Aalborg Universitet

Vand og Miljøingeniør

Kandidatspeciale

Dimensionering af regnvandsbassiner

- forslag til forbedring af nuværende dimensioneringspraksis

Forfattere:
Simon Smetana Christensen
Jonas Sandner Jensen
Simon Reuss Rahbek

Vejleder:
Thomas Ruby Bendtsen

8. juni 2018

AALBORG UNIVERSITET

AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

10. semester v/ Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet
Department of civil engineering
Thomas Manns Vej 23
9220 Aalborg Ø
http://www.civil.aau.dk/

Titel:

Dimensionering af regnvandsbassiner - forslag til forbedring af nuværende dimensioneringspraksis

Projektperiode:

Oktober 2017 - Juni 2018

Projekt:

Speciale, Vand og Miljø

Forfattere:

Simon Smetana Christensen
Jonas Sandner Jensen
Simon Rahbek

Vejleder:

Thomas Ruby Bentzen

Forsidebillede:

Regnvandsbassin ved Egnsplanvej i Aalborg

Sideantal: 82
Afleveringsdato: 08-06-2018

Resumé:

Formålet med denne rapport er at vurdere den nuværende bassindimensioneringspraksis. Analyserne er opdelt i to dele.
Del I er analyse og anbefaling for bassindimensioneringen. Der bør dimensioneres bassiner med en historisk regnserie, hvor de er tilgængelig. Hvis SVK dimensioneringsarket benyttes, bør der tages højde for koblingsfaktoren, som er ekspontielt afhængig af afløbstallet. Den typisk benyttede antagelse om konstant udløb giver en underdimensionerring af bassiner. Hvis trykvarierende udløb benyttes, giver det en gennemsnitlig forøgelse på 11-16 %. Ved definition af en separat gentagelsesperiode for udløb vil bassinvolumenet forøges med 3-4 % sammenlignet med konstant udløb.
Del II er analyse af konsekvenserne, som regnbetinget udløb har på recipienten. Oversvømmelse og erosion er undersøgt. Bassinudledninger på 1 l/s/ha forårsager ikke øget oversvømmelse i store vandløb. Større udledning kan sandsynligvis tillades, men bør bero på en konkret vurdering af vandløbet. Bassinudledninger kan forårsage erosion, men kun i områder, hvor der naturligt er hastigheder i vandløbet, som giver risiko for erosion.
Der er i forbindelse med udarbejdelse af nærværende rapport fremstillet et værktøj til udregning af bassinvolumen baseret på historiske regnserier. Værktøjet inddrager den nytilegenede viden fra denne rapport.

Rapportens indhold er frit tilgængeligt og må offentliggøres med kildeangivelse.

Forord

Denne rapport er udarbejdet af afgangsstuderende ved Vand og Miljø på Aalborg Universitet i perioden oktober 2017 - juni 2018.

Rapporten omhandler en analyse af nuværende dimensioneringspraksis for regnvandsbassiner, samt forslag til ændring af dimensioneringen. Ideen til emnet udspringer fra inspirationsmøder med Aalborg Vand og EnviDan og et indtryk af, at mange kommuner, rådgivere og bygherrer ønsker en fælles fremgangsmåde for bassindimensionering.

Mange kommuner har stillet vandløbsdata til rådighed for vandløbsmodeller benyttet i rapporten og forfatterne vil derfor gerne takke Randers, Rebild, Skive, Vesthimmerland, Viborg og Aalborg Kommune for at svare på spørgsmål og stille data til rådighed. Derudover vil forfatterne gerne takke Anja T. H. Thomsen for vejledning og gode råd gennem projektet.

Resultater fra rapporten er implementeret i et beregningsværktøj, der kan anvendes som dimensioneringsgrundlag for regnvandsbassiner. Værktøjet kan have relevans for kommuner, rådgivere eller bygherrer. Uddrag fra rapporten er samlet i en folder, for at gøre konklusionerne lettere tilgængelige.

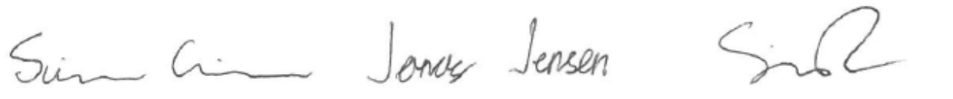
Dimensioneringsværktøj kan downloades fra: kortlink.dk/u5n9

Læsevejledning

I rapporten er referencer angivet med efternavn og udgivelsesår [Efternavn, årstal]. Hvis referencen står før punktum henviser den kun til pågældende sætning, hvis referencen er placeret efter punktum henviser den til hele forrige afsnit.

Figurer, billeder og tabeller er refereret ved afsnitsnummer og fortløbende nummer. Appendiks og bilag er placeret i slutningen af rapporten og refereret med bogstaver.

Udledningstilladelser angives som vandføring relativt til størrelsen af oplandet [l/s/ha]. I denne rapport henviser [ha] til reduceret areal og der er i analyserne benyttet et opland på 1 ha, med mindre andet er angivet.



Simon Smetana Christensen | Jonas Sandner Jensen | Simon Reuss Rahbek

Abstract

The goal of the report is to evaluate the dimensioning methods of rain water storage volumes in Denmark. The analysis has been divided in two parts; Analysis of the input used for the dimensioning of rain water storage volumes (Part I), and Analysis of the maximum allowed discharge from the rain water basin (Part II).

The main analysis in Part I is based on the comparison of the two methods describing rain; intensity–duration–frequency (IDF) relationships and historical time series. It is recommended to use a historical time series as it accounts for the linkage of following rain events. When using the IDF-method a factor of linkage is needed. The factor of linkage accounts for the fact that the basin is not necessarily empty before the next rain event occurs. This report states that the factor of linkage is not valid as constant of 1,2, but is exponential dependent on the outlet of the basin. Basins are dimensioned with assumption of constant outlet. This assumption causes too small volumes since the outlet is pressure dependent. An analysis shows that the storage volume will increase with 11-16 % compared to a volume dimensioned with the assumption of a constant outlet. By defining a different return period for the overflow than the outlet it is possible to have a more effective use of the outlet permit. By defining the outlet for a 1-year return period, and the overflow for a 5-year return period, the storage volume will on average increase by 4 %.

Part II contains an analysis of the the hydraulic consequences of the outlet to the receiving streams. The analysis shows that the raise in water level caused by outlet from basins are exponential dependent on the flow in the stream. The water level also depends on the chosen manning-number. The manning-number can be difficult to assess due to natural variations of the vegetation in the streams. Table values for manning-number have been used in this report. An analysis of flooding in six specific streams shows, that the outlet can be larger than 1 l/s/hectare in five of the streams without causing unacceptable flooding. Erosion of the stream bed is a natural incident but discharges from rain water basins can aggravate the erosion.

By implementing the findings in this report the range of possible basin volume at a given location is narrowed and in general lowered. Some receiving streams has a high hydraulic capacity and a larger outlet than the normally used 1 l/s/hectare can possibly be allowed.

Ordforklaring

Igennem rapporten benyttes en række ord og termer, som kan have forskellig betydning eller forståelse. For at undgå misforståelser er betydningen i denne rapport forklaret herunder:

Befæstet areal: Størrelse af arealet [ha] som, når det regner, bidrager med vand til kloakken og bassinet. Defineres som total eller reduceret areal, hvor det reducerede areal ikke medtager fx grønne områder. Her i rapporten er befæstet areal lig reduceret areal, med mindre andet er nævnt.

Designudløb: Udløbet der er defineret udledningstilladelsen og dermed det udløb bassinet er designet efter. Dette er altså bassinets maksimale udløb.

Fyldningsgrad: Tidsandel, hvor bassinet er fyldt til et givet punkt. Bassiner med højt afløbstal vil synes tomme det meste af tiden, da kapaciteten kun udnyttes sjældent.

Gentagelsesperiode: Den tidsperiode, der statistisk er mellem to hændelser fx overløb. *T=2* er en gentagelsesperiode på to år. Som tommelfingerregel skal der være tilgængelige data for mindst 3-4 gange gentagelsesperioden for at denne kan beregnes [Natur- og Miljøklagenævnet, 2012].

Hændelsesafstand: Minimumsperiode mellem de enkelte regnhændelser i en historisk regn. Hvis der ingen nedbør registreres i en periode svarende til hændelsesafstanden, vil den næste registrerede nedbør figurere som en ny, separat regnhændelse. Hændelsesafstanden er typisk 60 minutter.

Kritisk varighed: Den varighed, hvor en regnhændelse vil forårsage det største bassinvolumen, som derfor vil være det dimensionsgivende bassinvolumen.

Referencesituation: En fast defineret situation anvendt som sammenligningsgrundlag. Eksempelvis en modelleret situation for et vandløbet, med afstrømning fra det naturlige opland, uden bassinudledning. Denne referencesituation benyttes efterfølgende til at vurdere modelresultater med urbane afstrømninger.

Semipermeabel overflade: En overflade, hvor regnen delvist nedsiver og delvist afstrømmer. Fx fliser som har sprækker.

Våd perimeter: Kantlængden af tværsnittet i et rør- eller vandløb, som er i kontakt med vand. I vandløb er det afstanden fra kanten af højre vandspejl, langs siden og bunden og til kanten af venstre vandspejl.

Indholdsfortegnelse

Forord **v**

Abstract **vii**

Ordforklaring **ix**

Kapitel 1 Indledning **1**
1.1 Problemafgrænsning 1

Kapitel 2 Nuværende dimensioneringspraksis **3**
2.1 Indløb: Regn og opland 5
2.2 Udløb: Recipient 9
2.3 Bassinvolumen 12
2.4 Dimensioneringspraksis i kommuner 13

I Analyse og anbefaling for bassindimensionering **15**

Kapitel 3 Analyse af regnserier **17**
3.1 Valg af dimensionsgivende regnhændelse 17
3.2 Valg af gentagelsesperiode 20

Kapitel 4 Analyse af oplands- og sikkerhedsfaktorer **23**
4.1 Oplandsfaktorer 23
4.2 Sikkerhedsfaktorer 23
4.3 Resultat af distributionsanalyser 25
4.4 Sammenligning med faktorer i kommuner 25
4.5 Følsomhedsanalyse for oplandsfaktorer og klimafaktor 26

Kapitel 5 Analyse af udløbets betydning **29**
5.1 Udnyttelse af bassinvolumen 29
5.2 Konsekvens af små udledninger 30
5.3 Betydning af ændret afløbstal 32
5.4 Analyse af udløbstyper 33
5.5 Gentagelsesperiode for bassinudledning 34

Kapitel 6 Sammenfatning af anbefalinger i Del I **37**

Kapitel 7 Præsentation af dimensioneringsværktøj **41**
7.1 Beregning af bassinvolumen 41
7.2 Korrektion af SVK-volumen 43
7.3 Importer historisk regnserie 44

II Analyse af tilladelig udløb fra bassin **45**

Kapitel 8 Vurdering af regnbetingede udløb **47**
8.1 Nuværende myndighedskrav 47
8.2 Det naturlige vandløb 47
8.3 Effekt af øget hydraulisk belastning 48
8.4 Tilladt påvirkning af vandløb 48

Kapitel 9 Effekt fra regnbetingede udløb på recipient **51**
9.1 Vandspejlsstigning forårsaget af bassinudledninger 53
9.2 Oversvømmelse forårsaget af bassinudledninger 56
9.3 Erosion forårsaget af bassinudledninger 58
9.4 Nødvendighed af bassiner 62
9.5 Sammenhæng mellem vandføring og uforsinket udledning 63
9.6 Dæmpning af uforsinket udledning 65

Kapitel 10 Sammenfatning af Del II **67**

III Sammenfatning **69**

Kapitel 11 Diskussion **71**

Kapitel 12 Perspektivering **75**

Kapitel 13 Konklusion **77**

Litteraturliste **79**

IV Appendiks **83**

A Kritisk regnhændelse **85**

B Analyse af sikkerhedsfaktorer **87**

C Udvalgte afgørelser fra Natur- og Miljøklagenævnet **93**

D Håndtering af historiske regndata **95**

E Analyse af oplandsfaktorer **99**

F Hydrologisk reduktionsfaktor **103**

G Robusthedsanalyse af vandløb **107**

H Omregning af manningtal **139**

V Bilag **141**

A Miljøstyrelsen, skrivelse af 10. april 2002 **143**

B Dimensioneringsfaktorer i kommuner **147**

C Anvendte SVK stationer **150**

D Kode i program fra MatLab **151**

1 | Indledning

Der er store krav til udnyttelse og beskyttelse af vores fælles natur. I takt med byudvidelse og mere intensiv landbrug, stilles der øgede krav til effektiv afvanding af disse områder. Samtidig stilles der nye krav til beskyttelse af overfladevandene, for at sikre dem mod de øgede belastninger og give høj kvalitet af den danske natur. Konflikten mellem øget hydraulisk belastning af vandløb og ønsket om at beskytte disse danner baggrund for dette projekt.

I vandplanerne (2009-2015) er det fastsat, at det kun er nødvendigt at drosle bassinudledninger til 1-2 l/s/ha de steder, hvor der er risiko for hydraulisk overbelastning af vandløbet [Miljøministeriet, 2011b]. På trods af dette har normen i mange år været at give udledningstilladelser på 1 l/s/ha, uden at vurdere vandløbets faktiske kapacitet. Efterfølgende har afgørelser fra Natur- og Miljøklagenævnet resulteret i, at tilladte udledninger bliver lavere og lavere. Konsekvensen af lave udledningstilladelser er, at de nødvendige bassinvolumener er blevet meget større og dyrere at anlægge til stor frustration for forsyningsvirksomhederne, som skal betalte for bassinerne. Anlæg af unødvendig store og dyre bassiner er uhensigtsmæssig brug af forsyningens og i sidste ende borgernes midler.

En optimering af bassinvolumen vil betyde, at de tilgængelige midler vil blive brugt mere effektivt. Dermed sikres der bedst og mest miljø for pengene. Der findes i dag ingen klar standard for de input, der benyttes til dimensioneringen af opmagasineringsvolumener. En veldefineret branchestandard vil betyde færre konflikter i forbindelse med dimensioneringen.

1.1 Problemafgrænsning

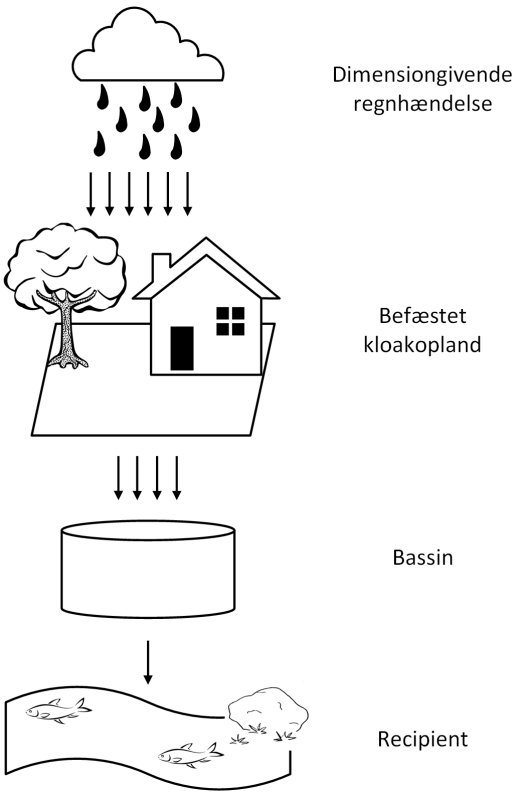
Formålet med denne rapport er at analysere den nuværende praksis for dimensionering af regnvandsbassiner ved at belyse beregningstrin fra nedbør, over opland, gennem bassin og til recipient. Analysen vil inkludere en gennemgang af beregningspraksis og forskellige parameters betydning for bassinets størrelse.

Bassinudløbets påvirkning af recipienten er et stort diskussionsemne og derfor undersøges det, om det er muligt at lave en generel anbefaling til bestemmelse af afløbstallet. Kun hydrauliske konsekvenser i form af oversvømmelse og erosion er taget i betragtning i denne rapport.

Langt de fleste regnvandsbassiner fungerer også som sedimentationsbassiner for at sikre, at miljøfremmede stoffer ikke ender i recipienten. Ofte dimensioneres bassinet med en specifik udformning og nødvendig opholdstid, for at sikre sedimentation og stoffjernelse. Dimensionering af sedimentationsvolumenet er ikke undersøgt i denne rapport.

2 Nuværende dimensioneringspraksis

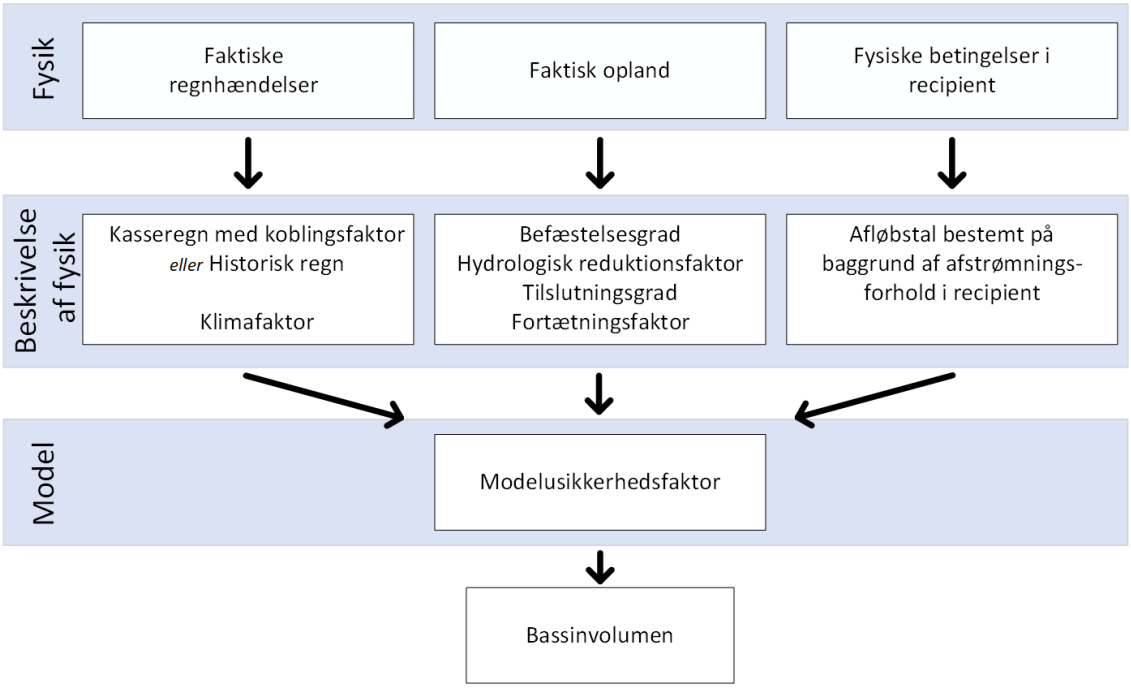
Der er i dag et stort fokus på, hvordan det regnvand, der falder på urbane områder skal håndteres. Regnvand bliver ofte ledt til et separat kloaksystem, hvorfra det kan udledes til en recipient. Regnvandet kan dog typisk ikke afledes direkte til recipienten, da afledningen i så fald sker hurtigt og derfor udgør en uforsinket punktkilde. En uforsinket punktkilde vil udsætte recipienten for en stor hydraulisk belastning og forringe de fysiske og biologiske forhold. For at undgå disse uhensigtsmæssige belastninger etableres regnvandsbassiner mellem kloaksystemet og recipienten, vist ved konceptillustration i figur 2.1.



Figur 2.1. Konceptillustration

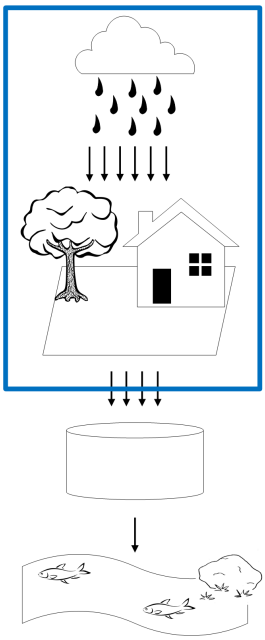
Regnvandsbassinerne har blandt andet til formål at forsinke og udjævne vandføringer af regnvandet før det udledes. Netop denne forsinkelse af regnvandet har i lang tid været et diskussionsemne blandt myndigheder og bygherrer i Danmark. Det diskuteres hvilken udledning til recipienten, der er fornuftig. Recipienternes størrelse og evne til at klare øget belastning varierer meget, og der findes i dag ikke en standardprocedure til at bestemme den tilladelige udledning. Manglende vurdering kan resultere i en hård belastning af recipienten ved et højt afløbstal eller store, dyre bassiner ved et lille afløbstal.

For at forenkle dimensioneringspraksissen er der igennem tiden bestemt en række faktorer. Figur 2.2 giver et skematisk overblik over hvilke faktorer, der anvendes til at forenkle fysikken bag regn, opland og recipient. Baggrunden for disse faktorer bliver analyseret i dette kapitel.



Figur 2.2. Skematisk overblik over, hvordan fysikken for regn, opland og recipient beskrives i beregning af bassinvolumen.

2.1 Indløb: Regn og opland

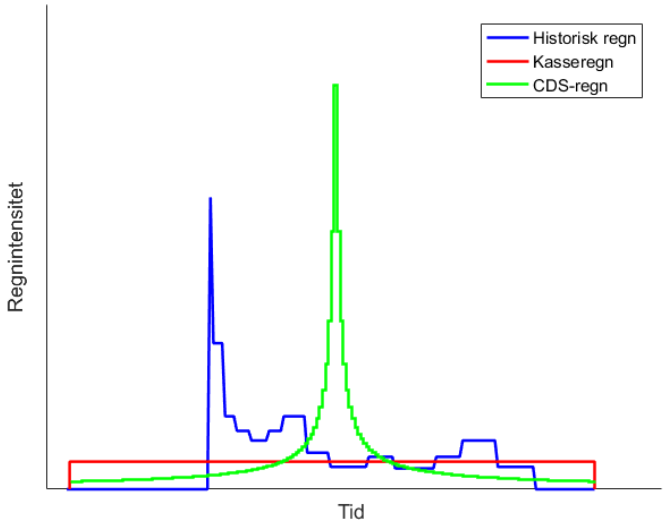


Nedbørsdata i Danmark stammer fra målestationer spredt over hele landet. Oplandet, som regnen lander på, opgøres som ikke-befæstet eller befæstet areal og har betydning for mængden af regn, der løber til kloakken.

I dette afsnit gennemgås beregninger og overvejelser for indløbsmængden til bassiner. Formålet er at give et overblik over faktorer, usikkerheder og de forskellige metoder til beregning af input. Der redegøres for nuværende dimensioneringspraksis. Undersøgelsen bygger på et litteraturstudium, samt oplysninger om kommunernes praksis på området.

2.1.1 Metoder til beskrivelse af regn

Der findes forskellige metoder til at beskrive en regn. I forbindelse med kloak- og bassindimensionering fremstilles ofte en statistisk 'regn', som kan anvendes i flere modelsituationer, og som kan replikeres i andre sammenhænge. Ved at omdanne en lang historisk regn til en kunstig regn er det muligt at bruge simplere modeller med kortere beregningstid. Figur 2.3 viser de tre mest brugte regntyper i Danmark: kasseregn, CDS-regn og historisk regn, som forklares i det efterfølgende.



Figur 2.3. Principillustration for historisk regn, kasseregn og CDS-regn, alle med samme volumen.

Den simpleste type kunstige regn er en kasseregn med en fast varighed og intensitet. Den beskrives i regnformlen, vist i formel 2.1, og kan beregnes på baggrund af data fra hele landet eller en historisk regnserie. Fordelen ved kasseregn er at det er muligt at beregne den dimensionsgivende regnvarighed ved bassindimensionering.

$$i = c \cdot t_r^{-\alpha} \tag{2.1}$$

hvor:

i	Regnintensitet	$[\mu m/s]$
t_r	Regnens varighed	$[s]$
c og α	Regnparametre	$[-]$

CDS-regn (Chicago Design Storm) er udviklet af Keifer & Chu [1957] og er bredt benyttet til kloakdimensionering i Danmark. Udgangspunktet er, at CDS-regnen beskriver alle maksimumintensiteter for regn med skiftende varighed til en valgt gentagelsesperiode.

Danmark har et godt netværk af automatiske regnmålere. Nedbøren måles hvert minut og har en opløsning på 0,2 mm. Spildevandskomiteen (SVK) har regnmålere, som er placeret i hele Danmark. Stationerne med lange regnhændelser er primært placeret på Sjælland.

Dimensionering af bassiner i dag baseres ofte på SVK regnearket [Gregersen et al., 2014b]. Dette værktøj benytter en kasseregn og en faktor på 1,2 for at tage højde for koblede regnhændelser.

2.1.2 Beskrivelse af opland

Et opland er det område, hvorpå regnen falder og løber til kloak og bassin. Størrelsen af oplandet bestemmes på baggrund af topografien eller kommunens kloakplan og består både af befæstede områder, fx veje og tage, og ubefæstede områder, fx haver og grønne områder. Kun regn som falder på den befæstede del af oplandet medregnes og det er vigtigt at kende denne mængde for at dimensionere kloak og bassiner korrekt. Ydermere reduceres vandmængden fra det befæstede opland inden vandet når kloakken. Det skyldes blandt andet befæstede arealer som er frakoblet kloaksystemet ved lokal nedsivning eller tab på semipermeable overflader, fx fliser, vist i figur 2.4.

(a) Faskine

(b) Fliser

Figur 2.4. (a) En faskine benyttes til nedsivning af fx tagvand på egen grund. [Plastmo, 2018] (b) Ved mange typer fliser er der små revner, hvor regnvandet kan nedsive og derfor ikke løber til kloakken. [Flickr, 2011]

En afløbskoefficient er defineret som andelen af regnvand fra hele oplandet, der faktisk løber til kloakken og bidrager til bassinvolumenet. Tabel 2.1 viser empiriske værdier for afløbskoefficienten, som ofte benyttes ved bassindimensionering.

Tabel 2.1. Standardværdier for afløbskoefficienten. [Linde et al., 2002]

Bebyggelsesart	Afløbskoefficienten, φ
Centre, ingen vegetation	0,8 - 1,0
Tæt bebyggelse, industriområder	0,6 - 0,9
Åben bebyggelse	0,5 - 0,6
Rækkehusbebyggelse	0,3 - 0,4
Villa bebyggelse	0,2 - 0,3
Grønne områder	0,05 - 0,15

Afløbskoefficienten kan udregnes ud fra tre oplandsfaktorer; befæstelsesgraden, tilslutningsgraden og hydrologisk reduktionsfaktor, vist i formel 2.2.

$$\varphi = \beta \cdot \gamma \cdot \theta \tag{2.2}$$

hvor:

φ	Afløbskoefficient	[–]
β	Befæstelsesgrad	[–]
γ	Tilslutningsgrad	[–]
θ	Hydrologisk reduktionsfaktor	[–]

Befæstelsesgraden beskriver hvor stor en andel af kloakoplandet, der er befæstet og dermed potentielt afleder vand til kloaksystemet. Befæstelsesgraden er altså forholdet mellem det befæstede areal og det totale areal. Den kan fx vurderes på baggrund af GIS-kort, hvor veje, tag og belægninger er befæstet areal.

Tilslutningsgraden beskriver hvor stor en andel af det befæstede areal, der er tilsluttet kloakken. Tilslutningsgraden er forholdet mellem det befæstede areal og det tilsluttede areal. Befæstede arealer kan være frakoblet kloaksystemet, fx tagvand som afledes til en faskine, vist i figur 2.4a, eller en terrasse som afleder til en nærliggende græsplæne til nedsivning.

