at fejlkoblinger kan få stor betydning for spildevandssystemets kapacitet. Samtidig viser undersøgelsen, at selv små fejlkoblingsandele kan forbedre systemets selvrensningsevne betydeligt. Derfor er det vurderet, at fejlkoblingsandelene bør holdes på et minimum, men at lidt uvedkommende vand i systemet kan forbedre visse driftbetingelser.



Forord

Følgende rapport er udarbejdet som afgangsprøve for diplomingeniøruddannelsen i Byggeri og Anlæg med specialisering indenfor Vand og Miljø ved Aalborg Universitet.

Rapporten er udarbejdet i samarbejde med Orbicon A/S, Aalborg. Forfatteren har som et led i sin diplomingeniøruddannelse været i diplompraktik ved selvsamme firma i perioden maj til oktober 2018. I den forbindelse skal der lyde en stor tak til virksomheden og i særdeleshed kollegerne Kasper Degn Laden, Peter Plejdrup Poulsen og Claus Liltorp, som har bistået med hjælp i forbindelse med udarbejdelse af afgangsprøven.

Derudover, skal der lyde en stor tak til Aalborg Kloak A/S, og særligt distributionschef Ole Nerup-Jensen og driftsleder René Søgaard, som har bidraget med kloakdata om projektlokaliteten Grindsted og pumpedata for byen.

Der skal også lyde en stor tak til AAU-vejleder Jesper Ellerbæk Nielsen, der har haft en åben og ærlig tilgang til projektets udformning.

Afgangsprøven er udarbejdet på baggrund af gældende krav og retningslinjer i studieordningen

Læsevejledning

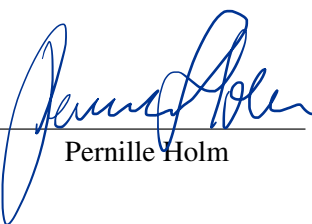
Rapporten er udarbejdet med dels et litteraturstudie og dels et databehandlingsstudie.

I rapporten er der anvendt kildehenvisning. Henvisningerne er udført efter Harvardmetoden. Metoden refererer til en kilde ved kildens navn og årstal. Såfremt kilden er anvendt på én specifik sætning er denne angivet med forfatter og årstal i firkantet parentes i sætningen inden punktum. Kildehenvisning til et helt afsnit er angivet efter punktum men ligeledes i firkantet parentes med forfatter og årstal. Bagerst i rapporten findes litteraturlisten, hvor referencerne er angivet i alfabetisk orden efter forfatterens fornavn.

Figurer, der ikke har angivet nogle kilder, er fremstillet af forfatteren.

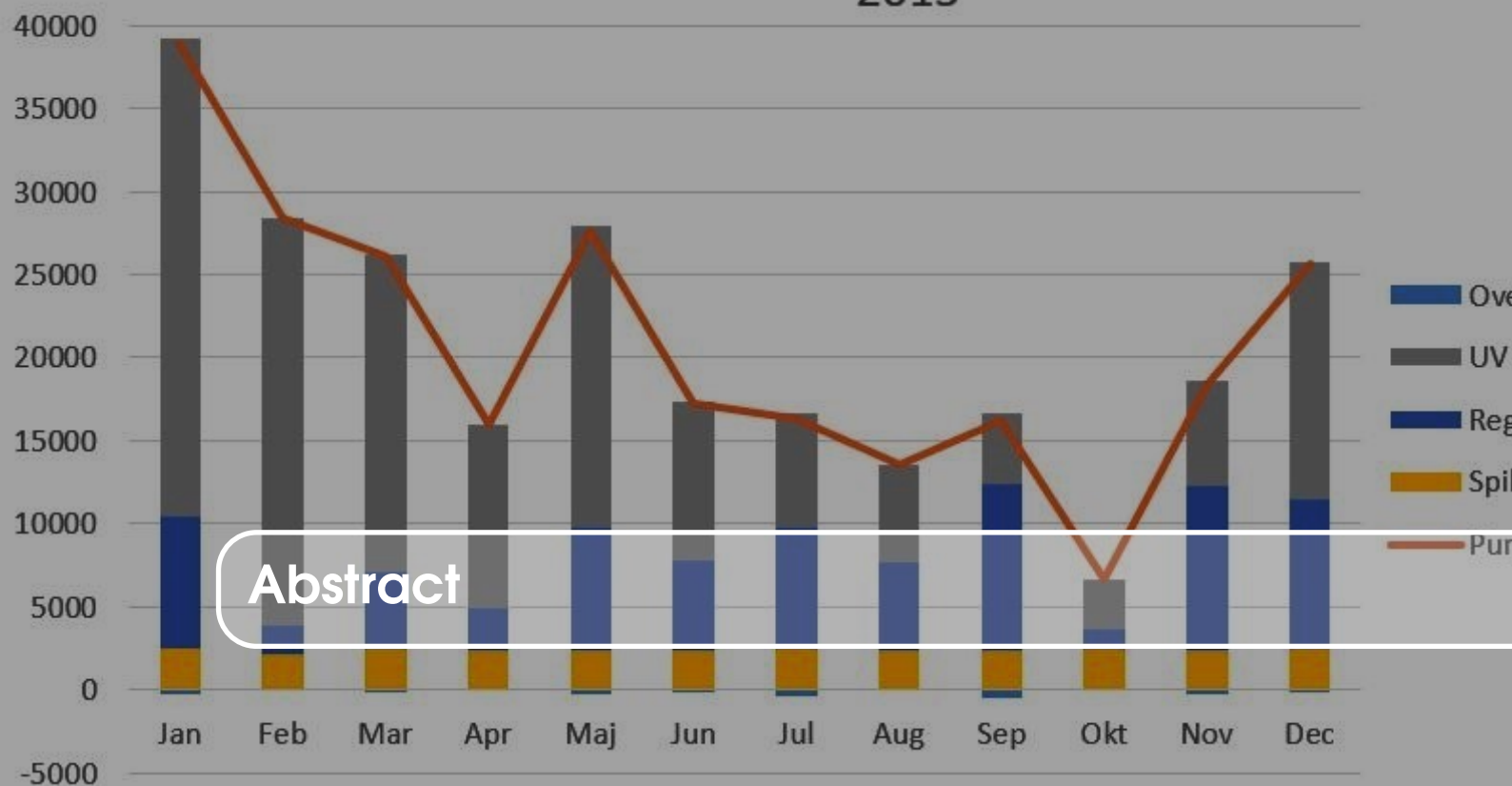
Databehandlingsstudiet er udarbejdet ved brug af beregningsprogrammet Excel. Elektroniske bilag er præsenteret i bilag H. Fremgangsmåde og forudsætninger for beregningerne i de elektroniske bilag er præsenteret i rapporten og delvist i bilag. Derudover er der i hvert af de elektroniske bilag et ark under titlen "INFO", der beskriver, hvad det elektroniske bilag indeholder. Henvisninger i rapporten til elektroniske bilag fremgår ved eksempelvis: bilag H: *Databehandling Vandbalance 003*, hvor *Databehandling Vandbalance 003* er titlen på det elektroniske bilag.

Formler er i rapporten noteret med parentes, hvor f.eks. (7.1) henviser til første formel i kapitel 7.



Pernille Holm

2015



Since Denmark's 1st action plan for the aquatic environment was adopted in 1987, there has been great focus on reducing the load on recipients. Old, leaky joint systems have been replaced by new, separate sewage systems, and a greater focus has been placed on optimizing waste water treatment at the treatment plants. The cleaning is optimized, among other things, by reducing the peak flow through the treatment plant. In order to reduce the peak flow, it is important that all rainwater is disconnected from the system. Therefore, many supplies work towards a strategy where rainwater is decentralized and waste water is handled centrally.

In order to completely separate rain water and waste water, the separate sewerage must be done - also on the private cadaster. This means that private lines must be connected to the correct mains. When connecting lines are connected to the wrong mains, you have a mismatch. Mismatches cause extraneous water in the system, as well as ingestion of old, leaking wires constitutes extraneous water.

Extraneous water is not desirable in the system. The report presents the consequences of extraneous water in the separate sewer. In addition, a literature study has investigated the experience of Danish supplies with extraneous water. The study shows that extraneous water is a major problem in general. Extraneous water accounts for between 24% and 65% of the annual amount at the wastewater treatment plant. As extraneous water constitutes such significant proportions, more supplies make a hard work in tracing sources of extraneous water.

The supplies find that the majority of extraneous water originates from seepage into leaky sewers, but mismatches can also be a major problem. In addition, more supplies find it difficult to track down these mismatches. Of the supplies examined, there is experience that 2% to 10% of all separate sewer properties are mismatched. The supplies experience, that rainwater connected to the sewage sewer is the most frequently occurring mismatch. The type of mismatch can, during heavy rainfall events, cause the separate sewage sewer to have insufficient capacity. Therefore,

there may be emergency flooding or stowage to people's cellars.

In collaboration with Aalborg Forsyning, the project site Grindsted has been designated. Grindsted is a small town housing approximately 700 inhabitants. The city is situated just 20 km north of Aalborg. Present Grindsted has primarily a common sewer, and the supply experiences that there are major problems with extraneous water in the city.

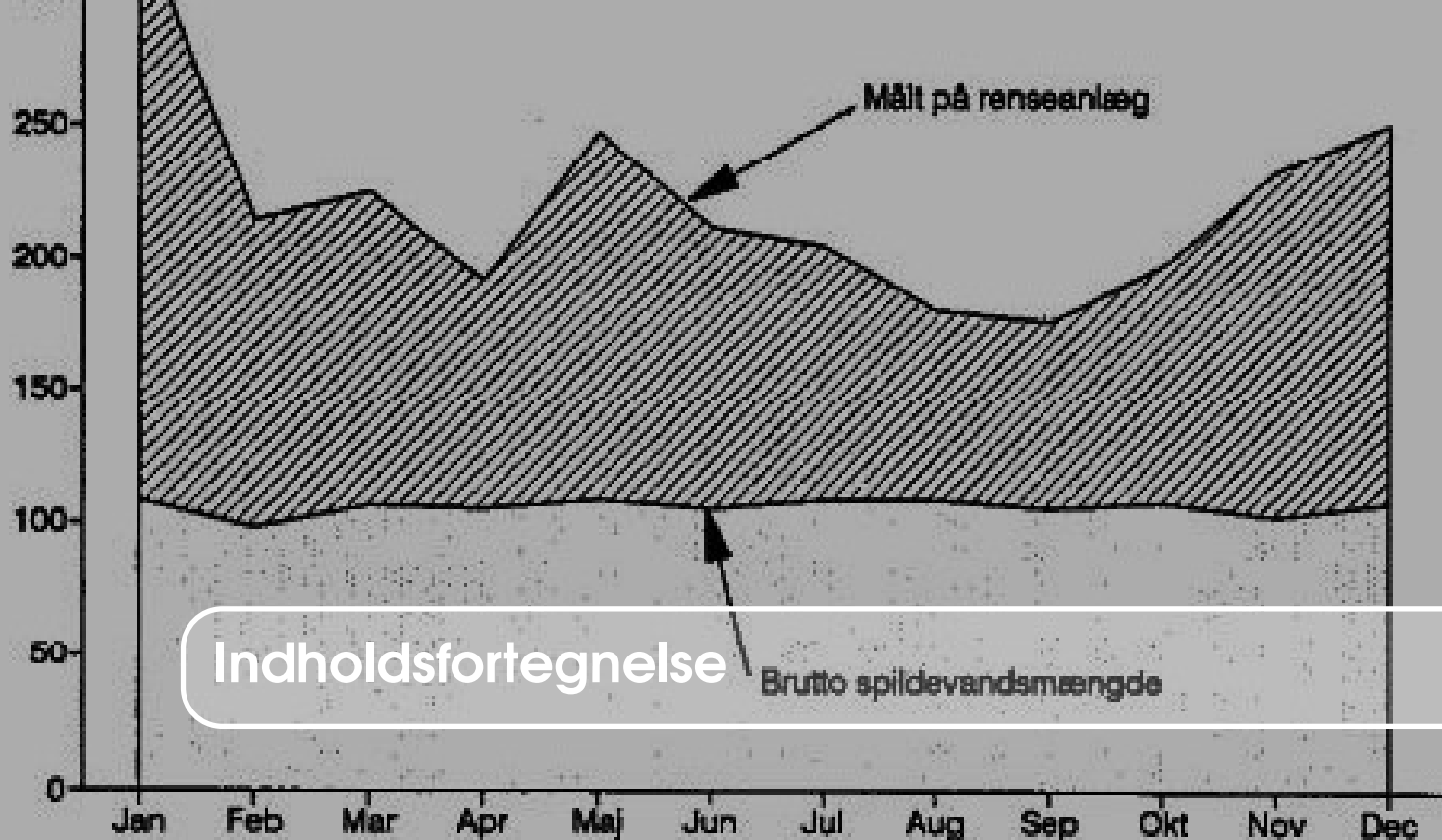
In the project, a closed water balance has been established for the city for the years 2015, 2016, 2017 and 2018. The water balances show that extraneous water in Grindsted constitutes 46% to 64% of all water pumped from the city.

Relating to the dimensioning of a new separate sewage sewer to the city, it has been found that extraneous water from mismatches can have a significant impact on the dimension of the sewer. Taking into account up to 10% mismatches in the city, up to 17% of the new wastewater sewer will not have sufficient capacity for a 10-year rainfall of 10 minutes, and should therefore be redesigned.

Experience from supplies says that it is realistic to come down to approximately 2-3% of mismatches in a new waste water system. At 2,5% mismatches and 25% seepage, the separate wastewater sewer in Grindsted has sufficient capacity when dimensioning according to traditional assumptions with a 50% partial filling level.

In addition, the calculations show that extraneous water from just 2,5% mismatches can improve self-cleaning significantly.

Therefore, it is concluded that extraneous water from mismatches can have great significance for the dimension of the separate wastewater sewer. Therefore, strict export control of pipelines should be carried out. And even though the supplies work towards no mismatches, a failure ratio of 2-3% will actually result in better operating conditions for the system. Therefore, extraneous water is not only negative for a sewer system.



Indholdsfortegnelse

I	Del 1 - Projektbeskrivelse	1
Kapitel 1	Uvedkommende vand i afløbssystemer	3
1.1	Hummereventyret i 1986	3
1.2	Den første vandmiljøplan (VMP 1)	4
1.3	Separatkloakering og klimaforandringer	4
1.3.1	Uvedkommende vand i det separate kloaksystem	5
1.3.2	Økonomiske konsekvenser ved uvedkommende vand i kloaksystemet	5
1.3.3	Økonomiske konsekvenser for Aalborg Kloak A/S ved uvedkommende vand	6
Kapitel 2	Projektlokaliteten Grindsted	9
2.1	Indbyggertal	10
2.2	Kommuneplanrammer	10
2.3	Kloakoplande	12

Kapitel 3	Problemformulering	13
3.1	Metode	14
II	Del 2 - Litteraturstudie	15
Kapitel 4	Uvedkommende vand	17
4.1	Konsekvenser ved uvedkommende vand	17
4.1.1	Positive effekter	17
4.1.2	Negative effekter	18
4.2	Typer af uvedkommende vand og dets konsekvenser	18
4.2.1	Fejlkobling: Regnvand tilsluttet spildevandskloak	18
4.2.2	Fejlkobling: Spildevand tilsluttet regnvandskloak	19
4.2.3	Indsivning: I utætte hovedledninger	19
4.2.4	Indsivning: I utætte private ledninger	19
4.2.5	Tilslutning af drænsystemer: Bygningsdræn	20
4.2.6	Tilslutning af drænsystemer: Markdræn	20
Kapitel 5	Forsyningers erfaring m. uvedkommende vand	21
5.1	Estimeret andel af uvedkommende vand	21
5.2	Kilder til uvedkommende vand	22
5.3	Tiltag mod uvedkommende vand	22
Kapitel 6	Forsyningers erfaring m. fejlkoblinger	25
6.1	Andel af fejlkoblinger	25
6.2	Tiltag mod fejlkoblinger	26
6.2.1	Nul fejl og til rette tid	27
6.3	Opsummering - fejlkoblinger	27

Kapitel 7	Bestemmelse af indsivning i Grindsted	31
7.1	Vandbalance-betragtning	31
7.1.1	Inputværdier	32
7.1.2	Resultater for indsivning inden kalibrering	39
7.1.3	Resultater efter kalibrering	40
7.2	Omfang af uvedkommende vand i Grindsted	43
7.3	Opsummering - Indsivning	45
Kapitel 8	Separat spildevandssystem i Grindsted	47
8.1	Forudsætninger jf. Aalborg Kommunes projekthåndbog for kloakker	47
8.1.1	Valg af gentagelsesperiode	48
8.2	Dimensionering af det kommende spildevandssystem	49
8.2.1	Uden hensynstagen til uvedkommende vand	49
8.2.2	Med hensynstagen til uvedkommende vand	49
8.2.3	Uvedkommende vands betydning for selvrensning	52
8.3	Opsummering - Fejlkoblinger og indsivning i Grindsted	52

Kapitel 9	Konklusion	55
9.1	Perspektivering	57

Bilag A	Spildevandsplan 2008 - 2019	65
Bilag B	Pejlinger i Grindsted	67

Bilag C	MIKE oplysninger om overløb	69
Bilag D	Originale tidsserier for Grindsted	71
Bilag E	Kalibrerede tidsserier for Grindsted	75
Bilag F	Dimensionering af spildevandskloak	79
F.1	Teoretisk fastlæggelse af dimensionsgivende vandføring	79
F.2	Beregning af ledningens fuldtløbende kapacitet	80
F.3	Kontrol af selvrensning	81
F.3.1	Fastlæggelse af vanddybde, y	82
F.3.2	Beregning af hydraulisk radius	82
F.4	Beregning af ledningens dimensionsgivende vandføring	83
F.4.1	Traditionel fremgangsmåde	83
F.4.2	Fremgangsmåde under hensynstagen til fejlkoblinger og indsivning	83
Bilag G	Dimensionering af spildevandskloak	85
Bilag H	Liste over elektroniske bilag	89



Del 1 - Projektbeskrivelse

Kapitel 1	Uvedkommende vand i afløbssystemer	3
1.1	Hummereventyret i 1986	
1.2	Den første vandmiljøplan (VMP 1)	
1.3	Separatkloakering og klimaforandringer	
Kapitel 2	Projektlokaliteten Grindsted	9
2.1	Indbyggertal	
2.2	Kommuneplanrammer	
2.3	Kloakoplande	
Kapitel 3	Problemformulering	13
3.1	Metode	



1. Uvedkommende vand i afløbssystemer

"Is it possible to have too much of a good thing?" Året er 1986. Kattegat flyder med hummere og fiskerne tjener kassen, men lykken er kun kortvarig [Madsen, 2008, Kap. 10]. Allerede den 8. oktober 1986 kunne TV-avisen bringe et indslag om, at fiskerne på havnen i Gilleleje havde landet døde hummere. Dette indslag blev startskuddet til den store diskussion om vandmiljøproblemerne. [Søren Hein Rasmussen, Den Store Danske, 2018]

1.1 Hummereventyret i 1986

Den massive tilstedeværelse af hummere i Kattegat viste sig nemlig at være et resultat af et ekstremt iltsvind i havet. Hummere, krebsdyr og fisk tåler dårligt lave koncentrationer af ilt i havet, hvorfor disse vil forsøge at stikke af fra iltsvindet, når iltkoncentrationen i havet er mindre end 4 mg O₂/L. Iltsvindet skyldtes, at havmiljøet over en længere periode havde fået tildelt store mængder næringssalte i form af kvælstof (N) og fosfor (P). [Madsen, 2008, Kap. 10]

Næringssaltene er ikke i sig selv skadelige. Faktisk er næringssaltene livsnødvendige, og førhen troede flere endda, at ekstra næringssalte i havet ville gavne det og øge produktionen der. Det ekstreme iltsvind i Kattegat i 1980'erne viste dog, at denne gamle skrøne ikke kunne holde vand. Når der udledes for store mængder af næringssalte til havet sker *eutroficer*ing. Eutroficering er en overgødning af havets biologiske miljø, hvor en-cellede planktonalger vil øge deres produktion. Dette medfører, at der i havet bliver for meget føde til fødekæderne, hvorfor nogle alger vil dø og synke til bunds. Algerne fungerer da som næring til bakterier og bunddyr. Nedbrydningen af algerne er en iltkrævende proces, hvorfor ilt

Det var netop eutroficer

1986. Netop fordi den ekstra mængde af næringssalte resulterede i et øget iltforbrug i havet. Det viste sig hurtigt, at situationen med for stor koncentration af næringssalte og deraf mange hummere var for meget af det gode. I løbet af de følgende uger var vandmiljøproblemerne hovedindslag i TV-avisen hele 20 gange.

1.2 Den første vandmiljøplan (VMP 1)

Som følge af den store diskussion om vandmiljøproblemerne blev den første vandmiljøplan vedtaget i Folketinget den 4. juni 1987. Vandmiljøplanen havde fokus på at reducere næringssaltene til vandmiljøet. Landbruget skulle reducere udledningen af kvælstof til recipient med 50%, og udledningen af fosfor fra spildevand skulle ligeledes mindskes med 80%. Vandmiljøplanen kunne kun opsnås ved omfattende investeringen, der i byen primært omfattede udbygning af rensningsanlæg samt udskiftning og fremtidssikring af den eksisterende kloak. [Bent Lauge Madsen, Den Store Danske, 2018]

I 1970'ernes Danmark var ca. 75% af kloaksystemerne fællessystemer, men i forbindelse med de ekstreme iltsvind i 1970'erne og 1980'erne blev kommunerne mere bevidste om, at et to-strengt system ville kunne afhjælpe nogle af forureningsudfordringerne.

1.3 Separatkloakering og klimaforandringer

Separatkloakering, som et to-strengt kloaksystem kaldes, er med til at forbedre tilstanden i vandområdet. Det skyldes dels, at udledningen af urensset spildevand fra overløb ophører, og dels at rensningsanlæggene modtager en mere konstant koncentration af spildevand, samtidig med at peakflowet igennem rensningsanlægget reduceres, hvormed renseeffektiviteten forbedres.

Derudover har separatkloakering også den fordel, at det bliver lettere at imødegå konsekvenserne ved klimaforandringerne. DMI har opstillet to middelscenarier for klimaændringerne i Danmark frem mod år 2100. Middelscenarierne er henholdsvis RCP8.5, der tager udgangspunkt i et højt drivhusgasudslip og RCP2.6, som har udgangspunkt i et lavt drivhusgasudslip (RCP = Representative Concentration Pathways). Middelscenarierne fremgår af tabel 1.1 [Olesen et al., 2014].

Parameter	Ændring	RCP2.6*	RCP8.5*	Enhed
Årlig temperaturstigning	+	1,2 ($\pm 0,5$)	3,7 ($\pm 1,0$)	°C
Årlig nedbør	+	1,5 ($\pm 4,6$)	6,9 ($\pm 6,1$)	%
Vinternedbør	+	3,1 ($\pm 7,9$)	18,0 ($\pm 12,0$)	%
Sommernedbør	-	0,5 ($\pm 9,6$)	16,6 ($\pm 21,0$)	%
Havniveau	+	0,34 (0,1 - 0,6)	0,61 (0,3 - 0,9)	m

*Tallene i parentes angiver usikkerheden (+/- standardafvigelsen).

Tabel 1.1: DMI's middelscenarier for klimaændringer i Danmark frem mod år 2100. Tallene angiver ændringer i forhold til referenceperioden 1986 - 2005. [Olesen et al., 2014]

Derudover forventes det, at den globale opvarmning medfører, at somre i Danmark vil være præget af længere tørre perioder og samtidig flere kraftigere nedbørshændelser. Med en øget

nedbørsmængde, stigende vandstand og flere ekstreme regnhændelser øges belastningen på kloaksystemerne. Derudover betyder klimaforandringerne med øget nedbør, at grundvandsspejlet i byerne er stigende. Når grundvandsspejlet er beliggende over gamle, utætte kloakker, er der risiko for indsivning fra grundvandet. Det gør, at der skal pumpes unødigt på en mængde vand, som ikke bør være i kloakken.

Flere forsyninger investerer i tiden store millionbeløb for at udskifte eller tætte gamle, utætte ledninger ved blandt andet anvendelse af strømpeforing og omlægning fra fællesledning til separatkloak. Derudover investerer forsyningerne også i at lokalisere fejlkoblinger på de separate kloaksystemer. Fejlkobler, hvor stikledningerne fra den private matrikel ikke tilkobles det rigtige hovedsystem, kan få alvorlige konsekvenser for det omkringliggende miljø. Derfor kan også fejlkoblinger i separate spildevandssystemer udgøre en væsentlig andel af det uvedkommende vand på systemet.

1.3.1 Uvedkommende vand i det separate kloaksystem

Uvedkommende vand er vand, der ikke er tiltænkt i det pågældende system. Generelt opereres der mellem to typer af uvedkommende vand: Fejlkoblinger og indsivning, hvilket fremgår af figur 1.1. Fejlkoblinger kan kun forekomme i det separate kloaksystem, mens indsivning også kan forekomme i et fælles kloaksystem. En nærmere redegørelse over de forskellige typer af uvedkommende vand og dets konsekvenser fremgår af kapitel 4.



Figur 1.1: Konceptuel model over typer af uvedkommende vand i kloaksystemer.

1.3.2 Økonomiske konsekvenser ved uvedkommende vand i kloaksystemet

Overordnet set ønskes det at fjerne uvedkommende vand fra kloaksystemet, men uvedkommende vand kan også have positive effekter, hvilke er præsenteret i afsnit 4.1.

Uvedkommende vand kan have stor betydning for de samlede driftomkostninger til pumpning og behandling af spildevand. I en undersøgelse, der er udarbejdet af Miljøstyrelsen og Envidan, står der:

Det vurderes, at mængden af UV (læs. uvedkommende vand) på nationalt niveau er i størrelsesordenen 150 – 200 mio. m³/årligt svarende til ca. 25-30% af den samlede tilledte mængde på renseanlæggene i DK.

Andersen og Jensen [2018]

Den gennemsnitlige vandpris ved forbrugeren inklusiv moms og afgifter var i 2017 68,80 kr/m³. Heraf udgør driftsomkostningerne til håndtering af spildevand i snit 10,87 kr [DANVA, 2018c]. Derfor er det også store millionbeløb, der hvert år bruges i Danmark til at pumpe og rense uvedkommende vand i kloaksystemerne.

Klimaforandringerne, der forventes at medføre mere ekstremt vejr og stigende grundvandsstand i byerne, kan give anledning til øget hydraulisk belastning på kloaksystemerne. Derved kan klimaforandringerne også give anledning til, at andelen af uvedkommende vand i kloaksystemerne øges. Alligevel vurderes det i en artikel fra Ingeniøren [2018], at den målrettede indsats for at tætne rør og finde fejlkoblinger ikke kan betale sig økonomisk. Arbejdet med strømpeforing og opsporing af fejlkoblinger vil udgøre større investeringsudgifter, end der vil være af driftbesparelser, vurderes det i artiklen. [Ingeniøren, 2018]

Til trods for at Ingeniøren [2018] har vurderet, at investeringsarbejdet ikke er rentabelt i forhold til driftbesparelserne i den omtalte beregningsperiode, bør det bemærkes, at konsekvenserne ved uvedkommende vand også har store samfundsøkonomiske omkostninger, hvilke ikke indgår i beregningerne fra Ingeniøren [2018]. Herunder kan blandt andet nævnes følgevirkningerne ved forurening af recipienter.

1.3.3 Økonomiske konsekvenser for Aalborg Kloak A/S ved uvedkommende vand

Aalborg Kloak A/S er én af de forsyninger, som Miljøstyrelsen i sin rapport *Bedre viden om uvedkommende vand* baserer databehandlingen på. I rapporten fremgår det, at Aalborg Kloak A/S har estimeret, at der indenfor kommunen årligt bruges ca. 22. mio. kr. på pumpning og rensning af uvedkommende vand, svarende til enhedsomkostning på ca. 2,9 kr/m³.

For at nedbringe mængden af uvedkommende vand udføres der i øjeblikket et massivt arbejde med at omlægge kommunens fælleskloak til separatkloak. Derved udskiftes de gamle og utætte kloakker, hvormed andelen af uvedkommende vand i form af indsivning forventes nedbragt. I Aalborg Kommunes spildevandsplan 2016 - 2027 står der:

Spildevandsplan 2016 - 2027 fastholder separatkloakeringsstrategien, der overordnet indebærer, at alle fælleskloakerede områder planlægges separatkloakeret inden år 2065. Separatkloakeringsstrategien medfører væsentlige miljøgevinster i form af bl.a. færre kældeversvømmelser, reduceret energiforbrug og mindskede udledninger af urensset, opspædet spildevand via overløb.

Aalborg Kommune, Miljø- og Energiforvaltningen [2018]

I spildevandsplanen fremgår det endvidere, at kommunen bestræber sig på at separatkloakere de fælleskloakerede byområder, der ligger længst fra rensningsanlæggene. Det skyldes, at Aalborg Kommune er i gang med decentralisere regnvandshåndteringen samtidig med at spildevandsrensningen centraliseres på de to store rensningsanlæg i Aalborg.

I forbindelse med separatkloakering i dag bliver spildevandskloakken ofte dimensioneret således, at spildevandsmængden maksimalt udgør en delfyldningsgrad på 50%. Dermed sikres det, at der er overskudskapacitet i kloakken til bl.a. indsivning og fejlkoblinger. Spørgsmålet er, om den

nuværende designpraksis er tilstrækkelig i tiden fremover. Såfremt spildevandssystemet er påvirket af mere uvedkommende vand, end der er overskudskapacitet til i kloakken, vil der forekomme nødoverløb til recipient. Disse nødoverløb belaster vandmiljøet, og er derfor uhensigtsmæssige.

I samarbejde med Aalborg Forsyning er det besluttet at vælge Grindsted, Aalborg Kommune, som projektlokalitet for undersøgelsen af, om der fremadrettet bør tages hensyn til uvedkommende vand som en separat designparameter, når et separat spildevandssystem dimensioneres. I forbindelse med et møde med driftsleder for Aalborg Forsyning - Kloak A/S, René Søgaard, d. 27. november 2018, kunne Søgaard fortælle, at forsyningen erfarer, at der pumpes væsentlig mere vand fra Grindsted, end hvad der forventes. Derfor vurderer forsyningen, at der er væsentlige problemer med uvedkommende vand i byen.

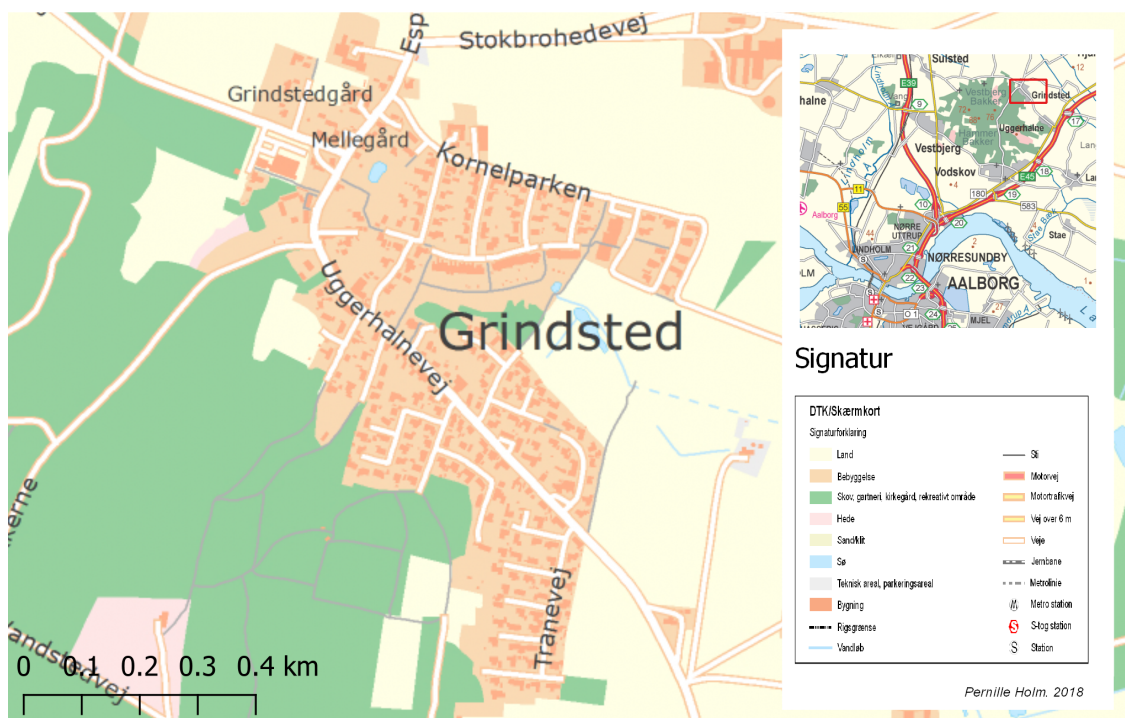
Derudover er Grindsted et mindre og afgrænset område i Aalborg Kommune, som endnu ikke er planlagt separatkloakeret. Det forventes, at byen separatkloakeres indenfor kommende planperiode, da byen er beliggende relativt langt fra Aalborgs to renseanlæg, og der derfor vil være store driftsbesparelser ved at få byen separatkloakeret.



2. Projektlokaliteten Grindsted

Grindsted er beliggende i det nordlige af Aalborg Kommune, umiddelbart nordøst for Hammer Bakker, hvilket fremgår af figur 2.1. Grindsted er en landsby på ca. 48 ha, der ligger tæt på motorvej E45, ca. 20 km nord for Aalborg.

GRINDSTED

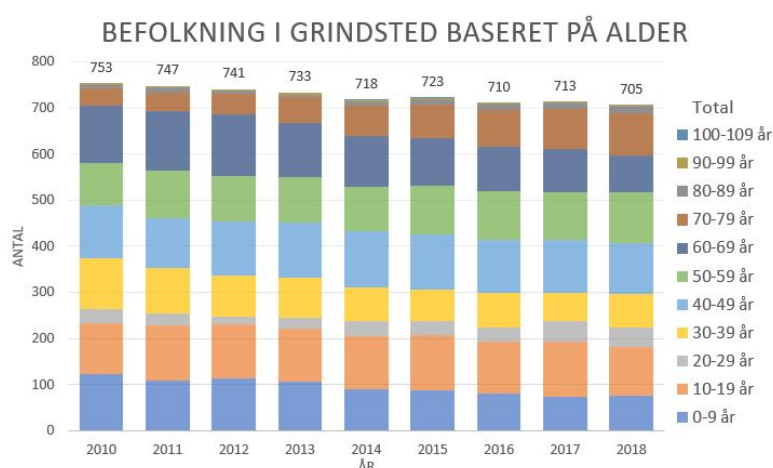


Figur 2.1: Grindsteds beliggenhed.

2.1 Indbyggertal

Pr. 1. januar 2018 var der 705 indbyggere i Grindsted. Det fremgår af figur 2.2, at befolkningstallet i Grindsted er faldet med 6% siden 2010 [Danmarks Statistik, 2018]. Dog viser tallene, at der er en tendens til, at flere unge i alderen 20-29 år er flyttet til Grindsted. Tilflytningen af unge i alderen 20-29 år er positiv for byens udvikling, da det er forventningen, at unge i denne aldersgruppe vil etablere sig og stifte familie.

Byens landbyordning Grindsted Skole, der har eksisteret i knap 285 år, er en 1-sporet skole med skoletrinene børnehaveklasse til og med 6. klasse. Skolen har omtrent et elevtal på 125 børn. Elevtallet er stigende. [Landsbyordningen Grindsted Skole, 2018]



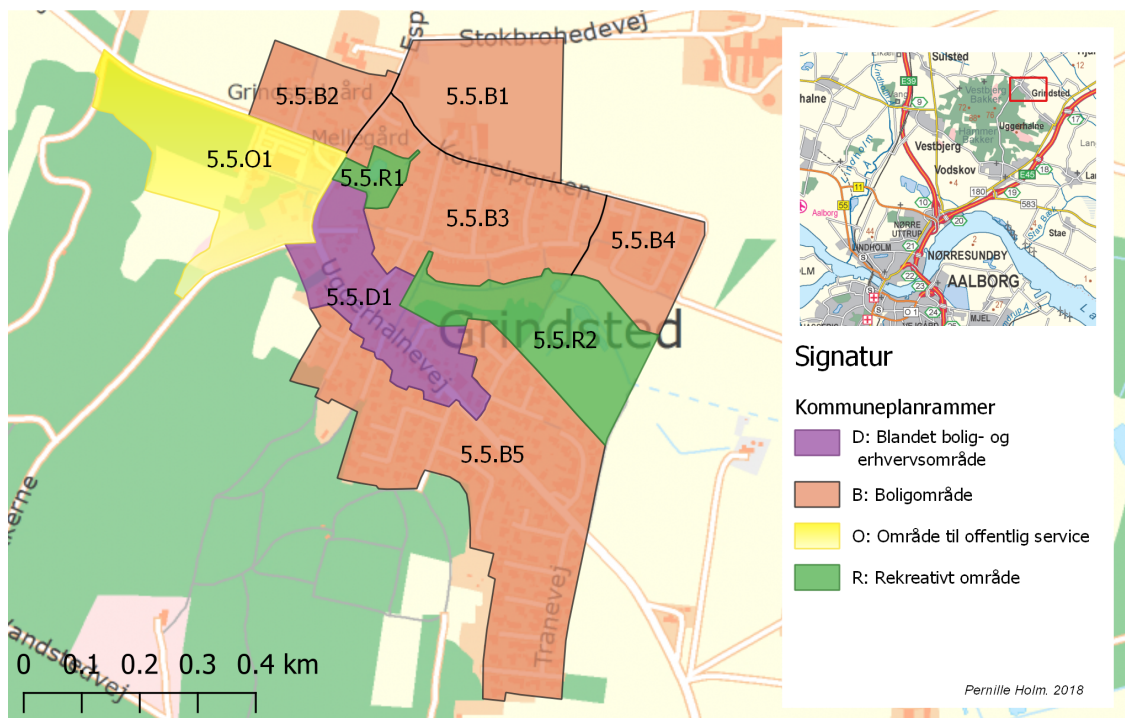
Figur 2.2: Udvikling af befolkningsfordelingen i Grindsted fra 2010 til 2018.

2.2 Kommuneplanrammer

Udover landsbyskolen har Grindsted et velfungerende bysamfund med børnehave, to skolefritidsordninger, idrætsfaciliteter i form af sportshal og fodboldbaner samt et mindre erhvervsliv. Byen består primært af arealer, der i kommuneplanrammerne er udpeget som *B - Boligområde*, hvilket fremgår af figur 2.3.

Af Kommuneplanrammerne fremgår det, at boligområde 5.5.B1 er et byudviklingsområde. Området er 5,2 ha og er i kommuneplanens 12-års tidshorisont for byudvikling er udpeget til opførelse af 22 nye boliger. Den 12-årige tidshorisont er opstillet i 2006 og løber således frem til 2018 [Aalborg Kommune, 2006]. På nuværende tidspunkt henligger området dog hovedsageligt til landbrugsdrift. Ud fra besigtigelse af byen er det konstateret, at der pr. 27. november 2018 er 6 igangværende nybyggerier i den sydvestlige del af område 5.5.B1, hvilket fremgår af figur 2.4

OMRÅDEINDELING I GRINDSTED



Figur 2.3: Vedtaget kommuneplanrammer for Grindsted. [Aalborg Kommune, 2006]

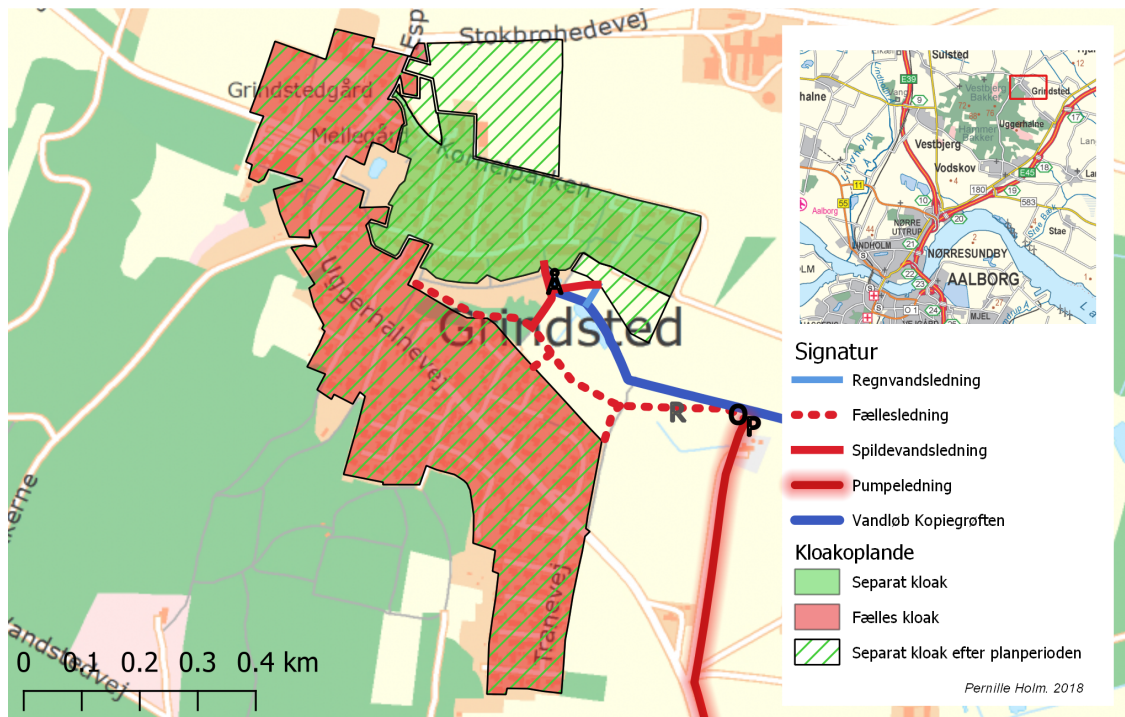


Figur 2.4: Nyt mindre boligområde i den sydvestlige ende af byområde 5.5.B1. Byggeriet omfatter opførsel af 6 boliger af 95 m², som forventes indflytningsklare i sommeren 2019.

2.3 Kloakoplande

På nuværende tidspunkt er Grindsted primært fælleskloakeret, hvilket fremgår af figur 2.5, men for at efterkomme Aalborg Kommunes vision om, at *alle fælleskloakerede områder planlægges separatkloakeret inden 2065*, skal byen separatkloakeres indenfor de kommende årtier. Byen er ikke planlagt separatkloakeret inden for planperioden 2016 - 2027 jf. Aalborg Kommune, Miljø- og Energiforvaltningen [2018].

KLOAKOPLANDE I GRINDSTED



Figur 2.5: Kloakoplande i Grindsted. (Å = åbent bassin, R = rørbassin, O = overløbsbygværk, P = pumpestation)

Fra pumpestationen, Energivej 12, øst for Grindsted pumper spildevands- og fællesvandet til Renseanlæg Øst via Uggerhalne og Langholdt, hvilket er illustreret i Kommunens spildevandsplan 2008 - 2019 (Se Bilag A). Det er kun Grindsted, der er tilkoblet pumpestationen på Energivej 12, hvilket giver gode forudsætninger for at kunne analysere vandfordelingen i byen.



3. Problemformulering

I forbindelse med den kommende separatloakering af Grindsted ønskes det at undersøge, hvilken betydning uvedkommende vand har for det kommende separate spildevandssystem. Dertil ønskes gennem et litteraturstudie af erfaringsbaseret data at undersøge, hvor stort et problem uvedkommende vand generelt udgør for forsyningerne i Danmark, samt hvor stor andel af fejlkoblinger, der kan forventes i et nyt separatloakeret spildevandssystem.

Det kommende separat spildevandssystem for Grindsted dimensioneres, hvor der tages hensyn til, at pumpestationen på Energivej 12 ikke skal omlægges. Det betyder, at det nye spildevandssystem primært anlægges med de nuværende koter for fællessystemet. Det separate spildevandssystem dimensioneres ud fra Aalborg Forsyning [2010] og traditionel forudsætning om, at spildevandsledningen maksimalt på have en delfyldning på 50%. For at undersøge, hvor stor betydning uvedkommende vand har for det nye separate spildevandssystem i Grindsted kontrolleres ledningernes kapacitet og udnyttelsesgrad ved en vis andel af uvedkommende vand. Herudfra vurderes det, om dimensioneringspraksis givet i Aalborg Forsyning [2010] er tilstrækkelig på baggrund af vurderede andele af fejlkoblinger i litteraturstudiet.

Det undersøges endvidere, hvor stort problem uvedkommende vand i form af indsvivning udgør på den nuværende system i Grindsted. Dette undersøges ud fra nødbørs- og SRO-data ud fra en vandbalance-betragtning for årene 2015-2018. Undersøgelsen bruges til at estimere, om der fremadrettet kan forventes uvedkommende vand i form af indsvivning i det separate spildevandssystem i Grindsted.

Målet med projektet er at finde frem til, hvorvidt der fremadrettet bør tages hensyn til uvedkommende vand som en designparameter, når separate spildevandssystemer dimensioneres for at undgå nødoverløb og forurening af recipient, samt for at sikre tilstrækkelig selvrensning.

I hvilket omfang bør der tages hensyn til uvedkommende vand i forbindelse med dimensionering af separate spildevandssystemer, når der tages udgangspunkt i forsyningernes erfaring med uvedkommende vand og i særdeleshed fejlkoblinger? Herunder, hvor stort et problem udgør uvedkommende vand i den eksisterende kloak i Grindsted, og hvilken betydning kan uvedkommende vand få for den fremtidige separate spildevandskloak i byen?

3.1 Metode

For at besvare problemformuleringen opstilles dels et litteraturstudie og dels en vandbalance-betragtning for årene 2015-2018. Disse undersøgelser anvendes som parametre i forbindelse med dimensionering af den separate spildevandskloak i Grindsted ved den rationelle metode.

Litteraturstudiet omfatter en diskussion af valgte, aktuelle kilder om uvedkommende vand i kloaksystemer og studiet anvendes til at fastlægge, hvor stor andel af fejlkoblinger der kan og må forventes i nye separate spildevandssystemer. Litteraturstudiet er tiltænkt som en overordnet undersøgelse, hvor resultatet kan anvendes i en hvilken som helst by i forbindelse med separatkloakering af spildevandskloakken. Derudover anvendes resultatet som en designparameter i forbindelse med dimensionering af den fremtidige spildevandskloak for Grindsted for at undersøge, om den valgte andel af fejlkoblinger får betydning for systemets dimension.

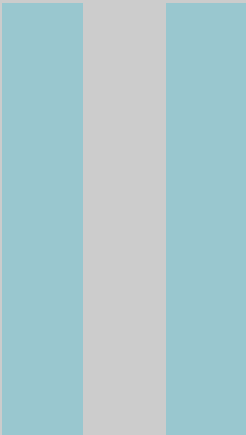
Vandbalance-betragtningen opstilles ud fra tilgængelige data for Grindsted. Det har i den forbindelse været muligt at anskaffe dagsværdier for pumpestationen i Grindsted, og derudover er der anvendt nedbørsdata fra SVK-station 5047 i Sulsted, som er beliggende ca. 5 km nordvest for Grindsted. Vandbalance-betragtningen opstilles for at lave en fraktionering af det pumpede vand fra Grindsted for at estimere mængden af uvedkommende vand i form af indsivning i perioden 2015 - 2018.

På baggrund af dels litteraturstudiet og dels vandbalance-betragtningen dimensioneres den kommende separate spildevandskloak i Grindsted for den del af byen, der på nuværende tidspunkt er fælleskloakeret. Dimensioneringen foretages ud fra den rationelle metode, der er en metode, som bygger på antagelsen om:

"(...) at det maksimale flow i enhver ledning kan beskrives som multiplum af det ovenfor liggende bidragydende areal og en defineret kritisk regnintensitet."

[Spildevandskomiteen, 2005, afsnit 5.3]

Metoden anvendes for mindre afløbssystemer.



Del 2 - Litteraturstudie

Kapitel 4	Uvedkommende vand	17
4.1	Konsekvenser ved uvedkommende vand	
4.2	Typer af uvedkommende vand og dets konsekvenser	
Kapitel 5	Forsyningers erfaring m. uvedkommende vand	21
5.1	Estimeret andel af uvedkommende vand	
5.2	Kilder til uvedkommende vand	
5.3	Tiltag mod uvedkommende vand	
Kapitel 6	Forsyningers erfaring m. fejlkoblinger	25
6.1	Andel af fejlkoblinger	
6.2	Tiltag mod fejlkoblinger	
6.3	Opsummering - fejlkoblinger	



4. Uvedkommende vand

Det er forsyningerne, der skal håndtere det uvedkommende vand i systemet, og i sidste ende er det forbrugeren der ender med at betale for det uvedkommende vand. Uvedkommende vand er derfor et stort problem for samfundet både i forhold til driftsøkonomi og ved de miljømæssige belastninger af recipient.

Det væsentligste problem ved uvedkommende vand er, at den årlige stofudledning fra renseanlægget og dermed forureningen af recipienten forøges stort set proportionalt med mængden af uvedkommende vand.

Andersen et al. [1992]

Der arbejdes i forsyningerne hårdt for at nedbringe mængden af uvedkommende vand i afløbssystemet, men det er vigtigt at understrege, at fjernelse af uvedkommende vand fra afløbssystemet kan medføre yderligere problemer.

I det følgende diskuteres fordele og ulemper ved uvedkommende vand i separate kloaksystemer.

4.1 Konsekvenser ved uvedkommende vand

Selvom uvedkommende vand er vand, der ikke hører hjemme i afløbssystemet, kan vandet have såvel positive som negative effekter for afløbssystemet.

4.1.1 Positiv effekter

- Uvedkommende vand forbedrer selvrensningsevnen, da det medfører et højere peakflow i ledningen.

- Uvedkommende vand mindsker svovlbrintedannelsen i lange trykledninger, da opholdstiden reduceres.

Disse positive effekter er faktorer, der bør tages højde for, såfremt mængden af uvedkommende vand reduceres.

4.1.2 Negative effekter

- Uvedkommende vand giver øget driftsomkostninger.
- Uvedkommende vand kan sænke procestemperaturen på rensningsanlægget om vinteren. For hver grad temperaturen falder, forøges det nødvendige luftningstankvolumen med 10%. [Andersen et al., 1992, side 8]
- Uvedkommende vand øger den hydrauliske belastning i efterklaringstankene på rensningsanlægget, hvormed der kan forekomme slamflugt.
- Uvedkommende vand giver anledning til mindre stofkoncentrationer, hvorved rensegraden på rensningsanlægget reduceres. F.eks. falder rensegraden fra 86% til 66% ved 200% uvedkommende vand i systemet. [Andersen et al., 1992, side 8]
- Uvedkommende vand kan give risiko for nødoverløb, hvormed recipient belastes af opblandet spildevand, selvom systemet er separatkloakeret og overløb ikke burde forekomme.
- Uvedkommende vand i form af indsivning kan give anledning til materialetransport, som over tid kan føre til lunger, sammenstyrtnings af vejbelægning og rørsammenbrud.

Det er vigtigt at understrege, at grundvandsspejlet kan stige, når utætte kloakker tættes. Det kan give fugtproblemer i folks kældre, da den utætte kloak tidligere har fungeret som dræn. Indsivningen kan da flyttes til højereliggende utætheder i kloaksystemet.

4.2 Typer af uvedkommende vand og dets konsekvenser

Som det fremgår af figur 1.1 på side 5 er der flere typer af uvedkommende vand. I det følgende beskrives de forskellige typer samt konsekvenserne heraf.

4.2.1 Fejlkobling: Regnvand tilsluttet spildevandskloak

I tilfælde, hvor regnvand tilkobles den separate spildevandskloak, er der tale om en fejlkobling. Det skyldes, at regnvandstilslutningen giver anledning til intensive hydrauliske belastninger af spildevandssystemet under regnhændelser. Spildevandsledningen er typisk meget mindre end regnvandsledningen, og pumpestationer m.m. i separate kloaksystemer er ikke nødvendigvis dimensioneret til at håndtere regnvand, hvorfor regnhændelser kan medføre nødoverløb og unødigt forurening af recipient.

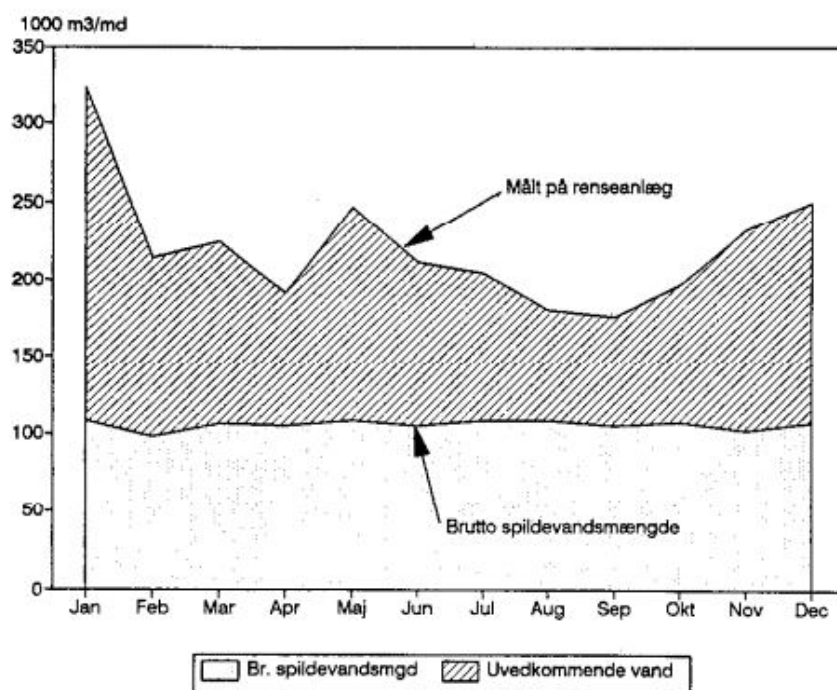
I dag tages der som regel hensyn til, at der kan forekomme uvedkommende vand fra fejlkoblinger i den separate spildevandskloak ved at tillade en maksimal delfyldningsgrad på 50%.

4.2.2 Fejlkobling: Spildevand tilsluttet regnvandskloak

I sammenhæng hermed er situationer, hvor spildevandet tilsluttes regnvandskloakken. Det betyder, at recipient belastes med forurening direkte fra husspildevand uden rensning. Det har både miljømæssige og visuelle konsekvenser. Vurdering af konsekvenser ved denne problematik er ikke behandlet i dette projekt.

4.2.3 Indsivning: I utætte hovedledninger

Indsivningen kan både foregå i utætte hovedledninger og private ledninger. Indsivningen finder sted, hvor grundvandsspejlet (evt. sekundære) er beliggende over kloakledningen. Indsivningen er typisk størst i det sene efterår og det tidligere forår, hvilket fremgår af figur 4.1. På disse tidspunkter er fordampningen lille og grundvandets beliggenhed er højest. Derudover kan der umiddelbart efter kraftig nedbør forekomme direkte indsivning i det utætte kloaksystem, når regnvandvandet siver gennem jorden. [Andersen et al., 1992, kap. 1.1]



Figur 4.1: Eksempel på vandføring fra et separatkloakeret afløbssystem, hvor der er grundvandsindsivning. [Andersen et al., 1992, fig. 1.3]

Problematikken med indsivning i hovedledning kan afhjælpes ved at strømpefore eller udskifte hovedledningen, hvilket udføres i forbindelse med separatkloakering. I den forbindelse er det vigtigt at bemærke, at indsivningen kan flyttes længere op i systemet eller til folks kældre.

4.2.4 Indsivning: I utætte private ledninger

Indsivning i private ledninger forekommer af samme årsager som i hovedledningen, men problemet kan ikke nødvendigvis afhjælpes ved separatkloakering. Det skyldes, at private ledninger ikke nødvendigvis udskiftes i forbindelse med separatkloakeringen. Derfor kan den indsivning, der før

skete i hovedledningen føres op og sive ind på den private matrikel.

4.2.5 Tilslutning af drænsystemer: Bygningsdræn

Fortætning af hovedledning kan medføre, at grundvandsspejlet stiger omkring de private matrikler. Det kan føre til fugtproblemer i kældre, og i den forbindelse kan der etableres omfangsdræn. Det fremgår af den respektive kommunes spildevandsplan, hvorledes omfangsdræn skal håndteres. Oftest skal disse tilkobles regnvandsledningen, hvorfor tilslutning af omfangsdræn til spildevandsledningen kan fremgå som en fejkobling.