Hydrologisk reduktionsfaktor beskriver hvor stor en andel af regnen, der lander på det befæstede, tilsluttede areal, som ender i kloakken. Den hydrologiske reduktionsfaktor er forholdet mellem mængden af regn, der falder på befæstet og tilsluttet areal, og den målte vandføring i kloakken. Semipermeable overflader, fx fliser vist i figur 2.4b, har sprækker hvor vand kan nedsive. Faktoren kan også kompensere for forkert estimering af tilslutnings- og befæstelsesgraden. Faktoren benyttes kun i Danmark.

2.1.3 Koncentrationstid

Det tager tid for vandet at løbe på overfladen til kloakken. Koncentrationstiden er defineret som den længste tid, det tager for vandet at løbe i kloakken. Længden af koncentrationstid afhænger af det enkelte opland. Ved bassindimensioneringen kan det konstateres, at langvarige regn er dimensionsgivende (appendiks A). Ved dimensionsgivende regnvarigheder på fx 24 timer vil koncentrationstiden i oplandet være uden betydning, og benyttes ikke i denne rapport.

2.1.4 Usikkerhed

Ved dimensionering af afløbssystemer og bassiner er der en række usikkerheder ved anvendte faktorer og modeller. Derfor er der defineret en række sikkerhedsfaktorer, som skal kompensere for usikkerhederne.

Klima-, modelusikkerheds- og fortætningsfaktor er tre sikkerhedsfaktorer, der benyttes i forbindelse med bassindimensionering. Appendiks B giver en gennemgang af baggrunden for sikkerhedsfaktorerne.

Klimafaktoren skal tage højde for øget regnmængde i fremtiden og værdien benyttes ofte efter anbefalinger fra Skrift 29 og 30 [Arnbjerg-Nielsen, 2008; Gregersen et al., 2014a], som er vist i tabel 2.2. Anbefalingerne er baseret på afløbssystemer, som dimensioneres efter kortvarige kraftige regnhændelser, og er nødvendigvis ikke gyldige for bassindimensionering.

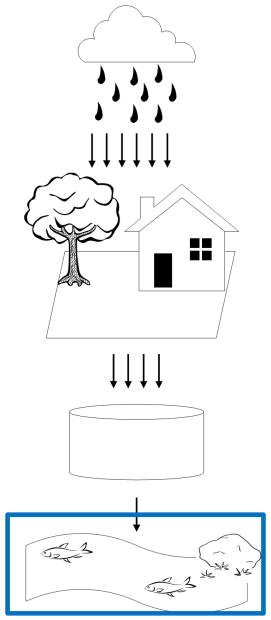
Tabel 2.2. Anbefalede klimafaktorer for afløbssystemer ved planlægningsperioder på 50 og 100 år. [Gregersen et al., 2014a]

Gentagelsesperiode	Planlægningsperiode	
	100 år	50 år
2 år	1,2	1,1
10 år	1,3	1,15
100 år	1,4	1,2

Modelusikkerhedsfaktoren skal tage højde for usikkerheder i den benyttede model. Den afhænger af benyttet modeltype og er defineret i Skrift 27 [Harremoës et al., 2005]. Heri anbefales det ikke at benytte en fast værdi, men at usikkerheden vurderes specifikt til den enkelte modelberegning. Dog benytter mange kommuner faste værdier på 1,1-1,2 til både kloak- og bassindimensionering.

Fortætningsfaktoren skal tage højde for at et eksisterende opland ændrer karakter. Det kan eksempelvis ske ved, at der anlægges parkeringsplads på et tidligere grønt område. Mange kommuner anbefaler værdier på 1-1,1.

2.2 Udløb: Recipient



Bassinudløbet sker til en recipient, som ofte er et vandløb. Vandplanerne skal sikre recipientens fysiske og biologiske forhold, hvilket kan betyde at en drosling af bassinudledninger er nødvendig [Miljøministeriet, 2011a]. Volumenet i bassinet er blandt andet afhængig af udløbsmængden og ønsket er derfor at fastsætte et udløb, som tilgodeser recipienten uden at forårsage unødvendigt store bassiner. Men hvad kan recipienten holde til og hvordan defineres det korrekte udløb? Blandt myndigheder, rådgivere og bygherrer er der vedvarende diskussion om på hvilken baggrund udledningstilladelsen skal gives. [Spildevandskomiteen, 2002]

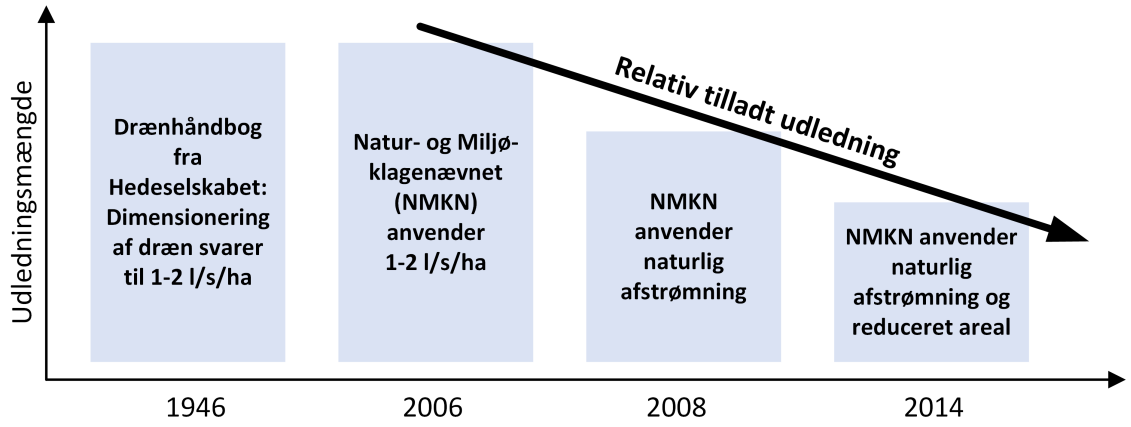
2.2.1 Udledningstilladelser før og nu

Udledningstilladelsen beregnes på baggrund af det befæstede opland. Regnvandsbassinet har til opgave at reducere udledningen, så den ikke belaster recipienten mere end afstrømningen fra det oprindelige, ubefæstede opland.

Udledningstilladelser har ændret karakter over tid. Historisk er tilladelserne beregnet på baggrund af en fast afstrømning på 1-2 l/s/ha. Hos myndighederne er der ingen konkrete bestemmelser for udledningens størrelse eller hvordan denne skal beregnes. Værdien 1-2 l/s/ha er benyttet af Miljøstyrelsen i en skrivelse (vedlagt i bilag A), som svar på ønsket om en klarere definition på afløbstallet. Skrivelsen fra Miljøstyrelsen fastsætter ikke 1-2 l/s/ha som fast værdi, men som et *"udgangspunkt for [...] udledning til vandløb med risiko for hydrauliske problemer"* [Miljøstyrelsen, 2002]. I mangel på en officiel udmelding fra Miljøstyrelsen er skrivelsen brugt som grundlag for spildevandsplaner og efterfølgende for mange udledningstilladelser [Hovedstadens Udviklingsråd, 2005].

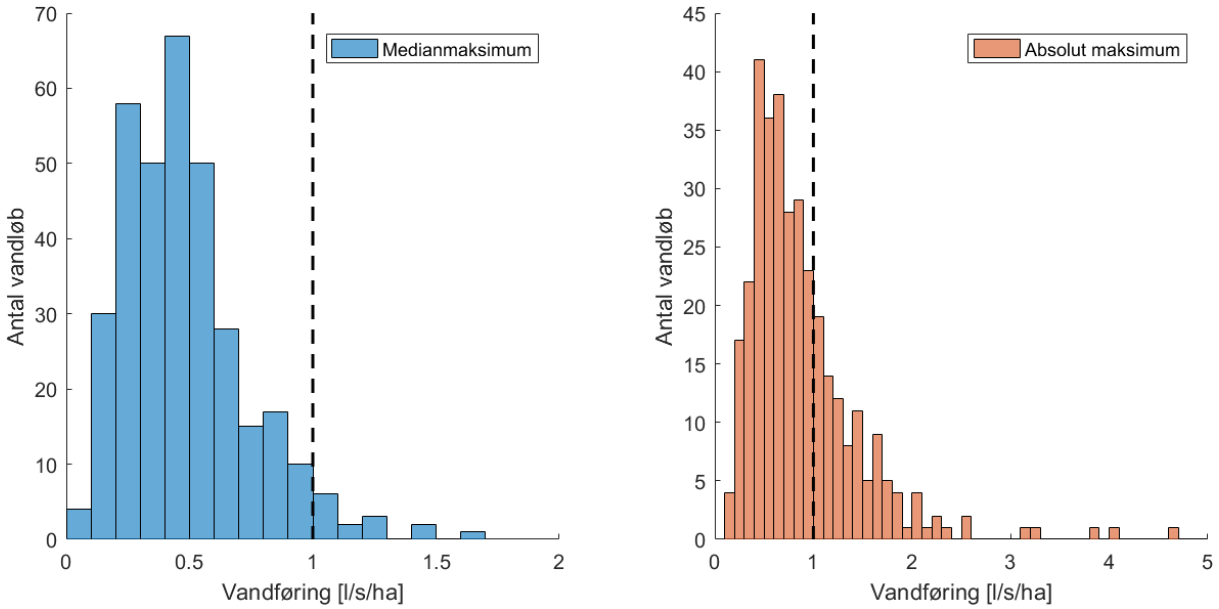
Udledningstilladelserne udstedes af kommunerne og kan af interessenter påklages til Natur- og Miljøklagenævnet (NMKN) [Miljø- og Fødevareklagenævnet, 2017]. Det kan være en bygherre, som ønsker større udledning eller en landmand, som mener, at udledningen ikke er i overensstemmelse med Spildevandsbekendtgørelsen. Afgørelserne kan ikke ankes, og NMKN gør ofte klart i afgørelserne, at alle udledningstilladelser skal bero på en konkret hydraulisk kapacitetsberegning af recipienten. Disse krav er i overensstemmelse med Spildevandskomiteens anbefalinger [Spildevandskomiteen, 2002]. Der gives dog ingen konkret metode eller anbefaling til, hvordan recipientens hydrauliske kapacitet skal beregnes.

Den tilladte udledning er siden 2008 blevet skærpet, da NMKN i afgørelser anvender naturlig afstrømning, svarende til vandløbets medianmaksimum. Derudover er oplandet fra 2014 opgjort for reduceret areal frem for total areal, hvilket bidrager til en yderligere reduktion af tilladte udledning. Figur 2.5 viser en tidslinje over udledningstilladelser.



Figur 2.5. Tidslinje over udledningstilladelser. [Kristensen et al., 2017]

Værdierne 1-2 l/s/ha stammer fra en gammel anbefaling for dimensionering af dræn, men er gennem tiden blevet associeret som naturlig afstrømning [Thomsen & Larsen, 2016]. Mange danske vandløb er gennem tiden dimensioneret til at kunne klare en vandføring på 1-2 l/s/ha [Larsen, 2018]. Sammenlignet med afstrømningstatistikker i danske vandløb er værdien meget høj, som vist i figur 2.6. Medianmaksimumvandføring er for 96 % af vandløbene under 1 l/s/ha og de højst målte vandføringer i 70 % af vandløbene når ikke over 1 l/s/ha. 1-2 l/s/ha svarer til en meget høj naturlig vandføring og svarer flere steder til en 5- eller 10-års hændelse [Vestergaard, 2016].



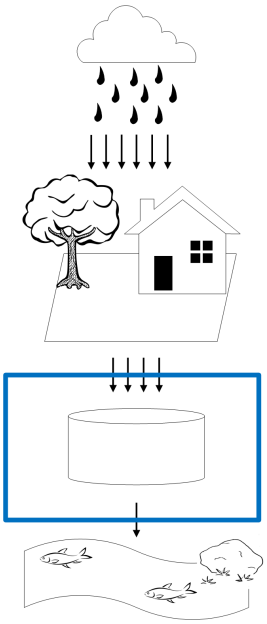
Figur 2.6. Målte medianmaksimum- og absolut maksimum-værdier for 343 danske vandløb. Den stiplede linje markerer 1 l/s/ha. 96 % af medianmaksimum- og 70 % af de absolutte maksimum-værdier er under 1 l/s/ha. Vandføringsdata fra Ovesen et al. [2000]

2.2.2 Natur- og Miljøklagenævnets afgørelser

I forbindelse med denne rapport er 11 af NMKNs afgørelser gennemgået, som alle er påklaget fordi vandløbets hydrauliske kapacitet ikke er respekteret. En kort oversigt over afgørelserne med kommentarer er vist i appendiks C, og konklusionen er følgende:

- Der skal foreligge konkrete beregninger af, at udledningen ikke forårsager hyppigere eller større oversvømmelser end 'naturlige' forhold. Ingen vandløb i Danmark er imidlertid naturlige, og det 'naturlige' referer ofte til et tidligere stadie inden befæstelse og udbygning af området.
- Udledningstilladelsen skal begrundes med viden om den naturlige afstrømning i vandløbet (fx fra regulativerne) eller med en konkret hydraulisk beregning af vandløbets kapacitet. Det er tilladt at tage udgangspunkt i en naturlig afstrømning på 1-2 l/s/ha, hvis det er begrundet i afstrømningsmålinger.
- Ofte tillades en minimumsudledning på 5 l/s for at undgå tilstopning af udløbsrør.
- I 2014 begyndte NMKN at anvende det reducerede areal som udgangspunkt for udledningstilladelserne. Argumentet er, at der kun afstrømmer vand til bassin fra det befæstede areal og de ubefæstede arealer stadig vil tilføre naturlig, diffus afstrømning til recipienten.
- Gentagelsesperioden for bassinoverløb skal følge kommunens servicekrav for kloaksystemet, hvilket ofte er hvert 5. år.

2.3 Bassinvolumen



Et korrekt dimensioneret bassinvolumen sikrer en ønsket udjævning af afstrømningen fra oplandet, samt at bassinets omgivelser er sikret mod oversvømmelser op til en valgt gentagelsesperiode. I dette afsnit beskrives typisk beregningsgang og de anvendte faktorer i danske kommuner for dimensionering af bassiner.

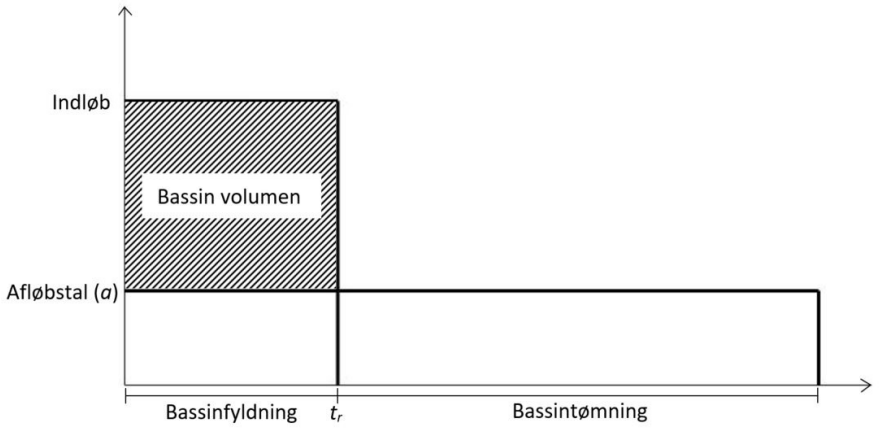
2.3.1 Bestemmelse af bassinvolumen

Det nødvendige bassinvolumen udgør forskellen mellem indløb og udløb. Indløbet bestemmes af den dimensionsgivende regnhændelse og oplandets afløbskoefficient. Udløbet bestemmes af det tilladelige afløbstal. Til dimensionering af bassinvolumener anvendes formel 2.3 [Linde et al., 2002]. Denne er kun gældende for konstant ind- og udløb, hvilket i dag er hyppigt benyttet, vist i figur 2.7.

$$V_r = f_s \cdot (\varphi \cdot i - a) \cdot t_r \tag{2.3}$$

hvor:

V_r	Bassinvolumen	$[\mu m]$
i	Regnens intensitet	$[\mu m/s]$
a	Bassinets afløbstal	$[\mu m/s]$
t_r	Regnens varighed	$[s]$
φ	Afløbskoefficient	[–]
f_s	Sikkerhedsfaktor	[–]



Figur 2.7. Bestemmelse af bassinvolumen ved konstant ind- og udløb. Betegnelserne på figuren henviser til formel 2.3

2.3.2 Gentagelsesperiode

I kloakdimensioneringen er den hyppighed, hvormed vandet fra kloakken må overstige et specifikt punkt, defineret som gentagelsesperioden. I Skrift 27 anbefales en gentagelsesperiode på minimum 5 år for separatkloakeret bolig- og erhvervsområder [Harremoës et al., 2005]. Der findes i Skrift 27 ingen anbefalinger for gentagelsesperioder i grønne områder, og disse fastsættes af de enkelte kommuner. Gentagelsesperioden for regnvandsbassiner bør bestemmes på baggrund af konsekvensen af et overløb. Tabel 2.3 viser konsekvenser af valg af gentagelsesperiode og afløbstal.

Tabel 2.3. Fordele og ulemper for høj/lav gentagelsesperiode og afløbstal.

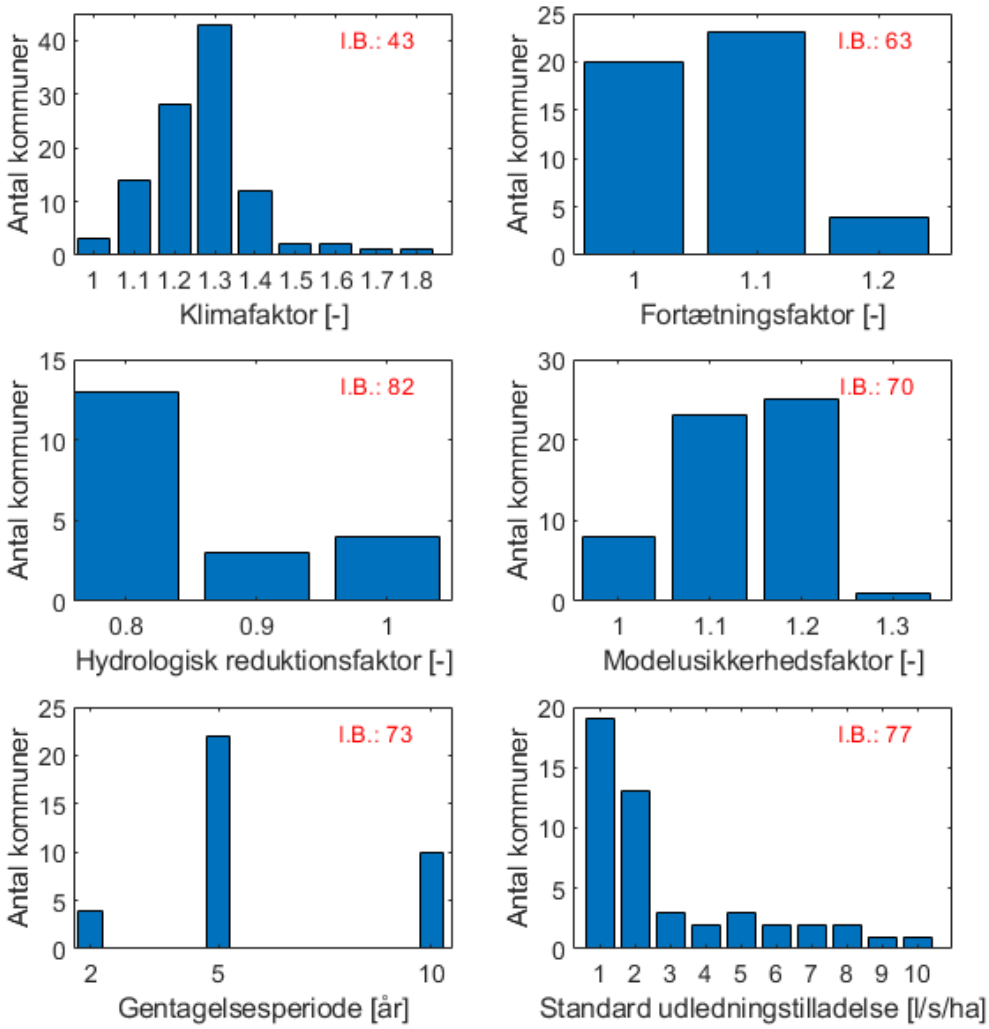
Scenarie	Fordele	Ulempe
Høj gentagelsesperiode / højt afløbstal	Færre overløb fra bassin	Større belastning af recipient ved udløb
Lav gentagelsesperiode / lavt afløbstal	Lav belastning af recipient ved udløb	Oftere overløb fra bassin
Høj gentagelsesperiode / lavt afløbstal	Sjældnere overløb fra bassin Lav belastning af recipient ved udløb	Store, dyre bassiner
Lav gentagelsesperiode / høj afløbstal	Lille bassin	Større belastning af recipient ved udløb Oftere overløb fra bassin

2.4 Dimensioneringspraksis i kommuner

Dette afsnit bygger på indsamling af anvendte faktorer for bassindimensionering. Disse er blandet andet fundet i spildevands- og klimatilpasningsplaner. De fundne faktorer er vist i figur 2.8. Ofte anbefales det at lave en konkret vurdering forud for bassindimensioneringen. Flere kommuner har ikke defineret krav til bassindimensionering, men henviser til Spildevandskomiteens skrifter.

I nogle kommuner er faktorerne defineret forskelligt, fx kan klima-, fortætning- og modelusikkerhedsfaktor være lagt sammenlagt og angivet som enten klima- eller sikkerhedsfaktor. Værdierne i figur 2.8 er noteret som opgivet hos kommunen og kan derfor bygge på forskellig forståelse, men det har ikke været muligt at kontrollere, om de enkelte værdier er defineret korrekt. Det fulde datagrundlag findes i bilag B.

Befæstelsesgrad er væsentlig for dimensioneringen af bassinet, men er ikke vist i figuren. Der er forskel på, hvordan kommunerne forholder sig til befæstelsesgraden. Nogle benytter tabelværdier, der minder om dem nævnt i tabel 2.1. I andre kommuner definerer værdierne i spildevandsplanen.

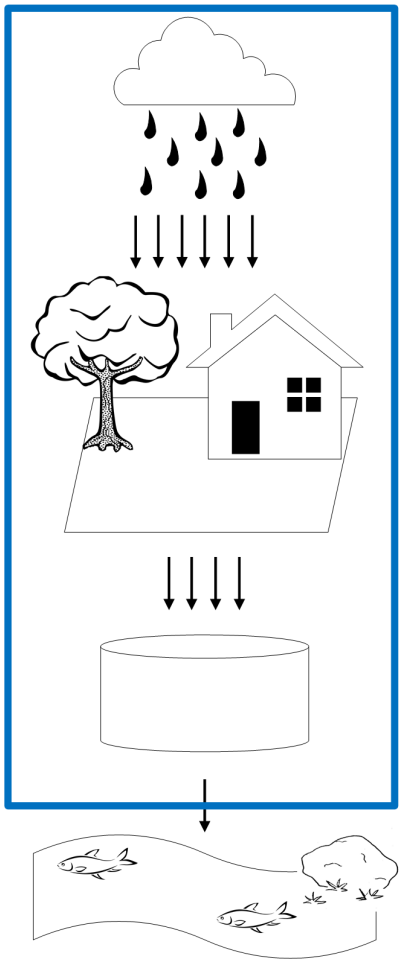


Figur 2.8. Fordeling af dimensioneringsparametre for bassiner i alle 98 danske kommuner. For alle parametre undtaget gentagelsesperioden er et interval repræsenteret i alle mellemliggende værdier, fx vil en klimafaktor angivet som 1 - 1,3 tælle med i 1, 1,1, 1,2 og 1,3. Udledningstilladelsen angives i nogle kommuner som reduceret areal. I.B. (Ikke Beskrevet) angiver antallet af kommuner uden en generel retningslinje for pågældende faktor. Kilder: Spildevands-, klimatilpasningsplaner og dimensioneringsforskrifter for regnvandsbassiner fra kommunernes og forsyningers hjemmesider.

Del I

Analyse og anbefaling for bassindimensionering

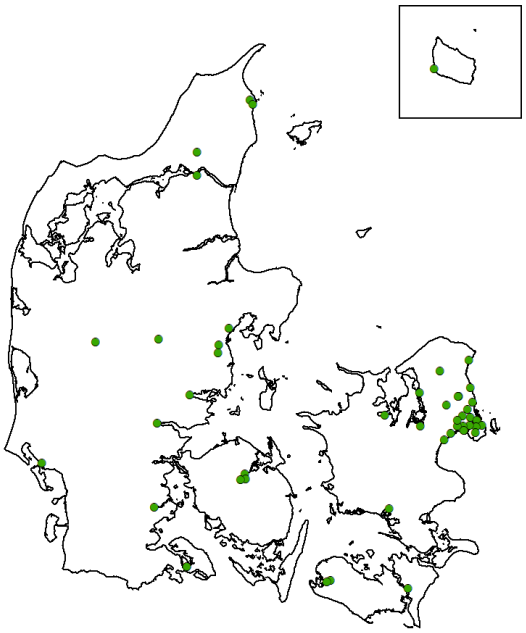
I Del I er der fokus på at analysere grundlaget for den nuværende beregningsgang for dimensionering af regnvandsbassiner. Faktorerne i nuværende beregningsgang er analyseret, for at vurdere deres indflydelse på det endelige bassinvolumen. Det er vurderet om den typiske dimensioneringspraksis er fornuftig eller om der anbefales en ændring.



3 | Analyse af regnserier

Volumenet af et regnvandsbassin er i høj grad bestemt af regnmængden. I dette kapitel analyseres konsekvensen ved valg af dimensionsgivende regn og gentagelsesperiode. Formålet er at belyse konsekvensen af de antagelser, der typisk bruges i dag samt at opstille bud på nye anbefalinger.

Til analyserne anvendes regndata fra 44 SVK målestationer med mere end 25 års data. Placeringen er vist i figur 3.1. I bilag C findes en oversigt med navn og måleperiode for målestationerne.



Figur 3.1. SVK målere med tidsserier over 25 år. Se navne og måleperiode i bilag C. [DMI, 2017, red.] Kort fra Geodatastyrelsen

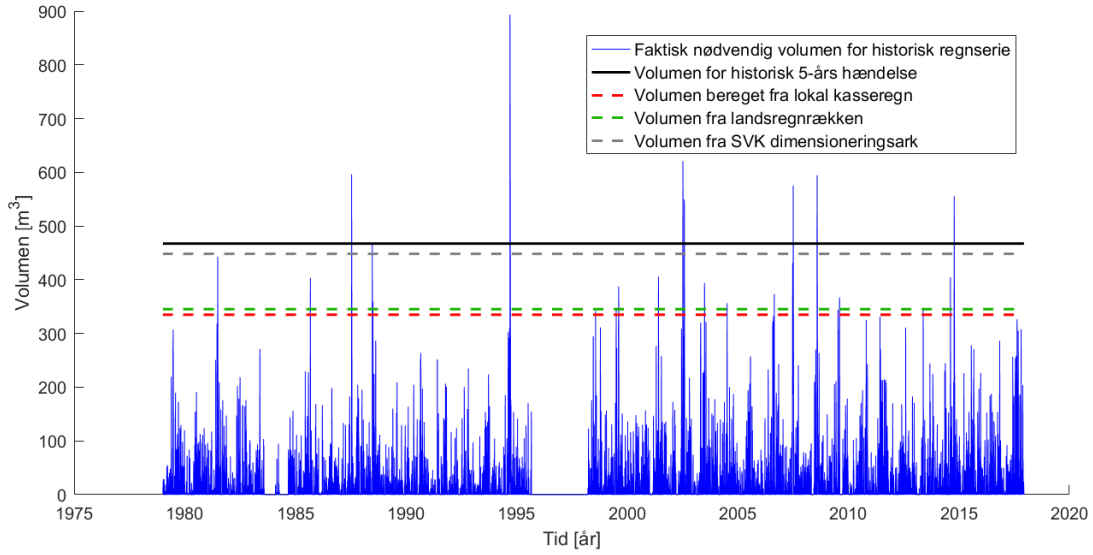
3.1 Valg af dimensionsgivende regnhændelse

Et bassinvolumen dimensioneret fra en historisk regnhændelse tager højde for regnens tidslige variation herunder, at regnhændelser kan være koblede. En regnhændelse er koblet, hvis bassinet ikke er tømt, når en ny regnhændelse begynder. Som beskrevet i afsnit 2.1 bliver der typisk anvendt kasseregn til dimensionering af regnvandsbassiner. I dette afsnit sammenlignes et bassinvolumen beregnet fra en historisk regnhændelse med bassinvolumener beregnet på baggrund af tre typer kasseregn. De anvendte kasseregn er landsregnrækken og Spildevandskomiteens dimensioneringsark, samt individuelle kasseregn beregnet på baggrund af data fra SVK målestationer. Databehandling af historiske regnserier og fremgangsmåden for beregning af kasseregn ud fra en historisk regnserie er beskrevet i appendiks D.

Ved generering af kasseregn vælges der typisk en hændelsesafstand på 1 time. Der vil således minimum være 1 time mellem de enkelte regnhændelser i datasættet. Dette valg er gyldigt

for afløbssystemer, hvor afstrømningen er hurtig og tømningstiden er kort. Når kasseregn anvendes til dimensionering af bassiner med tømningstid over 1 time, er der ikke taget højde for koblede hændelser. Da dette typisk ikke er tilfældet, er den generelle anbefaling at gange en koblingsfaktor på volumenet når en kasseregn anvendes til dimensionering [Gregersen et al., 2014b]. Koblingsfaktoren er forholdet mellem bassinvolumen beregnet ved en kasseregn og det faktisk nødvendige volumen for en historisk regnserie. En koblingsfaktor på 1,2 er typisk benyttet.

I figur 3.2 vises et eksempel på de beregnede volumener for en 5-års gentagelsesperiode for SVK st. 5047. Volumenet for en historisk 5-års hændelse svarer i dette tilfælde til det syvende højeste historiske volumen. Figuren viser forskellen på et volumen beregnet på baggrund af en historisk hændelse og volumen beregnet på baggrund af de tre typer kasseregn. De tre volumener beregnet fra kasseregn er uden koblingsfaktor. Volumenet for historisk 5-års regnhændelse er større end volumener beregnet fra tre typer kasseregn. Dette skyldes, at der er taget højde for koblede regnhændelser i den historiske 5-års hændelse.



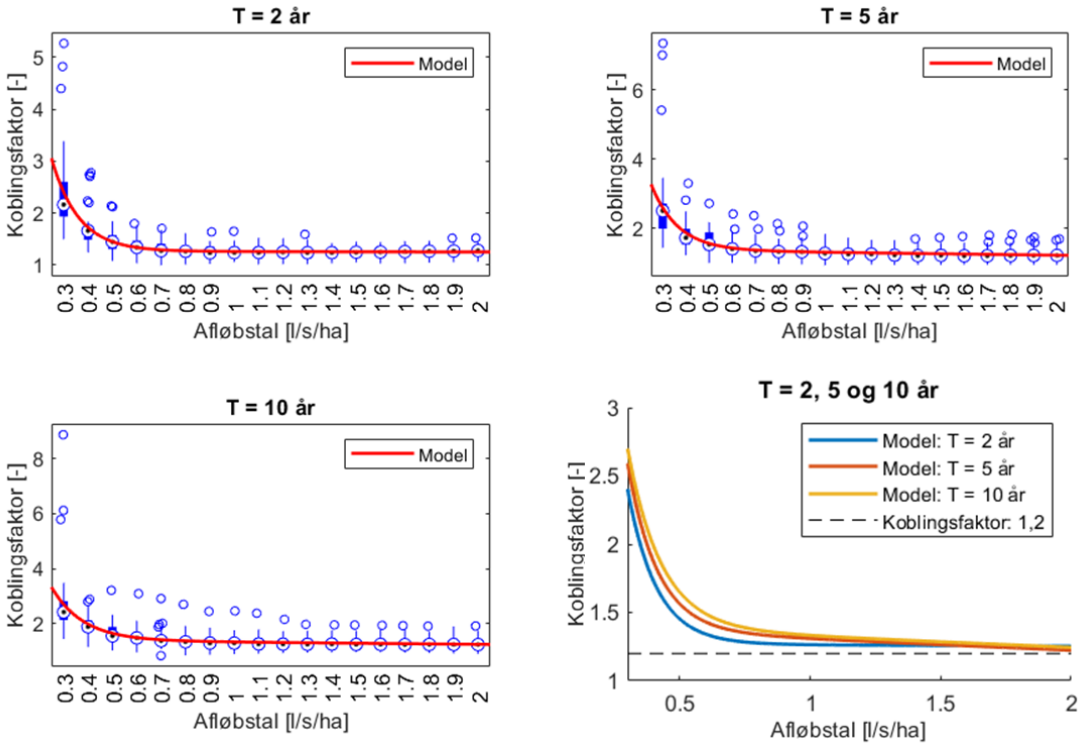
Figur 3.2. Eksempel på faktisk nødvendig volumen for den historiske regnhændelse ved SVK st. 5047 (Sulsted) samt udregnede bassinvolumener baseret på de tre typer kasseregn uden koblingsfaktor. Alle volumener er beregnet for et befæstet opland på 1 ha med konstant udløb på 1 l/s/ha og gentagelsesperiode på 5 år. Der har været udfald på måleren i årene 1996-1998.

3.1.1 Model for koblingsfaktor

Analysen fra figur 3.2 er udført for regnserier fra de 44 SVK stationer. Afløbstal i intervallet 0,3-2 l/s/ha og gentagelsesperiode på 2, 5 og 10 år er benyttet. Analysen viser, at koblingsfaktoren varierer med afløbstallet og gentagelsesperioden. Der er fundet en model til udregning af koblingsfaktoren for en gentagelsesperiode på hhv. 2, 5 og 10 år. Der er kun fundet modeller for koblingsfaktor til SVK dimensioneringsarket, da dette typisk benyttes til bassindimensionering. Modellen for data følger en eksponentiel funktion.

Figur 3.3 viser modellen og de udregnede koblingsfaktorer. Der er stor spredning på koblingsfaktoren ved et afløbstal på 0,3 l/s/ha og her er modellen usikker. Ved afløbstal over 1 l/s/ha er de tre modeller næsten ens og er tæt på den typisk benyttede koblingsfaktor på 1,2.

Modellen er beskrevet ved formel 3.1 og konstanter til formlen for 2-, 5- og 10-års gentagelsesperiode er vist i tabel 3.1.



Figur 3.3. Figurerne viser koblingsfaktoren for 44 SVK stationer og en model til beskrivelse af denne for gentagelsesperioder på 2- 5- og 10 år. Data er vist som boks-plot, hvor outliers er vist som cirkler. Medianværien er cirkel med prik i midten. Den tykke streg er første og tredje kvartil. Den tynde streg er $\pm$ 2,7 σ.

$$f(x) = a \cdot e^{b \cdot x} + c \cdot e^{d \cdot x} \tag{3.1}$$

hvor:

$f(x)$	Koblingsfaktor	[–]
x	Afløbstal	[l/s/ha]
a, b, c, d	Parametre	[–]

Tabel 3.1. Konstanter til formel 3.1. Anvendes til udregning af koblingsfaktor for 2-, 5- eller 10-års gentagelsesperiode (T).

Parameter	T=2	T=5	T=10
a	17,15	16,91	13,45
b	-9,04	-8,75	-7,76
c	1,27	1,40	1,42
d	-0,00667	-0,0662	-0,0641
Fit (R^2)	0,58	0,45	0,43

Formel 3.1 kan anvendes til beregning af en nødvendig koblingsfaktor til et kendt afløbstal og gentagelsesperiode. Analysen viser, at koblingsfaktoren afviger markant fra de anbefalede 1,2, når afløbstallet er under 1 l/s/ha. Ved lave afløbstal er tømningstiden lang og der er større kobling

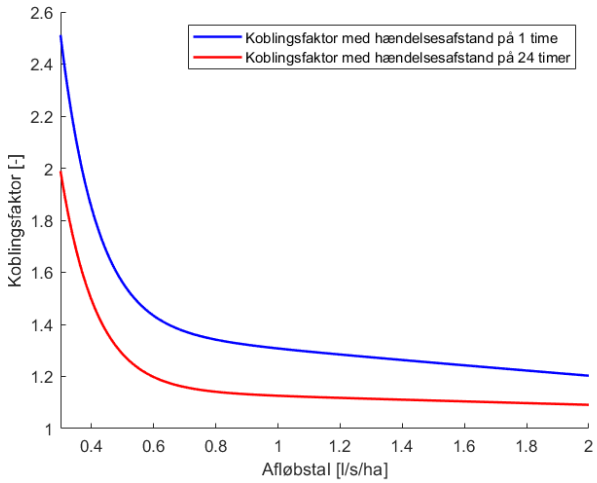
af regnhændelser. Anvendes en kasseregn til dimensionering af et regnvandsbassin, kan bassinet altså være væsentligt underdimensioneret, hvis den typisk benyttede faktor på 1,2 anvendes. Det anbefales i stedet at anvende formel 3.1 til bestemmelse af koblingsfaktor, når en kasseregn anvendes i dimensionering.

Hvis en historisk regnhændelse er tilgængelig, anbefales det at anvende denne til dimensionering af regnvandsbassiner. Fordelen ved dette er, at koblingen direkte inddrages i dimensioneringen.

Valg af hændelsesafstand

Typisk vælges en hændelsesafstand på 1 time ved generering af kasseregn. Altså vil der minimum være 1 time mellem de enkelte regnhændelser i datasættet. Det er i denne analyse undersøgt, om koblingsfaktoren kan undlades, hvis hændelsesafstanden øges.

Når hændelsesafstanden øges, medtages mere nedbør i samme regnhændelse. Denne analyse sammenligner en koblingsfaktor beregnet på baggrund af en hændelsesafstand på hhv. 1 time og 24 timer. De beregnede resultater for en 5-års gentagelsesperiode er illustreret i figur 3.4. Da koblingsfaktoren for hændelsesafstand på 24 timer er større end 1 og stiger eksponentielt ved små afløbstal, kan koblingsfaktoren ikke undlades ved at øge hændelsesafstanden. En hændelsesafstand på 48 timer er undersøgt og giver samme værdier for koblingsfaktor, som ved hændelsesafstand på 24 timer.



Figur 3.4. Sammenligning af koblingsfaktor beregnet på baggrund af en hændelsesafstand på hhv. 1 time og 24 timer.

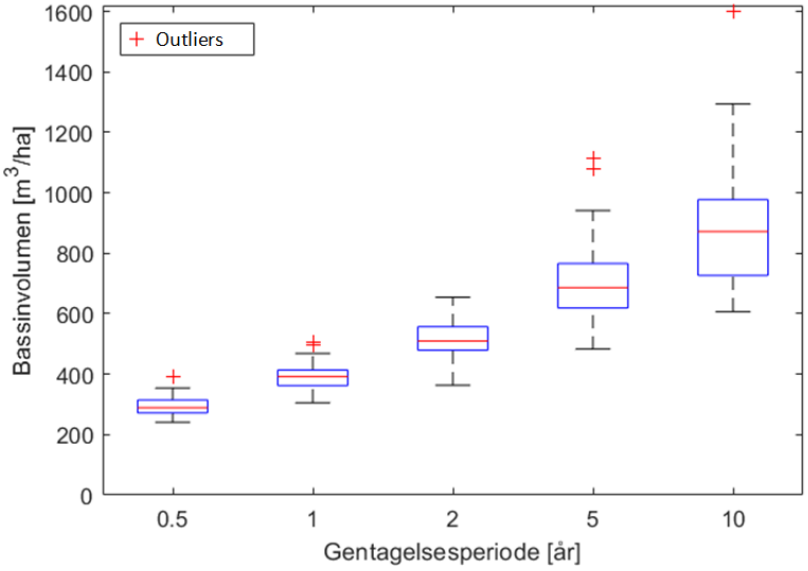
3.2 Valg af gentagelsesperiode

Gentagelsesperioden beskriver, hvor ofte kapaciteten i et regnvandsbassin må overskrides og dermed, hvilken regnhændelse bassinet skal dimensioneres efter. Gentagelsesperioden bestemmes på baggrund af en vurdering af konsekvensen af et overløb. Ligger bassinet i et tætbeboet område, vil der ofte vælges en højere gentagelsesperiode end, hvis bassinet ligger i et område, hvor et overløb har færre konsekvenser. I mange kommuner er praksis at vælge en gentagelsesperiode på 5 eller 10 år. Ligger bassinet i et område, hvor et overløb ikke gør skade,

findes dog eksempler, hvor en gentagelsesperiode på 2 år er valgt. I denne analyse undersøges konsekvensen af valg af gentagelsesperiode på bassinvolumenet.

Analysen sammenligner bassinvolumener beregnet med varierende gentagelsesperioder. Alle volumener er beregnet på baggrund af en historisk regnserie med et konstant udløb på 1 l/s/ha. Der er anvendt historiske regnserier fra 44 SVK målestationer med en måletid over 25 år. Figur 3.5 viser de beregnede volumener til en varierende gentagelsesperiode. Tabel 3.2 viser den gennemsnitlige ændring af de beregnede volumener. På figuren ses få outliers i datasættet. Volumenet for disse er kontrolleret enkeltvis og fundet realistiske. Afvigelsen forklares derfor med variation i regndata på tværs af målestationer. Normalt kræves datalængde 3-4 gange gentagelsesperioden for at data er statistisk veldokumenteret [Natur- og Miljøklagenævnet, 2012]. Resultatet for 10 års gentagelsesperiode er forbundet med usikkerhed, da alle stationer ikke har mindst 30 års data.

Analysen viser, at valget af gentagelsesperiode har en betydelig effekt på det endelige bassinvolumen. Baseret på volumener beregnet fra de 44 målestationer, vil det nødvendige volumen gennemsnitligt reduceres med 29 % fra 5- til 2-års gentagelsesperiode. Det kan derfor betale sig at konkret vurdere den bedst passende gentagelsesperiode for det enkelte bassin.



Figur 3.5. Beregnet volumen for 44 SVK målestationer med måleperioder over 25 år for gentagelsesperioder på 0,5, 1, 2, 5, og 10 år. Spredningen er vist med boks-plot, hvor outliers er vist som kryds. Boksen er første og tredje kvartil. Den stiplede streg er $\pm$ 2,7 σ.

Tabel 3.2. Gennemsnitlig relativ ændring i volumen for en 0,5, 1, 2, og 10 års gentagelsesperiode (T) fra en 5-års gentagelsesperiode beregnet på baggrund af historiske regnserier fra alle SVK målestationer med en måleperiode over 25 år.

	Relativ ændring i volumen fra T=5
T=0,5	- 55 %
T=1	- 45 %
T=2	- 29 %
T=10	+ 26 %

4 Analyse af oplands- og sikkerhedsfaktorer

Dette kapitel omhandler en analyse af anvendte oplands- og sikkerhedsfaktorer og disses indflydelse på bassinvolumenet. Det undersøges om anvendte faktorer i danske kommuner er repræsentative for virkeligheden. Kapitlet inkluderer en vurdering af distributioner for faktorerene , samt en følsomhedsanalyse, der beskriver den enkelte faktors betydning for bassinvolumenet. Tabel 4.1 viser de beregnede distributioner og henvisning til relevante appendiks. Anbefalede intervaller for faktorerne er 95 % fraktiler af de beregnede distributioner.

4.1 Oplandsfaktorer

Befæstelses- og tilslutningsgrad er fundet ved vurdering af andelen af befæstet og ubefæstet samt tilsluttet og ikke-tilsluttet opland. Værdierne er fundet ved en subjektiv vurdering af nyeste luftfotos i tilfældigt udvalgte områder i Danmark. Analysen er udført ved at generere et 500 m x 500 m grid over alle byer, hvoraf tilfældige gridceller er udvalgt. Befæstelsesgraden og tilslutningsgraden er vurderet for hver af de udvalgte celler. Analysen er nærmere beskrevet i appendiks E. På baggrund af en vurdering af de udvalgte cellers oplandskarakteristika er cellerne inddelt i de tre følgende kategorier: villakvarter, industri og bebyggelse. Villakvarter dækker over opland med overvejende lav bebyggelse med have, industri dækker over opland med større produktionsbygninger og bebyggelse dækker over højere etagebyggerier med tilhørende grønne områder. Indsamling af data på baggrund af luftfoto er usikkert. Eksempelvis er det vanskeligt at vurdere via luftfoto, om et befæstet areal er tilsluttet en kloakledning eller en faskine.

Distributionen for befæstelsesgraden følger en normalfordeling med 95 % konfidensinterval på 0,36 - 0,96. Det har ikke været muligt at sammenligne disse værdier med praksis i kommunerne, da der benyttes individuelle værdier. Distributionen for tilslutningsgraden følger en trekantsfordeling med 95 % konfidensinterval på 0,79 - 1. Der er ikke fundet værdier for tilslutningsgraden hos kommunerne.

Hydrologisk reduktionsfaktor er fundet ved et litteraturstudie af 16 målinger. Den hydrologiske reduktionsfaktor i hvert af de 16 opland er fundet ved at lave en lineær regression mellem regnvolumen og afstrømmet vandvolumen. Analysen er nærmere beskrevet i appendiks F. Den hydrologiske reduktionsfaktor afhænger af permeabiliteten på det befæstede areal.

Distributionen for hydrologisk reduktionsfaktor følger en normalfordeling med 95 % konfidensinterval på 0,37 - 0,92. I kommunerne er typiske værdier 0,8 - 1,0.

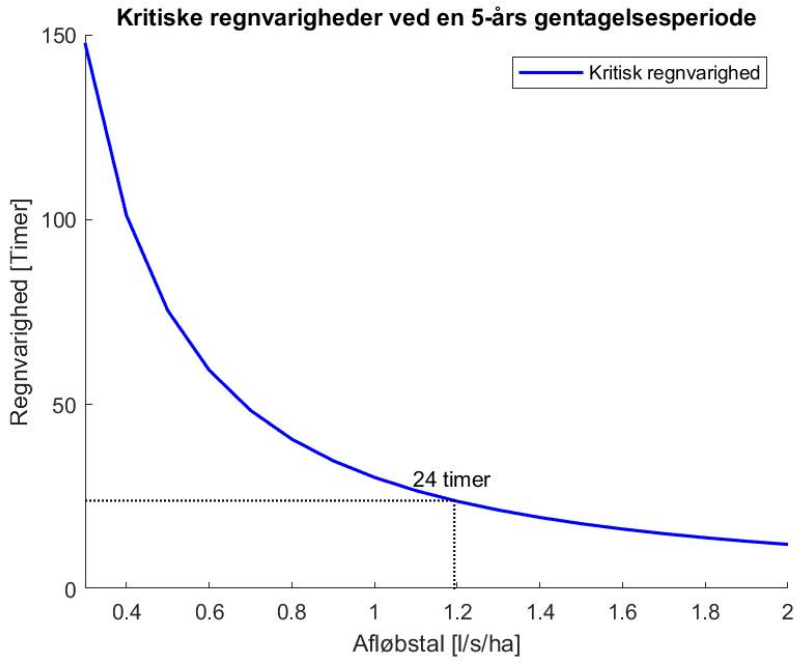
4.2 Sikkerhedsfaktorer

Fortætningsfaktor er fundet ud fra samme metode som befæstelses- og tilslutningsgraden. Fortætningsfaktoren for cellerne er vurderet ved at sammenligne et luftfoto fra 2017 med et luftfoto fra 1999. Analysen er nærmere beskrevet i appendiks B. Ingen af de tre undersøgte

distributioner gav et tilfredsstillende resultat. Dette skyldes at mange af de indsamlede data har værdien 1. Nogle kommuner anbefales en fortætningsfaktor på 1, med mindre der er konkrete planer om udvidelse af de befæstede arealer i området. Det anbefales at benytte en fortætningsfaktor på 1 og i stedet have rettidig omhu, hvis planer om udvidelse i området forefindes.

Klimafaktor er angivet i Skrift 29 som en værdi mellem 1,1 og 1,5 [Arnbjerg-Nielsen, 2008]. Faktoren er fundet for 100 års fremskrivning af regn og er i Skrift 29 ens for alle regnvarigheder og varierende for gentagelsesperioder på 2, 10 og 100 år. Bassiner dimensioneres ofte for længere regnvarigheder end der gøres for kloak, hvor korte, højintense regnhændelser er dimensionsgivende. Figur 4.1 viser sammenhængen mellem afløbstal for bassiner og den kritiske regnvarighed. Der er i Skrift 29 kun vurderet på regnvarigheder op til 24 timer. Ved afløbstal under 1,2 l/s/ha vil den kritiske regnvarighed være over 24 timer. Skrift 29 beskriver, at der er en tendens til lavere klimafaktor ved en stigende varighed og faldende gentagelsesperiode [Arnbjerg-Nielsen, 2008]. Det vurderes derfor, at klimafaktoren for bassindimensionering er lavere end de anbefalede værdier i Skrift 29.

Klimafaktoren vurderes at ligge i interval 1,05 - 1,2 og følger en uniform distribution, vurderet på baggrund af klimafaktorer for varigheder på 12 og 24 timer i Skrift 29. Kommunerne benytter værdier på 1,0 - 1,8.



Figur 4.1. Sammenhæng mellem valg af afløbstal og kritisk regnhændelse for en regn med en 5-års gentagelsesperiode. Beregninger og antagelser er angivet i appendiks A.

Modelusikkerhed: Fremgangsmåden for beregning af bassindimensionering er simpel og usikkerhederne ligger i de valgte oplandsfaktorer og beskrivelse af regn. Ved at benytte øvre fraktiler for distributionerne af oplandsfaktorer, tages der højde for usikkerheden. Modelusikkerhedsfaktoren anbefales derfor at være 1. Kommunerne benytter værdier på 1,0 - 1,3.

4.3 Resultat af distributionsanalyser

Til at bestemme distributionerne for de analyserede faktorer er distributionstesten Kologrov-Smirnov benyttet. Følgende distributioner er undersøgt; normal-, LOGnormal- og trekantsfordeling. I tabel 4.1 er distributionsparametre og testresultater for Kologrov-Smirnov testen vist. P-værdier tæt på 1 passer godt på den undersøgte distribution, og ved P-værdier under 0,05 afvises distributionen. Distributionen for sikkerhedsfaktorer er ikke testet, da disse er vurderede værdier.

Tabel 4.1. Distribution af oplands- og sikkerhedsfaktorer. Valg af distribution er beskrevet i respektive appendiks. Befæstelsesgrad og tilslutningsgrad er inddelt i tre oplandskategorier.

Faktorer	Distribution	Kologrov-Smirnov [Test p-værdi]	Appendiks
Oplandsfaktorer			
Hydrologisk reduktionsfaktor	N(0,66 ; 0,14)	0,93	F
Befæstelsesgrad			
Villa	N(0,56 ; 0,10)	0,93	E
Industri	N(0,74 ; 0,14)	0,78	
Bebyggelse	N(0,68 ; 0,11)	0,38	
Tilslutningsgrad			
Villa	T(0,73 ; 0,99 ; 0,99)	0,24	E
Industri	T(0,72 ; 1,00 ; 1,00)	0,05	
Bebyggelse	T(0,68 ; 1,00 ; 1,00)	0,59	
Sikkerhedsfaktorer			
Klimafaktor	U(1,05 ; 1,2)	–	B
Fortætningsfaktor	1,00	–	B
Modelusikkerhedsfaktor	1,00	–	B

N(μ;σ) er en normaldistribution med middel μ og standardafvigelse σ.
T(a;b;c) er en trekantsdistribution med minimum a, toppunktsplacering b og maksimum c.
U(min;max) er en uniform distribution med minimum- og maksimum-værdi.
Fortætnings- og modelusikkerhedsfaktor er konstante

4.4 Sammenligning med faktorer i kommuner

I tabel 4.2 sammenlignes faktorer fra kommunernes dimensioneringspraksis med værdier fra de analyserede distributioner. Værdier for de 98 kommuner er vist i figur 2.8. De analyserede distributioner er angivet med 95% konfidensinterval. De anbefalede værdier er øvre 97,5 % fraktil.

De anbefalede sikkerhedsfaktorer er generelt lavere end benyttet i kommunerne. Der er angivet et interval for klimafaktoren, da denne varierer efter valg af gentagelsesperiode. Den anbefalede værdi for hydrologisk reduktionsfaktor på 0,92 ligger i midten af det typisk benyttede interval i kommunerne. Befæstelsesgraden skal vurderes individuelt, som der gøres i nogle kommuner i dag. Tilslutningsgraden bør være 1 med mindre der er oplysninger om nedsivningsanlæg i oplandet.

Tabel 4.2. Sammenligning af udvalgte parametre fra kommuners dimensioneringspraksis og analyserede fordelinger.

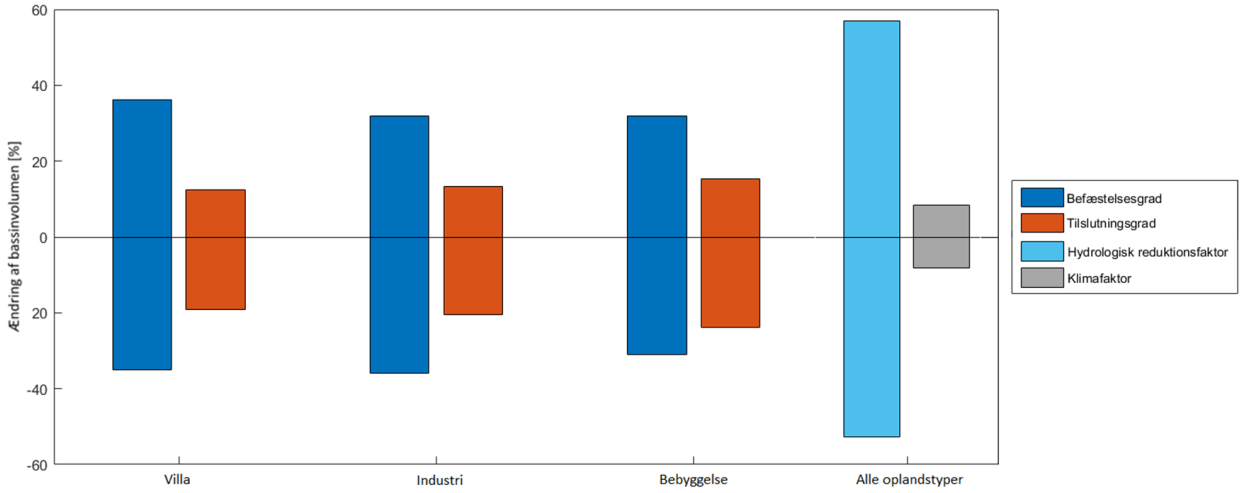
	Sikkerhedsfaktorer			Oplandsfaktorer		
	Klima	Model-usikker-hed	Fortæt-ning	Hydrologisk reduktion	Befæstel-sesgrad	Tilslut-ningsgrad
Kommuneværdier *antal kommuner*	1-1,8 *55*	1-1,3 *28*	1-1,2 *35*	0,8-1 *16*	(Tabel-faktorer)*	Ingen værdier
Beregnet 95% konfidens-interval	1,05-1,2	1	1	0,37-0,92	0,36-0,96	0,79-1
Anbefalet værdi	1,05-1,2	1	1	0,92	Vurdering**	1
* Befæstelsesgraden er i nogle kommuner beskrevet som generelle værdier efter oplandstype ** Grundet stor variation er individuel vurdering af oplandet nødvendig						

4.5 Følsomhedsanalyse for oplandsfaktorer og klimafaktor

I dette afsnit undersøges de fundne distributioners effekt på beregnet bassinvolumen. Der er udarbejdet en Monte Carlo simulering, hvor værdier for oplandsfaktorer og klimafaktor tilfældigt udvælges fra distributionerne. Distributionerne er undersøgt enkeltvist og resultatet er vist i figur 4.2. Resultaterne viser forskellen mellem en referencesituation og 2,5 % og 97,5 % fraktiler. Befæstelsesgrad og tilslutningsgrad er inddelt i tre oplandstyper og hydrologisk reduktionsfaktor og klimafaktor er gældende for alle oplandstyper. Modelusikkerhedsfaktor og fortætningsfaktor er ikke medtaget i analysen, da de er konstante. Følgende antagelser er gjort i forbindelse med analysen:

- En beregning med middelværdier for alle faktorer definerer en referencesituation
- Der er benyttet 5000 tilfældigt valgte værdier fra distributionerne i tabel 4.1 til Monte Carlo simulering
- Der varieres på en faktor ad gangen og de andre faktorer holdes konstant med middelværdier
- Regnformlen er benyttet med værdier fra landsregnrækken og gentagelsesperiode på 5 år
- Afløbstallet er sat til 1 l/s/ha med fuldt befæstet opland

Spredningen for hydrologisk reduktionsfaktor giver den største variation i volumen (ca. $\pm$ 55 %), hvilket betyder, at viden om denne parameter er vigtig, for bedre at kunne estimere et korrekt bassinvolumen. På trods af at befæstelsesgrad og tilslutningsgrad er vurderet på tre oplandstyper, er den beregnede spredning næsten ens, hhv $\pm$ 35 % og -20 – 15 %. Klimafaktoren har den mindste betydning, da der for langvarig regn er vurderet en lille spredning på $\pm$ 10 % i distributionen.