4.2.6 Tilslutning af drænsystemer: Markdræn

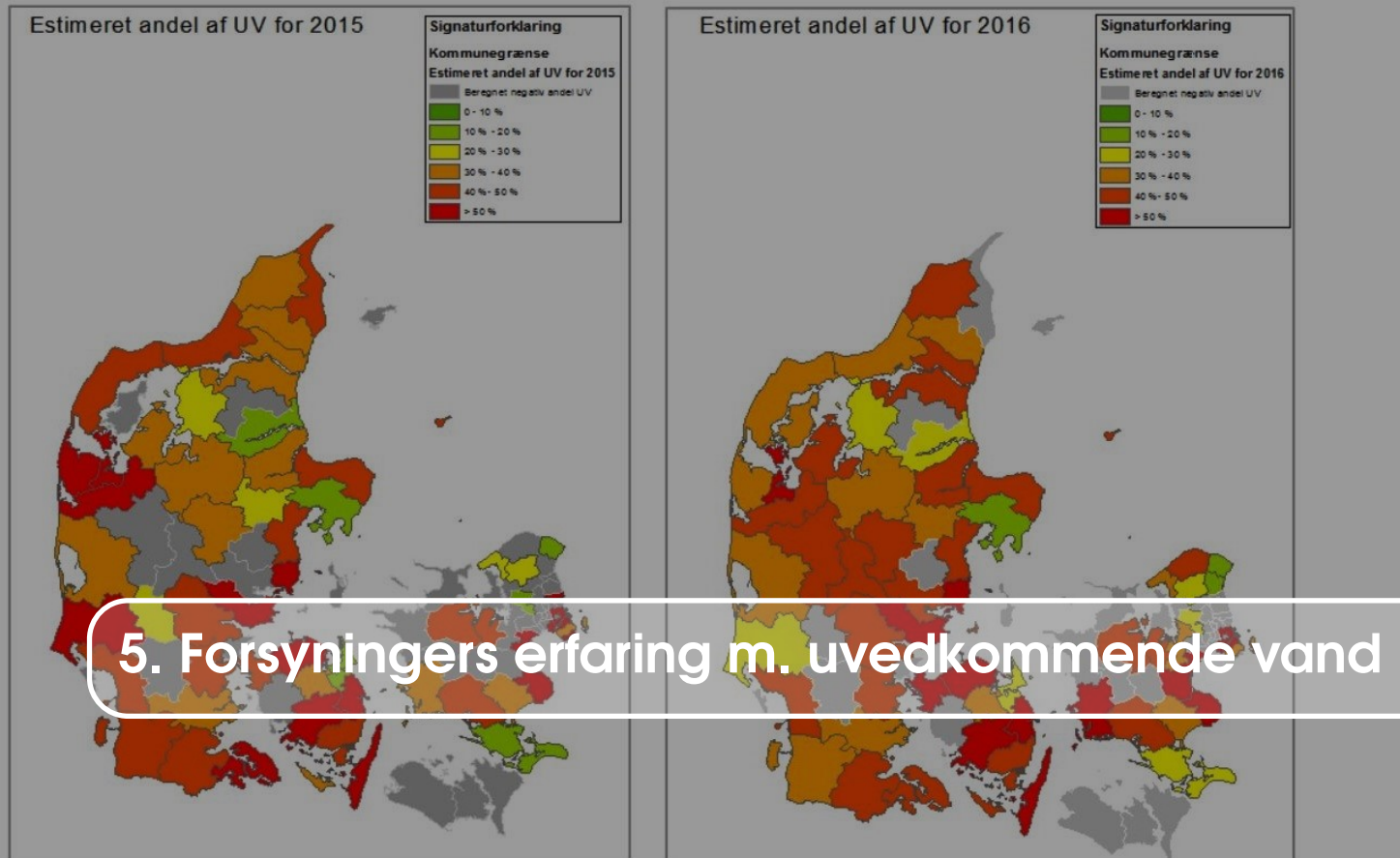
Miljøstyrelsen har i et projekt i samarbejde med DANVA, Envidan og Orbicon forsøgt at kvatificere det uvedkommende vand i de danske kloakledninger, med særligt fokus på uvedkommende vand i form af markdræn tilsluttet den offentlige kloak. Til at kvantificere de forskellige bidrag af uvedkommende vand har teamet anvendt to metoder: Den indirekte metode og den direkte metode. [DANVA, 2018b]

Overordnet set handler den indirekte metode om at fraktionere bidragene til rensningsanlæggene i en vandbalance. [DANVA, 2018b]

I den direkte metode forsøges at estimere bidraget fra markdræn til det uvedkommende vand i kloaksystemet. Denne undersøgelse foretages ud fra viden om drænbehovet i de hydrologiske oplande til de kloakerede oplande. [DANVA, 2018b]

Grunden til, at det er vigtigt at kvantificere mængden af uvedkommende vand fra markdræn er, at urbanisering og udvidelse af byer gør, at der i dag etableres bebyggelse, hvor der før har været vandløb og marker. Har området tidligere været drænet, kan de eksisterende dræn være koblet på byens kloaksystem, hvorved der kommer et nogenlunde konstant bidrag til kloakledningerne. [DANVA, 2018b]

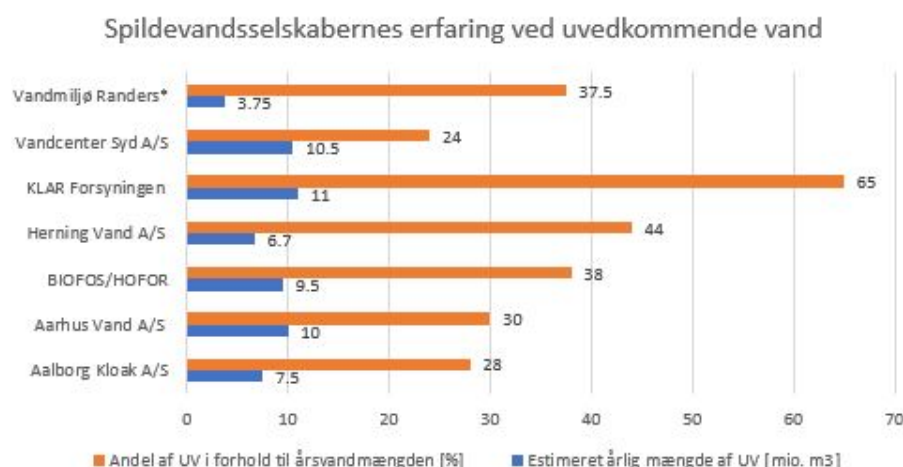
Undersøgelsen viste, at op mod 50% af det uvedkommende vand i danske kloaksystemer er udgjort af markdræn. Det bemærkes, at undersøgelsen er foretaget på nationalt plan, hvorfor den selvfølgelig er behæftet med usikkerheder, og at problematikken bør undersøges nærmere på lokalt niveau. [DANVA, 2018b]



I forbindelse med udarbejdelse af *Bedre viden om uvedkommende vand* har [Andersen og Jensen, 2018] foretaget en rundspørge ved udvalgte spildevandsselskaber. Rundspørgeren var fokuseret på selskabernes erfaring med uvedkommende vand i kloaksystemerne.

5.1 Estimeret andel af uvedkommende vand

De adspurgte spildevandsselskaber i rundspørgeren er: Aalborg Kloak A/S, Vandmiljø Randers A/S, Aarhus Vand A/S, Herning Vand A/S, Vandcenter Syd A/S, BIOFOS/HOFOR og KLAR Forsyning. De estimerede mængder af uvedkommende vand fra disse selskaber fremgår af figur 5.1.



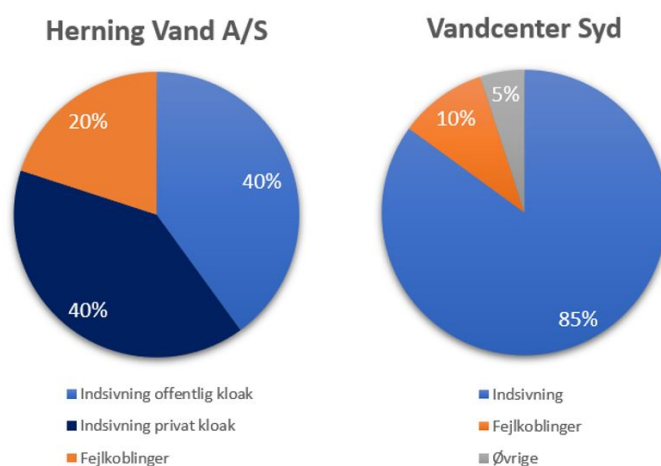
Figur 5.1: Spildevandsselskabernes erfaringer med uvedkommende vand (UV). *Angiver, at Vandmiljø Randers har angivet 35-40% uvedkommende vand, svarende til 3,5 - 4,0 mio. m³ pr. år. Tal fra [Andersen og Jensen, 2018, Bilag 3].

Spildevandsselskabernes estimer af uvedkommende vand er baseret på vandbalancebetragtninger under hensynstagen til import/eksport af spildevand fra/til nabokommuner. Det fremgår af figuren, at de 7 afspurgte selskaber har erfaring med væsentlige andele af uvedkommende vand i kloaksystemet. **For de respektive selskaber udgør uvedkommende vand mellem 24 og 65 % af årsmængden på renseanlæggene.** [Andersen og Jensen, 2018, kap. 3]

Derudover erfarer spildevandsselskaberne, at der er årsvariation i mængden af uvedkommende vand, svarende til årsvariationen i grundvandsstanden benævnt i afsnit 4.2.3.

5.2 Kilder til uvedkommende vand

At der er årsvariation på mængden af uvedkommende vand indikerer, at en stor del af det uvedkommende vand kommer fra indsivning i utætte kloaksystemer. Blandt de adspurgte spildevandsselskaber har Herning Vand A/S og Vandcenter Syd vurderet fordelingen af uvedkommende vand. Fordelingerne fremgår af figur 5.2.



Figur 5.2: Estimeret fordeling af mængder af uvedkommende vand. Tal fra [Andersen og Jensen, 2018, Fig 9]

Det fremgår heraf, at forsyningerne vurderer, at indsivning står for mellem 80-85% af det uvedkommende vand. Det er altså betydelige mængder, af det vand som transporteres og behandles i kloaksystemerne, som kommer fra grundvandet.

5.3 Tiltag mod uvedkommende vand

Spildevandsselskaberne har interesse i at nedbringe mængden af uvedkommende vand i kloaksystemerne. Dels for at spare på driftsomkostningerne til pumpning og behandling af det ekstra vand. Dels fordi uvedkommende vand medfører øget slitage på systemer og anlæg, og i særdeleshed også for at reducere den daglige udledning fra renseanlæg, da dette har positiv miljømæssig effekt og samtidig reducerer spildevandsselskabernes udledningsafgift til staten. [Andersen og Jensen, 2018]

Nogle af de tiltag, der benævnes, til at nedbringe mængden af uvedkommende vand er:

- Renovering eller fornyelse af utætte kloakker ved f.eks. strømpedeforing eller omlægning.
- Fjernelse af fejkoblinger ved systematisk gennemgang af kloaksystemet.
- Frakobling af punktkilder som f.eks. makrdræn og vandløb.

Flere forsyninger har gode erfaringer med effekten af strømpedeforing, men der opleves desværre også ofte, at strømpedeforing kun har en lille effekt for mængden af uvedkommende vand. Det er særligt tilfældet, når kun hovedledningen strømpedeføres. Da vil indsivning ofte flytte sig ind på stikledningerne og de private kloakledninger, og der vil således stadig forekomme indsivning i kloakken. [Andersen og Jensen, 2018]

Lars-Göran Gustafsson, der til dagligt arbejder som innovationschef hos DHI Sverige, har i forbindelse med en DANVA-konference om uvedkommende vand i foråret 2018 holdt oplæg om svenske erfaringer med uvedkommende vand. **Gustafsson understregede i sit oplæg, at udfordringerne med uvedkommende vand er et stigende problem, og at omkring 50% af problemet forekommer på privat grund.** [DANVA, 2018a] Denne undersøgelse underbygger således også, at strømpedeforing af hovedledningen ikke nødvendigvis vil afhjælpe hele problemet med uvedkommende vand i kloaksystemet.

Indsivningen der foregår på privat matrikel kan ikke afhjælpes ved tiltag foretaget af forsyningen på hovedledningen, men det er stadig forsyningen der er ansvarlig for at håndtere det uvedkommende vand. At klimaforandringerne tilmed bidrager til stigende grundvand i byer, mere indsivning og/eller større behov for dræning, gør, at en eventuel 3. ledning til håndtering af drænvand diskuteres meget i tiden. Hele lovgrundlaget om den 3. ledning er et studie for sig og vil ikke indgå i nærværende projekt.

Mange forsyninger gør i øjeblikket et ihærdigt arbejde for at nedbringe mængden af uvedkommende vand. Blandt andet bliver der arbejdet ihærdigt for at nedbringe mængden af fejkoblinger, hvilket er diskuteret i kommende kapitel 6.



6. Forsyningers erfaring m. fejlkoblinger

Af det uvedkommende vand, er det fejlkoblinger, som kan være sværest at estimere, da disse skyldes menneskelige fejl, og derfor er svære at forudsige. Der er stor forskel på, hvordan forsyningerne rundt om i Danmark forholder sig til fejlkoblinger. I nogle forsyninger er der stort fokus på at nedbringe antallet af fejlkoblinger, hvorfor der udføres systematisk gennemgang af problematiske kloakstrækninger. Andre forsyninger har ikke ressourcer til at nedbringe antallet af fejlkoblinger, hvorfor store andele af matriklerne indenfor det pågældende forsyningsområde kan være behæftet med fejltilslutninger. [DANVA, 2018b]

6.1 Andel af fejlkoblinger

I rapporten *Bedre viden om uvedkommende vand* har Andersen og Jensen [2018] ligeledes adspurgt forsyningerne om erfaring med andelen af fejlkoblinger i de separate spildevandssystemer. I rundspørgen har Vandcenter Syd og Herning Vand A/S angivet, at uvedkommende vand fra fejlkoblinger udgør henholdsvis 10% og 20% af de samlede mængder af uvedkommende vand i systemet. [Andersen og Jensen, 2018] Idet uvedkommende vand fra fejlkoblinger afhænger af regnmængden og områdets befæstelse, er der ikke en lineær sammenhæng mellem mængden af uvedkommende vand fra fejlkoblinger og andelen af fejlkoblinger i et separatkloakeret system.

Herning Vand A/S er én af de forsyninger, som gør et ihærdigt arbejde for at nedbringe mængden af uvedkommende vand i kloakkerne. I et oplæg under titlen *En fælles indsats i Danmark mod fejlkoblinger* redegør afdelingschef Benny Nielsen fra Herning Vand [2015] for, at fejlkoblinger er et væsentlig problem. Der er indenfor forsyningen følgende erfaringer med fejlkoblinger:

- 5-10% fejlkoblinger i eksisterende separatkloakerede områder.
- 2-3% fejlkoblinger i nye separatkloakerede områder.
- 3-6% fejlkoblinger i fælleskloakerede områder, der separeres.

Aarhus Vand A/S underbygger i Andersen og Jensen [2018], at forsyningen har erfaring med op til 33% fejlkoblinger i de områder, der er separatkloakeret for over 20 år siden. Det skyldes hovedsageligt, at der dengang ikke var tilstrækkelig opfølgning med udførsel af tilslutningerne til kloaknettet. Generelt erfarer Aarhus Vand A/S, at omfanget af fejlkoblinger er stort. Indenfor forsyningens opland er der erfaret omtrent 5% fejlkoblinger i både nye og gamle separate kloaksystemer [Uggerby og Østertoft, 2014].

Fredensborg Kommune har i perioden 2014 - 2016 i samarbejde med Rambøll undersøgt omkring 3100 ejendomme for fejltilslutninger. Undersøgelsen viste, at der var fejlkoblinger på ca. 10% af de undersøgte ejendomme. Fejlen omfattede primært tilslutning af regnvand til spildevandskloakken. Årsagen hertil kan bl.a. være, at det er lettere at opdage, hvis spildevand er tilsluttet regnvandssystemet, samt at forsyninger oftere prioriterer at udbredre disse fejlkoblinger højere, end hvis fejlkoblingen omfatter regnvand på spildevandssystemet. Derudover blev det gennem undersøgelsen understreget, at der generelt var flere fejlkoblinger i villa- og parcelshusejendomme end i rækkehuse og etageejendomme. [Fredensborg Kommune, 2017]

Af de omtalte forsyninger er der generelt i mellem 2% og 10% fejlkoblinger i separate kloaksystemer. Problemet omfatter primært regnvand tilsluttet spildevandskloakken og er størst i ældre, separate systemer, men det kan ikke udelukkes, at der også er fejlkoblinger i ny separate systemer eller i fælles kloaksystemer, der separeres.

6.2 Tiltag mod fejlkoblinger

For at udbedre problemet med fejlkoblinger og reducere mængden af vand, som skal behandles på rensningsanlæggene, findes flere forskellige tiltag. Generelt prioriteres fjernelse af fejlkoblinger højt hos de adspurgte forsyninger i *Bedre viden om uvedkommende vand*. Det skyldes blandt andet, at fejlkoblinger kan have alvorlige konsekvenser som kælderoversvømmelser, nødoverløb/hyppigere overløb eller spildevand i recipienter og bassiner. [Andersen og Jensen, 2018]

Selvom der hos mange forsyninger er stort fokus på at nedbringe andelen af fejlkoblinger, er det en besværlig opgave. I *Bedre viden om uvedkommende vand* forklarer Aalborg Kloak A/S, at forsyningens erfaringer med TV-inspektion af hovedledning for at lokalisere uvedkommende vand, ofte ikke er særlig anvendelig. Det skyldes hovedsageligt, at det er svært at lokalisere mindre punktkilder. Forsyningen har i stedet gode erfaringer med systematisk gennemgang af kloakforholdene i separatkloakerede områder. Den systematiske gennemgang indebærer blandt andet: fysisk inspektion, sporstofforsøg og gennemgang af kloaktegninger i byggesagsarkiv.

En anden metode, som er ved at vinde indtog på markedet, er DTS (Distributed Temperature Sensing) til opsporing af uvedkommende vand. DTS udnytter, at temperaturen i det fejlkoblede vand er forskellig fra temperaturen i vandet i den undersøgte ledning. DTS gør det muligt at opspore kilder til uvedkommende vand på en præcision ned til få meter. Metoden er stadig under udvikling, men det forventes, at metoden i fremtiden vil gøre det muligt at opspore mindre fejlkoblinger. [Uggerby og Østertoft, 2014]

For at nedbringe mængden af uvedkommende vand fra fejlkoblinger understreger de adspurgte forsyninger i *Bedre viden om uvedkommende vand* generelt, at det er vigtigt at forsyningen og kommunen har et tæt samarbejde. Det skyldes, at kommunen er myndighed, og at det således er

dem, som skal påbyde grundejere at udbedre fejlkoblinger.

6.2.1 Nul fejl og til rette tid

"Nul fejl og til rette tid" er titlen på et nyt koncept indført i Aalborg Kommune. Konceptet beror på et miljømål, der er vedtaget af byrådet i foråret 2016.

Nul fejlkoblinger i kloaksystemet, herunder:

- *Fejlkoblinger i de eksisterende 66% separerede del af kloakoplandet skal opspores og fjernes i løbet af 12 år (læs. inden 2028).*
- *I forbindelse med kommende separeringsprojekter og nybyggeri skal der primært ske en forebyggende indsats mod fejlkoblinger med dialog, rådgivning og klare aftaler med Kloak A/S's kunder og kloakmetre.*

[Aalborg Kommune, 2016]

Målet er således formuleret i samarbejde med Aalborg Kommune og Aalborg Kloak A/S. Miljømålet blev vedtaget på baggrund af, at DANVA angiver, at 2-10% af separatkloakerede ejendomme er behæftet med fejl. Således tolerer kommunen ikke fejlkoblinger i systemet. [Kommune, 2016]

Ved enhver omlægning fra et system til et andet skal forventes en indkøringsperiode. Derfor vil der naturligt gå et stykke tid, fra at fællessystemet er omdannet til separat kloaksystem, førend systemet er fuldstændig tilsluttet.

6.3 Opsummering - fejlkoblinger

På baggrund af forsyningernes erfaringer, kan det forventes, at der også fremtiden vil forekomme fejlkoblinger. I Winther et al. [2013] står der:

Derimod kan c (læs: Muligheden for fejltilsluttede regnvandstilløb) være berettiget, da der næppe bygges et absolut gennemført separatsystem.

[Winther et al., 2013, afsnit 10.3]

Fejlkoblinger forekommer i større grad i separate spildevandssystemer, der blev etableret for over 20 år siden, da kontrollen med udførsel ikke var så grundig. Andelen af fejlkoblinger på nye, separate kloaksystemer i fremtiden vil derfor i høj grad også afhænge af kommunens kontrol.

Der forventes, at der i fremtiden vil være mellem 2% og 10% fejlkoblinger i et nyt separat system og derudover forventes også uvedkommende vand i form af indsivning i de gamle rør på den private matrikel. Dog viser erfaring fra Herning Vand [2015], at der med den rette kontrol, er muligt at komme ned på en fejlkoblingsandel på 2-3%.

Dertil kommer, at der for ethvert fællessystem, der omlægges til et separat kloaksystem, må forventes en indkøringsperiode. Denne indkøringsperiode omfatter den tid, som den

private grundejer har til at blive tilsluttet det nye, separate system. Der er først tale om fuldstændig separatkloakering, når de private stikledninger er tilkoblet efter hensigten. Under alle omstændigheder, kan det forventes, at der i den mellemliggende periode vil være fejlkoblinger eller ufuldstændige tilslutninger til det separate spildevandssystem. Denne midlertidige tilstand kan også påvirke nærmiljøet, og derfor bør separate spildevandskloakker stadig anlægges med ekstra kapacitet.

Ud over de forventelige andele af fejlkoblinger i et nyt separat system, skal der også tages forbehold for, at der kan være indsivning. Gustafsson mener, at omkring 50% af det uvedkommende vand fra indsivning forekommer på privat grund jf. kapitel 5. Derfor er det vurderet, at det er yderst aktuelt at undersøge, når et fællessystem skal omlægges til et separat spildevandssystem, om de nuværende dimensioneringsforudsætninger med 50% delfyldning er tilstrækkelig til at håndtere både 50% indsivning på den private matikkel og en midlertidig periode med fejlkoblinger.



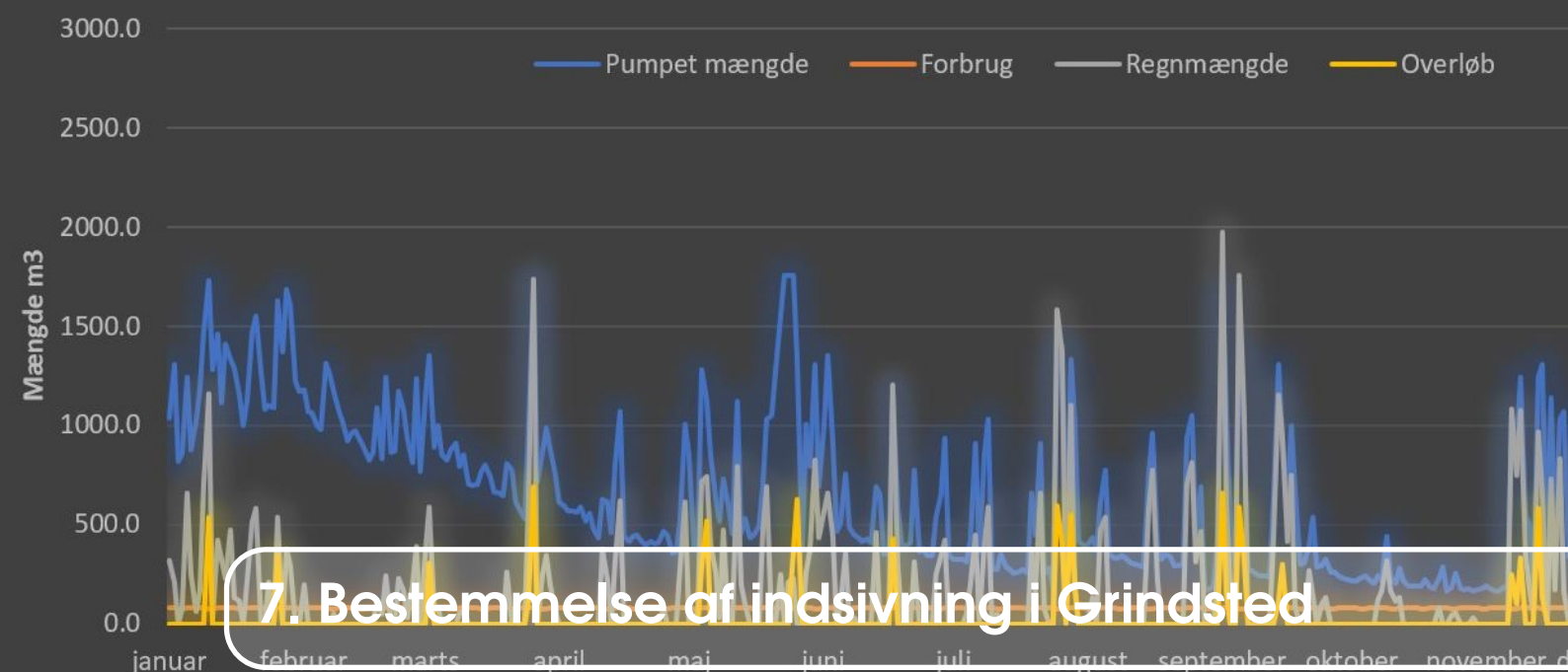
Del 3 - Databehandling

Kapitel 7 Bestemmelse af indsivning i Grindsted 31

- 7.1 Vandbalance-betragtning
- 7.2 Omfang af uvedkommende vand i Grindsted
- 7.3 Opsummering - Indsivning

Kapitel 8 Separat spildevandssystem i Grindsted 47

- 8.1 Forudsætninger jf. Aalborg Kommunes projekthåndbog for kloakker
- 8.2 Dimensionering af det kommende spildevandssystem
- 8.3 Opsummering - Fejlkoblinger og indsivning i Grindsted



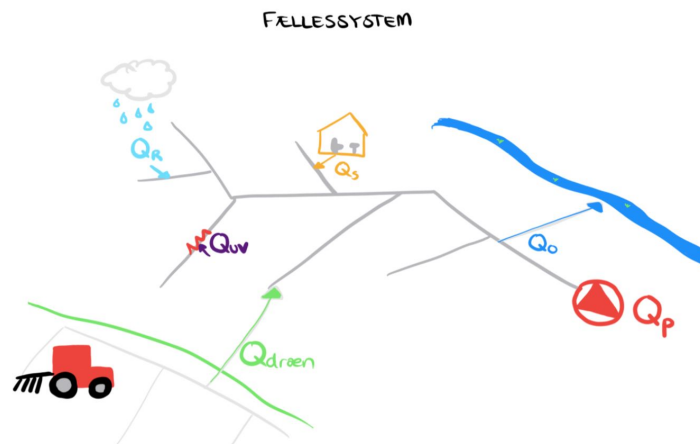
I det følgende beskrives, hvordan en vandbalance-betragtning er anvendt til at fastlægge omfanget af uvedkommende vand i Grindsted. Det uvedkommende vand i Grindsted er hovedsageligt udgjort af vand fra indsivning, da byen primært er fælleskloakeret.

I kapitel 5 er der redegjort for, at den svenske forsker Lars-Göran Gustafsson vurderer, at ca. halvdelen af problemet med indsivning forekommer på den private matrikel. Derfor er det vigtigt at estimere mængden af uvedkommende vand i form af indsivning i Grindsted ud fra byens nuværende tilstand. Dette bruges som en forudsætning for, at der også i fremtiden kan være noget af den indsivning i byens kommende separate spildevandssystem.

7.1 Vandbalance-betragtning

I forbindelse med fastlæggelse af indsivningen i Grindsted, opstilles der en lukket massebalance for vandet i byen. Vandbalancen opstilles på baggrund af pumpedata fra pumpestation Energivej 12 og for SVK-data for SVK-stationen i Sulsted, der er beliggende ca. 5 km nordvest for Grindsted. vandbalancen lukkes ved at anvende døgnværdier, idet der antages en beregningsmæssig konstant vandføring døgn for døgn. Vandbalancen kan således opstilles for døgnværdier for perioden 2015 til og med oktober 2018. Perioden er valgt for at inkludere både våde og tørre perioder, da det forudsættes, at vejrforhold har betydning for grundvandets beliggenhed og deraf indsivningsmængden.

For ethvert afgrænset og lukket kloakområde kan opstilles en massebalance. På figur 7.1 fremgår et princip for en lukket massebalance i et fælleskloakeret opland, hvorfra kloakvandet pumpes videre til et rensningsanlæg - ligesom i Grindsted, hvilket er beskrevet i afsnit 2.3.



Figur 7.1: Princip for lukket massebalance i et fælleskloakeret system.

Massebalancen opstilles:

$$V_P = V_S + V_R + V_{dræn} + V_{UV} - V_O \quad (7.1)$$

Hvor:

V_P	Pumpe mængde [m^3]
V_S	Spildevandsmængde [m^3]
V_R	Nedbørsmængde [m^3]
$V_{dræn}$	Drænmængde [m^3]
V_{UV}	Mængden af uvedkommende vand [m^3]
V_O	Mængde der forlader systemet via overløb [m^3]

Vandbalancen anvendes, så hvert led i vandbalancen (7.1) kan fraktioneres.

Det er parameteren V_{UV} , som ønskes fastlagt i tilfældet med Grindsted, for at estimere hvor stor andel det uvedkommende vand udgør i byen. For at isolere dette led defineres først, hvordan de øvrige led i vandbalancen er bestemt.

7.1.1 Inputværdier

Nogle af inputværdierne i vandbalancen er teoretisk bestemt, mens andre er empiriske.

Det er besluttet at omregne alle inputværdier i (7.1) til døgnværdier, altså m^3/d . Det skyldes, at det er forudsat, at vandbalancen er gyldig, når der betragtes et helt døgn. Tidsopløsningen for vandbalancen er vigtig, da det spildevand der generes ved forbrugeren til tiden t_0 først påvirker pumpestationen til t_n . Ved at opføre vandbalancen på døgnniveau antages således, at afstrømningstider forekommer indenfor det pågældende døgn, hvorved der ses bort fra at regne på reaktionstider i systemet.

Grindsted er afgrænset af pumpestationen GR01 Energivej 12, som har tidsopløsningen "døgn", hvorfor det ikke har været muligt at fastlægge f.eks. tørvejrsnatteflowet i byen til at indikere indsivningen.

Teoretisk spildevandsmængde, V_S

Spildevandsmængden, V_S er fastlagt ud fra byens indbyggertal i årene 2015, 2016, 2017 og 2018, hvilke er præsenteret i afsnit 2.1. Der er anvendt faktisk data for indbyggertal for at opgørelsen skal være så realistisk som mulig. Det handler således ikke om at være på den sikre side, når faktiske målte værdier skal kontrolleres. Derudover anvendes antal af henholdsvis elever og børn i Grindsted skole og børnehave, se tabel 7.1.

	2015	2016	2017	2018	Type
Indbyggere pr. 1/1	723	710	713	705	personer
Skole	125	125	125	125	elever
Børnehave	31	31	31	31	børn

Tabel 7.1: Indbyggertal og elever/børn i Grindsted.

Spildevandsmængderne er fastlagt ud fra DANVA [2018c] og Winther et al. [2013, tabel 4.6] og fremgår af tabel 7.2.

Type	Mængde	Enhed
Middeldøgnforbrug	106	l/pers/dag
Skole u. svømmehal	20	l/elev/dag
Børnehave	25	l/barn/dag

Tabel 7.2: Spildevandsmængder i Grindsted.

Det er antaget, at børnehave og skole er i drift alle hverdage hele året, og at middeldøgnforbruget er konstant hele året. Beregningerne af spildevandsflowet, Q_S , fremgår af elektroniske bilag (H): *Databehandling Vandbalance 003* og *Databehandling Vandbalance 005*.

Nedbørsmængden, V_R

Til tidsserieanalysen anvendes nedbørsdata fra SVK-station 5047 Sulsted, der er beliggende ca. 5 km nordvest for Grindsted.

SVK-stationen anvender en vippekarsmåler. Her opsamles nedbøren i en tragt, hvorfra nedbøren løber ned til en vippe med to skåle. Når den ene skål er fyldt op, vipper den ned og tømmes, hvorefter den anden skål fyldes. Klokkeslettet for hvert vip registreres. SVK-måleren har opløsning ned til 0,2 mm, hvilket svarer til at en skål er fyldt, og der forekommer et vip. Efter vippene er udjævnet på de omkringliggende minutter uden vip, omregnes vippene til intensiteter som ved (7.2). [Winther et al., 2013, Afsnit 5.1]

$$i = \frac{vip}{min} \cdot 0,2 \frac{mm}{vip} \cdot \frac{1000 \frac{\mu m}{mm}}{60 \frac{s}{min}} = [\mu m/s] \quad (7.2)$$

Data fra SVK-stationen kommer i KM2-format, som eksemplet illustreret på figur 7.2.

I første omgang er kun udvalgt hændelser, der er godkendt (1) som sidste tal i første række, men for at få vinternebdør på, skal også forkastede hændelser grundet tændt varmelegeme medregnes.

1	20150224	0844	5047	57	1	0.8	2	s			
	3.333	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159
	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159
	0.159	0.159	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.111	0.111	0.111
	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111
	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111
	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111
1	20150224	1328	5047	58	1	0.4	1				
	3.333	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058
	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058
	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058
	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058
	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058
	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058

Figur 7.2: Eksempel på SVK-data. I øverste linje fremgår: 1 (regntype, 1=målt), 20150224 (dato ÅÅÅÅMMDD), 0844 (start af hændelse TTMM), 5047 (SVK-station), 57 (regnvarighed i min), 1 (tidsopløsning i min), 0,8 (regndybde i mm), 2 (statusinformation, 2 = hændelse bør forkastes) og s (information om kvalitetskontrol, s = varmelegeme tændt).

Nedbørsdataen fremgår af elektroniske bilag H: *SVK_regn* og *SVK_alle*.

Det er i første omgang antaget, at nedbør der falder inden kl. 23:00, tildeles det pågældende døgn, mens nedbør der falder efter 23:00 tildeles det næste døgn i vandbalance-betragtningen.

De årlige vanddybder er sammenlignet med årsnedbøren opgivet af DMI, hvilket fremgår af tabel 7.3. [DMI, 2016]

År	Summeret årsnedbør [mm/år]	Afløst i DMI [mm/år]
2015	890	800-900
2016	739	600-800
2017	938	800-1000
2018	512*	[-]

*Opgørelsen er kun for januar til og med oktober.

Tabel 7.3: Summeret årsnedbør i vandbalance-betragtningen sammenlignet med DMIs årsnedbør.

For at omregne regndybden til et vandføring til vandbalancen anvendes (7.3), ($1 \mu\text{m/s} = 10 \text{ l/(s ha)}$) da vil $1 \text{ mm/s} = 10 \text{ m}^3\text{/(s ha)}$.

$$V_R = \sum i \cdot 10 \cdot F_{red} \quad (7.3)$$

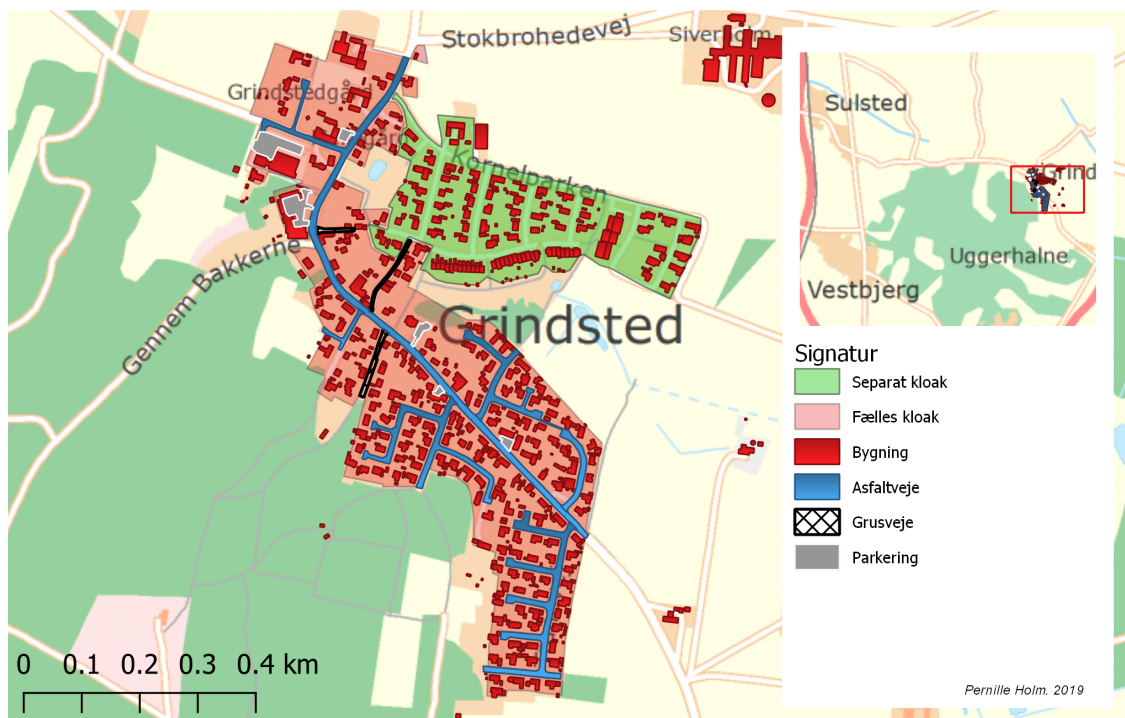
Hvor:

V_R	Nedbørsmængde i det pågældende døgn [m^3]
$\sum i$	Summeret regnintensitet i det pågældende døgn [mm]
F_{red}	Reduceret oplandsareal [ha]

Initialtab er i opgørelsen antaget lig nul.

Det reducerede oplandsareal er fastlagt ud fra en GIS-analyse af Grindsted. Befæstede arealer i Grindsted fremgår af figur 7.3 og tabel 7.4.

BEFÆSTEDE AREALER I GRINDSTED



Figur 7.3: Befæstede arealer i Grindsted, der er udvalgt vha. GIS-analyse til fastlæggelse af nedbørsmængderne, Q_R .

Område	Areal [ha]	Afløbskoefficient [-]	$F_{red} = A \cdot \phi$ [ha]
Tagareal >100 kvm	4,23	1	4,23
Asfaltveje og flisebelægning	3,08	0,9	2,77
Grusveje	0,18	0,2	0,04
Parkering	0,53	0,9	0,48
Terasser mm.*	1,06	0,6	0,63
Grønne områder	16,60	0	0
Total	25,69	-	8,15

*Det er antaget, at terasser, carporte og andre befæstede, tilsluttede arealer udgør 25% af tagarealet.

Tabel 7.4: Befæstede arealer i den del af Grindsted, som er fælleskloakeret. Afløbskoefficient fra Winther et al. [2013, tabel 5.5]

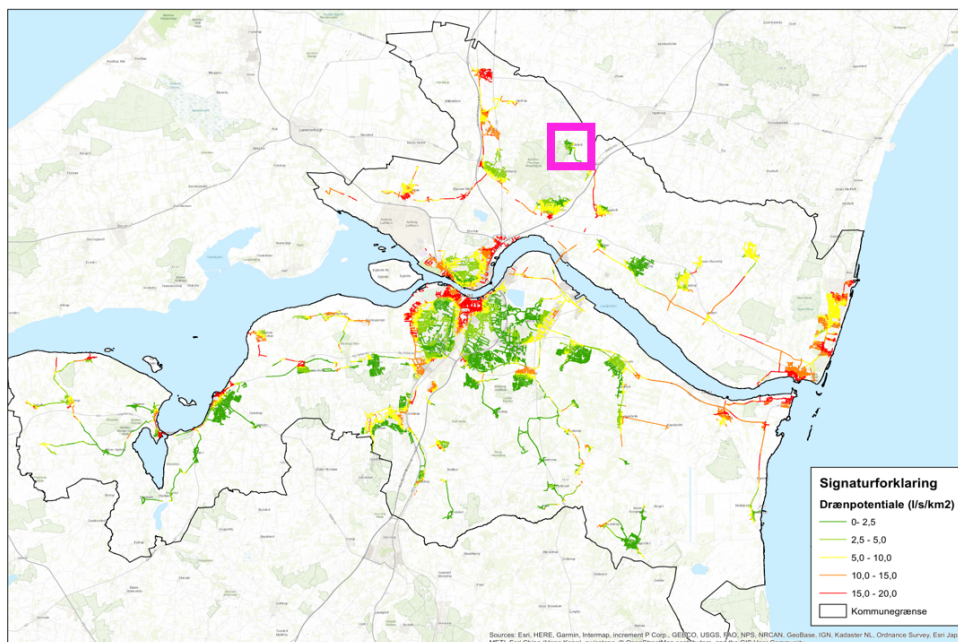
Beregninger af nedbørsmængden, V_R , og data fremgår af elektroniske bilag H: *Databehandling Vandbalance 003, SVK_alle, SVK_regn og Oplande*.

Drænmængden, $V_{dræn}$

I massebalance (7.1) fremgår leddet $V_{dræn}$. Dette bidrag inkluderer dræn, der er tilsluttet fælleskloakken. Det kan både være omfangsdræn fra parcelhusene eller markdræn.

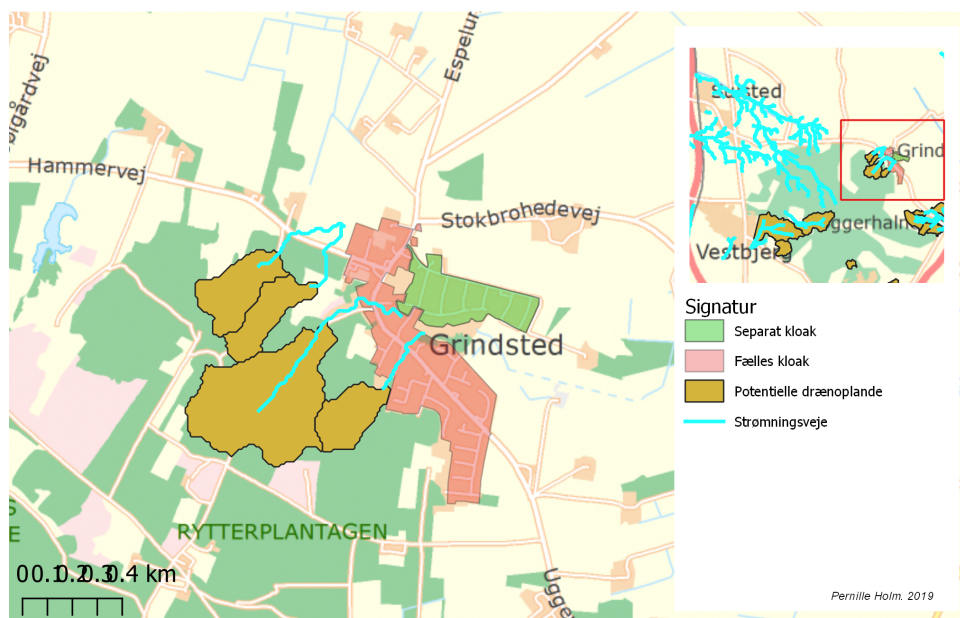
En undersøgelse af pejlinger i området, hvilken fremgår af bilag B, viser, at grundvandet i Grindsted gennemsnitlig ligger 5 m.u.t, hvorfor det er antaget, at der ikke er omfangsdræn i byen.

Drænbidrag fra markdræn er omtalt i afsnit 4.2.6. For Aalborg Kommune har Orbicon A/S opstillet GIS-kortet på figur 7.4, der er opbygget på baggrund af den indirekte metode.



Figur 7.4: Landsdækkende screening af vandløb, oplande, drænpotentialekort og strømningsveje for Aalborg Kommune der viser, hvor stor risikoen er for tilsluttede markdræn på kloakerede oplande. Grindsted er markeret med lyserød. [Figur fra DANVA [2018b], red.].

POTENTIELLE DRÆNOPLANDE TIL GRINDSTED



Figur 7.5: Potentielle drænoplande og strømningsveje, som krydser kloaknettet i Grindsted. [GIS-lag udleveret af Orbicon A/S]

Af figur 7.4 fremgår det, at Grindsted i følge den landsdækkende undersøgelse har et drænpotentiale

på 0 - 5,0 l/s/km². Området har altså kun et lille drænpotentiale i forhold til andre kloakerede områder i Aalborg Kommune.

Ved en nærmere undersøgelse af de hydrologiske drænoplande og strømningsveje til Grindsted, hvilke fremgår af figur 7.5, er drænpotentialet vurderet til 0 l/s/km². Det skyldes, at de drænpotentielle oplande ligger i Hammer Bakker. Det er vurderet, at det ikke er særlig sandsynligt, at Hammer Bakker har været drænet med markdræn. Dels fordi området har været udnyttet til skovbrug, og dels fordi området i sig selv ligger højt.

Det vurderes derfor i det konkrete projekt med Grindsted, at drænbidraget, $V_{\text{dræn}}$, kan sættes lig 0. I andre tilfælde kan det være væsentligt at medregne drænpotentialet, da det kan udgøre en stor del af det uvedkommende vand.

Overløbsmængden, V_O

Overløbsmængden i vandbalancen (7.1) skal beregnes ud fra data fra Aalborg Kloak A/S. Forsyningen har oplysninger om, hvornår overløbene har fundet sted og varigheden af disse. For at registrere, at der er et overløb sidder en måler ude i overløbsbygværket, der kan registrere, når vandstanden står i samme kote som overløbskanten, hvilket fremgår af figur 7.6 og 7.7.



Figur 7.6: Overløbet i Grindsted ved Energivej 12. [Aalborg Kloak A/S]



Figur 7.7: Overløbet i Grindsted ved Energivej 12. [Aalborg Kloak A/S]

For at fastlægge, hvor stor mængde der forlader systemet via overløb anvendes formel (7.4). [Brorsen og Larsen, 2014, afsnit 10.3]

$$Q_O = C b h \sqrt{2 g h} \quad (7.4)$$

Hvor:

Q_O	Vandføring over overløbskant [m^3/s]
C	Energitabskoefficient for overløbskant [-]
b	Bredde af overløbskant [m]
h	Vanddybde over overløbskant [m]
g	Tyngdeacceleration [m/s^2]

For at fastlægge manglende oplysninger om overløbet, er der taget udgangspunkt i MIKE-Urban-model for det separate regnvandssystem i Grindsted. I modellen er følgende oplyst om overløbet:

- Energitabskoefficient for overløbskant $C = 0,403$
- Bredde af overløbskant $b = 3$ m

Modeloplysninger om overløb fremgår endvidere af bilag C.

Idet der ikke fremgår oplysninger om, hvor stor aflastningen overløbet har ydet, imens det har været i drift, er det forsøgt at beregne et middelflow over overløbskanten. Til beregning af middelflowet er det h i (7.4), der er antaget. h udtrykker således en middel vanddybde over overløbskanten under hele overløbets driftstid. Til fastlæggelse af h er vandbalancen opstillet for flere dage, hvor overløbet har været i drift. Valg af h må således ikke give anledning til, at $V_O > V_R$.

Ud fra en iterativ proces er h valgt til 0,02 m svarende til et middelflow over overløbskanten på $54,6 m^3/hr$. Vandføringen multipliceres med overløbets driftstid den pågældende dag, hvilket fremgår af elektroniske bilag H: *Databehandling Vandbalance 003*.

Pumpemængden, V_p

Det sidste led i vandbalancen (7.1), som endnu ikke er beskrevet for at kunne isolere V_{UV} , er den pumpede døgnmængde, V_p . Dette led har Aalborg Kloak A/S ligeledes været behjælpelig med at skaffe, da pumpen på Energivej 12 logger følgende data, tabel 7.5:

Dato	Driftstid		Starter		Elmåler		Varmer	Total	Overløb	
	Pumpe 1 Timer	Pumpe 2 Timer	Pumpe 1 Stk.	Pumpe 2 Stk.	Pumpe 1 kWh	Pumpe 2 kWh			Varighed Timer	Antal Stk
01-01-2015	14,1	0,1	86	3	56	1	0	58	0	0
02-01-2015	17,1	0,7	67	5	78	5	0	85	0	0
03-01-2015	10,9	0,3	114	5	39	2	0	42	0	0
04-01-2015	11,5	0,2	101	3	47	1	0	50	0	0

Tabel 7.5: Udsnit af pumpedata fra Aalborg Kloak A/S for Energivej 12. Øvrige pumpedata indgår i elektroniske bilag H: *Databehandling Vandbalance 003* og *Databehandling Vandbalance 005*.

Som det fremgår af tabel 7.5 er tidsopløsningen for pumpelogningen "Døgn". Det betyder, at det ikke har været muligt at fortælle noget om tørvejs-natteflowet etc. Derudover fremgår det af tabellen, at den pumpede døgnmængde ikke er oplyst. I den forbindelse har forsyningen haft en

elektriker ude og måle på rørene ved pumpestationen. Målingerne fremgår af tabel 7.6.

Pumpe	Frekvens	Hastighed	Flowrate	Flow	Øi	Strømstyrke	Signalstyrke	Stabilitet
[-]	[Hz]	[m/s]	[m ³ /hr]	[l/s]	[mm]	[mA]	[%]	[%]
1	50	1,1	71,8	19,94	150	15,4	100	92
1	50	1,2	74,4	20,67	150	15,8	100	91
1	42	1,0	62,2	17,28	150	13,9	100	91
1	42	0,9	58,9	16,36	150	13,4	100	94
2	50	1,2	79,4	22,06	150	16,6	100	97
2	50	1,2	77,8	21,61	150	16,4	100	96

Tabel 7.6: Måling af pumpeflow.

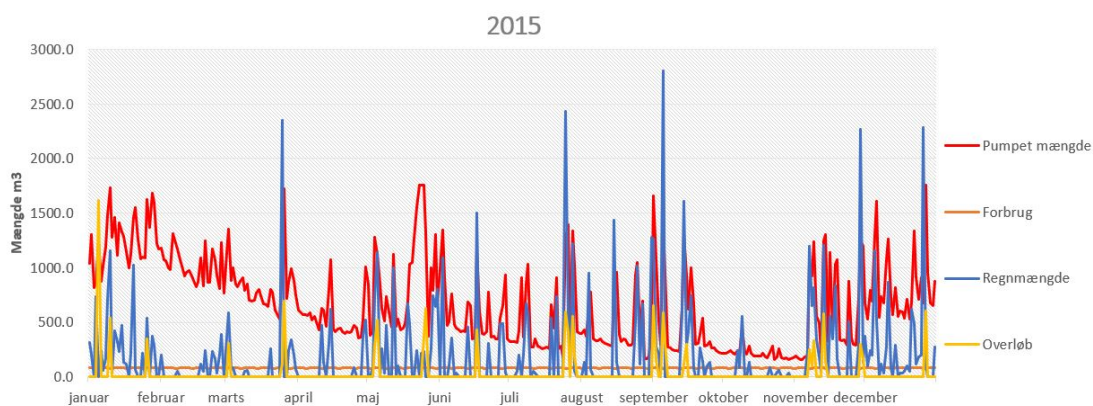
I forbindelse med et møde d. 27. november 2018 med driftsleder ved Aalborg Kloak A/S René Søgaard har Søgaard oplyst, at det primært at pumpe 1, som er i drift på Energivej 12. Derudover oplyste Søgaard, at pumpen hovedsageligt kører ved 100%. Det betyder, at maksimal-flowet er beregnet som en midling af flowraten i tabel 7.6 ved 50 Hz. Pumpe 1 yder 73,1 m³/hr og pumpe 2 yder 78,6 m³/hr.

Dermed er det muligt at beregne den samlede pumpede døgnmængde, V_P , på Energivej 12.

Forudsætningerne og beregningerne er implementeret i elektronisk bilag H: *Databehandling Vandbalance 003*.

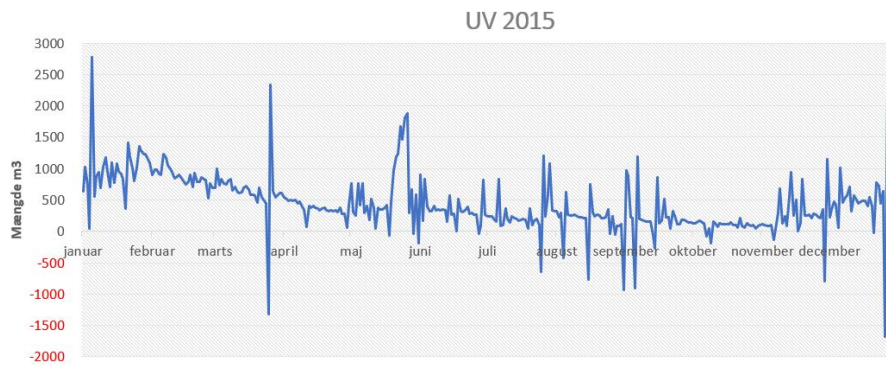
7.1.2 Resultater for indsigning inden kalibrering

Med alle parametre fra (7.1) fastlagt, er det muligt at fastlægge V_{UV} dag for dag i tidsserien. Af figur 7.8 fremgår den originale tidsserie for vandbalance-betragtningen for Grindsted 2015. Tidsserien for de øvrige år fremgår af bilag D.



Figur 7.8: Tidsserie for Grindsted, 2015. Data i [m³/d].

Af figur 7.9 fremgår de beregnede mængder af uvedkommende vand (UV) dag for dag i 2015 i Grindsted. Det fremgår af figuren, at der forekommer nogle dage med negative mængder af uvedkommende vand. Disse dage er ofte efterfulgt af en dag, hvor mængden af uvedkommende vand (UV) peaker væsentligt i forhold til de omkringliggende dage. Dette er med stor sandsynlighed et udtryk for forsinkelse i systemet. Således at den regn der falder dag 1, først afstrømmer og registreres i systemet dag 2 og evt. dag 3. For at få et lidt bedre indblik i V_{UV} variation dag for dag,



Figur 7.9: Den årlige variation af uvedkommende vand (UV) i Grindsted, 2015. Data i $[m^3/d]$.

er der foretaget en kalibrering af disse regnhændelser ved at midle dem over de næstkommende dage. Denne kalibrering fremgår af afsnit 7.1.3.

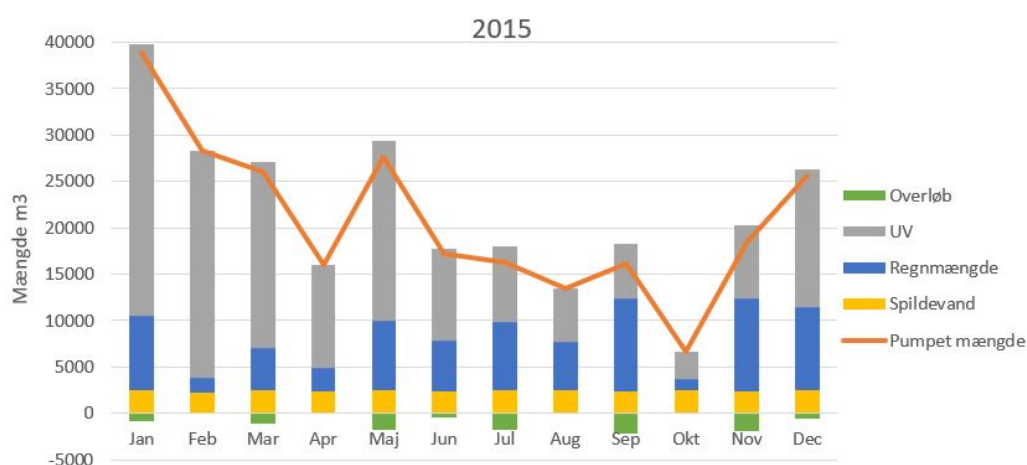
7.1.3 Resultater efter kalibrering

Kalibreringen er foretaget, for at der ikke skal forekomme negative værdier af V_{UV} , når dataen opgøres på døgns-niveau.

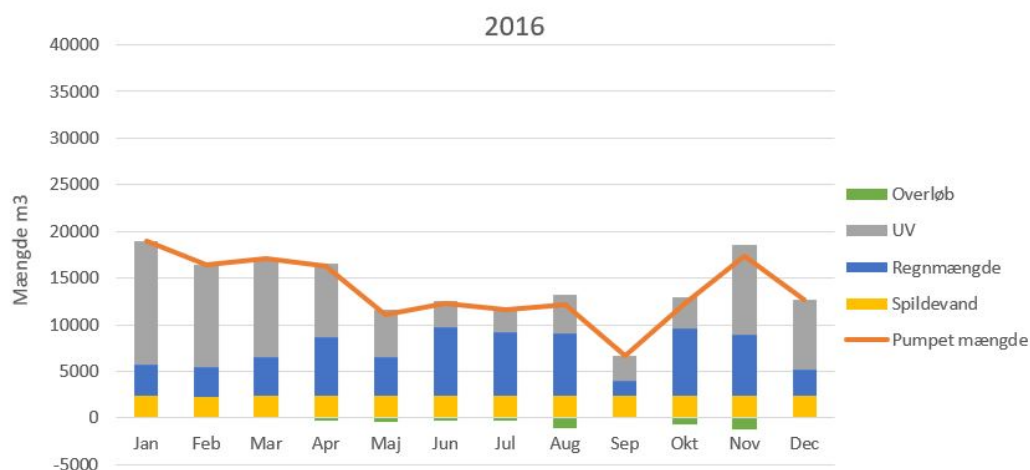
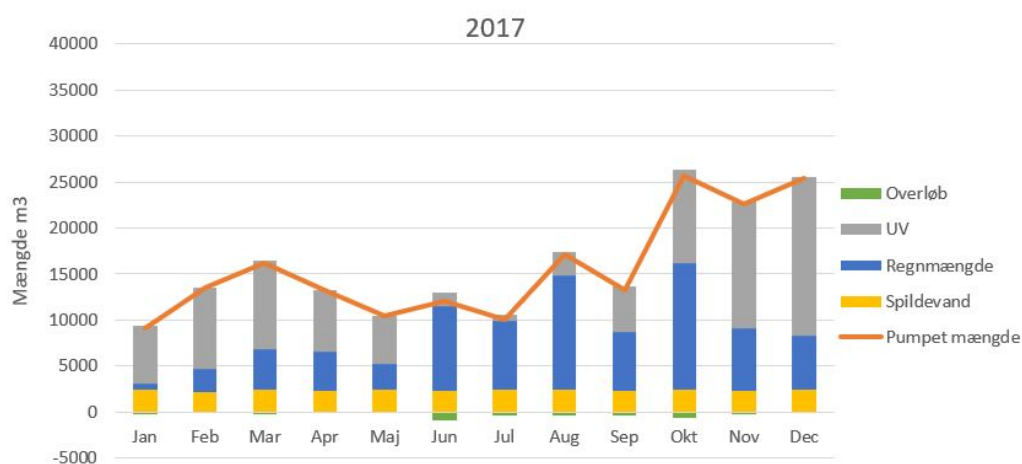
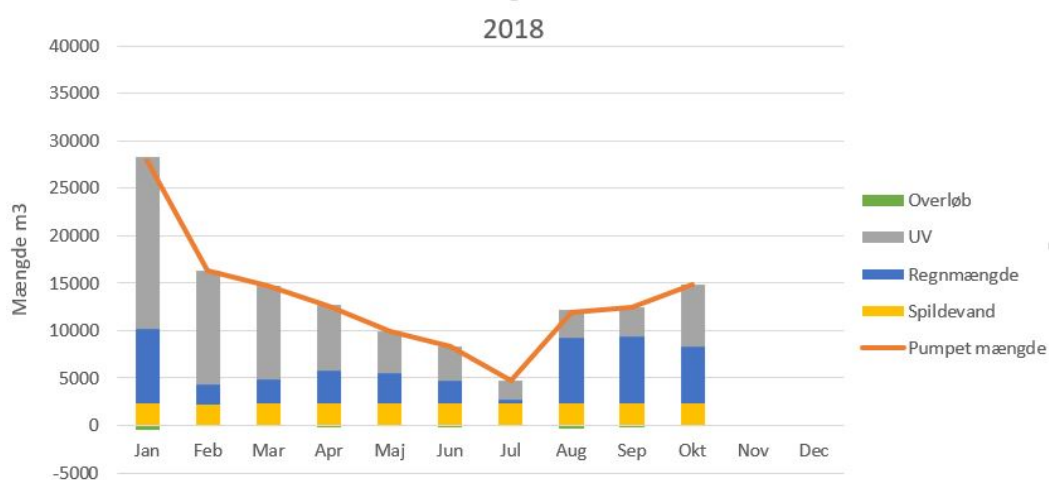
Kalibrerede beregninger for vandbalance-betragtningen fremgår af elektronisk bilag H: *Databehandling Vandbalance 005*. Kalibrerede tidsserier fremgår bilag E.