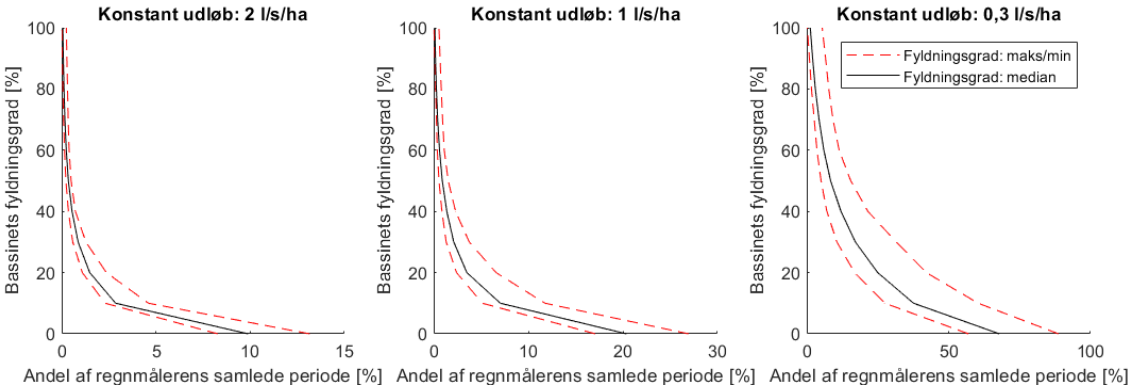
Figur 4.2. Procentvis afvigelse af bassinvolumen fra referencesituation ved 2,5 og 97,5 fraktiler. Distribution af befæstelsesgrad og tilslutningsgrad er opdelt i tre oplandstyper. Hydrologisk reduktionsfaktor og klimafaktor er ikke vurderet oplandsafhængige.

5 | Analyse af udløbets betydning

I dette kapitel undersøges udnyttelsen af bassinet ved forskellige udløb, samt konsekvenserne af den valgte udløbstype og -størrelse.

5.1 Udnyttelse af bassinvolumen

Fyldningsgraden beskriver den tid bassinet er fyldt til et givet volumen. Analysen er baseret på de 44 regnserier med måleperioder over 25 år. Figur 5.1 viser de beregnede maksimum-, minimum- og medianværdier for fyldningsgraden med et konstant udløb på 2, 1 og 0,3 l/s/ha og gentagelsesperiode på 5 år. Fyldningsgraden er beregnet individuelt for hver regnserie og udløb. Udnyttelsen af bassinerne bliver mindre til et stigende udløb. Tabel 5.1 viser udvalgte aflæste værdier.



Figur 5.1. Beregnede maksimum-, minimum- og medianværdier for fyldningsgraden fra de 44 regnserier med måleperioder over 25 år med afløbstal på 2, 1 og 0,3 l/s/ha og gentagelsesperiode på 5-år.

Tabel 5.1. Aflæste værdier fra figur 5.1. De aflæste andele af regnseriens samlede periode er listet i tabellen som median (minimum - maksimum).

Konstant udløb	Fyldningsgrad [%]	Andel af regnseriens samlede periode [%]	Omregnet til dage eller timer per år
2 l/s/ha	10	2,9 (2,3-4,6)	11 dage
	50	0,4 (< 0,1-0,5)	35 timer
	90	< 0,1	< 9 timer
1 l/s/ha	10	7,0 (5,1-11,8)	26 dage
	50	0,9 (0,6-1,5)	3 dage
	90	0,2 (0,1-0,7)	18 timer
0,3 l/s/ha	10	37,6 (27,5-60,0)	137 dage
	50	8,4 (5,0-15,5)	31 dage
	90	2,1 (0,9-6,6)	8 dage

Bassiner med høje afløbstal kan fremstå som uudnyttede, da de ofte er tomme. Eksempelvis vil et bassin dimensioneret til et udløb på 1 l/s/ha kun være mere end 50 % fyldt ca. 3 dage om året. Det er dog vigtigt at pointere, at bassiner er anlagt til at have et stort tilgængeligt volumen i tilfælde

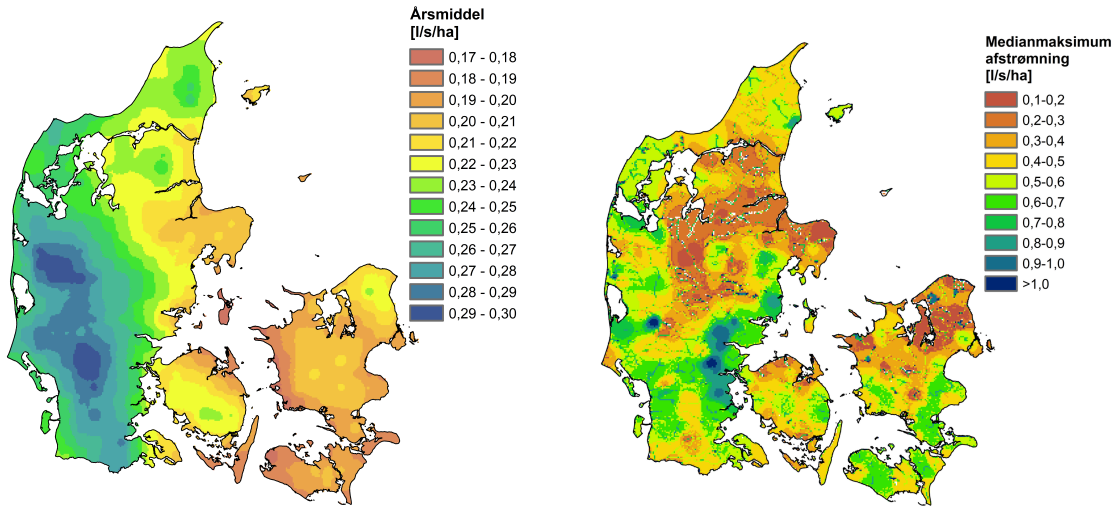
af en dimensionsgivende regnhændelse. Derfor er det nødvendigt, at bassiner i længere perioder er tomme.

5.2 Konsekvens af små udledninger

Grundet skærpede krav til beskyttelse af recipienter er der en tendens til, at det tilladte afløbstal bliver lavere og lavere. I dette afsnit undersøges konsekvensen af udledningstilladelser, som svarer til medianmaksimumvandføring.

Som beskrevet i afsnit 2.2 findes der hos myndighederne ingen anbefaling til korrekt afløbstal, men kravet om en konkret analyse af recipientens hydrauliske kapacitet i hvert tilfælde. Det er en ofte brugt praksis at antage vandløbets medianmaksimum afstrømning som 'naturlig' afstrømning og basere udløbet på denne værdi [Natur- og Miljøklagenævnet, 2010, 2015]. Dette kan være problematisk, da medianmaksimumvandføring nogle steder i landet ligger under årsmiddelnedbøren, hvorved det gennemsnitlige indløb til bassinet bliver større end det gennemsnitlige udløb. Bassinet vil i teorien aldrig blive tømt.

Figur 5.2a viser et danmarkskort med årsmiddelnedbør, som varierer mellem 0,17-0,30 l/s/ha, med de højeste værdier i Vestjylland. Ovesen et al. [2000] har beregnet medianmaksimum for vandløb i hele landet, vist i figur 5.2b. Disse værdier bruges til at vurdere, hvor kritisk det vil være at fastsætte bassinudløbet som medianmaksimumvandføring. Fordampning fra oplandet er ikke medtaget, da det antages at nedbøren hurtigt løber til kloakken. Fordampning fra bassinets overflade er ligeledes ikke med i beregningerne. Dette kan give en usikkerhed i resultaterne, og analysen tjener udelukkende at belyse problematikken ved at definere bassinudløbet som medianmaksimumvandføring.



(a) Årsmiddelnedbør

(b) Medianmaksimumvandføring

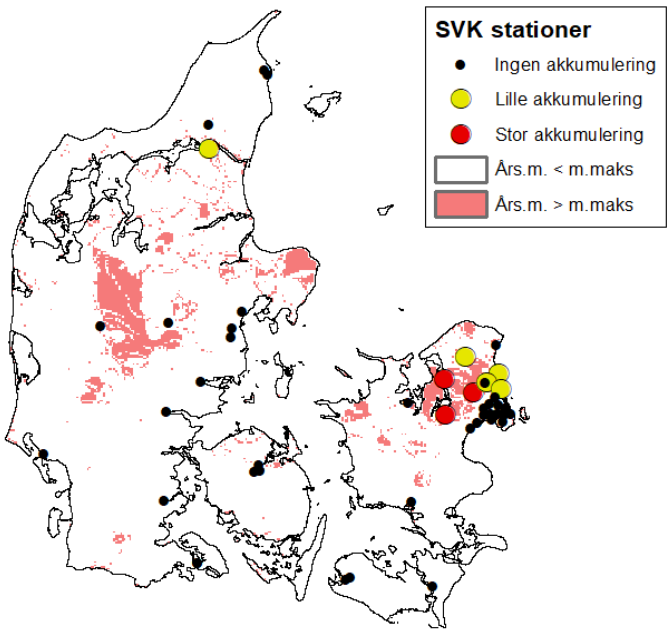
Figur 5.2. (a) Årsmiddelnedbør i Danmark. [Gregersen et al., 2014b, red.]
(b) Medianmaksimum afstrømning i danske vandløb. [Ovesen et al., 2000, red.]

For at tydeliggøre problematikken med akkumulering af vand i bassinet ved lave afstrømninger, vises i figur 5.3 volumen af bassiner baseret på de 44 SVK stationer med mere end 25 års data. Udløbet er sat til medianmaksimumvandføring. Volumenet for bassiner ved SVK st. 5590, 5600

og 5845 akkumulerer i hele måleperioden og vil gøre det umuligt at dimensionere et bassin da dette aldrig vil tømmes. Nogle bassiner ved andre stationer tømmes ikke i lange perioder og volumenerne er store. Derfor bør bassinerne ikke dimensioneres med udløb under 0,3 l/s/ha svarende til højeste årsmiddelnedbør.

Figur 5.3. Volumen for 25-39 års regnhændelser for de 44 SVK-stationer. Stationsnummer er vist til venstre for grafen. Graferne viser principielt, hvor store volumener der er nødvendige, hvis udløbet er konstant svarende til medianmaksimum i den pågældende recipient. Røde og gule markering viser hhv. stor og lille akkumulering af bassinvolumen og svarer til markeringerne på figur 5.4. X-aksen er 39 år og nogle grafer stopper tidligere da måleperioden er kortere. Y-aksen er relativ volumen. Fordampning og sikkerhedsfaktorer er ikke medtaget i beregningen.

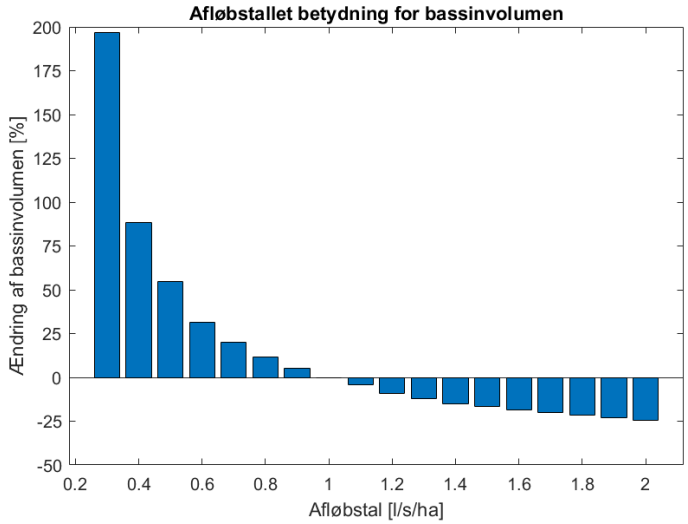
Problemet med at drosle efter medianmaksimumvandføring er størst de steder i landet, hvor der er høj nedbør og lav afstrømning i vandløbene. Figur 5.4 viser de områder, hvor det er kritisk at dimensionere udløbet som medianmaksimumvandføring. De røde cirkler er SVK st. 5590, 5600 og 5845 med akkumulering af vand. De gule cirkler er SVK st., som ikke tømmes i lange perioder. De røde og gule cirkler ligger ved områder, hvor årsmiddelnedbøren er større end medianmaksimumvandføring. Problemet er tydeligt ved 8 af 44 beregnede bassiner, hvor vandløbets medianmaksimum ca. har samme værdi som årsmiddelnedbøren.



Figur 5.4. Markering af områder, hvor årsmiddel er større end medianmaksimum. SVK stationer med mere end 25 års målinger er vist. Røde stationer viser stor akkumulering og gule stationer lille akkumulering i figur 5.3. Års.m. = årsmiddel. m.maks = medainmaksimumafstrømning. Kort fra Geodatastyrelsen.

5.3 Betydning af ændret afløbstal

I denne analyse undersøges indflydelsen af afløbstallet på bassinvolumenet. Volumener for afløbstal beregnes i intervallet 0,3-2,0 l/s/ha, og den procentvise ændring i forhold til et fast afløbstal på 1 l/s/ha er vist i figur 5.5. Ved at ændre afløbstallet fra 1 til 0,3 l/s/ha fås en stigning på 200 % og ved at ændre fra 1 til 2 l/s/ha fås en reduktion på 25 %. Det betyder, at lavt afløbstal resulterer i et stort bassinvolumen, og afløbstallet bør gives på baggrund af en konkret vurdering af recipienten.



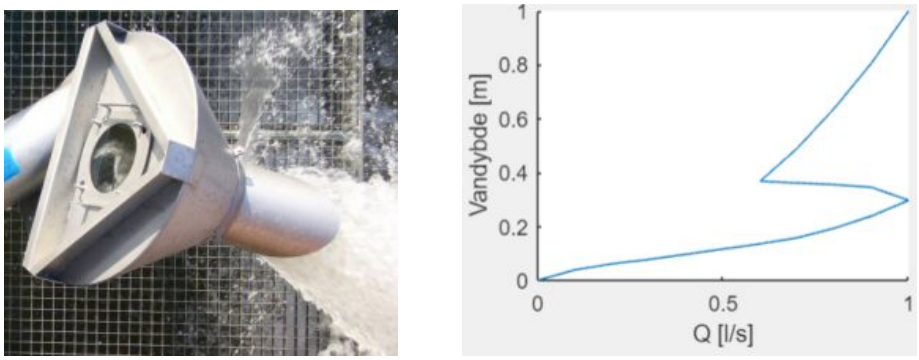
Figur 5.5. Procentvis afvigelse af volumen ved ændret afløbstal. Ændring er set i forhold til et bassin med afløbstal på 1 l/s/ha. Middelværdi for 44 SVK stationer.

5.4 Analyse af udløbstyper

Typisk bliver bassiner dimensioneret med et konstant afløbstal, som er lig det højst tilladelige afløbstal defineret i udledningstilladelsen. Dermed antages, at udløbet er uafhængigt af vandspejlets trykhøjde. Denne antagelse betyder, at det beregnede bassinvolumen bliver for lille, da udløbet reelt kun opnår den tilladte værdi, når bassinet er helt fyldt. Resten af tiden vil trykhøjden og dermed udløbet være mindre. I denne analyse er betydningen af det trykafhængige udløb for bassinvolumenet undersøgt. To typer trykvarierende udløb er undersøgt:

- Udløb gennem et udykket rør med en fri stråle
- Udløb gennem et rør med vandbremse, eksempel på figur 5.6a.

Disse to udløbstyper er ofte anvendt i Danmark. Da vandbremsen gennemsnitlig tillader større flow end et rør, kan det være fornuftigt at benytte en vandbremse, fordi det giver mindre bassinvolumen. Udløbet fra røret er afhængig af vandspejlskoten og rørets størrelse. I denne analyse er rørstørrelsen ikke begrænset af handelsdimensioner. Vandbremser fås i forskellig design, men i denne analyse er der taget udgangspunkt i en cyklonbremse med designkurve vist på figur 5.6b.

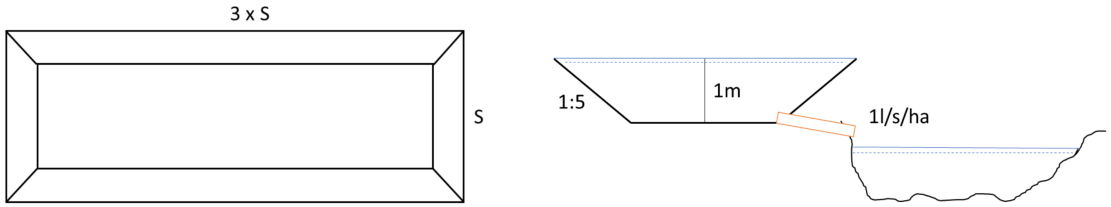


(a) Vandbremse (b) Designkurve

Figur 5.6. (a) Eksempel på vandbremse [Teknologisk Institut, 2018] (b) Simplificeret designkurve for vandbremse benyttet til at vurdere vandbremsens effekt på bassinvolumen. Knækket på kurven indikerer, hvornår vandbremsen går i funktion. [Mosbaek A/S , 2018, red.]

Der er gjort følgende antagelser for beregning af bassinvolumen ved trykvarierende udløb:

- Der er benyttet 44 historiske regnserier fra SVK målere med mere end 25 års data.
- Bassinet er rektangulært med længde 3 gange bredden, vist i figur 5.7a.
- Bassinet har en sidehældning 1:5, vist i figur 5.7b.
- Designdybden er 1 m og ved denne dybde afstrømmer 1 l/s/ha fra udløbet.
- Gentagelsesperioden er 5 år.
- Designkurven for vandbremsen er antaget identisk for stigende og faldende vanddybde.



(a) Plan (b) Tværsnit

Figur 5.7. (a) Principskitse af planen for designbassin. (b) Principskitse af tværsnittet for designbassin samt udløb til recipient.

Såfremt bassinudformningen er forskellig fra antagelserne herover, vil der være en anden sammenhængen mellem volumen og vandspejlskote og resultaterne kan være forskellige. Designkurven for vandbremse er forskellig for stigende og faldende vandspejl, hvilket der ikke er taget højde for i dette afsnit. Dette giver en lille underdimensionering af beregnet bassinvolumen.

Tabel 5.2 viser volumenforøgelse ved beregning med trykafhængigt udløb. Forøgelsen er gennemsnitlig 11 % for vandbremse og 16 % for rør. Der bør altid regnes med trykafhængigt udløb fra et konkret bassin, grundet en væsentlig underdimensionering hvis dette undlades. Vandbremsen benyttes ofte for at sikre en bedre udnyttelse af det tilladte udløb. Analysen viser, at der stadig er behov for at regne med trykafhængigt udløb, når en vandbremse benyttes. Grundet spredning i resultaterne er der stor forskel på, hvilken effekt beregning af bassinvolumen med trykafhængigt udløb vil have for det enkelte bassin.

Tabel 5.2. Relativ ændring i volumen ved benyttelse af trykafhængigt udløb sammenlignet konstant udløb. Middel forøgelse er den gennemsnitlig forøgelse for alle 44 SVK-stationer. 2,5 og 97,5 % fraktiler viser variationen i resultater. Rør og vandbremse er teoretisk udledning. Udløbet for vandbremse følger QH-kurven vist på figur 5.6b.

Trykafhængigt udløb	Forøgelse fra konstant udløb [%]		
	Middel	2,5 % fraktil	97,5 % fraktil
Rør med fri stråle	15,5	3,6	31,9
Vandbremse	11,4	3,3	19,6

5.5 Gentagelsesperiode for bassinudledning

Det tilladte udløb fra bassinet opnås kun, når bassinet er helt fyldt. Dette sker sjældent, som beskrevet i afsnit 5.1. Ved et udløb på 1 l/s/ha, vil bassinet gennemsnitlig være 90-100 % fyldt 18 timer om året. Når udløbet er trykafhængigt, vil der ofte være en udledning, som er mindre end udledningstilladelsens værdi. For at sikre en bedre udnyttelse af udledningstilladelsen, kan der defineres en gentagelsesperiode for bassinets udløb, der er lavere end gentagelsesperioden for overløb. Eksempelvis kunne overløb defineres til en 5-års gentagelsesperiode og udløbet defineres til en 1-års gentagelsesperiode. Herved fås et højere udløb og mindre bassiner. I dette afsnit er det undersøgt, hvor stor en effekt en lavere gentagelsesperiode for udløbet vil have på det nødvendige bassinvolumen. Analysen en baseret på samme antagelser som i afsnit 5.4.

Tabel 5.3 viser ændring i bassinvolumen fra konstant udløb på 1 l/s/ha og gentagelsesperiode på 5 år til trykafhængigt udløb og gentagelsesperiode for udløbet på 1 år og for overløb på 5 år. Der er en gennemsnitlig forøgelse i bassinvolumen på 3 % for vandbremse og 4,3 % for rør. Dette er en væsentlig reduktion i forhold til forøgelsen på 11 og 16 % ved trykafhængigt udløb uden ændret

gentagelsesperiode for udløb. Grundet spredning i resultaterne er der stor forskel på, hvad en ændring af gentagelsesperioden for udløbet vil have for det enkelte bassin. I nogle tilfælde ses en reduktion i volumen i forhold til konstant udløb.

Konsekvensen af ændret gentagelsesperiode for udløb er, at der én gang årligt ses et udløb, som er større end udledningstilladelsen angiver. Det højeste udløb for de 44 bassiner er 1,25 l/s/ha og recipienten vil derfor blive udsat for udløb mellem 1-1,25 l/s/ha én gang årligt. Overløb fra bassinet vil stadig ske hvert 5. år. I praksis kræves det, at udledningstilladelsen angiver en separat gentagelsesperiode for udløbet og overløb.

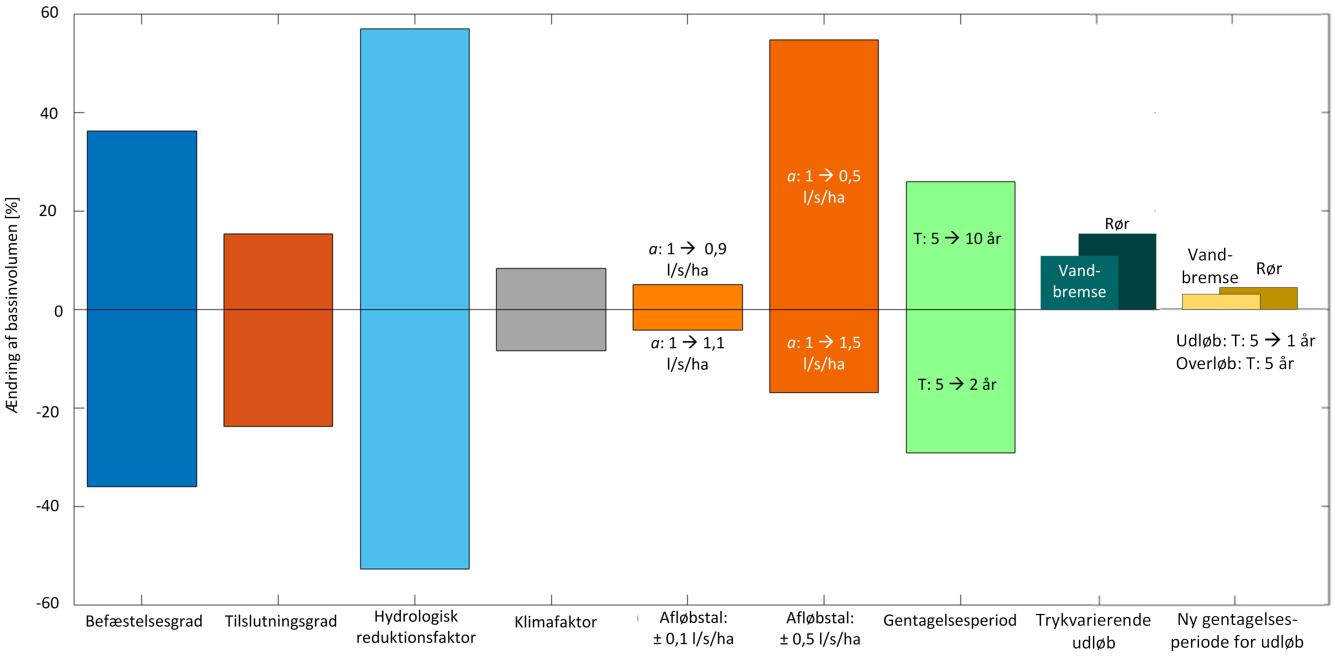
Tabel 5.3. Relativ ændring i volumen ved benyttelse af trykafhængigt udløb og ændret gentagelsesperiode for udløbet sammenlignet med resultater ved konstant udløb. Middel forøgelse er den gennemsnitlig forøgelse for alle 44 SVK-stationer. 2,5 og 97,5 % fraktiler viser variationen i resultater. Rør og vandbremse er teoretisk udledning. Udløbet for vandbremse følger QH-kurven vist på figur 5.6b.

Trykvarierende udløb	Forøgelse fra konstant udløb og T=5 år [%]		
	Middel	2,5 % fraktil	97,5 % fraktil
Rør med fri stråle, T=1 år	4,3	-7,5	15,1
Vandbremse, T=1 år	3,0	-7,1	14,5

6 Sammenfatning af anbefalinger i Del I

I dette afsnit opsummeres alle delkonklusioner fra Del I. De oplistede anbefalinger i tabel 6.1, repræsenterer de foreslåede ændringer, der bør laves i den nuværende bassindimensioneringspraksis. Disse anbefalinger er implementeret i et dimensioneringsværktøj, se kapitel 7. For at vurdere indflydelsen af undersøgte parametre beskrevet i Del I er der lavet en følsomhedsanalyse af parametrenes påvirkning af bassinvolumenet. Resultater af følsomhedsanalyserne er vist i figur 6.1.

Befæstelses- og tilslutningsgrad, hydrologisk reduktionsfaktor og klimafaktor er vist med afvigelsens størrelse mellem middelværdien til 95 % fraktiler og er udtryk for usikkerheden i valget af parameterens værdi. For afløbstal og gentagelsesperiode vises, hvor stor ændringen i volumen er, når værdien ændres. Der er taget udgangspunkt i en situation med konstant udløb på 1 l/s/ha og 5 års gentagelsesperiode. Trykvarierende udløb viser forøgelsen af bassinvolumenet, når denne beregnes med udløb fra rør eller vandbremse frem for konstant udløb. Ny gentagelsesperiode viser forøgelsen af bassinvolumenet, når denne beregnes med trykvarierende udløb fra rør eller vandbremse og gentagelsesperiod for udløb på 1 år. Følsomhedsanalysen viser, at det er vigtigt at finde korrekt værdi for hydrologisk reduktionsfaktor, samt at det forårsager stort bassinvolumen at benytte lave afløbstal.



Figur 6.1. Procentvis ændring af bassinvolumen. Distributionerne for befæstelses- og tilslutningsgrad, hydrologisk reduktions- og klimafaktor er vist med afgivelse fra middelværdien til 95 % fraktiler. Afløbstal og gentagelsesperiode viser konskvensen af at ændre væriderne som angivet. *a:* afløbstal. T: gentagelsesperiode. Trykvarierende udløb viser ændring i bassinvolumen ved at benytte rør eller vandbremse frem for konstant udløb. Ny gentagelsesperiode viser forøgelsen af bassinvolumenet, når gentagelsesperiode for udløb er 1 år.

Tabel 6.1. Sammenfatning af anbefalinger i Del I

	Nuværende praksis	**Anbefaling**
Analyse af regnserier		
Valg af dimensionsgivende regnhændelse	Typisk er kasseregn anvendt til dimensionering af regnvandsbassiner. For at tage højde for koblede hændelser anvendes en koblingsfaktor på 1,2.	Hvis en historisk regnhændelse er tilgængelig, anbefales det at anvende denne til dimensionering af regnvandsbassiner. Fordelen ved dette er, at koblingen direkte inddrages i dimensioneringen. Anvendes en kasseregn til bassindimensionering, er det vigtigt at benytte en korrekt koblingsfaktor. Koblingen af regnhændelserne afhænger af tømningstiden og dermed af afløbstallet. Koblingsfaktoren kan beskrives af en eksponentiel model. For afløbstal under 1 l/s/ha er den nødvendige koblingsfaktor markant højere end den typisk benyttede faktor på 1,2.
Valg af gentagelsesperiode	I mange kommuner anvendes en gentagelsesperiode på 5 eller 10 år til dimensionering af regnvandsbassiner.	Det har en betydelig effekt på det endelige bassinvolumen, hvilken gentagelsesperiode, der anvendes til dimensioneringen. Ændres gentagelsesperioden fra 5 år til 2 år reduceres volumenet med 29 %. Det er vigtigt at vurdere den bedst passende gentagelsesperiode for bassinets omgivelser.
Oplandsfaktorer		
Befæstelsesgrad	I mange kommuner er befæstelsesgraden baseret på en individuel vurdering af hvert enkelt område.	Baseret på en vurdering af tilfældigt udvalgte oplande ses en stor variation af befæstelsesgraden. Det vurderes derfor nødvendigt at lave en individuel vurdering i hvert område.
Tilslutningsgrad	Tilslutningsgraden er ikke nævnt i spildevandsplaner m.m. Det antages derfor, at denne ikke anvendes til dimensionering af regnvandsbassiner.	Baseret på en vurdering af tilfældigt udvalgte oplande kan det konkluderes, at tilslutningsgraden afhænger af oplandstypen. Tilslutningsgraden bør være 1, medmindre der er oplysninger om nedsivningsanlæg i området.
Hydrologisk reduktionsfaktor	I dag er den normale praksis at anvende tabelværdier for hydrologisk reduktionsfaktor i intervallet 0,8 - 1,0.	Et 95 % konfidensinterval mellem 0,37-0,92 er fundet ud fra 16 målte værdier fra litteraturstudie. Følsomhedsanalysen viser, at denne faktor har stor usikkerhed. Det anbefales, at denne faktor bestemmes på et bedre statistisk grundlag med flere målte værdier.

Tabel 6.1 fortsat fra forrige side

	Nuværende praksis	Anbefaling
Sikkerhedsfaktorer		
Fortætnings-faktor	I mange kommuner anvendes en fortætningsfaktor i intervallet 1,0-1,1.	Baseret på en vurdering af tilfældigt udvalgte oplande kan det konkluderes, at fortætningen over en 20-årig periode er minimal. Det anbefales derfor at undlade fortætningsfaktoren og i stedet have rettidig omhu, hvis planer om udvidelse i området forefindes.
Klimafaktor	Klimafaktoreren er defineret i Skrift 29 og ligger i intervallet 1,1-1,5, afhængig af gentagelses-periode.	Faktorerne fra Skrift 29 er baseret på analyser af korte, højintense regnhændelser. Disse hændelser er sjældent kritiske for dimensionering af bassinvolumen. Det anbefales at anvende klimafaktor mellem 1,05-1,2. Denne værdi er baseret på klimafaktorer for varigheder på 12-24 timer fra Skrift 29.
Modelusikker-hedsfaktor	Faktoren fra kloakdimensione-ring benyttes og ligger i interval-let 1,0-1,3.	Det anbefales ikke at benytte en modelusik-kerhedsfaktor, da usikkerheden er medtaget i de enkelte inputparametre, når de øvre frak-tiler anvendes.
Analyse af udløbets betydning		
Konsekvens af små udled-ninger	I den gældende vejledning lyder det, at udledninger ikke må med-føre hyppigere eller større over-svømmelser, end hvad der vil være tilfældet ved afstrømning fra vandløbets naturlige opland. Det er en ofte praksis at an-vende vandløbets medianmaksi-mum afstrømning som 'naturlig' afstrømning og basere udløbet på denne værdi.	I situationer, hvor der gives lave tilladelige ud-løb for at beskytte en følsom recipient, er det relevant at vurdere det hydraulisk set mindst tilladelige udløb. I tilfælde hvor den tilladte udledning bliver mindre end årsmiddelned-børen, vil regnvandet akkumulere over året og bassinet vil ikke tømmes. Derfor anbefales det, at udløb ikke er under 0,3 l/s/ha, svarende til højeste årsmiddelnedbør.
Analyse af ud-løbstyper	I dag er det praksis at antage et konstant udløb fra bassinet uan-set trykhøjde. Dette udløb sæt-tes ofte lig med udledningstilla-delsen.	Konsekvensen af at antage et konstant udløb er, at det beregnede bassinvolumen bliver un-derdimensioneret. Designudløbet ses kun en gang pr. gentagelsesperiode. Resten af tiden vil udløbet være mindre. Sammenlignes et vo-lumen, der er beregnet med konstant udløb, med et volumen beregnet med trykafhængigt udløb i form af vandbremse ses der en forø-gelse på 11 %, ved et rør er forøgelsen 16 %
Gentagelses-periode for bassinudled-ning	Samme gentagelsesperiode for udløb og overløb.	For at sikre bedre udnyttelse af udlednings-tilladelsen anbefales det at benytte forskellig gentagelsesperiode for overløb og udløb. Ved at sætte gentagelsesperioden for trykafhæn-gigt udløb til 1 år og overløb til 5 år er middel-forøgelsen af bassinvolumen 3 % i forhold til bassiner dimensioneret med konstant udløb. Dette er en væsentlig reduktion i forhold til forøgelsen på 11 % ved trykafhængigt udløb uden ændret gentagelsesperiode for udløb.

7 Præsentation af dimensioneringsværktøj

Der er i forbindelse med udarbejdelse af nærværende rapport fremstillet et program til udregning af bassinvolumen baseret på historiske regnserier. Programmet er udviklet i Matlab og inddrager den nytilegnede viden fra denne rapport. Dimensioneringsværktøj kan downloades fra: kortlink.dk/u5n9. En video med gennemgang af dimensioneringsværktøjet findes her: youtu.be/BJlVblu0dZs

Programmet er bygget op med en forside, hvor følgende funktion kan vælges, vist i figur 7.1:

- En fane til beregning af bassinvolumen.
- En fane til korrektion af volumen beregnet i SVK-regneark.
- En fane hvor der kan importeres historiske regnserier til databasen.

Figur 7.1. Dette er forsiden i programmet. Tre faner kan vælges.

7.1 Beregning af bassinvolumen

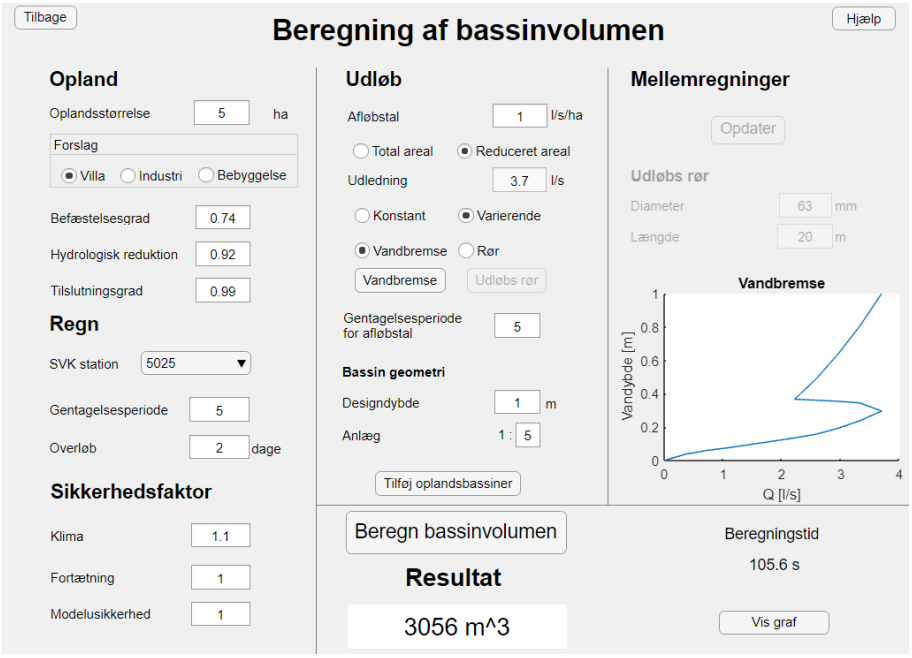
Figur 7.2 viser fanen til beregning af bassinvolumen. Der er mulighed for at ændre input i de fire kategorier; opland, regn, sikkerhedsfaktor og udløb. Koden til udregningen af bassinvolumen er vist i bilag D.

Beregningen af volumen sker for hvert minut, hvor ændring i bassinvolumen findes efter formel 7.1. Derved fås de nødvendige volumener til en vilkårlig tid i den historiske regnserie. På baggrund af de beregnede volumener laves en iteration for at finde det volumen, der sikrer, at antallet af overløb passer til den valgte gentagelsesperiode.

$$\Delta V = S \cdot (i \cdot A_{red} \cdot t - a \cdot A \cdot t) \tag{7.1}$$

hvor:

ΔV	Ændring i bassinvolumen	[l]
S	Alle sikkerhedsfaktorer	[-]
i	Regnens intensitet	[l/s/ha]
A_{red}	Oplandets reducerede areal	[ha]
t	Tidstep på 60 sekunder	[s]
a	Afløbstal	[l/s/ha]
A	Oplandets totale eller reducerede areal	[ha]



Figur 7.2. Fanen i programmet, som benyttes til at beregne bassinvolumen på baggrund af en historisk regnserie.

Opland: I kategorien opland er det muligt at indsætte oplandsstørrelsen af det aktuelle projektområde. Derudover er der de tre oplandsparametre; befæstelsesgrad, hydrologisk reduktionsfaktor og tilslutningsgrad. I afsnit 4.1 er disse parametre nærmere beskrevet og distribution beregnet. 95 % fraktilen for hver oplandstype er indsat som anbefalet standardværdi i programmet. Ønskes en anden værdi, kan parametrene ændres.

Regn: I kategorien regn er det muligt at ændre hvilken SVK station den historiske regnserie er fra og hvilken gentagelsesperiode bassinet skal dimensioneres til. Der medfølger en database med regnserier fra 44 SVK stationer, hvor alle har dataserier over 25 år. En anden historiske regnserie kan importeres til databasen. Det er muligt at ændre gentagelsesperioden og værdien for, hvor lang tid der skal være mellem to regnhændelser, som tidligere beskrevet er standardværdien to dage.

Sikkerhedsfaktorer: I kategorien sikkerhedsfaktorer er det muligt at ændre på klima-, fortætning- og modelusikkerhedfaktor. Standardværdierne her er beskrevet i afsnit 4.2. Ønskes der andre parameterværdier end de anbefalede, er der mulighed for at ændre standardværdierne.

Udløb: I kategorien udløb fastsættes udløbsstørrelse og -type. Der kan vælges mellem konstant eller trykafhængigt udløb, som varierer i forhold til vandstanden. Dimensioneres bassinet med konstant udløb, vil dette blive underdimensioneret, hvilket er nærmere diskuteret i afsnit 5.4.

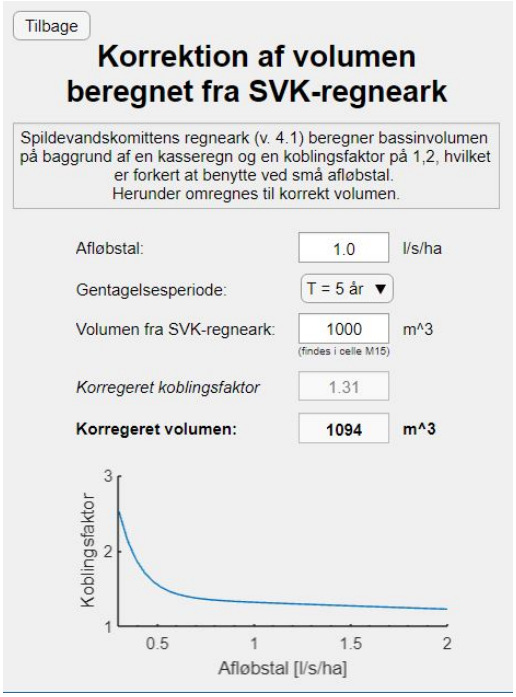
Fordelen ved konstant udløb er en kortere beregningstid, og denne kan benyttes, hvis der ønskes et overslag af bassinvolumen. Når trykafhængigt udløb vælges, er bassinet antaget rektangulært med længde 3 gange bredden, denne designform kan ikke ændres. Anlægget og dybden kan ændres. Det kan ændres hvilken gentagelsesperiode, der skal være for udløbet, så den ikke nødvendigvis er det samme som gentagelsesperioden for overløb. Der kan vælges rør eller vandbremse ved trykafhængigt udløb, som begge åbner op for forskellige indstillinger. Ved udløbsrør kan ønsket rørlængde defineres. Programmet vil så finde den bedste handelsdimension som giver det ønskede udløb. Ved vandbremse kan QH-kurven ændres. Som standard er QH-kurven gældende for en vandbremse af typen Mosbaek Cyklon CYE [Mosbaek A/S , 2018].

Mellemregning: I denne kategori er forudsætningerne for beregningen visualiseret. Ændres der på valg af rør- eller vandbremsetype, skal mellemregningen opdateres, før den nye situation bliver visualiseret.

Beregning og graf: Selve beregningen af volumen kan tage et par minutter, hvis trykvarierende udløb er valgt. Resultatet vises sammen med beregningstiden i bunden af fanen. Ved at klikke på 'Vis graf' vises det beregnede volumen for hele den historiske periode, samt det itererede volumen for den valgte gentagelsesperiode.

7.2 Korrektion af SVK-volumen

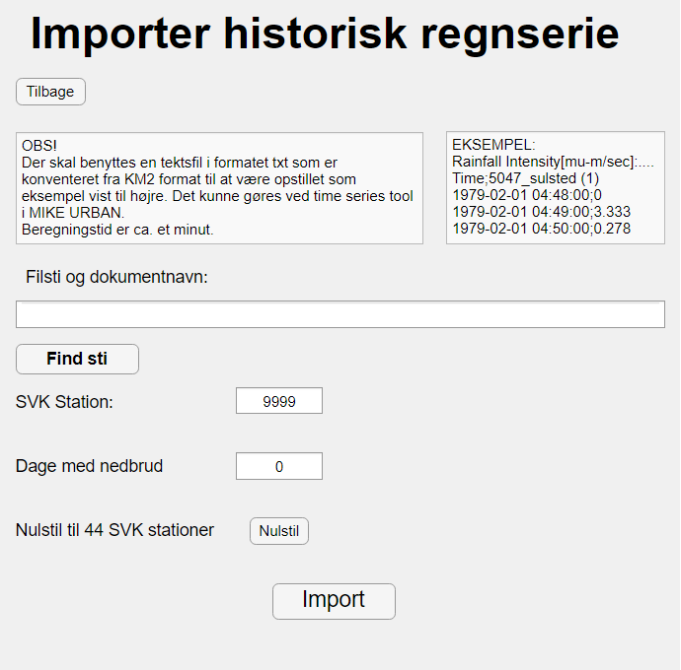
I denne fane, figur 7.3, er det muligt at omregne bassinvolumen fundet i SVK-regneark, da dette er beregnet med en fast koblingsfaktor på 1,2 [Gregersen et al., 2014b]. Som beskrevet i afsnit 3.1.1 er en koblingsfaktor på 1,2 ikke gyldig for afløbstal under 1 l/s/ha. Såfremt brugeren fortsat ønsker at benytte SVK-regnearket til bassindimensionering, er det her muligt at korrigere for den forkerte koblingsfaktor. Figuren under beregningen viser relationen mellem afløbstal og koblingsfaktor givet ved formel 3.1.



Figur 7.3. Fanen for korrektion af beregnet volumen i SVK-regneark.

7.3 Importer historisk regnserie

I denne fane, figur 7.4, er der mulighed for at importere regnserier, der ikke allerede findes i programmets database, eller for at opdatere nogle af dem, der allerede findes. Som standard findes der data fra de 44 SVK stationer, der har måleperioder over 25 år, placeringen af disse er vist på figur 3.1. Disse målinger indeholder data til og med d. 11. december 2017. Det er vigtigt at angive antal dage med nedbrud, for at der kan beregnes, hvor lang tid stationen har været aktiv.

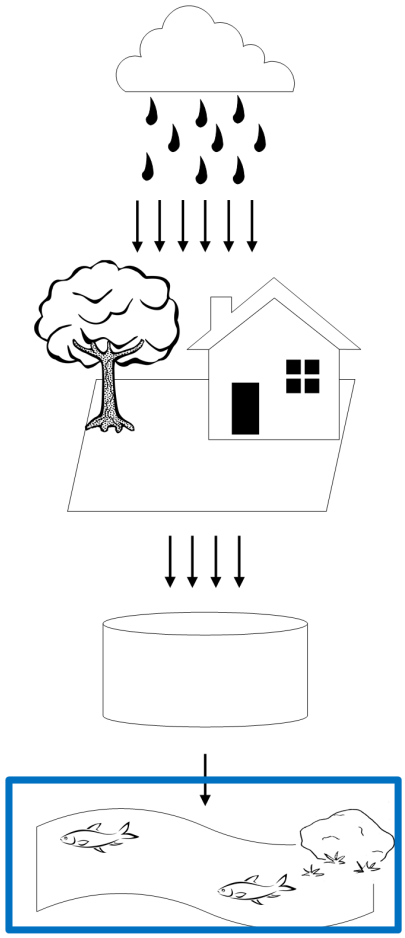


Figur 7.4. Fanen der benyttes til importering af historisk regnserie, som ikke findes i databasen.

Del II

Analyse af tilladelig udløb fra bassin

I Del II er der fokus på bassinudledningernes hydrauliske effekter på vandløbene og dermed hvordan udledningerne begrænses af vandløbenes kapacitet. Begrænses det regnbetingede udløb, vil det betyde en forøgelse i bassinvolumenet og dermed en øget udgift. Det er derfor vigtig at kunne bestemme vandløbets hydrauliske kapacitet, for at undgå store og dyre bassiner. Effekten af regnbetingede udløb kan være oversvømmelser og øget erosion i vandløbene. Disse parametre vurderes med ønske om at kunne bestemme vandløbenes hydrauliske kapacitet.



8 Vurdering af regnbetingede udløb

Udledningskravene, der stilles af myndighederne, sikrer vandkvaliteten i vandløbene og bidrager til at undgå overbelastning af recipienten. I dette kapitel redegøres for de nuværende myndighedskrav og der kommes med forslag til, hvordan fremtidige krav kan formuleres.

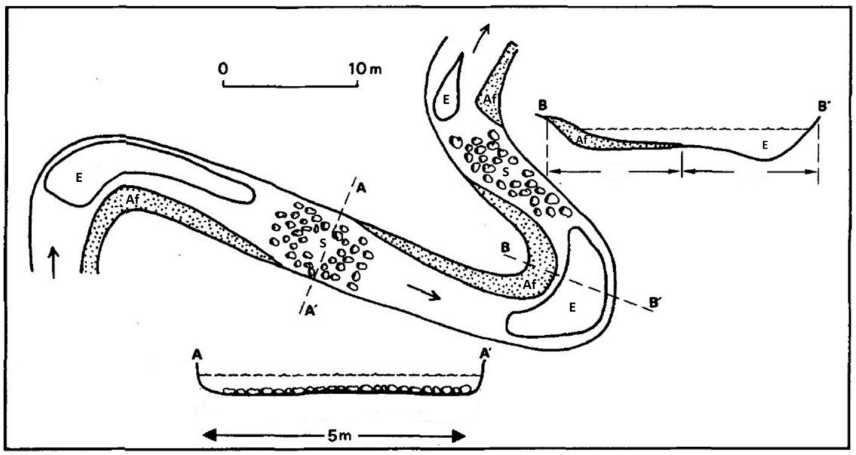
8.1 Nuværende myndighedskrav

I Danmark sikres det gennem Spildevandsbekendtgørelsen, at udledninger fra de urbane områder ikke skaber problemer for bredejere og borgere med matrikler langs vandløb [Miljø- og Fødevareministeriet, 2017]. En udledningstilladelse fra urbane områder er betinget af, at retningslinjerne i Spildevandsbekendtgørelsen overholdes. I vejledningen hertil defineres, at udledninger ikke må *"medføre hyppigere eller større oversvømmelser af vandløbet, end hvad der ville være tilfældet ved afstrømning fra vandløbets naturlige opland"* [Miljøstyrelsen, 2000]. Udledningen må således ikke forårsage påvirkninger af recipienten, som ikke er til stede ved naturlig afstrømning. I denne rapport er det valgt at fokusere på oversvømmelse og erosion, som de hydrauliske konsekvenser ved regnbetingede udløb.

8.2 Det naturlige vandløb

Et vandløbs naturlige forløb er skabt af den lokale topografi og geologi. Et naturligt vandløb vil mæandrere i landskabet, hvilket forårsages af naturlige erosions- og oversvømmelsessituationer. I naturligt mæandrerende vandløb findes stryg og sving, hvor der sker både aflejring og erosion af sediment, som vist i figur 8.1. Dette skaber gode biotoper for mange dyr i vandløbet og dermed stor biodiversitet. Det estimernes, at 98,2 % af Danmarks vandløb er blevet udrettet og dermed stærkt påvirket af menneskelig aktivitet [Brookes, 1987]. Vandløbene blev systematisk udrettet for at øge afvandingsmulighederne og få mere landbrugsjord. Ved udretning af vandløbene øges faldet og dermed øges den hydrauliske kapacitet, og vandløbet kan ikke længere betegnes som naturligt.

Som konsekvens af reguleringer er der skabt større hastigheder og færre oversvømmelser. Da vandløbene har været reguleret i lang tid, er dette blevet accepteret som vandløbenes nye tilstand. Brinkejerne kan derfor have svært ved at acceptere en ny situation med øget oversvømmelse, selvom dette var vandløbets naturlige tilstand. De øgede hastigheder resulterer i øget erosion.



Figur 8.1. Naturligt mæandrerende delstrækning i Lindenborg å (E=Eroderet fordybning, Af=Aflejret sediment, S=Stryg) [Brookes, 1987]

8.3 Effekt af øget hydraulisk belastning

Grundet øget urbanisering stiger andelen af befæstede arealer, hvilket mindsker den naturlige infiltration. Afstrømningen på disse overflader er hurtig og der er højere vandføringer ved regn. Den øgede hydrauliske belastning i recipienten kan, uden de rette forholdsregler, forårsage oversvømmelser af vandløbsnære områder. Dette er problematisk såfremt områderne er opdyrkede eller beboede. Oversvømmelser i disse områder kan medføre erstatningssager og økonomisk tab for samfundet.

Forhøjede vandføringer i vandløbene kan forårsage øget erosion og ændrede morfologiske forhold. Omlejring af vandløbets sedimenter påvirker organismerne, der lever i bundsedimentet. Vandløbet indtræder dermed biologisk set i en ny tilstand, hvor følsomme arter, der ikke tåler de nye forhold, forsvinder. Spildevandskomiteen [2002] påpeger, at der findes *"en række eksempler på tab af arter i vandløbenes flora og fauna pga. den øgede urbanisering. Denne forandring er i mange tilfælde irreversibel. Suspenderet materiale, resuspenderet af erosionen, er skyld i flere direkte og indirekte miljømæssige effekter, bl.a. reduktion af vandets sigtbarhed, tilstopning af gydebanker, påvirkning af fisks gæller og andet følsomt væv."* De forringede biologiske forhold kan resultere i, at EU's vandrammedirektiv ikke opfyldes [Miljøstyrelsen, 2001].

8.4 Tilladt påvirkning af vandløb

Som tidligere beskrevet er erosion og oversvømmelse en naturlig proces i et vandløb. Da den øgede urbanisering skaber ændringer i afstrømningsforholdene i vandløbene, er der behov for en klar definition af, hvornår regnbetingede udløb er skyld i en uacceptabel erosions- eller oversvømmelsessituation. For at kunne skelne mellem acceptabel og uacceptabel oversvømmelse og erosion, defineres der i denne rapport en referencesituation for vandløbet. Referencesituationen er defineret som vandløbets medianmaksimum afstrømning uden udledning fra urbane oplande. I de følgende afsnit defineres konkrete krav til regnbetingede udløb med hensyn til oversvømmelse og erosion.

8.4.1 Definition af oversvømmelseskrav

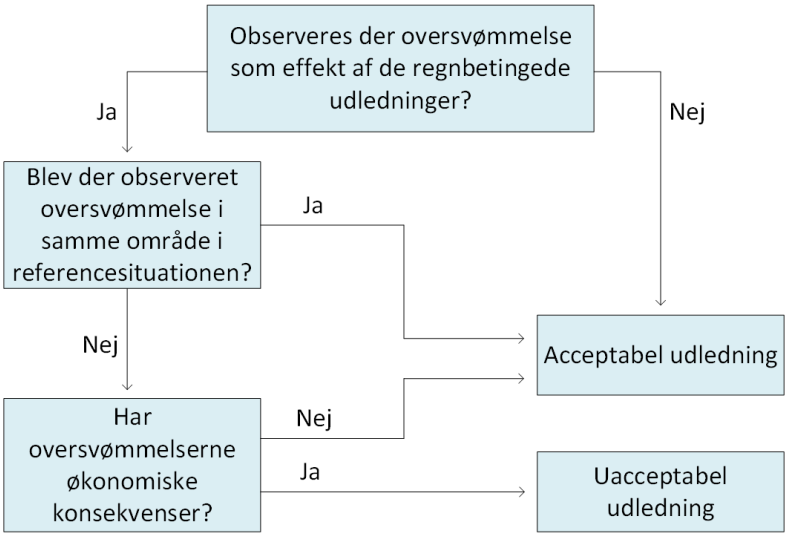
I spildevandsplaner findes servicekrav, som klart definerer, hvornår der er oversvømmelse fra kloak i det urbane opland. I vandløb er der ingen fast definition, men derimod forskellige opfattelser af, hvornår der er oversvømmelse langs et vandløb. Følgende er eksempler på mulige opfattelser af oversvømmelse:

- Overstigelse af faktisk brinkkant
- Overstigelse af brinkkant defineret i vandløbsregulativet
- Opstuvning i drænrør og derved dårligere afvanding af marker
- Oversvømmelser, der fører til økonomisk tab
- Oversvømmelse i ådalen er accepteret, da det er naturligt

Uden en generel accepteret oversvømmelsesdefinition er det vanskeligt at vurdere vandløbets hydrauliske kapacitet og dermed den tilladelige udledningsmængde.