At der forekommer disse variationer er et udtryk for, at systemets reaktionstid kan være større end 1 døgn under regnhændelser. Derfor er der opstillet en månedlig opgørelse, hvor de forskellige fraktioner af (7.1) fremgår. Når vandbalance-betragtningen opgøres på månedsbasis forekommer disse peaks ikke, fordi tidsopløsningen er større end systemets reaktionstid.

Månedsopgørelserne fremgår af figur 7.10, figur 7.11, figur 7.12 og figur 7.13.



Figur 7.10: Månedlig fordeling af vand i Grindsted, 2015. $[m^3/mdr]$.

Figur 7.11: Månedlig fordeling af vand i Grindsted, 2016.[m³/mdr].Figur 7.12: Månedlig fordeling af vand i Grindsted, 2017.[m³/mdr].Figur 7.13: Månedlig fordeling af vand i Grindsted, 2018.[m³/mdr].

Det fremgår tydeligt af de kalibrerede månedsopgørelser, at der er store problemer med uvedkommende vand i Grindsted. Der er endvidere en tydelig årstidsvariation, hvilket indikerer, at det uvedkommende vand primært kommer fra indsivning.

Sandsynlighed for indsivning pba. jordbundsforhold

Undersøgelser af følgende boringer: DGUnr. 26. 3386 og DGUnr. 26. 4366 i Grindsted fra GEUS viser, at undergrunden i Grindsted primært består af smeltevandssand og smeltevandsler. Boring DGUnr. 26.3386 er beliggende i den sydlige del af det fælleskloakerede område i Grindsted og består hovedsageligt af smeltevandssand fra 1 m.u.t. til 38 m.u.t., hvilket fremgår af tabel 7.7. Boring DGUnr. 26. 4366 er foretaget umiddelbart nord for Grindsted. Det fremgår af tabel 7.7, at jordbunden her ligeledes består af smeltevandssand, dog med et mindre lag af smeltevandsler fra 2,2 m.u.t. til 7,75 m.u.t.

	Top [m.u.t.]	Bund [m.u.t.]	Top [m. DVR90]	Bund [m. DVR90]	Type
DGUnr. 26. 3386	0	1	27,49	26,49	Muld
	1	38	26,49	-10,51	Smeltevandssand
	38	39	-10,51	-11,51	Smeltevandsler
DGUnr. 26. 4366	0	0,4	19,99	19,59	Muld
	0,4	2,2	19,59	17,79	Smeltevandssand
	2,2	7,75	17,79	12,24	Smeltevandsler
	7,75	34,5	12,24	-14,51	Smeltevandssand

Tabel 7.7: GEUS-boringer for undersøgelse af jordbundsforhold i Grindsted.

Jordbundsforholdene indikerer, at der er stor sandsynlighed for indsivning i Grindsted, da infiltrationsevnen i sand er stor. Såfremt det eksisterende ledningsnet ikke er intakt, kan indsivning derfor let forekomme.

7.2 Omfang af uvedkommende vand i Grindsted

Det fremgår af dataen for fastlæggelse af uvedkommende vand i Grindsted, at der generelt er store problemer med uvedkommende vand i systemet. Mængderne af det uvedkommende vand fremgår af tabel 7.8 og figur 7.14. For sammenligningens skyld er det antaget, at driftomkostninger til behandling af spildevand er uændret i perioden 2015-2018. Enhedsomkostninger er valgt til 9,20 kr/m³, svarende enhedsomkostningerne i Aalborg Kloak A/S 2018. [DANVA, 2018c]

	2015	2016	2017	2018
Januar	29.309	13.326	6.265	18.147
Februar	24.485	10.929	8.814	11.905
Marts	20.042	10.610	9575	9.890
April	11.123	7.836	6.692	6.943
Maj	19.446	5.099	5.289	4.438
Juni	9.896	2.744	1.422	3.565
Juli	8.255	2.726	656	1.938
August	5.798	4.182	2.633	2.875
September	5.988	2.567	4.899	3.076
Oktober	2.955	3.371	10.204	6.604
November	7.669	9.576	13.764	-
December	14.834	7.553	17.133	-
I alt	160.000	80.520	87.347	69.380**
Driftsomkostninger*	1.472.001 kr.	740.780 kr.	803.597 kr.	638.292 kr.**

*Ved 9,20 kr/m³ svarende til driftsomkostninger i Aalborg Kloak A/S jf. DANVA [2018c].

** November og december måned er ikke inkluderet i totalerne.

Tabel 7.8: Beregnede mængder af uvedkommende vand i Grindsted. Mængder i [m³].

De pumpede månedsmængder fra pumpestationen på Energivej 12 fremgår af tabel 7.5 og figur 7.15.

	2015	2016	2017	2018
Januar	38.914	18.989	9.055	27.870
Februar	28.360	16.393	13.556	16.281
Marts	26.043	17.128	16.224	14.709
April	16.006	16.230	13.282	12.588
Maj	27.625	11.126	10.479	9.942
Juni	17.260	12.265	12.085	8.281
Juli	16.319	11.595	10.095	4.702
August	13.505	12.094	17.074	11.885
September	16.197	6.606	13.216	12.438
Oktober	6.626	12.224	25.667	14.867
November	18.371	17.393	22.635	-
December	25.651	12.689	25.383	-
I alt	250.878	164.733	188.750	133.561**
Driftsomkostninger*	2.308.080 kr.	1.515.541 kr.	1.736.500kr	1.228.762 kr. **

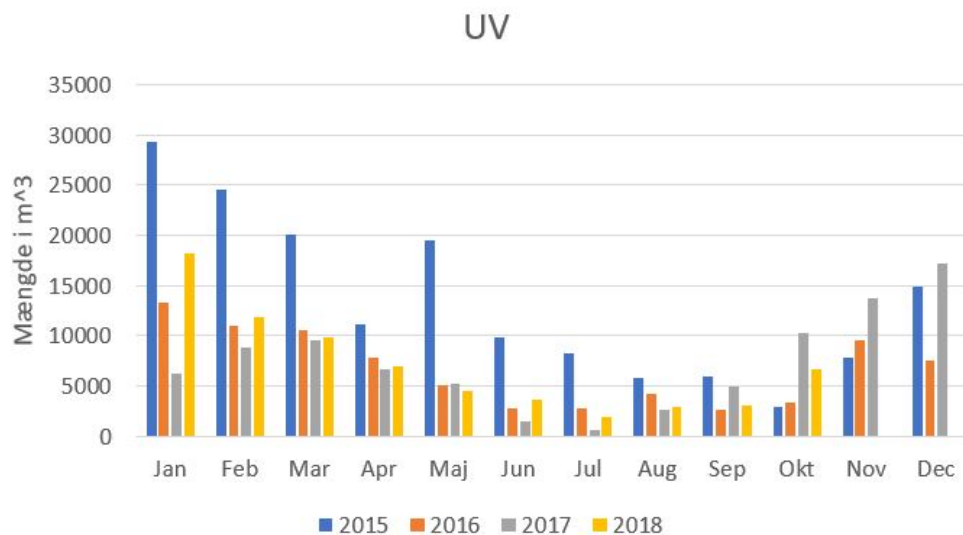
*Ved 9,20 kr/m³ svarende til driftsomkostninger i Aalborg Kloak A/S jf. DANVA [2018c].

** November og december måned er ikke inkluderet i totalerne.

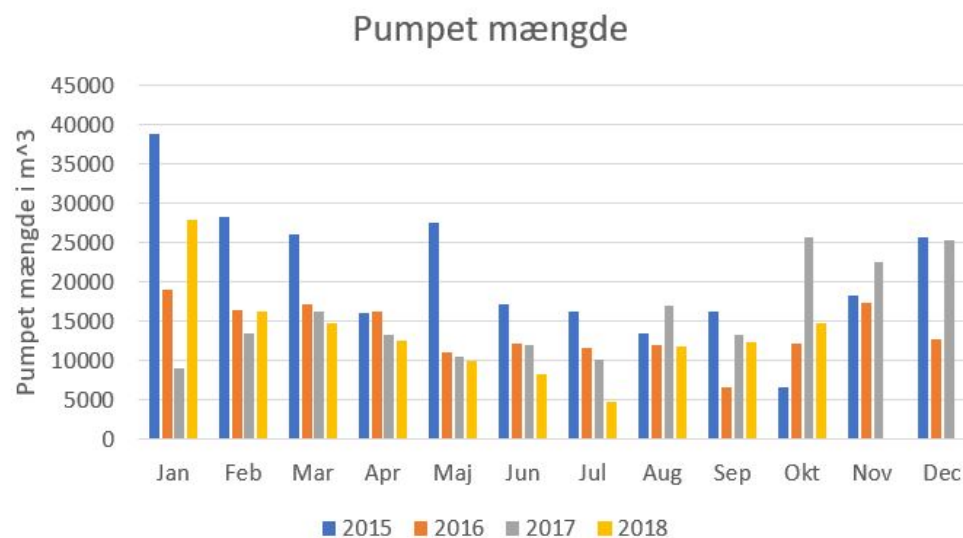
Tabel 7.9: Pumpede månedsmængder fra pumpestation Energivej 12 i Grindsted. Mængder i [m³].

Det fremgår af ovenstående opgørelse, at problemet med uvedkommende vand er størst i vinter- og forårsmånederne, hvilket er i god overensstemmelse med omtalte indsivningsproblem i afsnit 4.2.3.

Det fremgår endvidere af opgørelsen, at problemet med indsivning var størst i 2015. Derudover viser opgørelsen, at særligt januar og februar måned i 2018 præget af store mængder af uvedkommende vand. Det kommer som en reaktion på det ekstremt våde efterår i 2017. Det store nedbørsmængder i efteråret 2017 har givet anledning til infiltration og stigning i grundvandsspejlet, hvorfor der opleves større problemer med indsivning i månederne herefter.



Figur 7.14: De beregnede mængder af uvedkommende vand (UV) opgjort på månedsbasis år for år.



Figur 7.15: Pumpede månedsmængder fra pumpestation Energivej 12 i Grindsted.

7.3 Opsummering - Indsivning

Vandbalance-betragtningen har vist, at uvedkommende vand er et væsentligt problem i Grindsted. Årsvariationen af det uvedkommende vand indikerer, at der i høj grad er tale om indsivning i det gamle fællessystem.

Af tabel 7.10 fremgår årsopgørelser for de undersøgte år. Det fremgår heraf, at 2015, var det dyreste år, hvad angår pumpning fra Grindsted.

Tabellen viser endvidere, at uvedkommende vand er et ekstremt problem i Grindsted. Opgørelserne viser, at uvedkommende vand i Grindsted udgør mellem 46% og 64% af de totale pumpemængder.

	2015	2016	2017	2018
Driftsomkostninger til UV*	1.472.001 kr.	740.780 kr.	803.597 kr.	638.292 kr. **
Driftsomkostninger i alt*	2.308.080 kr.	1.515.541 kr.	1.736.500 kr.	1.228.762 kr. **
UV andel	64%	49%	46%	52%

*Ved 9,20 kr/m³ svarende til driftsomkostninger i Aalborg Kloak A/S jf. DANVA [2018c].

** November og december måned er ikke inkluderet i totalerne.

Tabel 7.10: Driftsomkostninger til pumpning og behandling af fællesvand fra Grindsted samt beregnede driftsomkostninger til pumpning og behandling af uvedkommende vand i Grindsted.

Da store dele af indsivningen i et kloakopland kan forekomme på den private matrikel jf. DANVA [2018a], bør det undersøges, om det kommende, separate spildevandssystem skal dimensioneres under andre forudsætninger end 50% delfyldningsgrad, så det sikres, at systemet har tilstrækkelig kapacitet til potentiel indsivning og fejlkoblinger.



8. Separat spildevandssystem i Grindsted

Ud fra litteraturstudiet er det fundet, at der kan forventes mellem 2% og 10% fejkoblinger i separate spildevandssystemer. Såfremt der føres tilstrækkelig kontrol med separatkloakeringen på den private matrikel, er det realistisk med 2-3% fejkoblinger i nye separate spildevandssystemer. Vandbalance-betragtningen viste endvidere, at der i det eksisterende system i Grindsted er mellem 46% og 64% uvedkommende vand i systemet på årsbasis - primært på grund af indsivning.

Ud fra Gustaffsons vurdering i DANVA [2018a] med, at omtrent 50% af indsivningen i et system finder sted på utætte private ledninger, ønskes det at dimensionere det nye separate spildevandssystem for Grindsted. Systemet dimensioneres ud fra forudsætninger defineret i Aalborg Kommunes projekthåndbog for kloakker [Aalborg Forsyning, 2010] og [Spildevandskomiteen, 2005]. Det kontrolleres endvidere, hvilken betydning henholdsvis indsivning og fejkoblinger vil få for det kommende, separate spildevandssystem.

8.1 Forudsætninger jf. Aalborg Kommunes projekthåndbog for kloakker

Afsnit 8.6 i [Aalborg Forsyning, 2010] omhandler hydrauliske og udledningsmæssige beregninger for projektering af kloakker. I afsnittet er følgende parametre defineret:

- For PVC rør styrkeklasse S vælges en global friktionstabskoefficient $M = 74 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, såfremt beregningerne udføres på handelsdimensionen.
- Den dimensionsgivende afstrømning under tørvejr bestemmes som en summation af tilledninger fra husspildevand og evt. tilledninger fra industrier. Mængden af husspildevand bestemmes ud fra (8.1). Ved dimensionering af separate spildevandsledninger skal der efterfølgende anvendes en sikkerhedsfaktor på 2 for at tage højde for uvedkommende vand.
- Personbelastningen fastsættes ud fra en antagelse om 3 PE/parcelhus, 2 PE/lejlighed samt et middeldøgnforbrug på 125 l/PE/døgn*.

- Ledningerne betegnes selvrensende, såfremt forskydningsspændingen overstiger $1,5 \text{ N/m}^2$. Dog kan der lokalt tillades en forskydningsspænding mellem $1,0$ og $1,5 \text{ N/m}^2$.
*I den følgende projektering af den separate spildevandskloak i Grindsted er der afviget fra 125 l/PE/døgn , idet projekthåndbogen er af ældre dato. I DANVA [2018c] er der angivet et gennemsnitsforbrug på 106 l/PE/døgn .
[Aalborg Forsyning, 2010]

Den dimensionsgivende spildevandsmængde beregnes ud fra (8.1), som er en kombination af erfaringstal fra Aalborg Kommune sammeholdt med DS 432 og time-døgnfaktor beregningsmetoden modificeret til en minimumsvandføring på 1 l/s . [Aalborg Forsyning, 2010]

$$Q_{\min} = 1 + (0,017 \cdot PE^{0,862}) \text{ [l/s]} \quad (8.1)$$

(8.1) afviger for den traditionelle spildevandsdimensionerings-metode, defineret i lærebøger som Winther et al. [2013], hvor ledningen skal have tilstrækkelig kapacitet til maksimum timen i maksimum døgnnet, mens selvrensningen skal kontrolleres ved maksimum timen i minimumsdøgnnet, se endvidere afsnit F.1 i bilag F.

8.1.1 Valg af gentagelsesperiode

Der tillades ikke, at separate spildevandssystemer kan opstuve til terræn, men i denne konkrete situation, hvor det ønskes at undersøge uvedkommende vands betydning på den separate spildevandskloak, skal der vælges en gentagelsesperiode for regnhændelsen. I projekthåndbogen står der:

"Til statusberegninger i forbindelse med analyse af ledningskapacitet i eksisterende fælleskloakerede områder anvendes en 10 minutters regnhændelse med en gentagelsesperiode på to år."

[Aalborg Forsyning, 2010, afsnit 8.6.4.6]

Funktionskravet er i overensstemmelse med minimumsfunktionskrav defineret i [Spildevandskomiteen, 2005, tabel 1].

Beregningerne udføres efter beregningsniveau 1, som er en dimensioneringsmetode for mindre afløbssystemer. Metoden er også kendt under navnet *Den rationelle metode*. Den rationelle metode bygger på antagelsen om, at det maksimale flow i enhver ledninger kan beskrives som en sum af overforliggende bidragydende arealer og en defineret krisk regnintensitet. [Spildevandskomiteen, 2005]

Metoden forholder sig således kun til et kriterium, men af tidligere dimensioneringskriterier er erfaringen, at fuldtløbende ledninger ved en gentagelsesperiode på $T = 2$ år svarer til opstuvning til kælder-kote hvert 5. år og opstuvning til terræn hvert 10. år for fællessystemer. [Spildevandskomiteen, 2005, afsnit 7.3]

Da der ikke tillades opstuvning til terræn i en separat spildevandskloak kontrolleres flere forskellige regnhændelser for at undersøge, om kloakken bliver fuldtløbende ved den pågældende andel af fejlkoblinger ved hyppigere regnhændelser end $T = 2$ år.

Ud fra elektronisk bilag H: *Nedbør regionalregnrække_ver_4_1* er der beregnet fem forskellige regnintensiteter ved en 10 minutters regnhændelse. Regnintensiteterne fremgår af tabel 8.1. Der er valgt en 10 minutters regnvarighed, da det er antaget, at hele systemet bidrager efter 10 minutter.

T [år]	0,5	1	2	5	10
Intensitet [$\mu\text{m/s}$]	11,28	14,38	17,84	23,06	27,56

Tabel 8.1: Regnintensiteter for gentagelsesperioden T i Grindsted.

8.2 Dimensionering af det kommende spildevandssystem

I forbindelse med dimensionering af det kommende separate spildevandssystem i Grindsted med den rationelle metode, er der taget udgangspunkt i eksisterende koter og placering af brønde, hvilke fremgår af elektroniske bilag H: *Grindsted_Nord_indt* og *Grindsted_Syd_indt*.

Beregningsprocedure for dimensionering af det kommende, separate spildevandssystem i Grindsted fremgår af bilag F.

For at sikre tilstrækkelig selvrensning er nogle af ledningerne i det kommende separate spildevandssystem placeret i en lavere kote end den nuværende, dog under forudsætning af, at den sidste brønd JO20050 inden overløbet ved pumpestationen Energivej 12, bibeholder sin bundkote (BK) i 12,70 m af hensyn til ikke at omlægge pumpestationen. Endelige koter og dimensioner for det nye, separate spildevandssystem fremgår af bilag G.

8.2.1 Uden hensynstagen til uvedkommende vand

Uden hensynstagen til uvedkommende vand kan det kommende, separate spildevandssystem i den del af Grindsted, der nu er fælleskloakeres, anlægges med rørtyperne PVC Ø200 og Ø250. Ud fra valgte koter, og for at undgå at systemet vil ligge væsentligt lavere end det nuværende fællessystem, er der tilladt en forskydningsspænding på $1,0 \text{ N/m}^2 < \tau < 1,5 \text{ N/m}^2$ lokalt i systemet. Det betyder, at 25,5 % af ledningerne [m/m] ikke har tilstrækkelig selvrensning ved traditionel dimensionering, når der ikke er uvedkommende vand fra fejkoblinger og/eller infiltration på systemet.

8.2.2 Med hensynstagen til uvedkommende vand

Det er kontrolleret, hvordan systemet, der er dimensioneret efter forudsætningerne i [Aalborg Forsyning, 2010], påvirkes af uvedkommende vand.

Fejkoblinger

Det er undersøgt, hvor stor andel af ledningerne [m/m], som ikke har tilstrækkelig kapacitet til uvedkommende vand ud fra den valgte regnhændelse og fejkoblingsandel, når ledningerne er dimensioneret efter traditionelle forudsætninger med 50% delfyldning.

Af tabel 8.2 fremgår, hvilken dimensionsgivende vandføring pumpestationen Energivej 12, skal dimensioneres efter, såfremt der tages hensyn til fejkoblinger. Det bemærkes, at pumpestationen i øvrigt skal dimensioneres efter et tillæg fra den del af Grindsted, som på nuværende tidspunkt

er separatkloakeret, hvilket er beskrevet i afsnit 2.3 på side 12. Den separerede del af byen har en separat ledning til pumpestationen, hvorfor det kun er pumpestationen, som får et tilskud fra den del af byen.

Ved regnvarighed 10 min. Gentagelsesperiode T	Dimensionsgivende vandføring på pumpestation under hensynstagen til fejlkoblinger [l/s]				
	0%	2,50%	5%	7,50%	10%
10	6,0	37,3	68,7	100,1	131,5
5	6,0	32,2	58,5	84,7	111,0
2	6,0	26,3	46,6	66,9	87,2
1	6,0	22,3	38,7	55,1	71,4
0,5	6,0	18,8	31,6	44,5	57,3

Tabel 8.2: Dimensionsgivende vandføring på pumpestation, når der tages hensyn til uvedkommende vand i form af fejlkoblinger.

Som det fremgår af tabel 8.2 giver selv 5% fejlkoblinger anledning til store vandføringer ved pumpestationen. Det betyder også, at fejlkoblingsandelene giver anledning til, at nogle af ledningerne ikke har tilstrækkelig kapacitet, når disse er dimensioneret ud fra forudsætning om maksimalt 50% delfyldningsgrad.

$$Q_{dim} = Q_{max} \leq \frac{1}{2} Q_{fuld} \quad (8.2)$$

Det betyder, at Q_{max} i nogle ledninger er større end Q_{fuld} , når der tages hensyn til fejlkoblinger. Af tabel 8.3 fremgår, hvor stor andel af byens 4700 m separate spildevandsledninger, der ikke har tilstrækkelig kapacitet, hvis der tages hensyn til fejlkoblinger. Disse bør omlægges til en ledning af større handelsdimension, såfremt det vurderes realistisk med den valgte fejlkoblingsandel.

Ved regnvarighed 10 min. Gentagelsesperiode T	Andel af ledninger som skal omlægges [m/m] under hensynstagen til fejlkoblinger [l/s]				
	0%	2,50%	5%	7,50%	10%
10	0%	0%	13%	16%	16%
5	0%	0%	10%	15%	16%
2	0%	0%	3%	13%	15%
1	0%	0%	0%	3%	13%
0,5	0%	0%	0%	2%	9%

Tabel 8.3: Andel af ledninger, som skal omlægges til en større handelsdimension for at have tilstrækkelig kapacitet til uvedkommende vand fra fejlkoblinger.

Det fremgår af tabel 8.3, at 3% af ledningerne i det nye separate spildevandssystem i Grindsted ikke har tilstrækkelig kapacitet ved en 2 års regnhændelse, når der forekommer en fejlkoblingsandel på 5%. Beregningerne viser således vigtigheden af, at der som beskrevet i afsnit 6.3 side 27, følges op på færdigmeldinger omkring separatkloakering på den private matrikel. Dette vil erfaringsmæssigt holde fejlkoblingsandelen nede på 2-3%, hvormed spildevandssystemet har tilstrækkelig kapacitet selv ved en 10 års regnhændelse under den traditionelle dimensioneringspraksis.

Fejlkoblinger og indsivning

Idet Aalborg Kommune har indført "Nul fejl og til rette tid", hvilket er beskrevet i afsnit 6.2.1 side 27, forventes det, at der følges op på den private separatkloakering og tilslutning til den offentlige kloak, hvormed fejlkoblingsandelen forventes lav. Alligevel bør det undersøges, om uvedkommende vand får betydning for systemet i Grindsted, da byen er præget af meget uvedkommende vand fra indsivning.

I det følgende er ligeledes undersøgt, hvordan det nye separate spildevandssystem, hvis dimensioner fremgår af bilag G, vil reagere på uvedkommende vand fra fejlkoblinger, når der tages hensyn til indsivning.

Gustaffson mener, at 50% af indsivningen foregår på den private matrikel. I kapitel 7 er det fundet, at indsivning står for mellem 46% og 64% af alt det vand, der pumpes væk fra Grindsted på årsbasis. Derfor er det antages, at indsivningen i fremtiden vil være 50% af spildevandsmængden. I det nye system er der derfor et tillæg på $50\% \cdot 50\% = 25\%$ af spildevandsmængden grundet indsivning.

Af tabel 8.4 fremgår, hvilken dimensionsgivende vandføringen pumpestationen på Energivej 12 skal anlægges efter, såfremt der tages hensyn til både uvedkommende vand og fejlkoblinger.

ved regnvarighed 10 min. Gentagelsesperiode	Dimensionsgivende vandføring v. pumpestation under hensynstagen til fejlkoblinger [l/s]				
T	0%	2,50%	5%	7,50%	10%
10	7,4	38,8	70,2	101,6	132,9
5	7,4	33,7	59,9	86,2	112,5
2	7,4	27,8	48,1	68,4	88,7
1	7,4	23,8	40,2	56,6	72,9
0.5	7,4	20,3	33,1	46,0	58,8

Tabel 8.4: Dimensionsgivende vandføring på pumpestation, når der tages hensyn til uvedkommende vand i form af fejlkoblinger og indsivning.

Derudover er det undersøgt, hvor mange af ledningerne i det nye separate spildevandssystem i Grindsted, der bør omlægges, når der ud over fejlkoblinger også tages hensyn til 25% indsivning på den private matrikel. Resultaterne heraf fremgår af tabel 8.5.

ved regnvarighed 10 min. Gentagelsesperiode	Andel af ledninger som skal omlægges [m/m] under hensynstagen til fejlkoblinger [l/s]				
T	0%	2,50%	5%	7,50%	10%
10	0%	0%	13%	16%	17%
5	0%	0%	10%	15%	16%
2	0%	0%	3%	13%	15%
1	0%	0%	0%	7%	15%
0,5	0%	0%	0%	2%	10%

Tabel 8.5: Andel af ledninger, som skal omlægges til en større handelsdimension for at have tilstrækkelig kapacitet til uvedkommende vand fra fejlkoblinger og indsivning.

Sammenlignes tabel 8.3 og tabel 8.5 er det tydeligt, at det er fejlkoblingsandelen, der har størst betydning for, om ledningerne skal omlægges til en af større dimension.

8.2.3 Uvedkommende vands betydning for selvrensning

Selvom uvedkommende vand ikke er ønskeligt i et nyt separat spildevandssystem, kan det forbedre selvrensningen. I afsnit 8.2.1 fremgår det, at 25,5% af ledningerne i Grindsted ikke har tilstrækkelig selvrensning, idet forskydningsspændingen er $1,0 \text{ N/m}^2 < \tau < 1,5 \text{ N/m}^2$ lokalt i systemet. Derfor er det undersøgt, hvordan uvedkommende vand forbedrer selvrensningen, når der tages hensyn til både fejkoblinger og 25% indsivning.