Der er givet et forslag til at skelne mellem acceptabel og uacceptabel oversvømmelse, vist i figur 8.2. I områder hvor referencesituationen skaber oversvømmelse, vil det være acceptabelt at se oversvømmelse ved øget hydraulisk belastning fra urbane områder, da dette anses som en naturlig situation. Viser analysen, at udledningen fra det urbane opland skaber oversvømmelse på arealer, hvor der ikke er problemer i referencesituationen, skal konsekvensen af oversvømmelsen vurderes for det konkrete område. Vurderes det, at oversvømmelsen ikke har økonomiske konsekvenser, vil denne findes acceptabel.

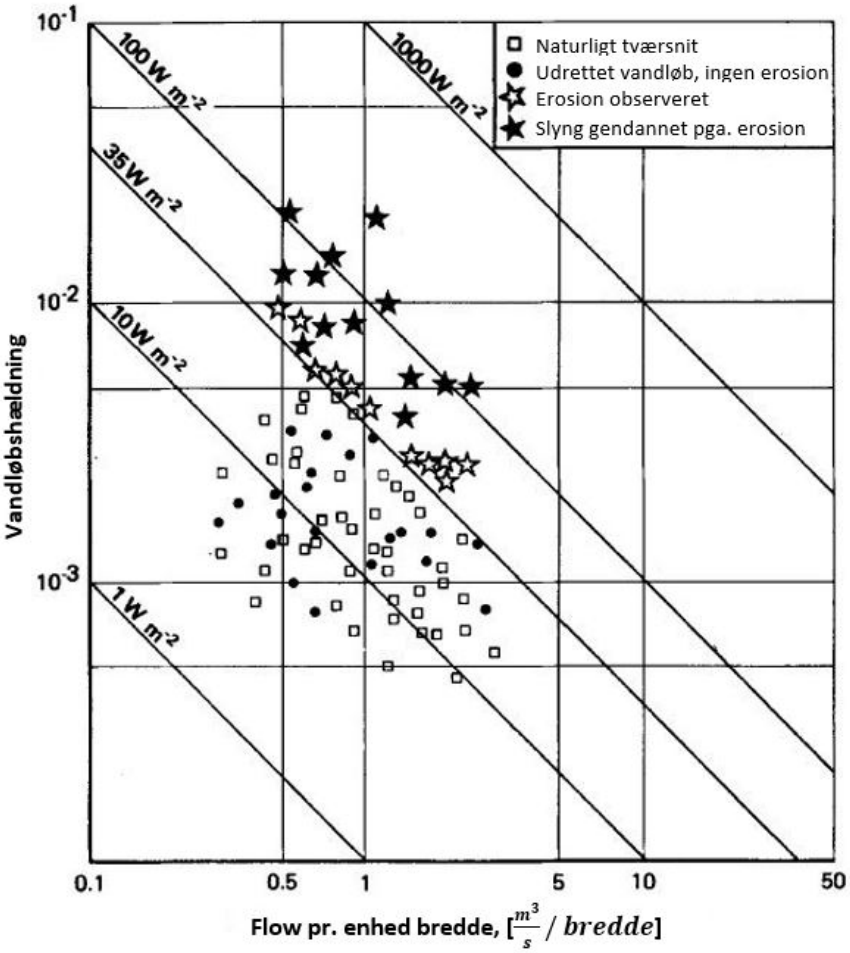
Den beskrevne metode kan benyttes til vurdering af, om konsekvensen af en udledning er acceptabel. En konkret beregning i det enkelte vandløb skal foreligge for referencesituationen og bassinudlening før metoden er anvendelig. Metoden er afhængig af, at der vælges en realistisk referencesituation. Det anbefales at anvende vandløbets medianmaksimumafstrømning som referencesituation.



Figur 8.2. Anbefalet metode til at skelne mellem acceptabel og uacceptabel oversvømmelse fra regnbetingede udløb.

8.4.2 Definition af erosionskrav

Til vurdering af erosion i et vandløb beregnes det såkaldte 'stream power index'. Power index er et udtryk for energien i vandløbet og udregnes som produktet af bundforskydningsspændingen og middelhastigheden i et tværsnit. Forsøg udført i en række danske vandløb viser, at erosion observeres ved et power index over 35 W/m^2, vist i figur 8.3. Figuren viser en tydelig grænse mellem vandløb, hvor erosion er observeret, og vandløb uden tegn på erosion. Ved en stigende vandløbshældning sker erosion ved mindre vandføring. [Brookes, 1987]



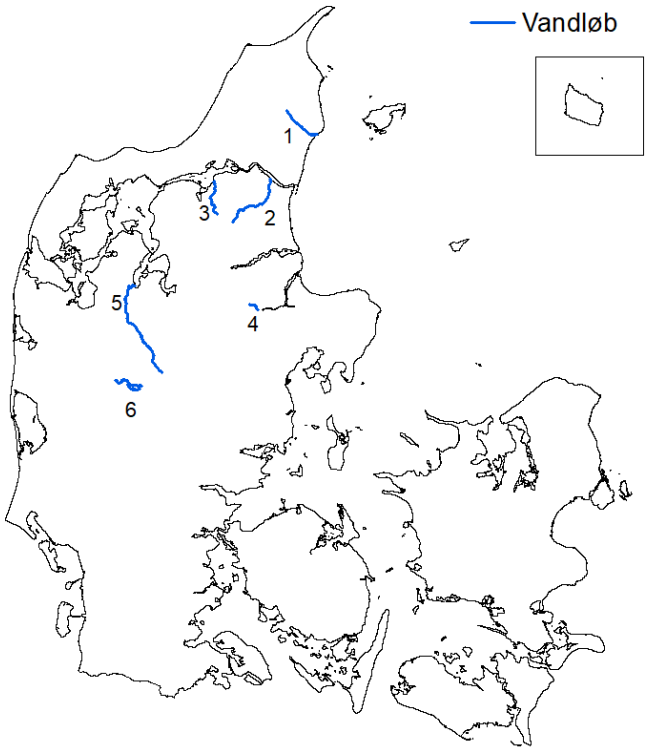
Figur 8.3. Erosion i danske vandløb relateret til en specifik stream power index [Brookes, 1987]

.

I denne rapport vil en urban udledning blive vurderet som uacceptabel, hvis udledningen resulterer i power index over den definerede grænseværdi på 35 W/m^2. Såfremt power indexet er over grænseværdien i referencesituationen, vil en urban udledning dog vurderes acceptabel, da dette vurderes som vandløbets normaltilstand. Simulerede resultater bør holdes op mod faktiske observationer fra vandløbet, før en endelig konklusion om tilstedeværelse af erosion drages.

9 Effekt fra regnbetingede udløb på recipient

Erosion i vandløb og oversvømmelse af omkringliggende områder undersøges for at vurdere om disse kan fungere som en indikator for tilladelige bassinudledning. Med udgangspunkt i seks konkrete vandløb vurderes konsekvensen af bassinudledninger, placering er vist i figur 9.1. Hertil benyttes modellen MIKE Hydro River og GIS. Svejstrup Bæk og Herningsholm Å er bynære vandløb med stor andel befæstet areal. Voer Å, Lindenborg Å, Binderup Å og Karup Å har stort opland med lille andel befæstet areal og stor vandføring.



Figur 9.1. Placeringen af seks case-vandløb. 1=Voer Å, 2=Lindenborg Å, 3=Binderup Å, 4=Svejstrup Bæk, 5=Karup Å, 6=Herningsholm Å-systemet

I de følgende analyser undersøges konsekvensen af forsinkede og uforsinkede bassinudledninger. Appendiks G beskriver udførelsen og resultater af hver af analyserne for de individuelle vandløb. Dette afsnit indeholder den samlede vurdering. De enkelte analyser er beskrevet herunder:

Vandspejlsstigning forårsaget af bassinudledninger: For at undersøge vandløbets robusthed overfor udledninger, er en udledning fra et fiktivt befæstet opland på 5 ha koblet på vandløbet. Vandspejlsstigningen i vandløbet er beregnet i tværsnit med forskellig vandføring. Analysen bygger på en stationær model, med en referencesituation, der svarer til middelvandføringen for det respektive vandløb uden bassinudledninger.

Oversvømmelse forårsaget af bassinudledninger: Formålet med analysen er at undersøge de seks case-vandløbs robusthed overfor oversvømmelser. Oversvømmelsudbredelsen undersøges ved at beregne vandspejlsstiningen i en stationær model på baggrund af eksisterende befæstet opland og bassiner. Bassinudledninger på 1, 3, 6 og 9 l/s/ha er analyseret. Referencesituationen defineres som en vintermedianmaksimum vandføring uden bassinudløb.

Erosion forårsaget af bassinudledninger: Erosionen undersøges ved at beregne power index i en stationær model. Referencesituation defineres ved vintermedianmaksimum i vandløbet og ingen udledninger fra bassiner. Scenarier med gradvist stigende udledninger fra bassinerne modelleres. Konsekvensen i form af ændrede erosionsforhold registreres. Det kritiske niveau er det punkt, hvor erosion overskrider 35 W/m^2 i større omfang end i referencesituationen.

Nødvendighed af bassiner: Formålet med analysen er at vurdere konsekvensen af, ikke at anlægge bassiner for at beskytte recipienten. I Herningsholm Å modelleres uforsinkede udløb dynamisk. Dynamisk modellering er nødvendig for at kunne tage højde for de kortvarige regnimpulser forårsaget af uforsinkede udløb. Referencesituationen er baseret på konstante værdier for vintermedianmaksimum afstrømning uden udledninger.

Sammenhæng mellem vandføring og uforsinket udledning: Formålet er at undersøge, om det er de uforsinkede udledninger eller naturlig vandføring, der forårsager de højeste vandstande. I Voer Å er målte døgnmiddelværdier for vandføring i vandløbet sammenholdt med den daglig største uforsinkede udledning fra befæstet opland. En dynamisk model beskriver hvilken kombination af ovenstående hændelser, der giver de højeste vandstande.

Dæmpning af uforsinket udledning: Formålet er at undersøge, hvor langt fra udledningspunktet, at vandstanden i vandløbet påvirkes af en uforsinket udledning. En dynamisk model for de seks case-vandløb benyttes for at vise den 'bølge' som udledningen forårsager. Referencesituationen svarer til middelvandføringen for vandløbet.

Valg af 'radiustype'

I vandløbsberegninger skal der vælges mellem at anvende hydraulisk radius eller modstandsradius. Hydraulisk radius beregnes som forholdet mellem gennemstrømningsarealet og den våde perimeter. Modstandsradius beregnes ved integration over tværsnittet, hvor vanddybden vægtes højere end tværsnitsbredden. Der er ingen præcise retningslinjer for i hvilke situation, de to skal benyttes [Larsen, 2017].

I brede tværsnit med varierende dybde er turbulensen, som skabes ved friktion til bunden, uens fordelt. Dette betyder, at bundforskydningsspændingerne også er uens fordelt. I dette tilfælde har hydraulisk radius ingen mening [Brorson & Larsen, 2009]. I tilfælde hvor en lille forøgelse i vandstand skaber en brat stigning i den våde perimeter, vil det give forkerte resultater at anvende hydraulisk radius som inputparameter, da der ikke differentieres mellem vanddybder [Orbicon, 2017].

I de seks case-vandløb er der risiko for oversvømmelse og dermed en brat udvidelse af vandløbsbredden og modstandsradius er anvendt.

Valg af Manningtal

Vandløbenes dynamik og væksten af grøde besværliggør at finde den korrekte modstand. Om vinteren er der lidt eller ingen grøde i vandløbene og modstanden er derfor lav. Om foråret og sommeren vokser grøden og skaber større modstand. I nogle vandløb beskæres grøden flere gange i vækstsæsonen for at forbedre afvandingen. Forskellige grødetyper resulterer i forskellig modstand ved høje eller lave vandføringer [Miljøstyrelsen, 2017]. Alle disse forhold gør det meget vanskeligt at bestemme en korrekt modstand [Orbicon, 2017]. Forslag til intervaller for manningtallet er vist i tabel 9.1. Værdierne er baseret på Vestergaard [2012] og omregnet fra hydraulisk radius til modstandsradius, forklaret i appendiks H. Der bør altid foretages en konkret vurdering ved besigtigelse af vandløbet, men tallene kan være en guideline.

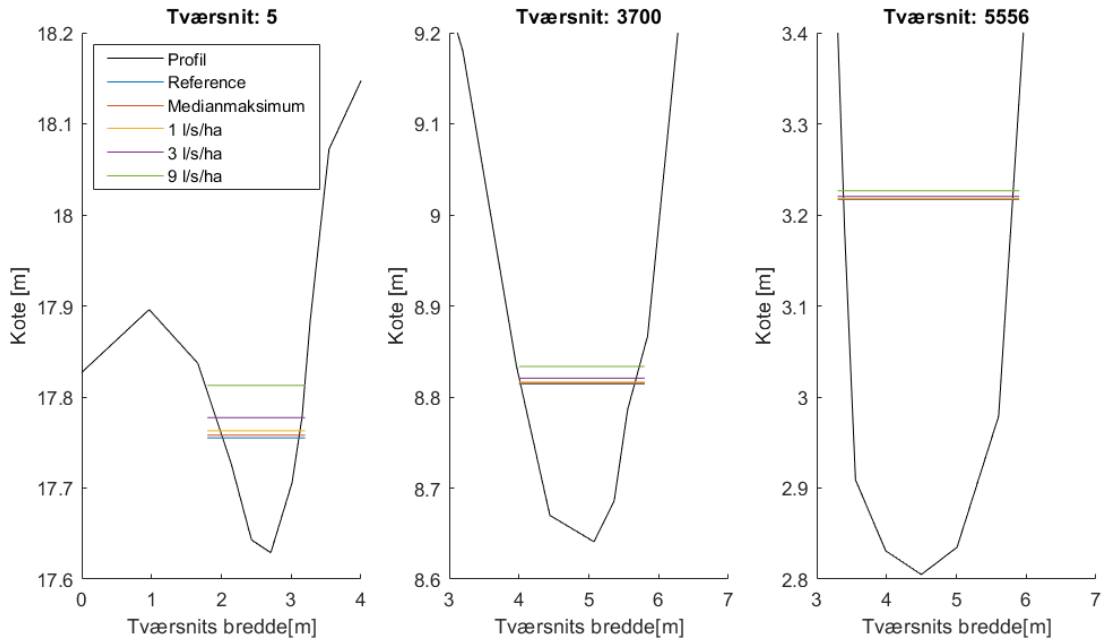
Tabel 9.1. Intervaller for Manningtal [$m^{\frac{1}{3}}/s$] for forskellige størrelse vandløb og grødevækst.

	Lille vandløb	Mellem vandløb	Stort vandløb
Vandspejlsbredde:	1-2 m	2-5 m	5-10 m
Med tæt grødevækst (sommer)	3-6	6,5-9,7	10,5-14
Med spredt grødevækst (sommer)	6-9	9,7-12,2	13,1-17,5
Uden grødevækst (vinter)	9-13,4	13-19,5	17,5-26,3

Der er ved analyserne i denne rapport valgt at benytte samme manningtallet i alle vandløb, da det gør det nemmere at sammenligne resultater. Dette giver en usikkerhed, da der er forskel i de fysiske forhold som fx bredde og grøde. Det kræver et godt kendskab til det enkelte vandløb for at retfærdiggøre. Manningtal 22 er valgt, hvis ikke andet er nævnt, da de fleste analyser er baseret på vintermedianmaksimum og de udvalgte vandløb hovedsaligt er store. Ved dynamisk modellering er manningtal 10 benyttet for sommersituationen.

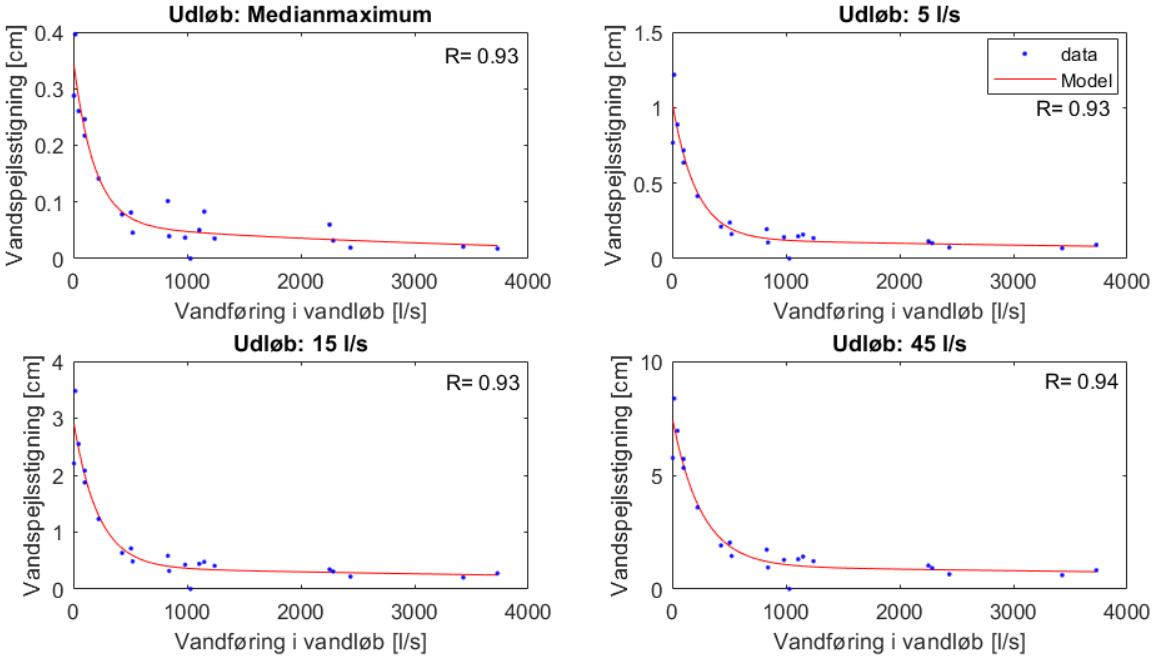
9.1 Vandspejlsstigning forårsaget af bassinudledninger

Vandspejlsstigninger belyser konsekvensen af et givet bassinudløb til et vandløb og kan give en indikation af påvirkningen fra udledningen. Vandspejlsstigningen er beregnet i udvalgte tværsnit for et konstant udløb fra et fiktivt opland på 5 ha. Stigningen er beregnenet i forhold til referencesituationen, altså en situation uden udledninger fra det urbane opland. Eksempler på de beregnede resultater er vist i figur 9.2. Vandspejlsstigningen forårsaget af udledning er størst i tværsnit 5, da vandføringen i vandløbet og tværsnittets bredde er mindst. I tværsnit 5556 er konsekvensen af alle udledningerne lille da tværsnittet er stort og mere robust.



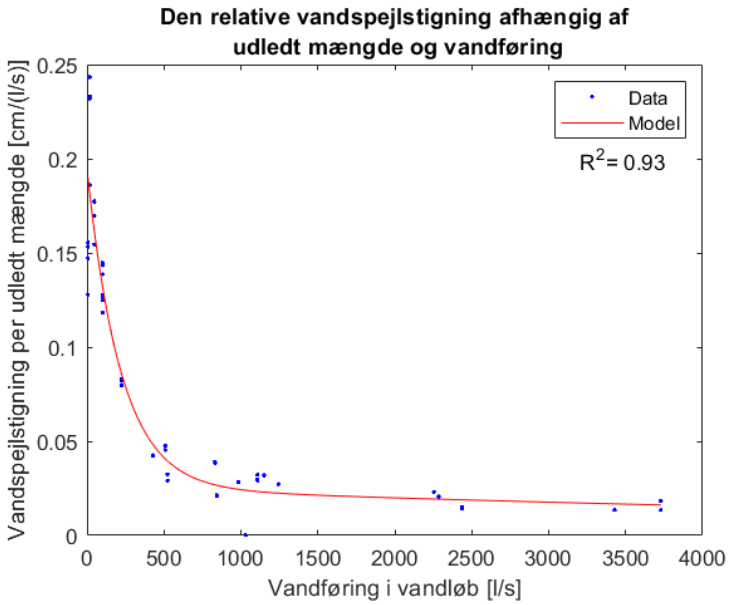
Figur 9.2. Beregnet vandspejlsstigning i udvalgte tværsnit i Svejstrup bæk i station 5 m, 3,7 km og 5,6 km. Beregningerne er baseret på referencesituationen og konstante udledninger på 1, 3 og 9 l/s/ha, samt vandløbets medianmaksimum og manningtal 22.

De beregnede resultater for de seks case-vandløb er vist i figur 9.3. Vandspejlsstigningerne er beregnet i udvalgte tværsnit for konstante udløb på 1, 3 og 9 l/s/ha, samt vandløbets medianmaksimum, vist i hver sin graf. Der ses en eksponentiel sammenhæng mellem vandspejlsstigning og vandføring i vandløbet. Vandspejlsstigningen er næsten konstant ved vandføringer over 1000 l/s.



Figur 9.3. Beregnede vandspejlsstigninger ift. referencesituationen i de seks case-vandløb ved et konstant udløb på 1, 3, og 9 l/s/ha, samt vandløbets medianmaksimum, fra et opland på 5 ha og med manningtal 22.

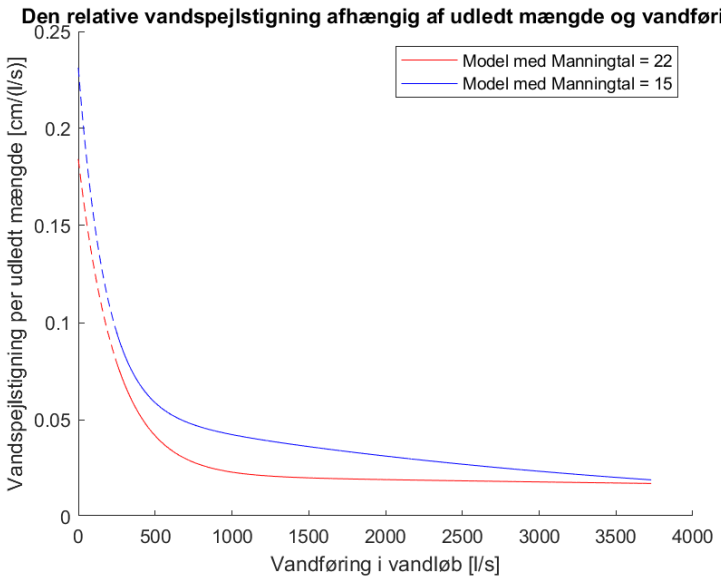
For at kunne sammenligne effekterne fra de fire udløbsscenarier, er den relative vandspejlsstigning per udledt mængde beregnet, resultaterne er vist i figur 9.4. Ved små vandføringer i vandløbet er spredningen i vandspejlsstigning stor og modellen er usikker for små vandføringer.



Figur 9.4. Eksponentiel sammenhæng mellem relativ vandspejlsstigning per udledt l/s og vandføring i vandløb ved manningtal 22.

Figur 9.4 er beregnet på baggrund af et konstant Manningtal på 22, hvilket er en høj værdi for 'mellem' vandløb (2-5 m bredde) og en gennemsnitlig værdi for 'store' vandløb (5-10 m bredde), anbefalede manningtalsværdier er vist i tabel 9.1. Samme beregning er udført for et manningtal på 15, hvilket er en lav værdi for et 'mellem' vandløb. Begge resultater er vist i figur 9.5. Modellerne viser forskel i resultaterne, når Manningtallet ændres. Ved manningtal 15 er der ikke en tendens til konstant vandspejlsstigning ved vandføring i vandløbet over 1000 l/s.

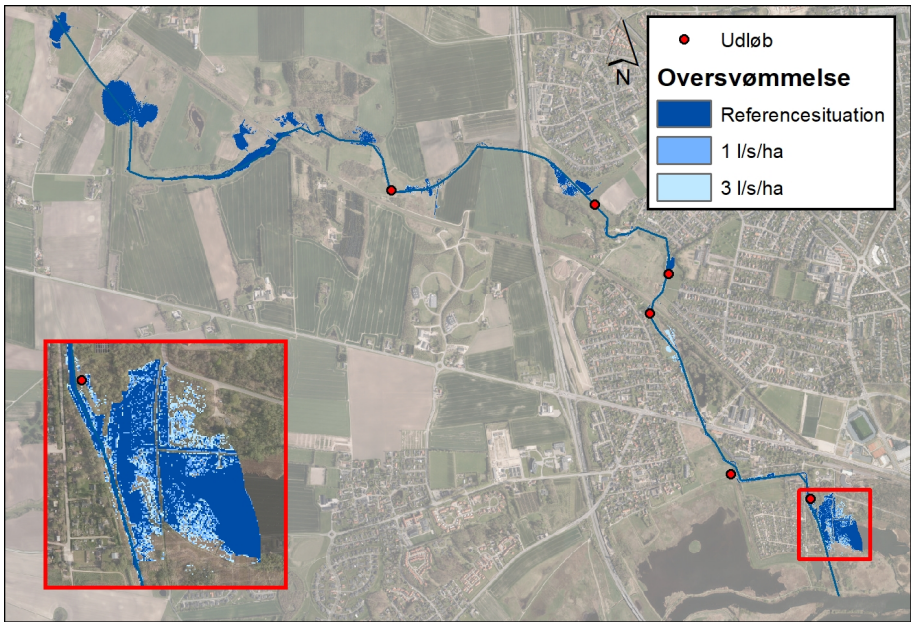
Figur 9.5 kan anvendes til at finde overslag for vandspejlsstigningen til en kendt udledning og vandføring i vandløbet. Figuren er gældende for manningtal 15 og 22. Vandløb med små vandføringer er ofte smallere end 2 m og pga. valg af manningtal er modellen ikke gældende for små vandføringer. Derfor har modellen en væsentlig usikkerhed ved vandføringer under 250 l/s, markeret med stiplede linjer i figuren.



Figur 9.5. Forskel i vandspejlsstigning, ved benyttelse af Manningtal på 15 og 22. Modellen er usikker ved vandføringer under 250 l/s.

9.2 Oversvømmelse forårsaget af bassinudledninger

De seks case-vandsløbs robusthed overfor udledninger undersøges, ved at beregne oversvømmelserne på baggrund af eksisterende befæstet opland og bassiner. Bassinudledninger på 1, 3, 6 og 9 l/s/ha er analyseret. Når uacceptabel oversvømmelse er registreret, er større udledninger ikke undersøgt. Til at vurdere oversvømmelsesudbredelsen er oversvømmelseskort blevet udarbejdet, et eksempel er vist i figur 9.6. Kortet viser oversvømmelse af bygninger ved udledning på 3 l/s/ha.



Figur 9.6. Eksempel på udarbejdet oversvømmelseskort: Modelleret oversvømmelse i Svejstrup Bæk ved referencesituation og ved udledning fra alle nuværende bassiner på 1 og 3 l/s/ha. Kort fra Geodatastyrelsen.

For alle case-vandløb er der blevet vurderet, hvorvidt den forøgede oversvømmelse er acceptabel eller ej. Fremgangsmåden til at skelne mellem acceptabel og uacceptabel er beskrevet i afsnit 8.4.1. Kan den forøgede oversvømmelse betragtes som acceptabel, anses den analyserede udløbsmængde ikke som en overskridelse af vandløbets kapacitet. Tabel 9.2 viser ved hvilken udledning vandløbene robusthed overfor oversvømmelse overskrides.

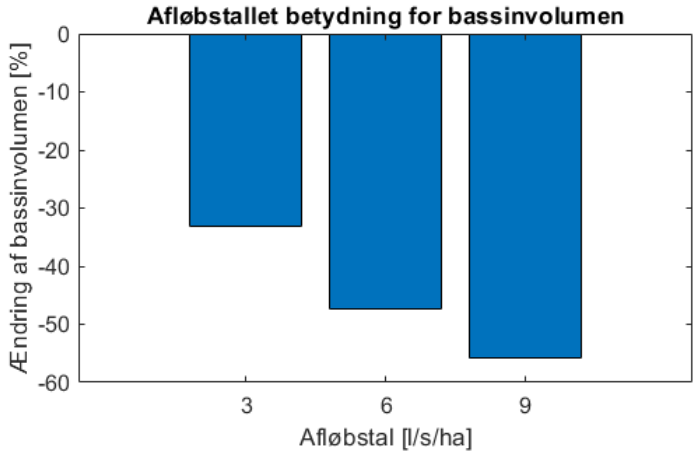
Analysen viser, at fem af de seks case-vandløb kan håndtere udløb fra de eksisterende bassiner på 1 l/s/ha uden at give uacceptable oversvømmelser. Herningsholm å-systemer giver uacceptable oversvømmelser ved 1 l/s/ha. Svejstrup Bæk kan håndtere 1 l/s/ha, men ved 3 l/s/ha ses uacceptable oversvømmelser. Voer Å kan håndtere 3 l/s/ha, men ved 6 l/s/ha ses uacceptable oversvømmelser. De tre resterende vandløb kan klare udledninger på 9 l/s/ha uden uacceptable oversvømmelser.

De fire vandløb, som kan klare udledninger over 3 l/s/ha, har en høj vandføring og lille andel befæstet opland (<0,5 %). Vandløb med samme karakteristika har sandsynligvis en robusthed overfor oversvømmelse, som tillader en forøgelse af bassinudledningen fra de typisk anvendte 1 l/s/ha. Svejstrup Bæk har et befæstet opland på ca. 5 % af det totale opland og kan klare den typiske værdi på 1 l/s/ha. Herningsholm Å-systemet har en stor andel befæstet opland på ca. 10 % og får uacceptable oversvømmelser ved 1 l/s/ha.

Tabel 9.2. Vurdering af acceptabel og uacceptabel oversvømmelse i seks vandløb ved bassinudledninger på 1, 3, 6 og 9 l/s/ha. Det er skelnet mellem acceptabel og uacceptabel oversvømmelse ved at anvende fremgangsmåden beskrevet i afsnit 8.4.1.

Vandløb	Acceptabel oversvømmelse ved			
	1 l/s/ha	3 l/s/ha	6 l/s/ha	9 l/s/ha
Binderup Å	Ja	Ja	Ja	Ja
Herningsholm Å-system	Nej	Nej	Nej	Nej
Karup Å	Ja	Ja	Ja	Ja
Lindenborg Å	Ja	Ja	Ja	Ja
Svejstrup Bæk	Ja	Nej	Nej	Nej
Voer Å	Ja	Ja	Nej	Nej

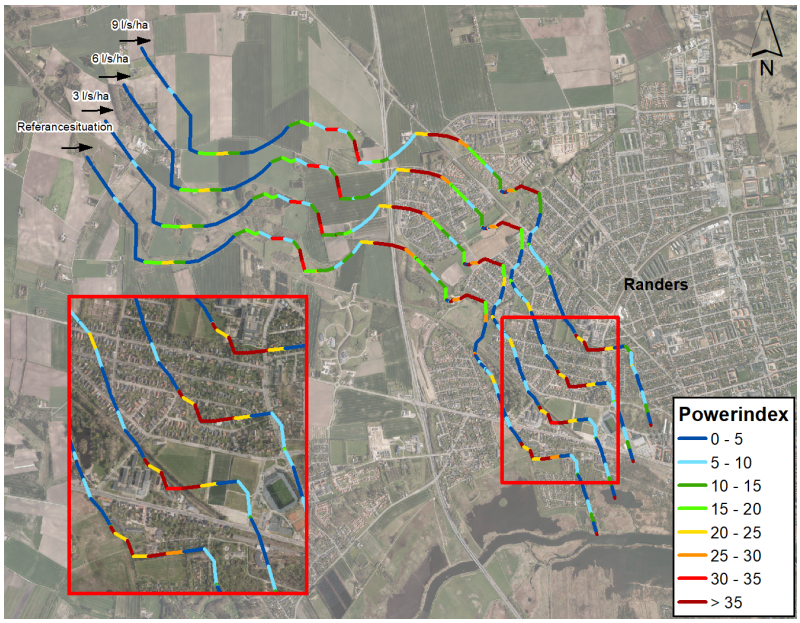
I de fire vandløb, som kan klare udledninger over 3 l/s/ha, kan det endelige bassinvolumen reduceres med 33 % – 55 % set i forhold til et bassin med afløbstal på 1 l/s/ha, vist i figur 9.7. Det har væsentlig betydning at afløbstallet i store vandløb kan øges fra de typisk anvendte 1 l/s/ha. Hvis afløbstallet øges fra 1 til 3 l/s/ha vil det betyde en reduktion på 33 % i bassinvolumenet. Hvis afløbstallet yderligere øges fra 3 til 6 l/s/ha vil det betyde en reduktion på 15 %. For de høje afløbstal har det mindre betydning for størrelsen af bassinvolumenet, hvilken værdi der vælges.



Figur 9.7. Procentvis afvigelse af volumen ved ændret afløbstal. Ændring er set i forhold til et bassin med afløbstal på 1 l/s/ha. Middelværdi for 44 SVK stationer.

9.3 Erosion forårsaget af bassinudledninger

Erosionsrisikoen beregnes på baggrund af parameteren power index med en grænseværdi på 35 W/m^2. Overstiges denne antages der risiko for erosion, som beskrevet i afsnit 8.4.2. Erosionsberegninger for referencesituationen og for stigende udledning fra bassiner er illustreret i erosionskort, et eksempel er vist i figur 9.8. På nogle strækninger ses et fald i power index ved en stigende udledning, hvilket skyldes, at middelhastigheden falder, når vandstanden overstiger brinken.



Figur 9.8. Eksempel på udarbejdet erosionskort: Modelleret power index i Svejstrup Bæk ved referencesituation og ved udledning fra alle nuværende bassiner på hhv. 3, 6 og 9 l/s/ha. Referencesituationen viser vandløbets tracé. Kort fra Geodatastyrelsen.

De beregnede strækninger med erosion er vist i tabel 9.3 for de seks case-vandløb. I Binderup Å, Lindenborg Å og Voer Å, alle med lille befæstet opland, er der ingen ændring i erosion ved bassinudledning på 9 l/s/ha. Vandløbene vurderes derfor at være robuste overfor erosion

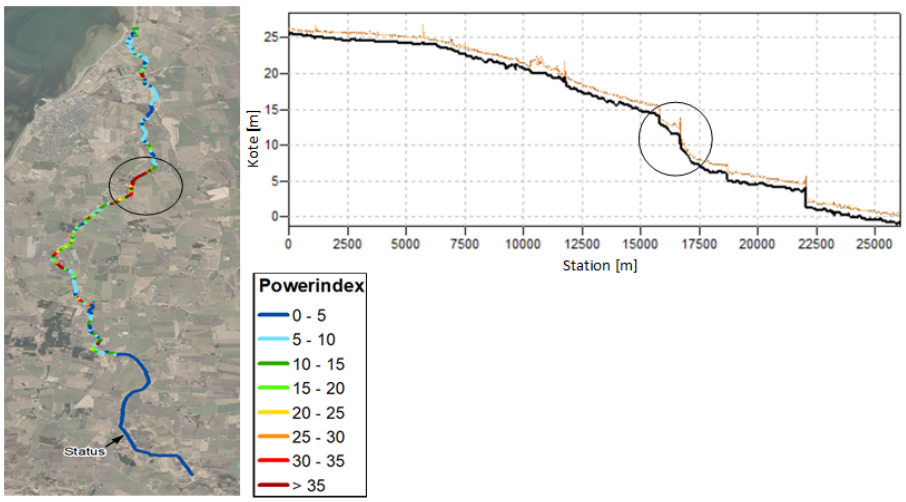
forårsaget af bassinudledninger. I Herningsholm Å og Svejstrup Bæk stiger strækninger med erosion med 50 og 55 m ved bassinudledning på 6 l/s/ha, og denne udledning er derfor fastsat som den kritiske mængde. I Hammerum Bæk og Karup Å falder længden med erosion, hvilket kan skyldes, at vandspejlet overstiger brinkerne og middelhastigheden falder. Problematikken er forklaret nærmere i afsnit 9.3.1. Sammenlignes de kritiske udledninger fundet i tabel 9.2 og tabel 9.3 ses det, at oversvømmelse er begrænsende for udledningernes størrelse.

Tabel 9.3. Vandløbets fald og befæstede opland og den beregnede erosion. Længden angiver den samlede længde af vandløbet, hvor power index overstiger 35 W/m^2 i referencesituationen. Sidste kolonne angiver ændring i længden af power index over 35 W/m^2 ved den angivne udløbsmængde fra nuværende befæstet areal.

	Befæstet opland [%]	Vandløbs fald [‰]	Længde af erosion i ref. [m]	Kritisk udledning fra bassin [l/s/ha]	Ændret erosion ved udledning [m]
Binderup Å	0,1	0,5 – 3,8	1800	9	–
Herningsholm Å	13,8	0,6	130	6	+50
Hammerum Å	8,1	0,8 –3,6	2600	6	–
Hammerum Bæk	15,0	1,3 – 5,4	3820	6	-650
Karup Å	0,1	0,6	1380	6	-190
Lindenborg Å	0,3	0,2	0	9	–
Svejstrup Bæk	5,8	1,7	870	6	+55
Voer Å	0,1	0,6	240	9	–

I Binderup Å ses 1800 m med power index over 35 W/m^2 i referencesituationen, svarende til 7 % af hele vandløbslængden. Alligevel er der ingen forøgelse af erosion ved bassinudledning på 9 l/s/ha. Forklaringen på dette er, at Binderup Å har et højt fald og dette afspejles i power index værdien. Et eksempel herpå er vist i figur 9.9.

Der er usikkerheder forbundet med at betragte hele vandløbet med ét fald og en gennemsnitlig erosion, som gjort i tabel 9.3, da der kan være store lokale forskelle. Når vandløbene belastes med øget udløb fra bassiner, sker der en stigning i power index nedstrøms udledningerne. Denne stigning er sjældent meget stor og derfor bliver det kun kritisk for strækninger, hvor der i referencesituationen er værdier nær grænseværdien.



Figur 9.9. Eksempel på overskridelse af power index-grænseværdien i Binderup Å i referencesituationen samt længdeprofil. Cirklen markerer samme sted på hhv. plankort og længdeprofil.

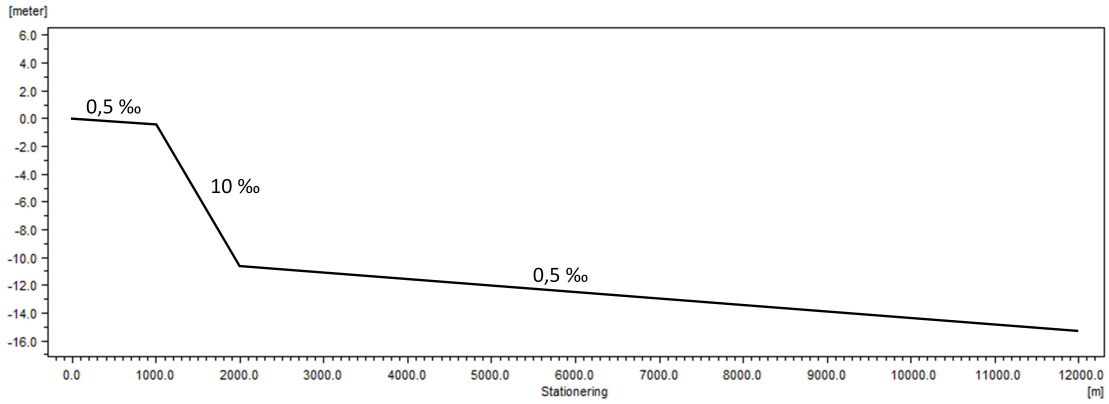
Det er ofte strækningerne med store fald, der er udsat for erosionsrisiko. I tabel 9.4 er opsamlet de mulige forklaringer på erosion i de enkelte vandløb. Yderlig forklaring er givet i appendiksafsnit G.8.2. Analysen viser, at vandløbets fald og procentdelen af det befæstede opland er afgørende for, om power indexet overskrider grænseværdien. I de store vandløb fås ingen strækninger med kritisk erosion ved udledninger fra bassiner.

Tabel 9.4. Vurdering af om strækninger med erosion skyldes påvirkning fra bassinudledninger eller om den kan forklares 'naturligt' grundet fald og størrelse.

Vandløb	Forklaring på erosion
Binderup Å	Vandløbets form og fald
Herningsholm Å	Meget befæstet opland forårsager store bassinudledninger
Hammerum Bæk og Å	Vandløbets form og fald
Karup Å	Vandløbets form
Lindenborg Å	Ingen erosion grundet lavt fald
Svejstrup Bæk	Meget befæstet opland forårsager store bassinudledninger
Voer Å	Vandløbets form og fald

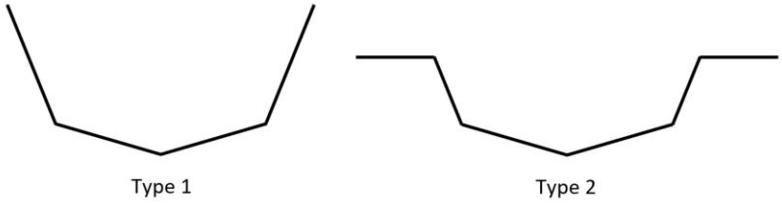
9.3.1 Vurdering af erosionsberegninger

Erosionsberegningerne er udført for scenarier, hvor den hydrauliske belastning gradvist er blevet forøget. Forventeligt vil en øget hydraulisk belastning vise et højere power index, dog viser simuleringerne i nogle tilfælde en tendens til et fald i power index. For at undersøge årsagen til disse resultater, er en stationær model for et fiktivt vandløb opstillet. Modellen er sat op med et længdeprofil som vist i figur 9.10. Længdeprofilet er designet med et fald på 10 ‰ på en kort strækning.



Figur 9.10. Længdeprofil til undersøgelse af erosionsberegninger.

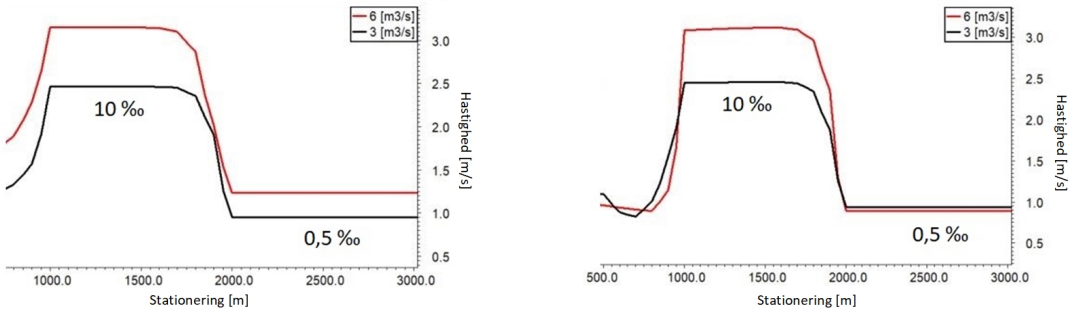
Power indexet beregnes på baggrund af middelhastigheden derfor har tværsnitsprofilet en stor betydning for resultatet. I denne analyse er to simuleringer foretaget med forskellige tværsnit, vist i figur 9.11. Begge profiltyper belastes med et fast indløb i st. 0. Der er udført to simuleringer med vandføring på 3 og 6 m^3/s. Profiltype 1 er designet så vandstanden aldrig overstiger brinkkoten. Profiltype 2 er designet, så vandstanden ikke overstiger brinkkoten ved en belastning på 3 m^3/s, men ved en belastning på 6 m^3/s vil vandstanden overskride brinkkoten på de steder i længdeprofilet, hvor faldet er 0,5 ‰.



Figur 9.11. Tværsnitsprofiler til undersøgelse af erosionsberegninger.

I figur 9.12 er de beregnede vandhastigheder i længdeprofilet for profiltype 1 og 2 præsenteret. I figur 9.12a (profiltype 1), hvor vandet ikke overskrider brinkkote, er der en stigende vandhastighed til stigende vandføring i hele længdeprofilet. I figur 9.12b (profiltype 2) resulterer en vandføring på 6 m^3/s i, at vandstanden kommer over åbrinken på strækninger med 0,5 ‰ fald. Det resulterer i, at middelhastigheden er lavere på denne strækning end ved en vandføring på 3 m^3/s.

Faldet i middelhastigheden skyldes, at den våde perimeter stiger brat når vandstanden overstiger brinkkoten. Den faldende middelhastighed til en stigende hydraulisk belastning betyder, at samme tendens findes i beregningen af power indexet, vist i tabel 9.5. I situationer, hvor vandet ikke overskrider brinkkote forøges power index ved en stigende vandføring.



(a) Profiltype 1 (b) Profiltype 2

Figur 9.12. (a) Vandhastighed i længdeprofilet for simulering med profiltype 1 med konstant vandføring på 3 og 6 m^3/s. (b) Vandhastighed i længdeprofilet for simulering med profiltype 2 med konstant vandføring på 3 og 6 m^3/s.

Tabel 9.5. Beregnede power index i udvalgte tværsnit. Sorte tal markerer, hvor en stigning i hydraulisk belastning resulterer i en stigning i power index. Røde tal markerer, hvor en stigning i hydraulisk belastning resulterer i et fald i power index.

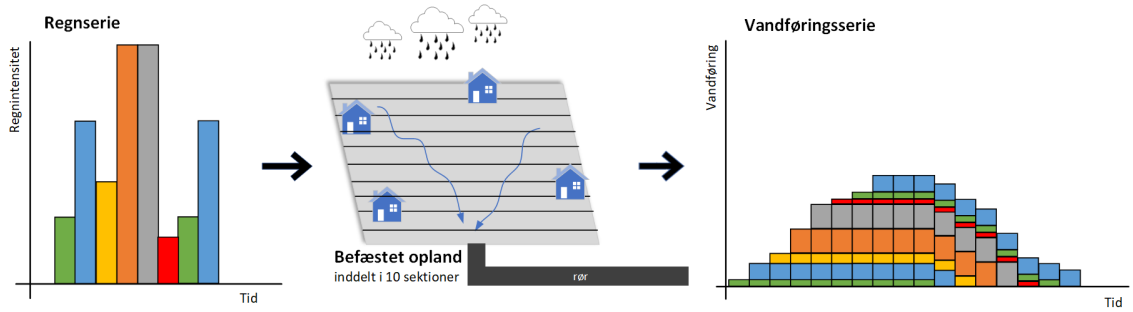
Simulering	Power index i st. 1300 Fald: 10‰ [W/m^2]	Power index i st. 2500 Fald: 0,5 ‰ [W/m^2]
Profiltype 1		
Indløb: 3 m^3/s	1178	28
Indløb: 6 m^3/s	1568	44
Profiltype 2		
Indløb: 3 m^3/s	1173	27
Indløb: 6 m^3/s	1539	24

Resultaterne fra denne undersøgelse indikerer, at der kan være problemer ved at midle vandhastigheden over tværprofilet ved vurdering af erosionsrisiko i vandløb. Undersøgelsen viser, at metoden er problematisk i situationer, hvor vandspejlet overstiger brinkkoten, hvis brinken er inkluderet i tværsnittet. Kommunernes vandspejlsopmålinger inkluderer ofte en del af brinken.

Erosionsberegninger med en 1D model er forbundet med store usikkerheder, når vandspejlet overstiger brink. Erosion benyttes til vurdering af ændring af fysiske forhold i vandløbet og forårsager både negative og positive forhold i recipienten. Det er vurderet, at erosionen beregnet med en 1D model ikke er en brugbar parameter til at bestemme bassinudløbets størrelse.

9.4 Nødvendighed af bassiner

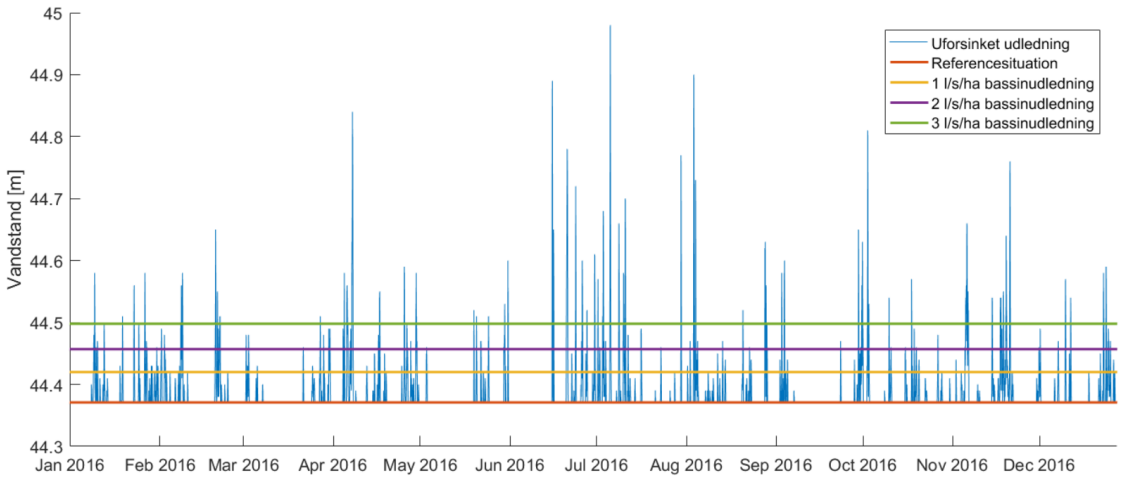
Til undersøgelse af uforsinket udløb anvendes en dynamisk model. Ved uforsinket afstrømning af regnvand fra et opland, er det nødvendigt at beregne forsinkelsen. Forsinkelsen vil have betydning for, hvor stor udledningen til recipienten bliver og vil reducere de største intensiteter i regnserien. Til dynamisk modellering af de uforsinkede udledninger, er den historiske regnserie omregnet til en vandføringsserie. Princippet er illustreret i figur 9.13 med den historiske regnserie til venstre, 10 oplandssektioner i midten og den beregnede vandføringsserie til højre. Ved modelleringen er der antaget en forsinkelse på 10 minutter for oplandet.



Figur 9.13. Koncepttegning for hvordan forsinkelse i oplandet påvirker udledningen fra et uforsinket udløb. En historiske regnserie er vist til venstre og 10 oplandssektioner i midten. Regnen bliver forsinket op til 10 minutter i oplandet, hvilket resulterer i en vandføringsserie som vist til højre. Hvert minut i regnserien er markeret med forskellig farve.

Nødvendigheden af et bassin på en udvalgt lokation i Herningholm Å er undersøgt. Resultaterne er lokationsspecifikke, men fremgangsmåden kan anvendes til at undersøge, hvor ofte et bassin forsinker og udjævner en hændelse, der ellers ville være blevet udledt med en udløbshastighed større end bassinets designudløb.

Analysen er udført for et bassin i station 1300 i Herningsholm Å, som ligger lige nedstrøms et stort udløb. For at undersøge nødvendigheden af et bassin ved denne station er det beregnet, hvor mange udløb der forsinkes og udjævnes af bassinet. For at kunne sammenligne resultater fra en dynamisk beregning med resultater fra en stationær beregning, er medianmaksimum antaget som konstant vandføring i begge modeller. Figur 9.14 viser den modellerede vandstand ved uforsinkede udledninger i et udvalgt år. Der er mange uforsinkede udledninger, som overskrider den stationære beregnede bassinudledning. Disse vil blive forsinket såfremt et bassin etableres.



Figur 9.14. Modelleret vandstand i st. 1300 i Herningholms Å. Figuren sammenligner en dynamisk modelleret udledning med konstante bassinudledninger på 1, 2 og 3 l/s/ha beregnet med en stationær model. Den fulde simuleringsperiode illustreret i appendiks på figur G.13.

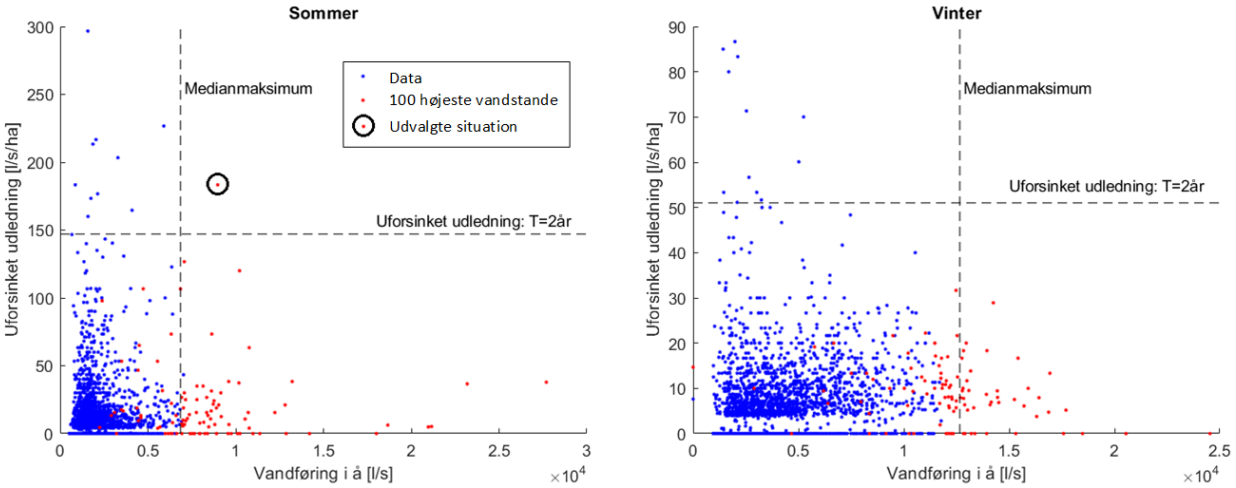
Tabel 9.6 viser det gennemsnitlige årlige antal udløb, der er begrænset af bassinet. Værdierne i tabellen er altså det årlige gennemsnit af antal uforsinkede udløb, der overstiger designvandspejlet for 1, 2 og 3 l/s/ha. Tabellen viser at et bassin vil udjævne 340-830 udløb per år alt efter tilladt udløbsmængde. Hermed konkluderes det, at bassin her har sin berettigelse.

Tabel 9.6. Gennemsnitslige antal udløb, der begrænses af et bassin ved st. 1300 i Herningholms Å.