Af tabel 8.6 fremgår resultatet af denne opgørelse. Det viser sig, at 25% indsivning forbedrer selvrensningen på 2% af ledningerne, således disse får tilstrækkelig forskydningsspænding på minimum $1,5 \text{ N/m}^2$ ved 0% fejkoblinger. Det fremgår endvidere af tabel 8.6, at en fejkoblingsandel på kun 2,5% forbedrer selvrensningen betydeligt i systemet.

Antal fejkoblinger	Andel af ledninger, hvor selvrensning ikke er tilstrækkelig
0%	24%
2,50%	10%
5%	8%
7,50%	3%
10%	2%

Tabel 8.6: Fejkoblingsandelens betydning for det nye spildevandssystem i Grindsteds selvrensningsevne. Tabellen angiver, hvor stor andel af ledningerne i det nye separate spildevandssystem i Grindsted, som har en forskydningsspænding på mellem $1,0 \text{ N/m}^2$ og $1,5 \text{ N/m}^2$.

8.3 Opsummering - Fejkoblinger og indsivning i Grindsted

Undersøgelsen af uvedkommende vands betydning på det nye separate spildevandssystem i Grindsted viser, at fejkoblinger kan få væsentlig betydning for systemets kapacitet. Dog viser undersøgelsen, at såfremt fejkoblingsandelen holdes på 2,5%, da vil den traditionelle dimensionering af et separat spildevandssystem med 50% delfyldningsgrad give anledning til tilstrækkelig kapacitet til uvedkommende vand, selv under ved en 10 års regnhændelse.

Derudover viser undersøgelsen, at 2,5% fejkoblinger ligeledes forbedre selvrensningen i systemet betydeligt. Det betyder, at små andele af fejkoblinger kan bidrage til, at nye systemer ikke skal lægges med større fald.

Derfor er det vurderet, at den traditionelle dimensioneringspraksis angivet i [Aalborg Forsyning, 2010] er tilstrækkelig, så længde forsyningen og kommunen samarbejder om at få fulgt op på færdigmeldingerne omkring separatkloakering på den private matrikel.

Det er vurderet, at delfyldningsgraden ikke skal øges i fremtiden, da en maksimal delfyldningsgrad på 50% ud over at give anledning til uvedkommende vand, også sikrer aerobe forhold i kloakken. Under aerobe forhold er der ilt til stede, hvilket sikrer at der ikke dannes svovlbrinte, som virker korroderende for ledninger og brønde.

IV

Del 4 - Vurdering



9. Konklusion

For at beskytte recipienterne mod forurening blev første vandmiljøplan vedtaget i Folketinget i 1987. Vandmiljøplanen belyste målsætningerne om at reducere kvælstofudledningen til recipient fra landbruget med 50% og fosforudledningen fra spildevand med 80%. For at kunne nå denne målsætning er der iværksat et intensivt arbejde hos kommunerne og herunder forsyningerne for at få separatkloakeret gamle fælleskloakerede oplande i Danmark. Grunden hertil er dels, at separatkloakering mindsker antallet af overløb, hvor recipienter forurenes af opspædet spildevand, og dels at renseeffektiviteten øges på rensningsanlæggene, når disse modtager en mere konstant koncentration af spildevand.

De senere år er der kommet et større fokus på uvedkommende vand i kloaksystemer, da det er forsyningernes erfaring, at store andele af årsmængderne på rensningsanlæggene er udgjort af uvedkommende vand. Uvedkommende vand kan både være indsivning af grundvand og fejltilslutninger, der medfører, at vandet afledes i den forkerte kloak. Når rensningsanlæggene skal behandle uvedkommende vand, har det både store driftøkonomiske konsekvenser, men det medfører også øget belastning på recipienterne.

Disse overvejelser ledte til problemformuleringen:

I hvilket omfang bør der tages hensyn til uvedkommende vand i forbindelse med dimensionering af separate spildevandssystemer, når der tages udgangspunkt i forsyningernes erfaring med uvedkommende vand og i særdeleshed fejkoblinger? Herunder, hvor stort et problem udgør uvedkommende vand i den eksisterende kloak i Grindsted, og hvilken betydning kan uvedkommende vand få for den fremtidige separate spildevandskloak i byen?

En undersøgelse af forsyningernes erfaring med uvedkommende vand har vist, at uvedkommende vand står for mellem 24% og 65% af årsmængderne på danske rensningsanlæg. Det er

forsyningernes erfaring, at det uvedkommende vand primært skyldes indsivning i utætte kloakledninger. Faktisk udgør indsivning 80-85% af alt det uvedkommende vand, men også fejlkoblinger kan give anledning til uvedkommende vand.

Det er forsyningernes erfaring, at fejlkoblinger oftest omfatter private regnvandsledninger, der er tilsluttet den offentlige spildevandskloak. Denne type fejlkobling medfører stor hydraulisk belastning på spildevandssystemet under ekstreme regnhændelser, da det separate spildevandssystem ofte har væsentlig mindre kapacitet end den separate regnvandsledning. Såfremt det separate spildevandssystem har utilstrækkelig kapacitet, når der fejlkoblingsandelen er for stor, vil det medføre nødoverløb eller tilbagestuvning til folks kældre. Derfor gør flere forsyninger et ihærdigt arbejde for at nedbringe antallet af fejlkoblinger. I forbindelse med opsporing af fejlkoblinger er det forsyningernes erfaring, at 2-10% af alle parceller i separatkloakerede oplande er behæftet med fejl. Forsyningerne erfarer endvidere, at der ved den rette dialog mellem kommune og forsyning, således der følges op på færdigmeldinger af separatkloakering på den private matrikel, kan nedbringe andelen af fejlkoblinger til 2-3%.

Aalborg Kloak A/S er én af de forsyninger, som gør et ihærdigt arbejde for at nedbringe antallet af fejlkoblinger. Aalborg Byråd har i 2016 vedtaget et miljømål om, at fejlkoblingsandelen skal nedbringes til 0% inden 2028. Dette miljømål er implementeret i konceptet "Nul fejl og til rette tid", som er et samarbejde med de tre aktører: Aalborg Kommune, Aalborg Kloak A/S og de autoriserede kloakmestre. Samarbejdet bygger på videns- og erfaringsudveksling mellem de tre aktører.

I samarbejde med Aalborg Kloak A/S er projektlokaliteten Grindsted (Aalborg Kommune) udvalgt til projektlokalitet. Forsyningen har erfaring med, at der er store problemer med uvedkommende vand i byen, og problemets omfang er derfor ønsket estimeret. I en vandbalance-betragtning er det fundet, at uvedkommende vand står for mellem 46% og 64% af de samlede pumpemængder fra byen i årene 2015-2018. For Grindsted omfatter det uvedkommende vand ekstra driftsomkostninger på mellem 640 000 kr./år og 1 470 000 kr./år. Byen er på nuværende tidspunkt fælleskloakeret, hvorfor det er vurderet, at det uvedkommende vand primært består af indsivning.

I forbindelse med dimensionering af et nyt separat spildevandssystem til Grindsted er det undersøgt, hvilken betydning uvedkommende vand kan få for systemet. Det er fundet, at fejlkoblingsandele på mere end 5% får betydelige konsekvenser for det separate spildevandssystems kapacitet. Ved 5% fejlkoblinger og en 2-års regnhændelse af 10 minutter vil 3% af spildevandsledningerne i Grindsted ikke have tilstrækkelig kapacitet. Undersøgelsen har endvidere vist, at 25% indsivning i Grindsted ikke har væsentlig betydning for spildevandssystemets kapacitet, fordi systemet dimensioneres med maksimal 50% delfyldningsgrad.

Det er vurderet, at det er realistisk at komme ned på 2,5% fejlkoblinger i Grindsted, netop på grund af samarbejdet "Nul fejl og til rette tid". Med 2,5% fejlkoblinger og 25% indsivning vil det separate spildevandssystem have tilstrækkelig kapacitet til at håndtere en 10-års regn af 10 minutters varighed. Samtidig forbedrer 2,5% fejlkoblinger og 25% indsivning selvrensningsevnen betydeligt i systemet, hvormed det undgås at lægge det nye system væsentlig lavere end det eksisterende.

Så i kontrast til, at hummereventyret i 1986 viste sig at være for meget af det gode, kan for lidt af det dårlige også være negativt. Uden hensynstagen til uvedkommende vand risikeres, at det separate spildevandssystem skal omlægges i en lavere kote, således også pumpestationen på Energivej 12 bør omlægges for at få tilstrækkelig løftehøjde. Tillades bare en lille mængde af uvedkommende

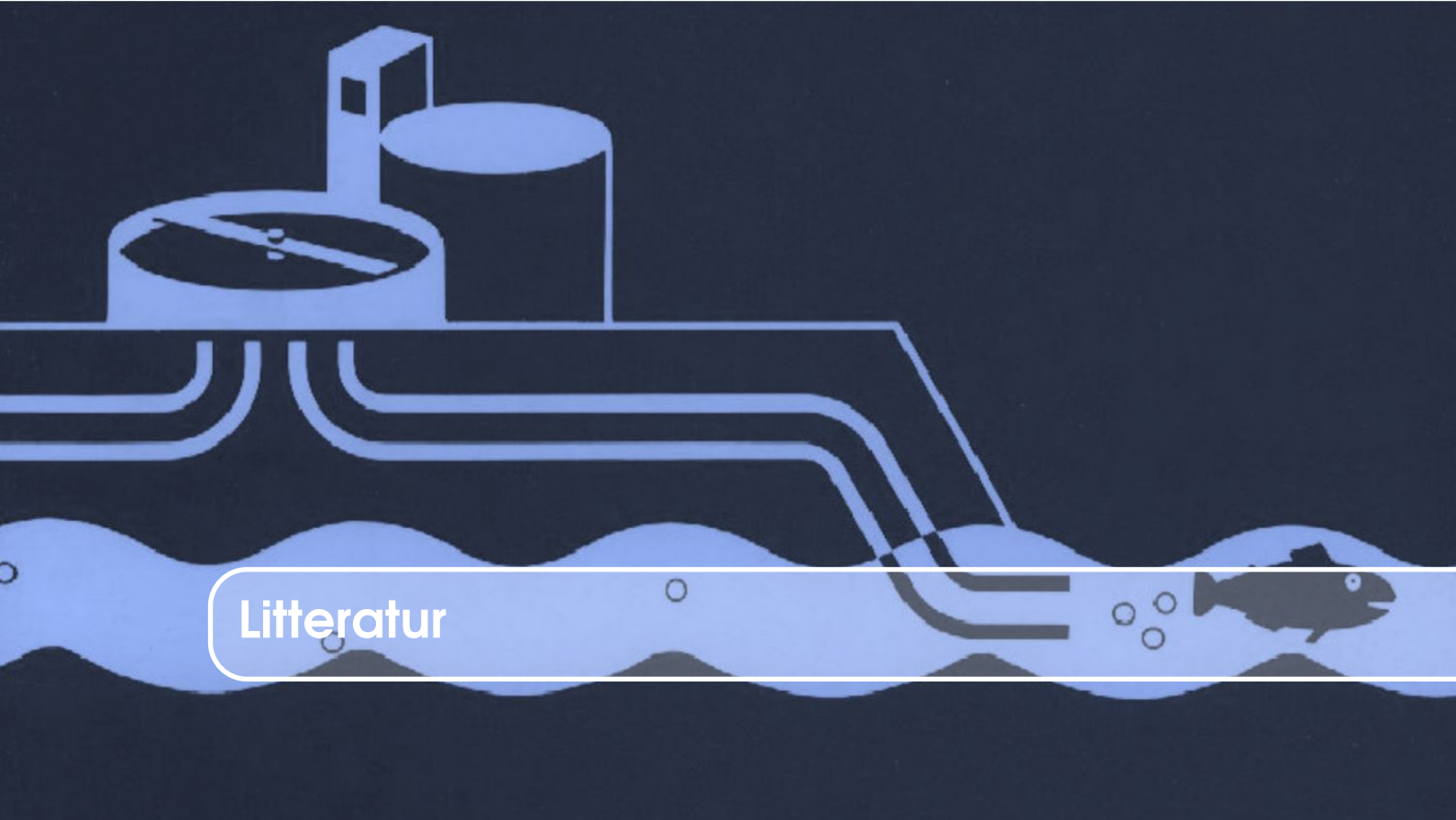
vand, svarende til, hvad der er vurderet realistisk at komme ned på, vil driftsbetingelserne i systemet forbedres. Derfor må det konkluderes, at det er muligt både at have for meget af en god ting, og for lidt af en dårlig ting. Det hele handler om at ramme et realistisk forhold med måde. Ingen er fejlfrie, og derfor er det vurderet, at det ikke er realistisk at komme ned på 0% fejlkoblinger, men at den rette kontrol er ekstremt vigtigt, da den kan nedbringe fejlkoblingsandelen til et niveau, hvor selv nedbøren fra de fejlkoblede ejendomme kan håndteres i den separate spildevandskloak.

9.1 Perspektivering

Det bør bemærkes, at undersøgelserne for den konkrete by, Grindsted, ikke kan beskrive en generel sammenhæng mellem fejlkoblingsandel, indsivning og uvedkommende vand. Derfor kan beregningsmetoden ikke nødvendigvis skalleres op fra et lille system som Grindsted til en stor by som Aalborg. Det skyldes primært, at det er erfaringen, at problemet med fejlkoblinger er større i villa- og parcelhusområder end i områder med etageejendomme.

Derudover bemærkes det, at det er vurderet, at den traditionelle designpraksis er tilstrækkelig i Grindsted, tiltrods for op mod 2,5% fejlkoblinger og 25% indsivning, men dette er ikke nødvendigvis tilfældet i andre byer. Dertil kommer, at drænbidraget fra markdræn og omfangsdræn i den konkrete case er antaget at være nul. Hovedsageligt skyldes det, at det er vurderet realistisk at komme ned på 2,5% fejlkoblinger, netop fordi Aalborg Kommune gør så ihærdigt et arbejde på at følge op på separate færdigmeldinger. Andre forsyninger udfører ikke nødvendigvis lige så tilstrækkelig kontrol, hvorfor større fejlkoblingsandele kan forventes.

For fortsat at beskytte recipienter er opfølgning og kontrol derfor ekstremt vigtig, ellers risikeres det, at der bliver dimensioneret separate spildevandssystemer, som skal håndtere meget mere vand, end systemerne har kapacitet til.



Litteratur

Aalborg Forsyning, 2010. Kloak A/S Aalborg Forsyning. *Projekthåndbold for kloakker*. Tilsendt dokument, KUN afsnit 8.6 Hydrualiske og udledningsmæssige beregninger, 2010. set 06-01-2019.

Aalborg Kommune, 2006. Aalborg Kommune. *Kommuneplan Grindsted*. Tilgængelig fra: <http://www.aalborgkommuneplan.dk/kommuneplanrammer/nord-omraadet/grindsted/default.aspx>, 2006. set d. 25-11-2018.

Aalborg Kommune, 2016. byråd Aalborg Kommune. *Godkendelse af miljømål med henblik på at fjerne fejlkoblinger i forbindelse med separatkloakeringer*. Tilgængelig fra: <https://www.aalborg.dk/usercontrols/AalborgKommune/Referater/Pdf.aspx?pdfnavn=16958487-14639033-15.pdf&type=punkt&pdfid=9914>, 2016. set 06-01-2019.

Aalborg Kommune, Miljø- og Energiforvaltningen, 2018. Aalborg Kommune, Miljø- og Energiforvaltningen. *Spildevandsplanen*. Tilgængelig fra: <https://aalborg.viewer.dkplan.niras.dk/dkplan/dkplan.aspx?pageId=107>, 2018. set d. 25-11-2018.

Andersen og Jensen, maj 2018. Søren Holm Andersen og David Getreuer Jensen. *Bedre viden om uvedkommende vand*. Tilgængelig fra: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2018/05/978-87-93710-21-4.pdf>, 2018. set d. 12-11-2018.

Andersen et al., 1992. Tage Andersen, Tony Christensen, Keld Søgaard, Søren Herrsted, Erling Holm og Niels Carl Kirchhecker. *Uvedkommende vand i afløbssystemer*. Tilgængelig fra: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/1992/87-7810-060-7/pdf/87-7810-060-7.pdf>, 1992. set d. 19-12-2018.

Bent Lauge Madsen, Den Store Danske, 2018. Bent Lauge Madsen, Den Store Danske.

Vandmiljøplaner. Tilgængelig fra:

http://denstoredanske.dk/Natur_og_milj%C3%B8/Milj%C3%B8_og_forurening/Vandmilj%C3%B8,_spildevand_og_olieforurening/vandmilj%C3%B8planer, 2018. set d. 26-11-2018.

Brorsen og Larsen, 2014. Michael Brorsen og Torben Larsen. *Lærborg i hydraulik*. ISSN: 978-87-7307-978-2. 2014. 2. udgave, 3. oplag.

Danmarks Statistik, 2018. *Danmarks Statistik.* Tilgængelig fra:

<http://www.statistikbanken.dk/statbank5a/default.asp?w=1920>, 2018. Folketal, BY1, 851-18311 Grindsted.

DANVA, 2018a. DANVA. *Indsats mod uvedkommende vand.* Tilgængelig fra:

<https://www.danva.dk/nyheder/2018/indsats-mod-uvedkommende-vand/>, 2018. set d. 19-12-2018.

DANVA, 2018b. DANVA. *Temadag - Dræn, Landbrugets tilledning til kloakker - 2018*, 2018. deltaget 29-11-2018.

DANVA, 2018c. DANVA. *Vand i tal 2018.* Tilgængelig fra:

<http://www.e-pages.dk/danva/222/14>, 2018. set d. 20-12-2018.

DMI, 2016. DMI. *Vejret i Danmark - året 2015.* Tilgængelig fra: <https://www.dmi.dk/vejrr/arkiver/maanedsaesonaar/vejret-i-danmark-aaret-2015/>,

2016. set 15-01-2019.

Fredensborg Kommune, 2017. Fredensborg Kommune. *Kloakker undersøgt for fejltilslutninger.*

Tilgængelig fra: <https://www.fredensborg.dk/borger/vand-og-natur/klima-under-forandring/kloakker-undersoegt-for-fejltilslutninger>, 2017. set d. 06-01-2019.

Herning Vand, 2015. Herning Vand. *En fælles indsats i Danmark mod fejkoblinger.* Tilgængelig

fra: <https://docplayer.dk/32479693-En-faelles-indsats-i-danmark-mod-fejkoblinger-benny-nielsen-afdelingschef-plan.html>, 2015. set d. 06-01-2019.

Ingeniøren, 2018. Ingeniøren. *Utætte kloakker koster 500 mio. kr. om året: Det kan ikke betale sig*

at reparere dem. Tilgængelig fra: <https://ing.dk/artikel/utaette-kloakker-koster-500-mio-kr-aaret-kan-ikke-betale-sig-at-reparere-dem-212418>, 2018. set d. 26-11-2018.

Kommune, 2016. Aalborg Kommune. *Nul fejl og til rette tid.* Tilgængelig fra:

<https://www.aalborgforsyning.dk/media/700439/nul-fejl-og-til-rette-tid-aks-visioner-og-miljoemaal.pdf>, 2016. set 06-01-2019.

Landsbyordningen Grindsted Skole, 2018. Landsbyordningen Grindsted Skole. *Om*

Landsbyordningen. Tilgængelig fra:

<http://grindstedskole.skoleporten.dk/sp/201116/text/0m%20skolen>, 2018. set d. 25-11-2018.

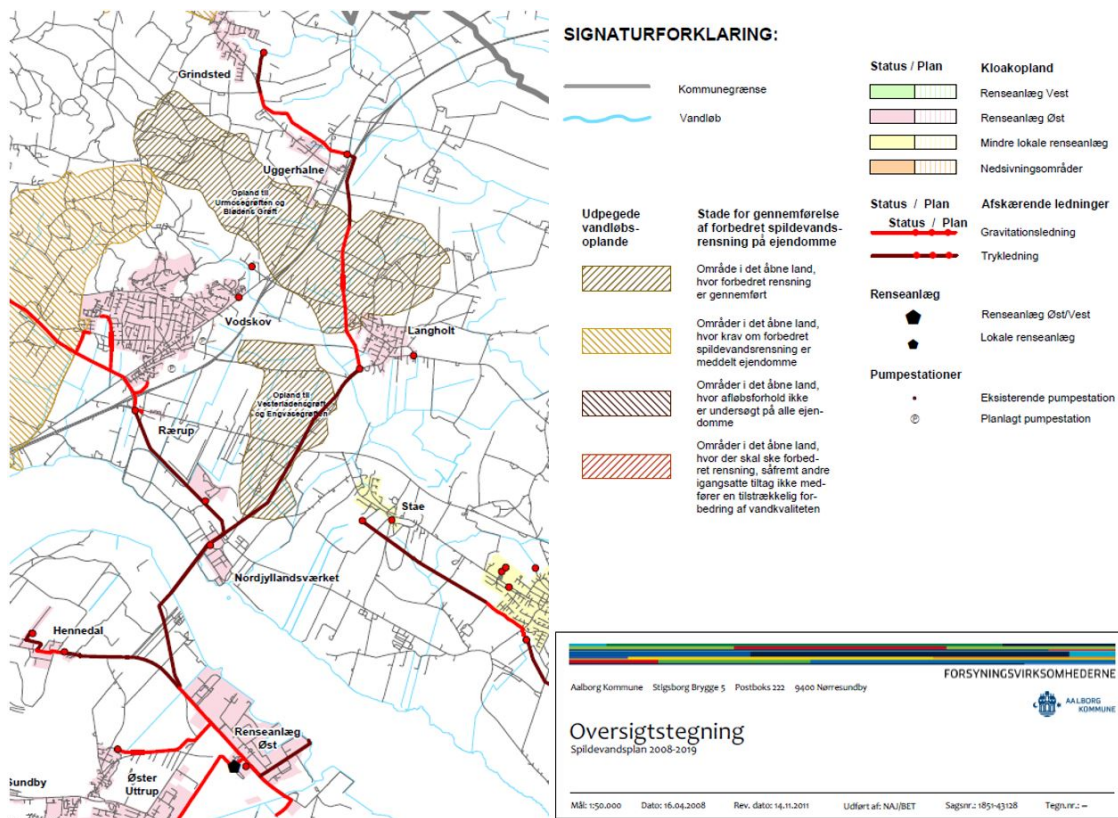
- Madsen, 2008.** Siz Madsen. *Hav- og fiskeribiologi*. ISSN: 87-90749-08-1. 2008. 1. udgave.
- Olesen et al., 2014.** Martin Olesen, Kristine Skovgaard Madsen, Carsten Ankjær Ludwigsen, Fredrik Boberg, Tina Christensen, Jogn Cappelen, Ole Bøssing Christensen, Katrine Krog Andersen og Jens Hesselbjerg Christensen. *Fremtidige klimaforandringer i Danmark*. ISSN: 978-87-7478-652-8. 2014. Danmarks Klimacenter rapport nr. 6.
- Spildevandskomiteen, 2005.** IDA Spildevandskomiteen. *Funktionspraksis for afløbssystemer under regn, Skrift nr. 27*. Tilgængelig fra: <https://ida.dk/sites/default/files/Skrift27Funktionspraksisforafl%C3%B8bssystemerunderregn.pdf>, 2005. set 08-01-2019.
- Søren Hein Rasmussen, Den Store Danske, 2018.** Søren Hein Rasmussen, Den Store Danske. *Vandmiljøplanen*. Tilgængelig fra: http://denstoredanske.dk/Danmarkshistorien/Gr%C3%A6nser_forsvinder/Et_land_i_opbrud/Milj%C3%B8/Vandmilj%C3%B8planen, 2018. set d. 25-11-2018.
- Uggerby og Østertoft, 2014.** Mads Uggerby og Kristian Kilsgaard Østertoft. *Opsporing af uvedkommende vand med DTS*. Tilgængelig fra: http://www.evanet.dk/wp-content/uploads/2017/06/2014_04_EVA_blad.pdf, 2014. EVA nr. 4, 27. årgang, december 2014.
- Winther et al., 2013.** Leif Winther, Jens Jørgen Linde, H. Thorkild Jensen, Leo Lund Mathiasen og Niels Bent Johansen. *Afløbstechnik*. ISSN: 978-87-502-1015-3. 2013. 6. udgave, 2. oplag.

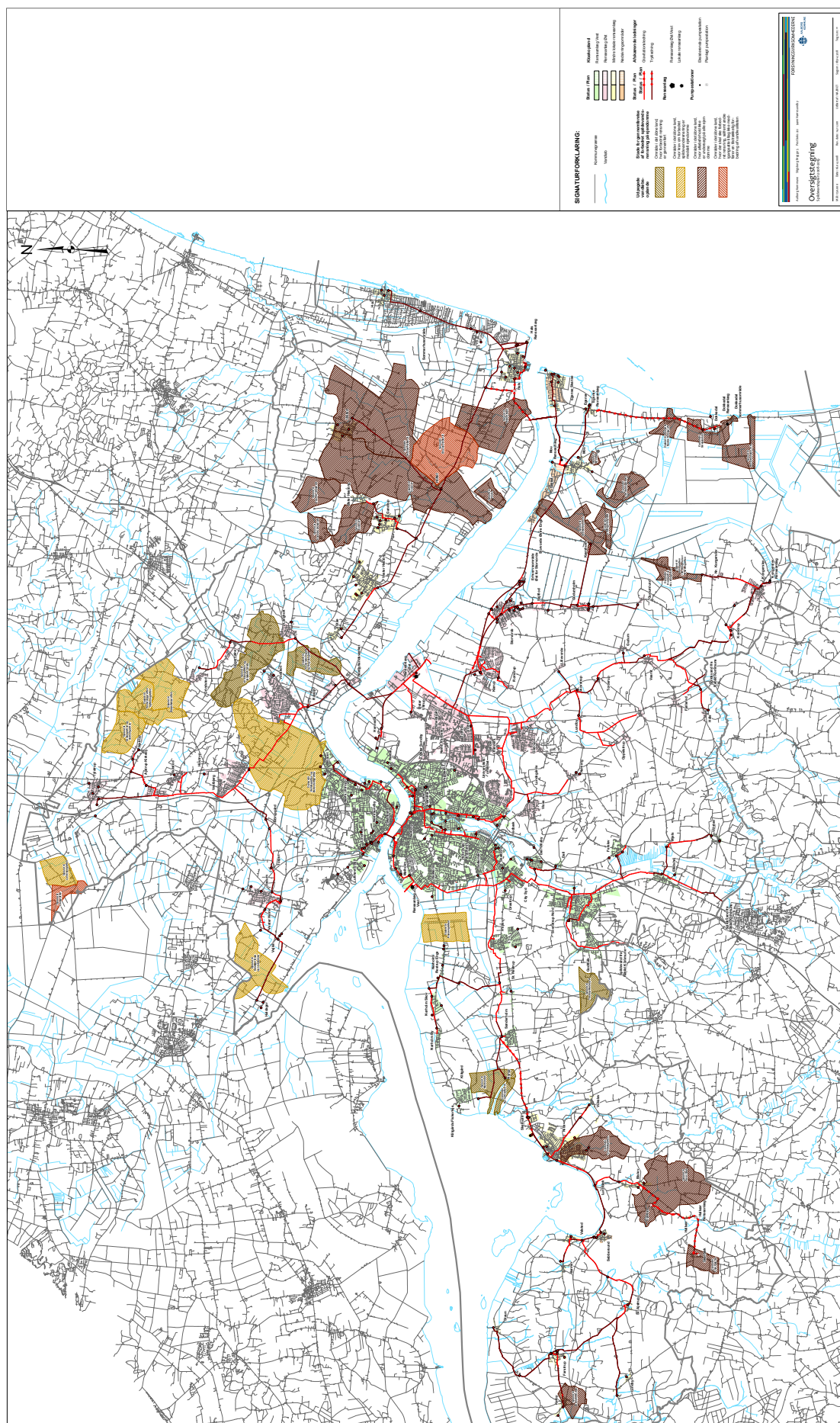


Bilag

Bilag A	Spildevandsplan 2008 - 2019	65
Bilag B	Pejlinger i Grindsted	67
Bilag C	MIKE oplysninger om overløb	69
Bilag D	Originale tidsserier for Grindsted	71
Bilag E	Kalibrerede tidsserier for Grindsted	75
Bilag F	Dimensionering af spildevandskloak	79
F.1	Teoretisk fastlæggelse af dimensionsgivende vandføring	
F.2	Beregning af ledningens fuldtløbende kapacitet	
F.3	Kontrol af selvrensning	
F.4	Beregning af ledningens dimensionsgivende vandføring	
Bilag G	Dimensionering af spildevandskloak	85
Bilag H	Liste over elektroniske bilag	89

A. Spildevandsplan 2008 - 2019





B. Pejlinger i Grindsted

DGU nr. I byen	Dato [m]	VSPkote [m]	Terrænkote [m]	VSP [m.u.t]	XUTM	YUTM	Bemærkning, formål
26. 2969	01-06-1974	15,29	20	4,71	563407	6335020	Vandforsyning, sløjfet/opgivet
26. 2969	08-09-1980	14,99	20	5,01	563407	6335020	Vandforsyning, sløjfet/opgivet
26. 4366	21-01-1997	14,94	19,99	5,05	563316	6334787	Grindsted Vandværk, Espelunden
26. 4644	08-04-1999	20,04	21,89	1,85	563195	9334884	Geoteknisk
26. 5522	28-06-2007	17,59	19,7	2,11	563309	6334574	Forurening/miljø
26. 2367	01-01-1935	13,49	20	6,51	563250	6334746	Vandforsyning, sløjfet/opgivet
26. 2367	14-10-2009	16,8	20	3,2	563250	6334746	Vandforsyning, sløjfet/opgivet
26. 0100	08-02-1939	16,89	20,39	3,5	563266	6334639	
26. 2366	middel	16,65	20	3,35	563266	6334636	Vandforsyning, pejling
26. 4389	13-11-1996	7,69	9,59	1,9	563389	6334383	Geoteknisk
26. 2067	19-01-1971	16,59	24,19	7,6	563457	6334379	Vandforsyningsboring
26. 2894	01-01-1967	17,19	25	7,81	563570	6334205	Sløjfet/opgivet
26. 3386	15-10-1981	17,29	27,49	10,2	563487	6333987	Grindsted Vandværk, grindsted
26. 3386	28-04-1983	19,19	27,49	8,3	563487	6333987	Grindsted Vandværk, grindsted

C. MIKE oplysninger om overløb

Mike software interface showing Weir properties and data.

Identification & connectivity

Asset ID: Data source:

Weir ID: J020000w2 Status: Imported

Location: J020000 Network type: <NULL>

To: J020000_fik Weir type: Rectangular

Description:

Model data

Comp type: Weir Formula ☐ Flap

Oper. mode: No control Crest level: 15.40

Orientation: 0 Degrees Discharge coeff.: 0.403

Crest width: 3.0000

Q-H table: Edit Graph

Long weir and CRS weir

Source channel:

Destination channel:

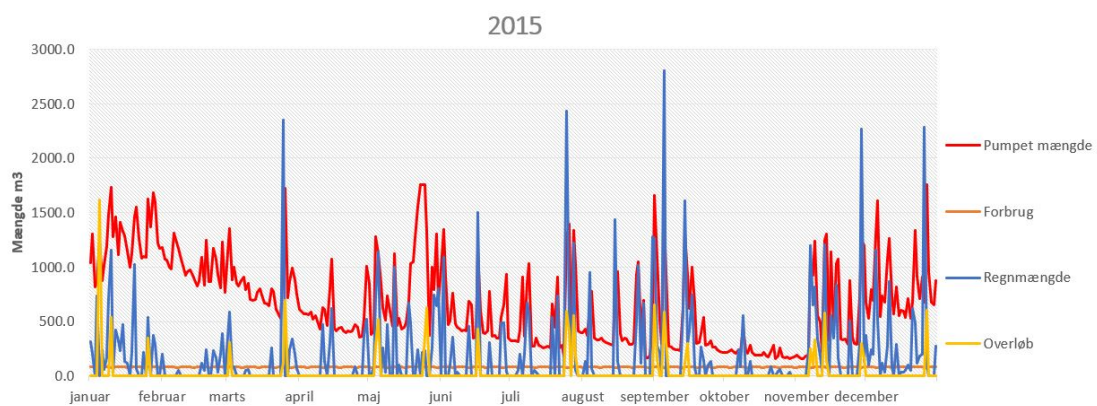
Weir crest geometry: Edit Graph

2D overland flow coupling

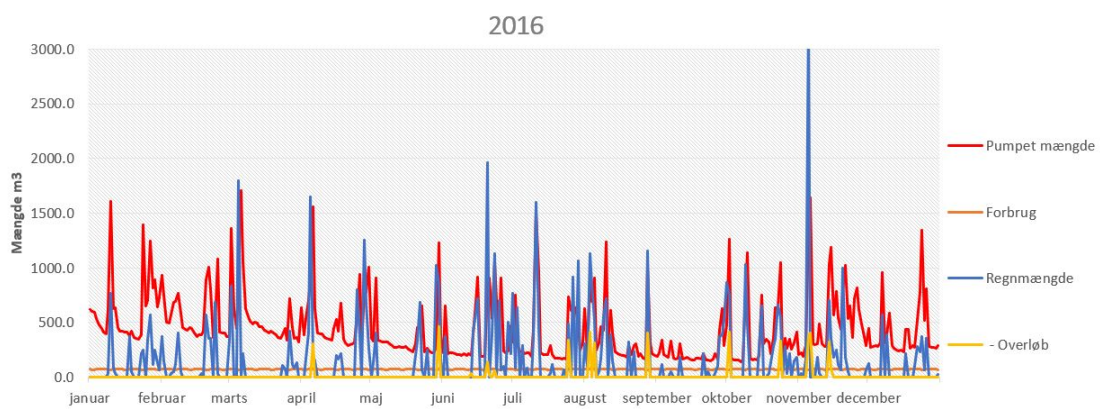
☐ Coupling to 2D overland flow

Weir ID	Weir type	Flap	Comp type	Crest level	Crest width	Q-H table	Orientation	Discharge c	Oper. mode	Source cha	Destination	Weir crest g
J020000w2	Rectangular	False	Weir Formula	15.40	3.0000	<Null>	0 Degrees	0.403	No control	<Null>	<Null>	<Null>

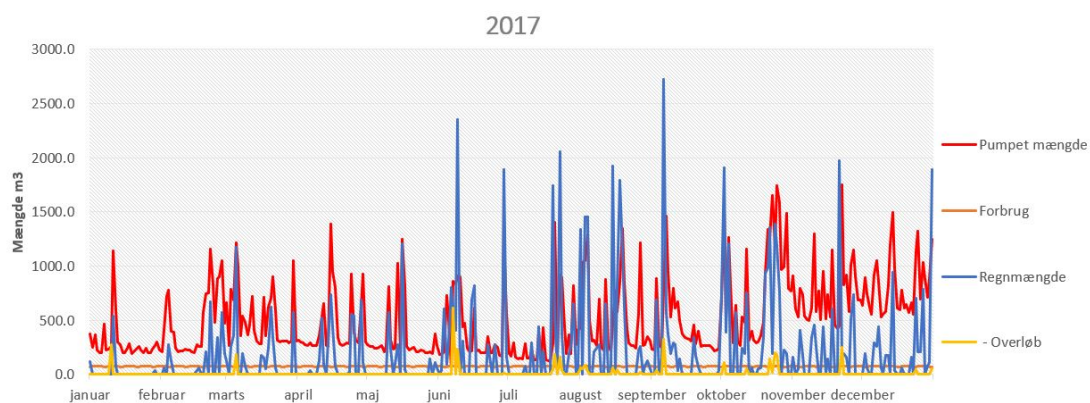
D. Originale tidsserier for Grindsted



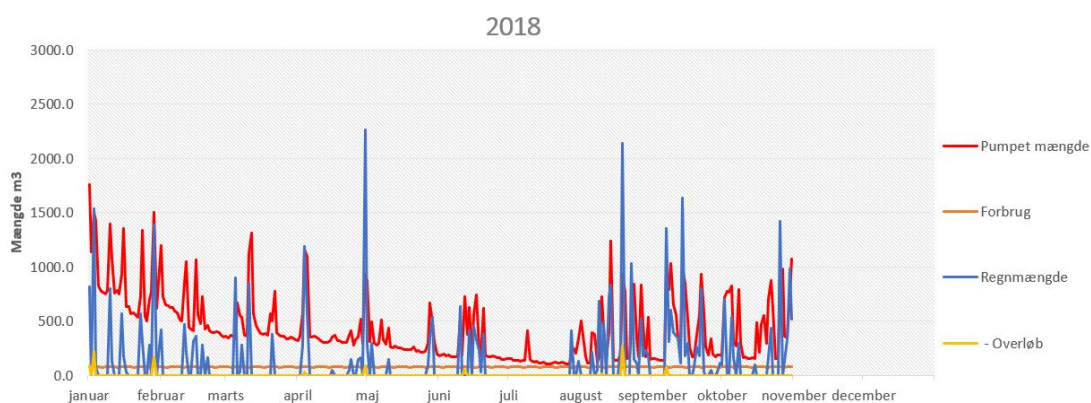
Figur D.1: Tidsserie for Grindsted, 2015



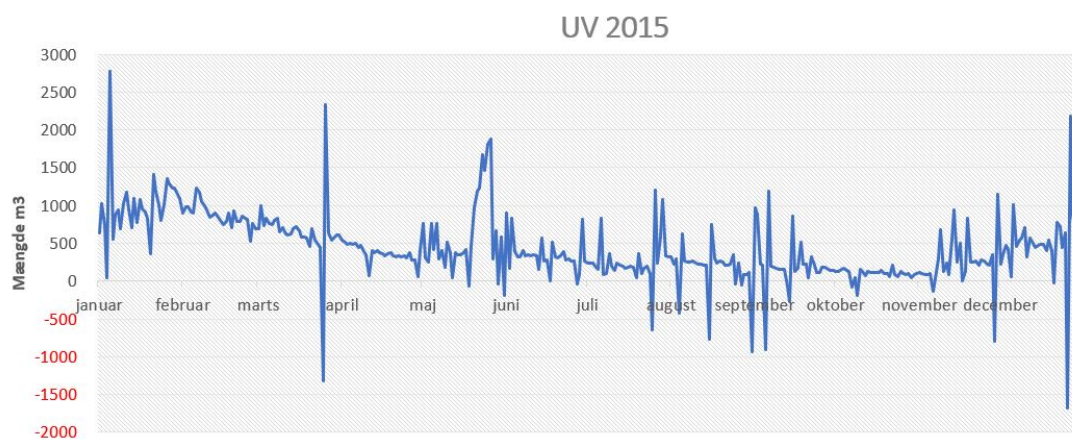
Figur D.2: Tidsserie for Grindsted, 2016



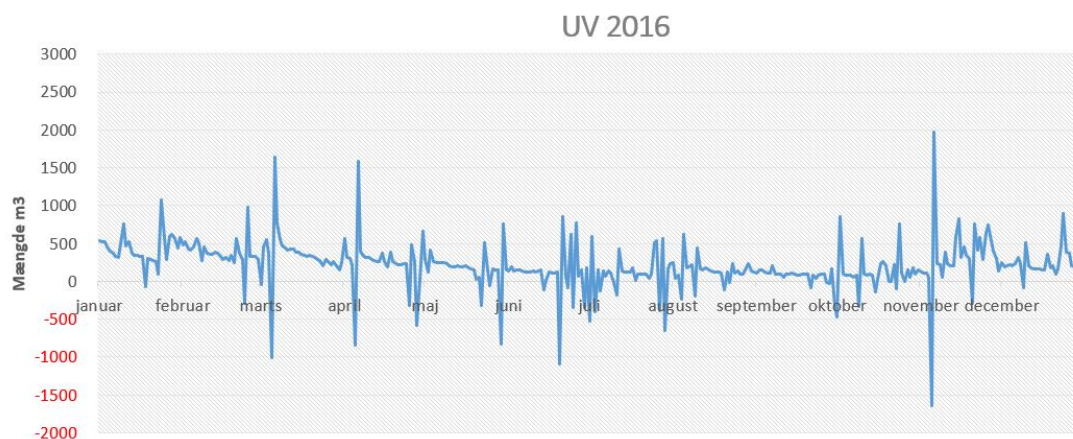
Figur D.3: Tidsserie for Grindsted, 2017



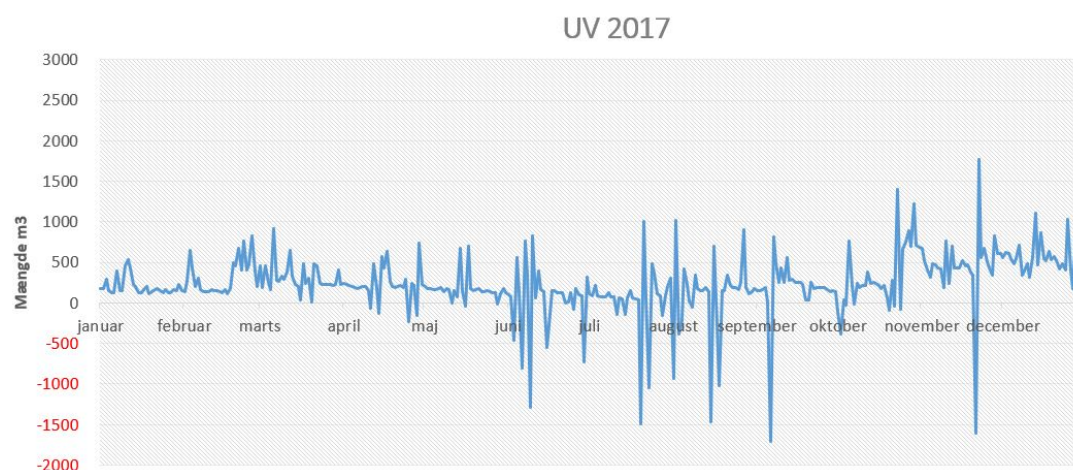
Figur D.4: Tidsserie for Grindsted, 2018



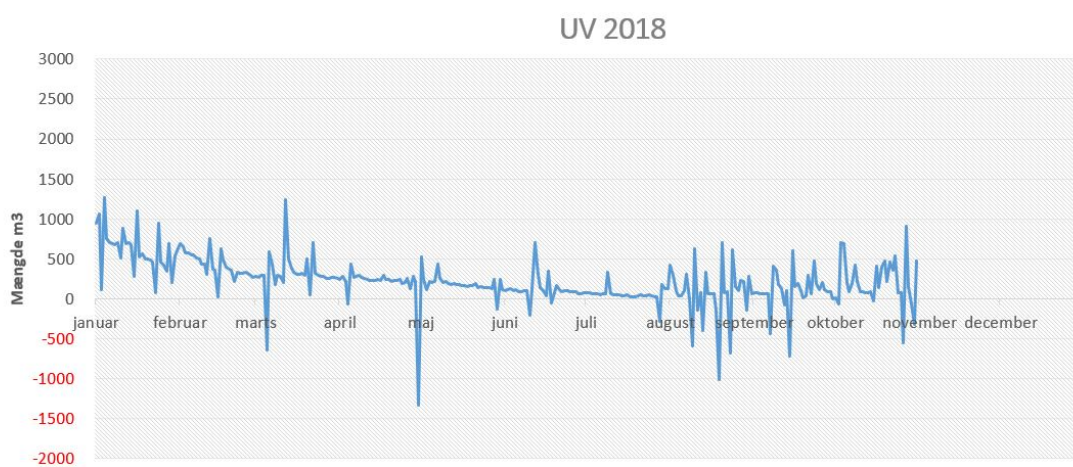
Figur D.5: Den årlige variation af uvedkommende vand (UV) i Grindsted, 2015



Figur D.6: Den årlige variation af uedkommende vand (UV) i Grindsted, 2016

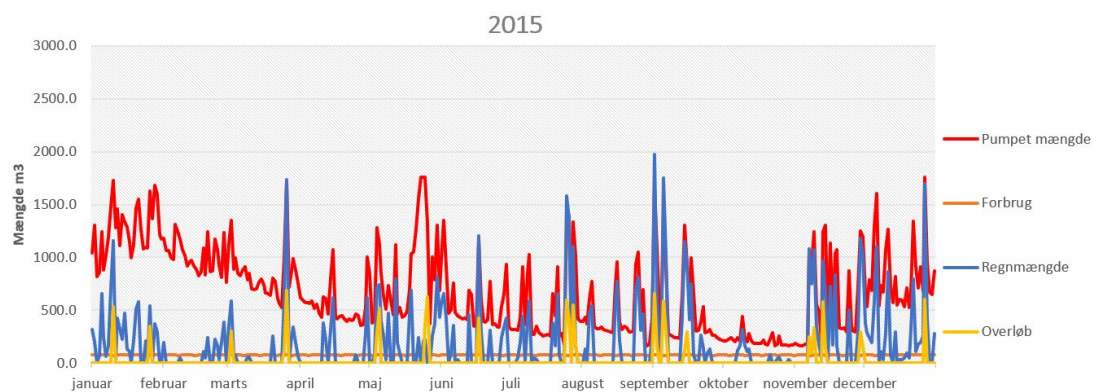


Figur D.7: Den årlige variation af uedkommende vand (UV) i Grindsted, 2017

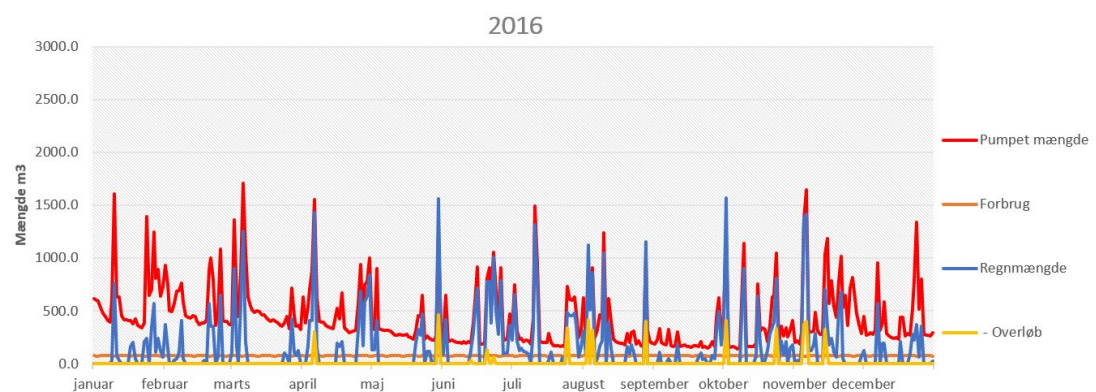


Figur D.8: Den årlige variation af uedkommende vand (UV) i Grindsted, 2018

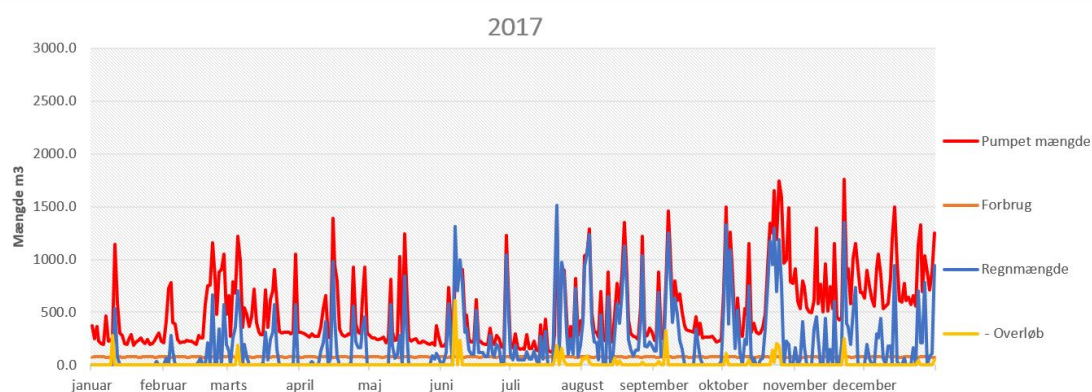
E. Kalibrerede tidsserier for Grindsted



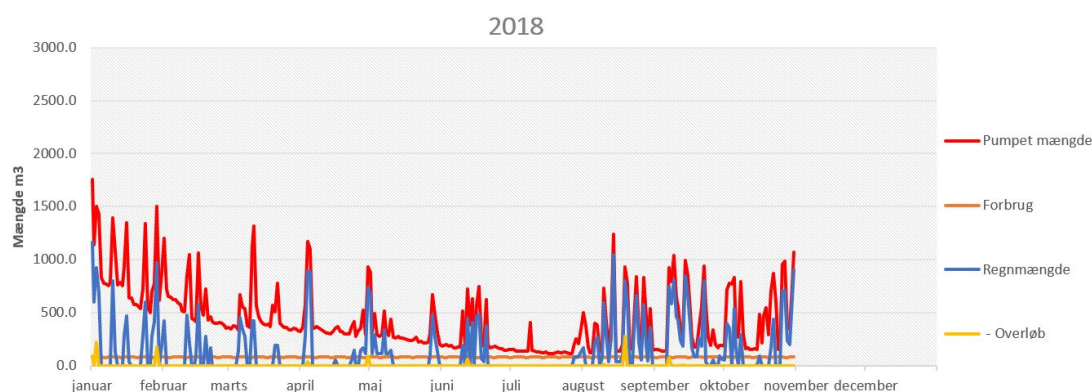
Figur E.1: Kalibreret tidsserie for Grindsted, 2015.



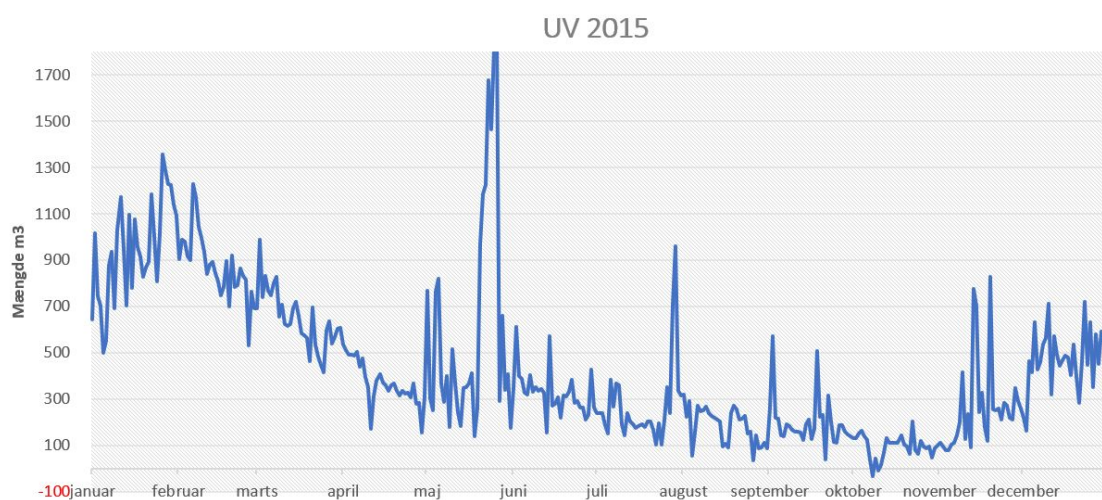
Figur E.2: Kalibreret tidsserie for Grindsted, 2016.



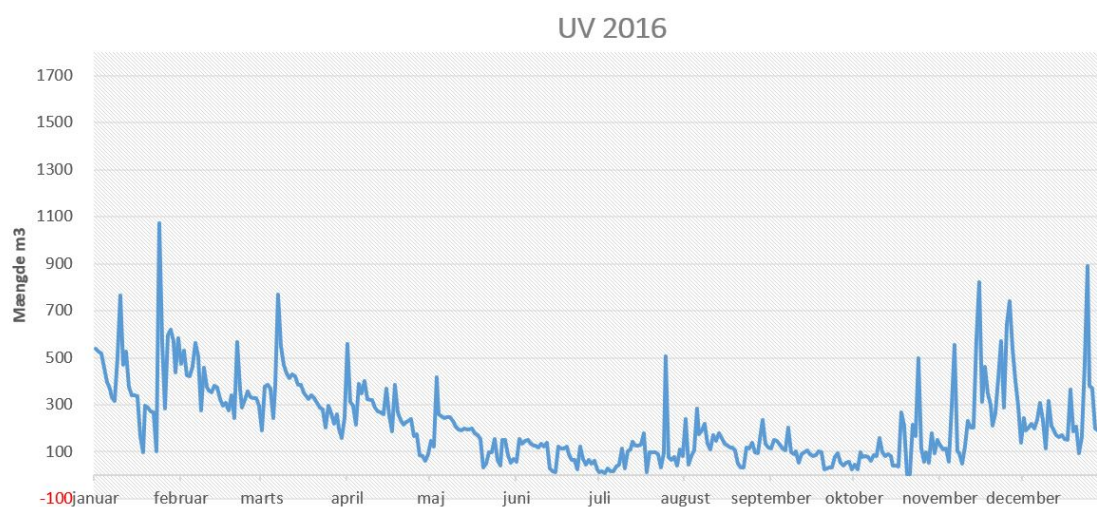
Figur E.3: Kalibreret tidsserie for Grindsted, 2017.



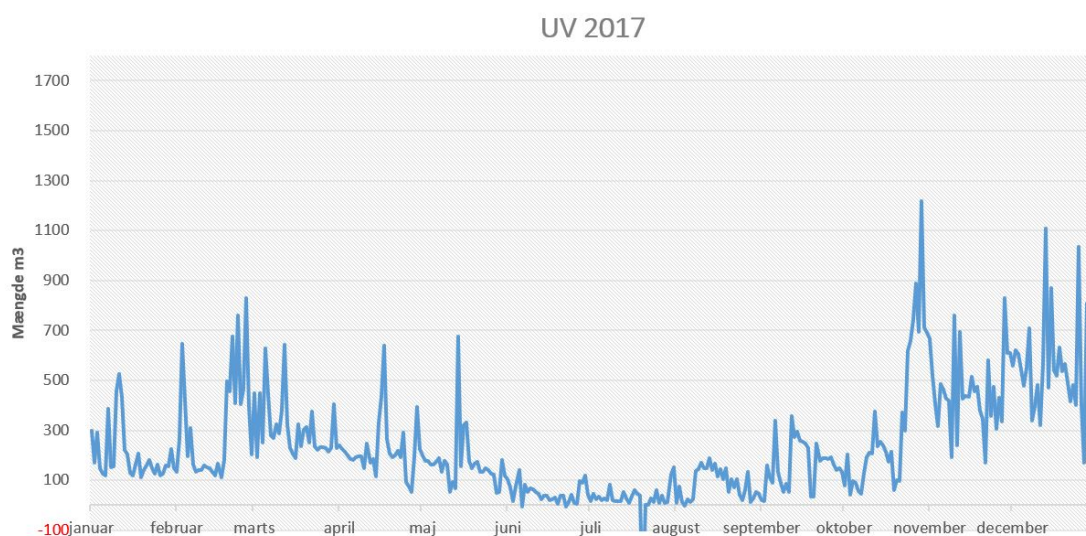
Figur E.4: Kalibreret tidsserie for Grindsted, 2018.



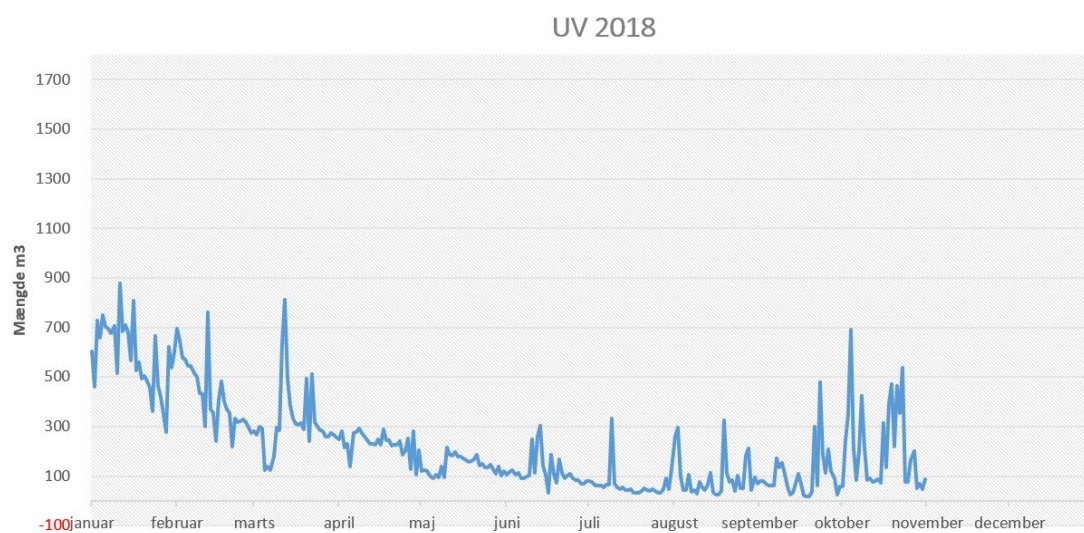
Figur E.5: Den årlige variation af uvedkommende vand (UV) efter kalibrering af nedbørsdata for Grindsted, 2015.



Figur E.6: Den årlige variation af uvedkommende vand (UV) efter kalibrering af nedbørsdata for Grindsted, 2016.



Figur E.7: Den årlige variation af uvedkommende vand (UV) efter kalibrering af nedbørsdata for Grindsted, 2017.



Figur E.8: Den årlige variation af uvedkommende vand (UV) efter kalibrering af nedbørsdata for Grindsted, 2018.

F. Dimensionering af spildevandskloak

F.1 Teoretisk fastlæggelse af dimensionsgivende vandføring

Spildevandsledninger dimensioneres ud fra kapacitetskravet:

$$Q_{dim} = Q_{max} \leq \frac{1}{2} Q_{fuld} \quad (F.1)$$

Dimensionsgivende vandføring vælges ud fra maksimum time vandføringen i maksimum døgnet.

$$Q_{max} = f_t^{max} \cdot f_d^{max} \cdot Q_{middel} \quad (F.2)$$

Hvor:

Q_{max}	Dimensionsgivende vandføring for ledningen [l/s]
f_t^{max}	Timefaktor, der for mindre, samlede bebyggelse med overvejende byerhverv er 1,5 - 2,5. [Winther et al., 2013, tabel 4.9] [-]
f_d^{max}	Døgnfaktor, der for mindre, samlede bebyggelse med overvejende byerhverv er 1,5 - 2,0. [Winther et al., 2013, tabel 4.9] [-]
Q_{middel}	Middeldøgnmængden, givet 106 l/pers/d [DANVA, 2018c]. [l/pers/d]

Minimumsvandføringen anvendes til at kontrollere selvrensningen i systemet. Minimumsvandføringen er defineret som maksimum time vandføringen i minimums døgnet.

$$Q_{min} = f_t^{max} \cdot f_d^{min} \cdot Q_{middel} \quad (F.3)$$

Hvor:

Q_{min}	Minimums vandføring for kontrol af selvrensning af ledningen [l/s]
f_t^{max}	Timefaktor, der for mindre, samlede bebyggelse med overvejende byerhverv er 1,5 - 2,5. [Winther et al., 2013, tabel 4.9] [-]
f_d^{min}	Døgnfaktor, der for mindre, samlede bebyggelse med overvejende byerhverv er 0,5 - 0,9. [Winther et al., 2013, tabel 4.9] [-]
Q_{middel}	Middeldøgnmængden, givet 106 l/pers/d [DANVA, 2018c]. [l/pers/d]

F.2 Beregning af ledningens fuldtløbende kapacitet

I forbindelse med dimensionering af spildevandsledning skal den ledningens kapacitet fastlægges. Til dette anvendes elektroniske bilag H *Separat spildevand Grindsted 003*.

I arket *Beregn Q* er følgende oplysninger om ledningen angivet, se tabel F.1.

Manningtal*	Handelsdim.*	Gradient	Kapacitet	Ruhed
M	dy	I	Q_{kap}	k
[m ^{1/3} /s]	[mm]	[‰]	[l/s]	[mm]
74	200	5,5	21	1,64
74	200	6,2	22	1,64
74	200	21,1	40	1,64

*Der anvendes globalt friktionskoefficient $M = 74$ og beregningerne udføres på handelsdimensionen.

Tabel F.1: Oplysninger om rør. Der er valgt Manningtallet 74 jf. [Aalborg Forsyning, 2010] for PVC-rør styrkeklasse S. Gradienten er fastlagt ud fra de eksisterende brøndes koter.

Ledningens kapacitet beregnes iterativt med Colebrook & Whites formel, hvilken fremgår af (F.4) [Brorsen og Larsen, 2014, kap. 8]. Iterationen fremgår af elektroniske bilag H *Separat spildevand Grindsted 003* ark *Udregning Q*.

$$\sqrt{\frac{2}{f}} = 6,4 - 2,45 \cdot \ln \left(\frac{k}{R} + \frac{4,7}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (\text{F.4})$$

$$f = \frac{2}{\left(6,4 - 2,45 \ln \left(\frac{k}{R} + \frac{4,7}{Re\sqrt{f}} \right) \right)^2}$$

Hvor:

f	Friktionstal [-]
k	Ledningens ruhed [mm]
R	Hydraulisk radius, der ved fuldtløbende rør er givet $R = D_i/4$ [mm]
Re	Reynolds tal [-]

Reynolds tal beregnes af (F.5).

$$Re = \frac{V \cdot L}{\nu} \quad (\text{F.5})$$

Hvor:

V	Strømningens hastighed [m/s]
L	Ledningens længde [m]
ν	Kinematisk viskositet, der for spildevand ved 7°C er $1,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ [m ² /s]

Idet friktionstallet, f , forekommer på begge sider af lighedstegnet i (F.4) skal ligningen løses ved iteration.

- 1 Gæt på friktionstal, f_g .
- 2 Ud fra dette friktionstal beregnes hastigheden, V_1 , med Darcy-Weisbach (F.6).
- 3 Herudfra beregnes et tilhørende Reynoldstal, Re_1 .
- 4 Det gættede friktionstal, f_g , hastigheden, V_1 og Reynoldstallet, Re_1 , anvendes til at beregne et nyt friktionstal, f_1
- 5 Iterationen fortsætter ved, at der nu på ny regnes en hastighed ud fra f_1 . Trinnene [1] til [4] gentages minimum 3 gange.

Darcy-Weisbach-formlen, (F.6), er også kendt som modstandsformlen.

$$I = f \frac{V^2}{2 \cdot g \cdot R} \quad (\text{F.6})$$

$$V = \sqrt{I \cdot 2 \cdot g \cdot \frac{R}{f}}$$

Hvor:

$$I \mid \text{Bundlinjegradiënten [\%]}_{\infty}$$

Efter minimum 3 iterationer beregnes ledningens fuldtløbende kapacitet, Q_{kap} , ud fra (F.7).

$$Q_{kap} = V \cdot A \quad (\text{F.7})$$

Hvor:

$$\begin{array}{l|l} Q_{kap} & \text{Ledningens fuldtløbende kapacitet [l/s]} \\ A & \text{Ledningens indre tværsnitsareal [m}^2\text{]} \end{array}$$

F.3 Kontrol af selvrensning

Ledningens selvrensning beregnes ud fra minimumsvandføringen, Q_{min} . Denne fastlægges ved tørvejrssituationen, hvor der ikke antages noget uvedkommende vand i systemet, hvorfor denne kun er udgjort af summeret spildevandsmængder bestemt ved (8.1).

Jf. [Aalborg Forsyning, 2010] betegnes spildevandsledningerne selvrensende, såfremt forskydningsspændingen overstiger $1,5 \text{ N/m}^2$ (Pa).

Forskydningsspændingen beregnes ved (F.8).

$$\tau = \gamma \cdot R \cdot I \quad (\text{F.8})$$

Hvor:

τ	Forskydningsspænding [N/m ²]
γ	Vandets specifikke tyngde givet ved $\gamma = \rho \cdot g$ [N/m ³]
R	Hydraulisk radius [m]
I	Energilinjegradient, såfremt der antages stationær og ensformig strømning er $I = I_0$ [m/m]

I beregningen er valgt $\gamma = 9820 \text{ N/m}^3$ svarende til $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ved 4°C samt tyngdeacceleration, $g = 9,82 \text{ m/s}^2$.

F.3.1 Fastlæggelse af vanddybde, y

Tørvejrflowet, Q_{min} , omregnes til en vanddybde, y , i ledningen. For delvis fyldte ledninger ved naturlig dybde er defineret Brettings formel (F.9), der tager udgangspunkt i empiriske data. Det skyldes, at forskydningsspændingen varierer langs den våde perimeter, samt at luften i ledningen evt. kan give anledning til modstand og deraf energitab. Winther et al. [2013, afsnit 8.3]

$$\frac{Q}{Q_{fuld}} = 0,46 - 0,5 \cdot \cos\left(\pi \cdot \frac{y}{d_i}\right) + 0,04 \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{y}{d_i}\right) \quad (\text{F.9})$$

Hvor:

Q	Vandføring [m ³ /s]
Q_{fuld}	Ledningens fuldtløbende kapacitet [m ³ /s]
y	Vanddybde ved vandføring Q [m]
d_i	Ledningens indre diameter [m]

y isoleres, men da y indgår på begge cosinus-led, skal y fastlægges iterativt ud fra (F.10).

$$y = \frac{d_i}{\pi} \cdot \cos^{-1}\left(0,92 - 2 \cdot \frac{Q}{Q_{fuld}} + 0,08 \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{y}{d_i}\right)\right) \quad (\text{F.10})$$

F.3.2 Beregning af hydraulisk radius

Den hydrauliske radius i ikke fuldtløbende ledninger er givet ved (F.11).

$$R = \frac{d_i}{8\phi} \cdot (2\phi - \sin(2\phi)) \quad (\text{F.11})$$

Hvor:

R	Hydraulisk radius ved ikke fuldtløbende ledninger [m]
ϕ	Ledningens centervinkel med vandspejl [rad]

Vinklen med vandspejl afhænger af vanddybden, y , og ledningens indre diameter, d_i , og fremgår af

$$\phi = \cos^{-1}\left(1 - \frac{2y}{d_i}\right) \quad (\text{F.12})$$

Forskydningspændingen beregnes nu af (F.8) og følgende selvrensningsskontrol foretages:

$$\tau \geq \tau_{kritisk} = 1,5 \text{ Pa} \quad (\text{F.13})$$

F.4 Beregning af ledningens dimensionsgivende vandføring

Tørvejrflowet angiver ledningens minimal flow ud fra (F.14), der kommer fra [Aalborg Forsyning, 2010].

$$Q_{dim} = 1 + (0,017 \cdot PE^{0,862}) \text{ [l/s]} \quad (\text{F.14})$$

F.4.1 Traditionel fremgangsmåde

Traditionelt set har ledningens dimensionsgivende vandføring været givet:

$$Q_{dim} = Q_{max} \leq \frac{1}{2} Q_{fuld} \quad (\text{F.15})$$

I beregningerne er dette udtrykt ved

$$Q_{dim} = Q_{min} \cdot k_{delfyldning} \cdot k_{indsivning} \quad (\text{F.16})$$

Hvor:

Q_{dim}	Den beregningsmæssige maksimale vandføring i en given ledning. [l/s]
Q_{min}	Ledningens minimumsvandføring givet ved (F.14) [l/s]
$k_{delfyldning}$	Faktor for delfyldningsgrad, her 2 svarende til 50% delfyldning [-]
$k_{indsivning}$	Faktor for indsvining, her 1 svarende til 0% indsvining [-]

F.4.2 Fremgangsmåde under hensynstagen til fejlkoblinger og indsvining

Såfremt spildevandssystemet skal dimensioneres under hensynstagen til uvedkommende vand fra fejlkoblinger, skal systemet således også tilknyttes nogle dimensionsgivende gentagelsesperioder og regnvarigheder. Først antages en regnvarighed på 10 minutter.

"I statusberegninger i forbindelse med analyse af ledningskapacitet i eksisterende separatloakkerede områder benyttes en 10 minutters regnhændelse med en gentagelsesperiode på 1 år."

[Aalborg Forsyning, 2010, afsnit 8.6.4.3]

Ud fra elektroniske bilag H "Nedbør regionalregnrække_ver_4_1" er der beregnet fem forskellige regnintensiteter ud fra den pågældende gentagelsesperiode ved en 10 minutters regnhændelse.

T [år]	0,5	1	2	5	10
Intensitet [$\mu\text{m/s}$]	11,28	14,38	17,84	23,06	27,56

Tabel F.2: Regnintensiteter for gentagelsesperioden T i Grindsted.

Regningensiteterne omregnes til et tillægsflow i spildevandsledningen ud fra følgende antagelser:

- Der antages et gennemsnitlig tagareal på 180 m^2 pr parcelhus på baggrund af en GIS-analyse af tagarealers størrelse i Grindsted. Det antages endvidere, at disse er jævnt fordelt således $1 \text{ PE} = 60 \text{ m}^2$.
- Det antages et tillægsareal på 25% af tagarealet på den private matrikel til bl.a. indkørsler og terrasser mm.
- Der antages en afløbskoefficient på 0,9 for hustage og 0,6 for terreasse mm.
- PE-belastningen fra Grindsted skole fastlægges ud fra $201/(\text{elev} \cdot \text{dag})$ jf. [Winther et al., 2013, tabel 4.6] og et elevtal på 125 elever.
- PE-belastningen i Grindsted Sportshal fastlægges ud fra $351/(\text{elev} \cdot \text{dag})$ jf. [Winther et al., 2013, tabel 4.6] og et elevtal på $1/4$ af skolens 125 elever.

Ud over antagelserne anvendes:

$$1 \mu\text{m/s} = 101/(\text{s} \cdot \text{ha}) \quad (\text{F.17})$$

Den ekstra vandføring, Q_{eks} , fra fejltilslutninger undersøges ved 0%, 2,5%, 5%, 7,5% og 10% fejlkoblinger for at undersøge problemets omfang.

$$Q_{eks} = i_T \cdot 10 \cdot \left(\sum F_{tag} \cdot 0,9 + \sum F_{ter} \cdot 0,6 \right) \cdot k_{fejl} \quad (\text{F.18})$$

Hvor:

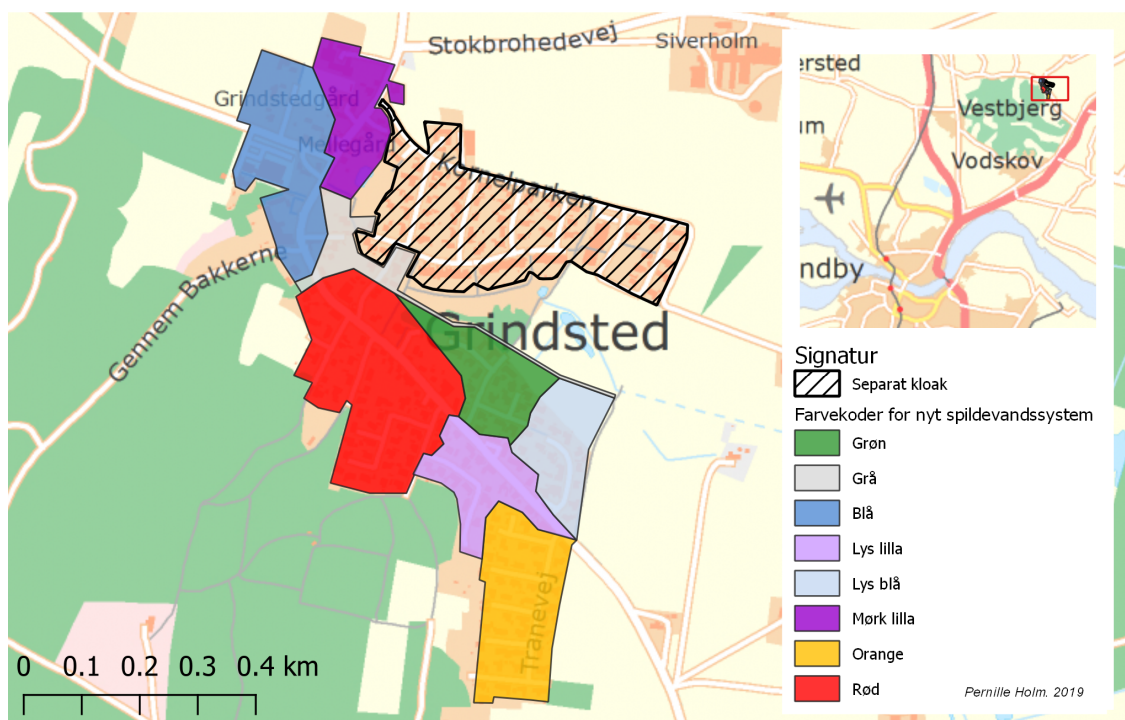
Q_{eks}	Ekstra vandføring fra fejlkoblinger. [l/s]
i_T	Dimensionsgivende regnintensitet ved gentagelsesperioden T, jf. tabel F.2 [$\mu\text{m/s}$]
$\sum F_{tag}$	Sum af befæstede tagarealer opstrøms ledningen [ha]
$\sum F_{ter}$	Sum af øvrige befæstede arealer opstrøms ledningen [ha]
k_{fejl}	Andel af fejlkoblinger [%]

Derved kan den dimensionsgivende vandføring beregnes som en omskrivning af (F.16) til (F.19).

$$Q_{dim} = Q_{min} \cdot k_{indsivning} + Q_{eks} \quad (\text{F.19})$$

G. Dimensionering af spildevandskloak

FARVEKODER TIL NYT SPILDEVANDSSYSTEM



Figur G.1: Farvekoder for zoner med brønde og ledninger i den nye separate spildevandskloak i Grindsted baseret på eksisterende kloak, der fremgår af elektroniske bilag H *Grindsted_Nor_indt* og *Grindsted_Syd_indt*. Se endvidere beregninger af elektroniske bilag H *Separat spildevand Grindsted 003*.

Fra br	Til br	fra TK [m DVR90]	til TK [m DVR90]	fra m.u.t. [m DVR90]	til m.u.t. [m DVR90]	Fra BK [m DVR90]	til BK [m DVR90]	Længde [m]	Diameter [mm]	Fald [‰]
J027230	J027220	19.87	20.18	1.26	1.93	18.61	18.25	65.4	200	5.5
J027220	J027200	20.18	20.69	1.93	2.74	18.25	17.95	48.3	200	6.2
J027210	J027200	20.69	20.18	1.48	2.23	19.21	17.95	59.6	200	21.1
J027200	J027100	20.18	19.25	2.23	1.45	17.95	17.8	28.3	200	5.3
J027110	J027100	19.97	19.25	1.75	1.45	18.22	17.8	27.8	200	15.1
J027100	J027000	19.25	19.03	1.45	1.41	17.8	17.62	10	200	18
J027000	J026900	19.03	17.56	1.41	0.91	17.62	16.65	36.9	200	26.3
J026900	J026800	17.56	17.82	0.91	1.32	16.65	16.5	30.6	200	4.9
J026800	J026700	17.82	19.27	1.32	3.02	16.5	16.25	42.5	200	5.9
J026795	J026790	24.52	23.56	2.84	1.97	21.68	21.59	4.2	200	21.4
J026790	J026780	23.56	22.53	1.97	1.41	21.59	21.12	44.2	200	10.6
J026780	J026770	22.53	20.96	1.41	1.08	21.12	19.88	44.1	200	28.1
J026770	J026760	20.96	20.97	1.08	1.28	19.88	19.69	21.3	200	8.9
J026760	J026720	20.97	21.02	1.28	2.32	19.69	18.7	45.5	200	21.8
J026750	J026740	21.12	21.04	1.11	1.44	20.01	19.6	36.9	200	11.1
J026740	J026730	21.04	21.03	1.44	1.91	19.6	19.12	40.4	200	11.9
J026730	J026720	21.03	21.02	1.91	2.32	19.12	18.7	31.3	200	13.4
J026720	J026710	21.02	19.59	2.32	2.28	18.7	17.31	39.6	200	35.1
J026710	J026700	19.59	19.27	2.28	3.02	17.31	16.25	18.6	200	57
J028900	J028800	29.32	26.76	1.74	1.65	27.58	25.11	49.4	200	50
J028800	J028700	26.76	24.45	1.65	1.79	25.11	22.66	52	200	47.1
J028750	J028740	32.74	31.05	1.55	1.58	31.19	29.47	34.4	200	50
J028740	J028730	31.05	29.20	1.58	2.46	29.47	26.74	52.5	200	52
J028732	J028730	30.63	29.20	1.18	2.46	29.45	26.74	34.5	200	78.6
J028730	J028720	29.20	26.37	2.46	1.82	26.74	24.55	44.7	200	49
J028720	J028710	26.37	25.15	1.82	1.40	24.55	23.75	36.2	200	22.1
J028710	J028700	25.15	24.45	1.40	1.79	23.75	22.66	38.4	200	28.4
J028700	J028600	24.45	23.17	1.79	1.48	22.66	21.69	45.3	200	21.4
J028610	J028600	23.10	23.17	1.13	1.48	21.97	21.69	18.1	200	15.5
J028600	J028500	23.17	22.59	1.48	1.48	21.69	21.11	41.4	200	14
J028500	J028400	22.59	21.49	1.48	1.11	21.11	20.38	48	200	15.2
J028400	J028300	21.49	20.44	1.11	1.09	20.38	19.35	55.9	200	18.4
J028300	J028200	20.44	20.17	1.09	1.10	19.35	19.07	23.2	200	12.1
J028230	J028220	24.66	23.03	1.63	1.46	23.03	21.57	43	200	34
J028220	J028210	23.03	21.50	1.46	1.47	21.57	20.03	49.9	200	30.9
J028210	J028200	21.50	20.17	1.47	1.10	20.03	19.07	34.8	200	27.6
J028200	J028100	20.17	19.87	1.10	1.39	19.07	18.48	35.4	200	16.7
J028135	J028130	27.88	25.89	2.16	1.47	25.72	24.42	37.8	200	34.4
J028130	J028125	25.89	25.80	1.47	1.92	24.42	23.88	8.4	200	64.3
J028140	J028125	26.48	25.80	2.15	1.92	24.33	23.88	39.5	200	11.4
J028125	J028120	25.80	23.54	1.92	1.66	23.88	21.88	24.6	200	81.3
J028120	J028110	23.54	19.78	1.66	1.12	21.88	18.66	39.9	200	80.7
J028150	J028110	20.26	19.78	1.25	1.12	19.01	18.66	55.4	200	6.3
J028110	J028100	19.78	19.87	1.12	1.39	18.66	18.48	14.6	200	12.3
J028100	J028000	19.87	19.33	1.39	1.63	18.48	17.7	38	200	20.5
J028000	J026400	19.33	18.72	1.63	3.01	17.7	15.71	39.1	200	50.9

Her er anvendt punktum som kommaseparator.

Fra br	Til br	fra TK [m DVR90]	til TK [m DVR90]	fra m.u.t. [m DVR90]	til m.u.t. [m DVR90]	Fra BK [m DVR90]	til BK [m DVR90]	Længde [m]	Diameter [mm]	Fald [‰]
J037820	J037800	33.54	31.94	2.87	3.37	30.67	28.57	35.5	200	59.2
J037810	J037800	29.64	31.04	0.92	2.48	28.72	28.56	26.2	200	6.1
J037800	J037700	31.04	27.58	2.48	2.00	28.56	25.58	61.2	200	48.7
J037710	J037700	27.34	27.58	1.63	2.00	25.71	25.58	20.5	200	6.3
J037700	J037600	27.58	28.35	2.00	2.93	25.58	25.42	30.6	200	5.2
J037600	J037500	28.35	29.20	2.93	3.94	25.42	25.26	31.5	200	5.1
J037510	J037500	32.84	29.20	2.89	3.92	29.95	25.28	69.9	200	66.8
J037500	J037400	29.20	29.52	3.94	4.42	25.26	25.1	26.5	200	6
J037400	J037300	29.52	28.64	4.42	3.78	25.1	24.86	30.6	200	7.8
J037320	J037310	31.86	30.06	1.88	1.56	29.98	28.5	35	200	42.3
J037310	J037300	30.06	28.64	1.56	3.78	28.5	24.86	36.2	200	100.6
J037300	J037200	28.64	24.88	3.78	1.79	24.86	23.09	58.3	200	30.4
J037220	J037210	30.37	27.20	2.40	1.66	27.97	25.54	44.5	200	54.6
J037210	J037200	27.20	24.88	1.66	1.79	25.54	23.09	42.7	200	57.4
J037200	J037100	24.88	22.97	1.79	1.97	23.09	21	31.6	200	66.1
J037100	J037000	22.97	21.84	1.97	1.79	21	20.05	33.8	200	28.1
J037030	J037020	23.84	24.87	1.88	3.31	21.96	21.56	27.5	200	14.5
J037040	J037020	25.83	24.87	2.27	3.31	23.56	21.56	22.6	200	88.5
J037020	J037010	24.87	23.40	3.31	2.47	21.56	20.93	27.8	200	22.7
J037010	J037000	23.40	21.84	2.47	1.79	20.93	20.05	38.9	200	22.6
J037000	J036300	21.84	21.70	1.79	2.11	20.05	19.59	28.4	200	16.2
J036630	J036620	29.26	26.84	1.49	1.93	27.77	24.91	31.5	200	90.8
J036620	J036610	26.84	25.48	1.93	2.42	24.91	23.06	43.7	200	42.3
J036650	J036640	25.67	25.29	2.00	1.83	23.67	23.46	29.4	200	7.1
J036640	J036610	25.29	25.48	1.83	2.42	23.46	23.06	60.1	200	6.7
J036610	J036600	25.48	22.83	2.42	2.17	23.06	20.66	43.9	200	54.7
J036800	J036700	23.06	23.25	1.68	2.25	21.38	21	58.9	200	6.5
J036700	J036600	23.25	22.83	2.25	2.17	21	20.66	61.1	200	5.6
J036600	J036500	22.83	22.09	2.17	1.78	20.66	20.31	50.1	200	7
J036500	J036400	22.09	21.81	1.78	1.86	20.31	19.95	56.8	200	6.3
J036400	J036300	21.81	21.79	1.86	2.20	19.95	19.59	54.9	200	6.6
J036300	J036200	21.79	21.70	2.20	2.16	19.59	19.54	10.7	250	4.7
J036200	J036100	21.70	20.96	2.16	1.82	19.54	19.14	62.1	250	6.4
J036100	J036000	20.96	19.52	1.82	1.37	19.14	18.15	55.3	250	17.9
J036000	J035000	19.52	17.38	1.37	1.88	18.15	15.5	43.9	250	60.4
J035500	J035400	21.67	21.45	1.83	2.17	19.84	19.28	33.6	200	16.7
J035400	J035300	21.45	21.21	2.17	2.53	19.28	18.68	36.7	200	16.3
J035300	J035200	21.21	20.92	2.53	2.64	18.68	18.28	26.9	200	14.9
J035600	J035200	20.90	20.92	1.97	2.64	18.93	18.28	48.6	200	13.4
J035200	J035100	20.92	17.25	2.64	1.00	18.28	16.25	35.5	200	57.2
J035120	J035110	17.61	17.30	1.01	1.20	16.6	16.1	43.7	200	11.4
J035110	J035100	17.30	17.25	1.20	1.53	16.1	15.72	44.9	200	8.5
J035100	J035000	17.25	17.38	1.53	1.88	15.72	15.5	22	200	10
J035000	J022100	17.38	16.47	1.88	1.67	15.5	14.8	42.6	250	16.4
J022100	J022000	16.47	16.17	1.67	2.73	14.8	13.44	12.1	250	112.4
J025140	J025130	21.06	21.35	1.01	1.95	20.05	19.4	27.8	200	23.4
J025130	J025120	21.35	21.03	1.95	2.22	19.4	18.81	35.6	200	16.6
J025120	J025110	21.03	19.69	2.22	1.96	18.81	17.73	27.7	200	39
J025110	J025100	19.69	19.13	1.96	1.96	17.73	17.17	13.5	200	41.5
J025600	J025500	22.42	21.77	2.07	1.82	20.35	19.95	25.7	200	15.6
J025500	J025400	21.77	21.29	1.82	1.97	19.95	19.32	35	200	18
J025400	J025300	21.29	20.97	1.97	2.13	19.32	18.84	31	200	15.5
J025320	J025310	21.09	21.10	1.57	2.07	19.52	19.03	43.1	200	11.4
J025310	J025300	21.10	20.97	2.07	2.13	19.03	18.84	34	200	5.6
J025300	J025200	20.97	20.55	2.13	2.33	18.84	18.22	32.2	200	19.3
J025200	J025100	20.55	19.13	2.33	1.96	18.22	17.17	43.5	200	24.1
J025100	J024000	19.13	16.97	1.96	2.22	17.17	14.75	33.2	200	72.9
J026700	J026600	19.27	19.15	3.02	3.08	16.25	16.07	51.2	200	3.5
J026600	J026500	19.15	18.77	3.08	2.79	16.07	15.98	25.2	200	3.6
J026510	J026500	19.08	18.77	1.12	2.79	17.96	15.98	30.5	200	64.9
J026500	J026400	18.77	18.72	2.79	3.01	15.98	15.71	79.3	200	3.4
J026410	J026400	19.18	18.72	2.05	3.01	17.13	15.71	34.9	200	40.7
J026400	J026300	18.72	18.15	3.01	2.57	15.71	15.58	43.9	250	3
J026300	J026200	18.15	17.91	2.57	2.52	15.58	15.39	65.6	250	2.9
J026200	J026100	17.91	17.74	2.52	2.53	15.39	15.21	61.6	250	2.9
J026100	J026000	17.74	17.67	2.53	2.65	15.21	15.02	65.9	250	2.9
J026000	J025000	17.67	17.77	2.65	2.83	15.02	14.94	25.7	250	3.1
J025000	J024000	17.77	16.97	2.83	2.22	14.94	14.75	64.3	250	3
J024000	J023000	16.97	16.37	2.22	1.91	14.75	14.46	59.1	250	4.9
J023000	J022000	16.37	16.17	1.91	2.73	14.46	13.44	91.8	250	11.1
J022000	J021000	16.17	16.76	2.73	3.86	13.44	12.9	107.8	250	5

Her er anvendt punktum som kommaseparator.

H. Liste over elektroniske bilag

- Excel "SVK_regn"
- Excel "SVK_alle"
- Excel "Oplande"
- Excel "Nedbør regionalregnraekke_ver_4_1"
- Excel "Databehandling Vandbalance 003"
- Excel "Databehandling Vandbalance 005"
- Excel "Separat spildevand Grindsted 003"
- PDF "Grindsted_Nord_indt"
- PDF "Grindsted_Syd_indt"