Bassin udledning	Antal udløb, der forsinkes af bassinet per år
1 l/s/ha	830
2 l/s/ha	450
3 l/s/ha	340

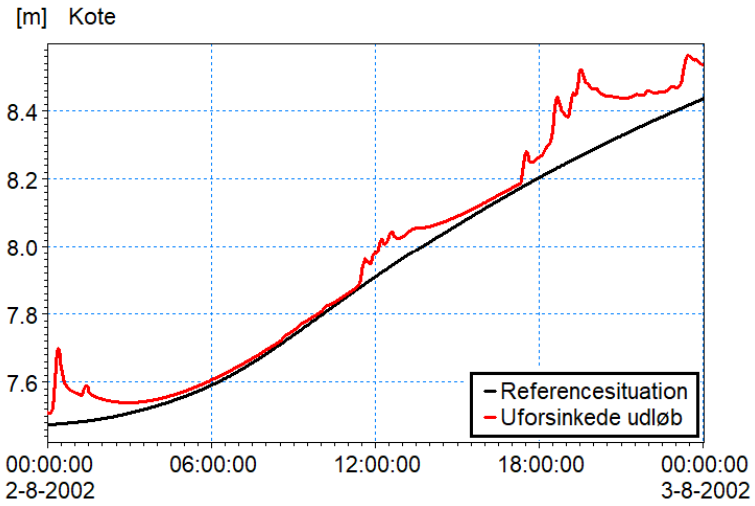
9.5 Sammenhæng mellem vandføring og uforsinket udledning

Simuleringer af dynamiske modeller med alle tilgængelige historiske data er ofte en tidkrævende proces. Det er derfor undersøgt, om det er muligt at se en tendens for, hvilken kombination af vandføring og regnhændelse, der er kritiske for vandstanden i vandløbet. Derved kan en kortere historisk tidserie, der repræsenterer en kritisk hændelse, udvælges til dynamisk modellering. Figur 9.15 viser målte daglige vandføringer i Voer Å plottet overfor de tilhørende højeste daglige uforsinkede udledninger. For at finde den kritiske vandstand er der lavet en dynamisk model med de målte vandføringer og uforsinkede udledninger for en 24-årig periode. Vandføringen er målt umiddelbart i forbindelse med udløbet. Punkterne markeret med rød i figur 9.15 er de kombinationer, der resulterer i de 100 højeste vandstande i simuleringsperioden. I både sommer- og vintersituationen er det gældende, at de naturlige vandføringer i åen resulterer i de højeste vandstande.



Figur 9.15. Målte daglige vandføringer i Voer å plottet overfor de tilhørende uforsinkede udledninger. Der er undersøgt for data med ca. 24 års overlappende data. De røde punkter markerer den kombination af vandstand og uforsinket udledning, der bidrager til de 100 højeste daglige vandstande. Disse vandstande er fundet ved at simulere de 24 års dataserie. Cirklen markerer den største uforsinkede udledning blandt de 100 punkter.

I figur 9.16 er den simulerede vandstand i Voer Å illustreret for at vise effekten af en af de uforsinkede udledninger. Den illustrerede situation er den største uforsinkede udledning, der bidrager til en af de 100 værste kritiske vandstande (markeret med cirkel på figur 9.15). De røde punkter på figur 9.15 ligger ved høje vandføringer over medianmaksimum derfor er det den naturlige vandføring, der forårsager de kritiske vandstande. Dog vil en kombination af høj vandføring og en uforsinket udledning forværre situationen, vist på figur 9.16. I situationer, hvor en uforsinket udledning falder sammen med en høj naturlig vandføring, vil etableringen af et bassin i dette punkt, sænke den samlede vandstand. Analysen af vandstanden viser ikke, om vandløbets kapacitet er overskredet, hvilket kan beregnes efterfølgende. Analysen er stedsspecifik og de kritiske vandstande kan i andre tilfælde skyldes uforsinkede udledninger.



Figur 9.16. Sommervandstand i Voer å i referencesituation og efter udløb af den største uforsinkede udledning, der bidrager til en kritisk vandstand i top 100.

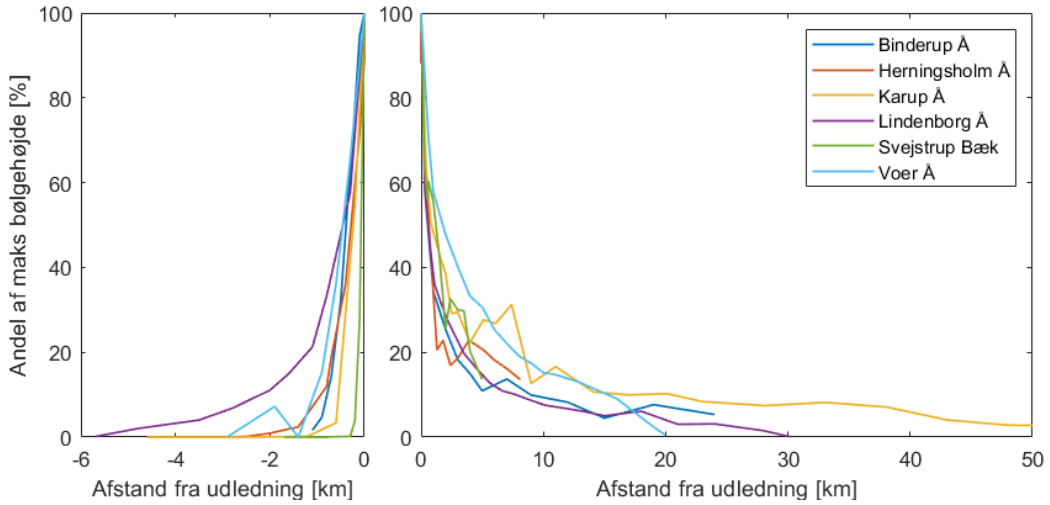
9.6 Dæmpning af uforsinket udledning

Ved uforsinkede udledninger vil der skabes en bølge, som bevæger sig ned igennem vandløb og dæmpes på grund af modstand og løbende forøgelse af vandføringen fra oplandet. Det er undersøgt, hvor langt fra udledningen, der kan observeres en påvirkning, da dette vil indikere hvor lang en strækning, at udledningens påvirkning skal dokumenteres. Analysen er udført for de seks case-vandløb. Der er i modellen indsat en uforsinket udledning i vandløbet, svarende til en 2-års regn på 5 ha befæstet opland. Middelvandføring er benyttet i referencesituationen.

Resultaterne for hvert enkelt vandløb er vist i appendiks G, og figur 9.17 viser den dæmpede bølgehøjde relativ i forhold til bølgehøjden ved udledningspunktet. X-aksen viser afstanden fra udledningspuktet. Ved udledningspunktet skaber bølgerne i de seks vandløb en stigning i vandspejlet på 5-20 cm.

Figur 9.17 viser, at en uforsinket udledning forårsager en bølge i vandløbet, som kan rejse langt nedstrøms. Faldet er eksponentielt og efter 10 km er alle simulerede bølgehøjder faldet til under 20 % af den maksimale bølgehøjde. I fire af de seks vandløb når bølgen helt til vandløbets udmunding, og hele vandløbet er påvirket nedstrøms udledningspunktet. Påvirkning af vandspejlet opstrøms udledningen er stærkt afhængig af vandløbets lokale forhold. Fx har Lindenborg Å et lavt fald og bølgen kan rejse 6 km opstrøms, hvorimod Svejstrup Bæk har et højt fald, hvor bølgen opstrøms hurtigt dæmpes.

Analysen viser, at såfremt det ønskes at udlede uforsinket, er det nødvendigt at undersøge vandspejlsstigningernes konsekvenser nedstrøms i hele vandløbets længde. Bølgehøjden afhænger af udledningsmængde og vandløbets karakteristika, og skal modelleres for den konkrete situation for at give korrekte værdier.



Figur 9.17. Dæmpning af en uforsinket udledning. Der er undersøgt opstrøms (negativ) og nedstrøms (positiv) strækning. Størrelsen af bølgen er angivet som andel af den første bølge lige omkring udledningspunktet. Resultater for hvert vandløb findes i appendiks G.

10 Sammenfatning af Del II

Det er vigtigt at kunne bestemme vandløbenes hydrauliske kapacitet for at undgå for store og dyre bassiner. Analyserne i Del II viser, at der i fem af de seks valgte case-vandløb er mulighed for at have en højere udledning end de typisk benyttede 1 l/s/ha. I større vandløb vil der sandsynligvis være mulighed for at udlede mere end 1 l/s/ha, uden at vandløbets hydrauliske kapacitet overskrides. I mindre vandløb og hvor der er høj andel befæstet opland skal udledning fra bassiner muligvis være mindre end 1 l/s/ha. Der bør laves en vurdering af et vandløbs hydrauliske kapacitet, når en udledningstilladelse gives.

I tabel 10.1 opsummeres alle delkonklusioner fra Del II.

Tabel 10.1. Sammenfatning af delkonklusioner fra Del II

Beskrivelse af analyse	Delkonklusioner
Tilladt påvirkning af vandløb	
Definition af oversvømmelseskrav	Der tages udgangspunkt i en situation uden belastning fra det urbane opland, denne situation defineres som referencesituationen. I områder hvor referencesituationen skaber oversvømmelse, vil det være acceptabelt at se oversvømmelse ved den øgede hydrauliske belastning fra de urbane områder, da dette anses som en naturlig situation. Viser analysen, at udledningen fra det urbane opland skaber oversvømmelse på arealer, hvor der ikke er problemer i referencesituationen, skal konsekvensen af oversvømmelsen vurderes for det konkrete område. Vurderes det at oversvømmelsen ikke har økonomiske konsekvenser, vil denne være acceptabel. Figur 8.2 illustrerer den beskrevne metode som kan benyttes til vurdering af, om konsekvensen af en udledning er acceptabel.
Definition af erosionskrav	En urban udledning er uacceptabel, når denne resulterer i power index over den definerede grænseværdi på 35 W/m^2. Såfremt power indexet er over grænseværdien i referencesituationen er dette vandløbets normaltilstand og den urbane udledning vurderes som acceptabel.
Effekt af udledning fra bassin	
Vandspejlsstigning forårsaget af bassinudledninger	Gennem en stationær analyse af vandspejlsstigningen i seks case-vandløb, er der fundet to modeller for sammenhængen mellem udledningsmængden fra et bassin, vandføringen i vandløbet og den forventede vandspejlsstigning. Modellerne er gældende for manningtal på 15 og 22, hvilket svarer til 'mellem' og 'store' vandløb (2-10 m bredde). Vandløb med små vandføringer er ofte smallere end 2 m og modellen har derfor en væsentlig usikkerhed ved vandføringer under 250 l/s. Det anbefales at modellerne udelukkende anvendes som et overslagsværktøj og efterfølges af konkret modellering af de faktiske forhold.

Tabel 10.1 fortsat fra forrige side

Beskrivelse af analyse	Delkonklusioner
Oversvømmelse forårsaget af bassinudledninger	For et konkret vandløb kan oversvømmelsen til en given udledning beregnes. Oversømmelseskortet kan bruges til at vurdere, om oversvømmelsen er kirtisk og dermed om den er tilladt. Der er stor variation i vandløbenes hydrauliske kapacitet og udledningstilladelsen bør baseres på en konkret vurdering af denne.
Erosion forårsaget af bassinudledninger	Erosion er en naturlig hændelse, som flytter på sediment i vandløbet og sker oftest på grund af vandløbets form og fald, men kan forværres af udledninger. Analyser viser, at kun ved store udledninger i bynære vandløb ses en forøgelse af mængden af erosion omkring udløbene. Erosionsberegninger med en 1D model er forbundet med store usikkerheder. Det anbefales at undlade at anvende denne type beregninger til vurdering af tilladelig udløbsmængde.
Effekt af uforsinkede udledninger	
Nødvendigheden af bassin	Ved at udregne det årlige gennemsnit af antal uforsinkede udløb, der overstiger designudløbet fra bassinet, kan der dannes et overblik over, hvor ofte bassinet forsinker en regnhændelse og dermed skåner vandløbet. En analyse af Herningholm å viser, at et bassin på en udvalgt placering med et designudløb på 1 l/s/ha forsinker 830 hændelser om året. Hermed konkluderes det, at bassiner her har sin berettigelse. Resultaterne af denne analyse er lokationsspecifikke, men fremgangsmåden kan anvendes til at undersøge, hvor ofte et bassin forsinker og udjævner en regnhændelse, der ellers ville være blevet udledt med en udløbshastighed større end bassinets designudløb.
Sammenhæng mellem vandføring og uforsinket udledning	Det er undersøgt, om det er muligt at se en tendens for, hvilke kombinationer af uforsinkede udløb og naturlige vandføringer, der skaber de højeste vandstande. Denne analyse indikerer, hvor følsom vandløbet er overfor urbane udledninger. Analysen er udført for Voer Å. For at finde den kritiske vandstand, er der lavet en dynamisk model over uforsinkede udløb og målte vandføringer. For Voer Å gælder det i både sommer- og vintersituationen, at det er den naturlige vandføring, der skaber de højeste vandstande. Analysen viser, at der er lav risiko for, at en ekstrem regn falder sammen med en ekstrem naturlig vandføring.
Dæmpningen af uforsinket udledning	En uforsinket udledning vil skabe en bølge i vandløbet. En analyse er udført for at undersøge, hvor langt opstrøms og nedstrøms denne bølge kan observeres. Analysen viser, at såfremt det ønskes at udlede uforsinket, er det nødvendigt at undersøge vandspejlsstigningernes konsekvenser nedstrøms i hele vandløbets længde. Bølgehøjden afhænger af udledningsmængde og vandløbets karakteristika, og skal modelleres for den konkrete situation for at give korrekte værdier. Bølgens højde falder eksponentielt og er efter 10 km under 20 % af den maksimale bølgehøjde.

Del III

Sammenfatning

11 Diskussion

Dette afsnit forholder sig til de valg, der er truffet i forbindelse med rapportens forskellige analyser. Resultater og usikkerheder herfra diskuteres.

Ved analyse af nuværende bassindimensioneringspraksis er nye anbefalinger og forslag til nye distributioner givet, vist i tabel 6.1. Mange af analyserne har synliggjort de usikkerheder, der er forbundet med bassindimensionering. Eksempelvis har analyserne vist, at antagelsen om en fast koblingsfaktor på 1,2, samt antagelsen om konstant udløb fra bassinet begge resulterer i en underdimensionering af bassinvolumenet. På den anden side har de typisk benyttede værdier for klimafaktor og fortætningsfaktor været for høje og resulterer i en overdimensionering af bassinvolumenet. Figur 11.1 sammenligner bassinvolumener beregnet med regnearket fra SVK og beregningsværktøj lavet i forbindelse med denne rapport. Antagelser i forbindelse med beregninger er listet op nedenfor. Volumener fra beregningsværktøjet har mindre spredning, hvilket skyldes mindre spredning i de benyttede faktorer. Beregningsværktøjet giver maksimumværdier for bassinvolumen, som er ca. 40% mindre end hvis SVK regneark benyttes, vist i tabel 11.1. Det vurderes derfor, at der er et potentiale for at reducere de maksimale volumener.

Antagelser for SVK regneark baseret på typisk benyttet værdier i kommuner:

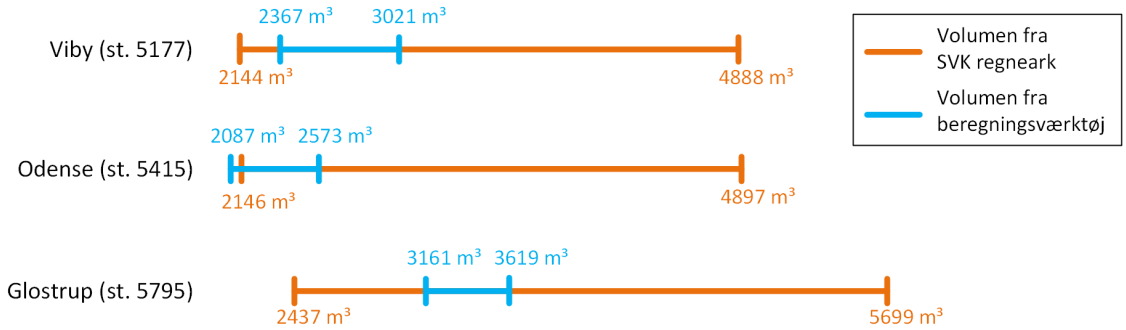
- Kasseregn med koblingsfaktor på 1,2
- Sikkerhedsfaktoren med minimal- og maksimalværdier på 1,2 - 1,8
- Hydrologisk reduktionsfaktor med minimal- og maksimalværdier på 0,8 - 1
- Konstant udløb 1 l/s/ha
- Gentagelsesperiode for overløb er 5 år
- Det totale opland er antaget 5 ha.

Antagelser for beregningsværktøj baseret på anbefalinger i denne rapport:

- Historisk regnserie
- Sikkerhedsfaktoren med minimal- og maksimalværdier på 1,05 - 1,2
- Hydrologisk reduktionsfaktor konstant til 0,92
- Trykvarierende udløb beregnet med et designudløb på 1 l/s/ha
- Udløbet er en vandbremse
- Gentagelsesperiode for overløb og udløb er hhv. 5 år og 1 år.
- Det totale opland er antaget 5 ha.

Tabel 11.1. Reduktion af maksimale bassinvolumen i tre stationer ved anvendelse af beregningsværktøj fremfor SVK regneark.

SVK Station	Reduktion i maksimal bassinvolumen
Viby (st. 5177)	38 %
Odense (st. 5415)	47 %
Glostrup (st. 5795)	36 %



Figur 11.1. Eksempler fra tre stationer på mindste og største volumener beregnet i SVK regneark og beregningsværktøj udarbejdet for denne rapport. Antagelser ved beregning er listet ovenfor.

I det følgende er konsekvenserne af antagelser i udvalgte analyser diskuteret.

Hydrologisk reduktionsfaktor: Distribution for den hydrologiske reduktionsfaktor bygger på litteraturstudie med 16 værdier fra lokationer i hele landet. Værdierne er beregnet som forskellen på regnvolumen, der falder på det befæstede areal og volumenet, der måles i kloakken. Værdierne viser stor spredning og analysen kan understøttes af flere målepunkter, som vil give et bedre grundlag for distributionen. Den hydrologiske reduktionsfaktor kompenserer for upræcise vurderinger af befæstelsesgraden. Derfor vil en præcis vurdering af befæstelsesgraden gøre den hydrologiske reduktionsfaktor unødvendig.

Fortætningsfaktor, befæstelsesgrad og tilslutningsgrad: Disse parametre er fundet ved en subjektiv vurdering af luftfotos i tilfældigt udvalgte byområder i Danmark. En distribution over spredningen er beregnet og benyttet som anbefalet værdi. Analysen er usikker, da det subjektivt vælges hvilke områder der er fuldt befæstet og tilsluttet. Der kan være forhold som ikke kan vurderes på baggrund af luftfoto, fx tilslutning af faskiner. Bestemmelsen af faktorerne i kommunerne beror ofte på et skøn eller fastsatte tabelværdier, og det er vanskeligt at bestemme en værdi med større sikkerhed.

Klimafaktor: Den anbefalede klimafaktor er vurderet på baggrund af SVK Skrift 29, som bygger på tre forskellige klimafremskrivningsmetoder [Arnbjerg-Nielsen, 2008]. Skrift 29 er udarbejdet med henblik på kloakdimensionering og kun en lille del af resultaterne er gyldige for længere regnhændelser, som er dimensionsgivende for regnvandsbassiner. Klimafaktorerne, som anbefales i denne rapport, er derfor vurderet på et tyndt datagrundlag. Der ses i Skrift 29 en tydelig tendens for lavere klimafaktor for længere regnvarigheder, hvilket understøtter at den anbefalede faktor i denne rapport er mindre end for afløbssystemer. Der er behov for vurdering af flere langvarige regnhændelser for at give bedre datagrundlag for klimafaktoren til bassiner. I appendiksafsnit B.1.1 er der benyttet stokastisk resampling af regnhændelser til vurdering af klimafaktoren, men resultaterne har store afvigelser og giver ikke en bedre definition af klimafaktoren.

Koblingsfaktor: Baseret på 44 historiske regnserier er der fundet en model til beregning af koblingsfaktoren for kasseregn. På grund af den store datamængde er det vurderet, at pålideligheden af modellen er stor. Ved lave afløbstal viser data større spredning og modellen er mere usikker. Det har ikke været muligt at overflødiggøre koblingsfaktoren ved at benytte kasseregn med en hændelsesafstand på 24 timer, og koblingsfaktoren skal altid bruges, når der

dimensioneres med kasseregn.

Historiske regnserier: Det er anbefalet at benytte historiske regnserier til dimensionering, hvis den er tilgængeligt. Der er to væsentlige problematikker ved at benytte historisk regn: Bassindimensioneringen bestemmes på baggrund af én enkelt hændelse og da det statistiske grundlag er begrænset, vil specielt de høje gentagelsesperioder kunne ramme forkert. Fx bestemmes volumenet i en 10-års hændelse på det 3. højeste peak ved 30 års data og det er muligt, at dette peak faktisk repræsenterer en anden gentagelsesperiode. Der er en geografisk problemstilling, da det kan være svært at vide, hvilken tidsserie der vil være bedst repræsentativ for lokaliteten, hvor der skal anlægges et bassin. Bassiner kan med fordel dimensioneres på baggrund af flere tidsserier i nærheden af hinanden og resultaterne sammenlignes.

Gentagelsesperiode: Det er normalt et krav, at der skal foreligge måledata 3-4 gange længden af gentagelsesperioden. Enkelte af de anvendte datasæt har en måleperiode i intervallet 25-30 år, dermed er disse for korte til at leve op til anbefalingen for gentagelsesperioder på 10 år. Dette betyder en større usikkerhed i resultaterne for den 10-årige gentagelsesperiode.

Oversvømmelses- og erosionsberegninger: Analyserne er baseret på seks udvalgte case-vandløb og afspejler tendenserne i disse specifikke tilfælde. Grundet mangelfuld information om tværsnit og vandføring i små vandløb er der primært anvendt større vandløb til analysen. Et bredere datagrundlag for analysen ville betyde, at resultaterne vil være mere repræsentative for flere vandløb i Danmark.

Valg af manningtal: Vandløbenes dynamik og væksten af grøde besværliggør at finde det korrekte manningtal. Manningtallet har stor betydning for vandløbsresultaterne. Der er i denne rapport benyttet manningtal på 15 og 22 i forbindelse med modellering af vandspejlstigning, hvilket er repræsentativt for store og mellem vandløb i vinterperioden. Et andet interval kan vælges blandt de anbefalede værdier i tabel 9.1. I erosionsberegninger er et manningtal på 22 benyttet. Dette repræsenterer store vandløb i vinterperioden og vil betyde en overestimering af power indexet i vandløb med bredde under 5 meter.

12 | Perspektivering

Ønsket om en let og ligetil beregning af bassiner er ofte blevet fremsat. Forsyningerne ønsker en let sagsbehandling og kommunerne mener ikke at der er økonomi til at lave individuelle vurderinger af hvert bassin og udledning. Rådgivere på området forsøger at sælge 'pakkeløsninger' med de nødvendige beregninger og analyser, men savner også en konsensus med kommuner, bygherrer og Miljøstyrelsen om en fælles fremgangsmåde.

For bedre at kunne beskrive konsekvenserne af et udløb i et givet vandløb, er det nødvendigt at se vandløbet som en helhed. Alle udledninger, både nuværende og projekterede, forsinkede og uforsinkede, skal medtages i beregningen, da de alle spiller ind på fx oversvømmelse og erosion. I en samtale med Skive Forsyning beskrives en undren over, at to udløb lige ved siden af hinanden, har helt forskellige udledningstilladelser. Det virker skørt at give en lav udledningstilladelse lige ved siden af en stor uforsinket udledning. Baggrunden for forskellene i udledningstilladelserne er, at de høje udledningstilladelser er givet tidligere, hvor store udledninger var mere accepteret. Når en udledningstilladelse er givet, kan den ikke annulleres. Konsekvensen af dette er, at en eksisterende udledning kan optage en stor del af vandløbets kapacitet og nye udledninger får skærpede krav for at kompensere for den eksisterende høje belastning. Det er forventeligt, at vandløbets kapacitet kan bruges mere effektivt, hvis eksisterende og nye udledninger bliver betragtet som en helhed. Derved tilgodeses hele vandløbet og fortidens uforsinkede udledninger fjernes.

I forbindelse med dimensionering af bassin er det vigtigt at tage forbehold for hydrauliske og biologiske forhold i recipienten. De største udledninger fra bassinet vil ske, når bassinet går i overløb, hvilket risikerer at skylle planter og dyr med sig. For at kunne vælge en gentagelsesperiode for overløb, der tilgodeser biologien i recipienten, bør der findes yderligere information om recipientens reetableringstid efter et overløb. Da hver enkelt vandløb har forskellige habitater, dyr og planter, er det med den nuværende viden ikke muligt at modellere eller vurdere på konsekvensen af ændring af gentagelsesperioden. Et igangværende forskningsprojekt, BREVIU, har til hensigt at lave en model for udledninger og indvindingers påvirkning af dyre- og planteliv [Kristensen et al., 2018]. På sigt vil det være naturligt at inddrage viden herfra i udledningstilladelser, så de bygger på en konkret vurdering af biologien.

Økonomi er et stort emne i diskussionen om bassindimensionering. Tendensen har været, at de tilladte udledninger fra bassinerne er blevet mindre og mindre, hvilket har resulteret i meget store bassiner. Forsyningsvirksomhederne, som betaler for bassinerne, mener, at bassinerne ofte er meget større end de behøver at være. Hvis det kan forsvares at bygge mindre bassiner, begrænses omkostningerne og forsyningens midler kan bruges, hvor der sikres bedst muligt miljø for pengene. Analyserne i denne rapport viser, at det kan være en fordel at lave en konkret vurdering af recipientens kapacitet, da det kan lede til en højere udledningstilladelse og mindre bassiner. Dette gælder primært når recipienten er store vandløb. Ved udledningen til meget store recipienter som hav og fjord, er der ingen hydrauliske årsager til at forsinke udledningen.

Der er beskrevet en fremgangsmåde for at kunne skelne mellem acceptabel og uacceptabel oversvømmelse. Implementeres denne definition som en generel fremgangsmåde til at vurdere

oversvømmelser i vandløb, vil der være en klar grænse for, hvornår en udledning har uønskede konsekvenser. En landmand vil eksempelvis kunne stå med et oversvømmelseskort, som viser referencesituationen, og se om de oversvømmelser han oplever, er acceptable eller ej. På den måde findes der et værktøj til at vurdere, om der skal ydes kompensation for skaderne. Fremtidigt kan det være relevant at have information om afgrøders robusthed over for oversvømmelser. Denne information vil kunne bruges i tilfælde, hvor en begrænset varighed af oversvømmelsen kan garanteres, dermed kan det tillades at oversvømme et større markareal i nogle få dage uden at forårsage skade på afgrøderne. Fremgangsmåden bør undersøges nærmere, og en bedre sammenhæng mellem oversvømmelse og ødelagte afgrøder bør findes.

13 Konklusion

Der er behov for klarhed om dimensionering af regnvandsbassiner. I denne rapport er dimensionering for ind- og udløb undersøgt med ønsket om at finde en generel anbefaling, der kan bruges i de danske kommuner. Fremgangsmåden i rapporten har været at betragte parametrene individuelt, samt deres indflydelse for det endelige bassinvolumen.

Dimensioneringspraksissen i dag bygger på mange generelle værdier og flere er adopteret fra kloakdimensioneringen. Principperne og parametre herfra kan ikke altid overføres til bassindimensionering. Et eksempel er klimafaktoren, som er baseret på korte, højintense regnhændelser, da disse er dimensionsgivende for kloaksystemer. For bassiner er langvarige, lavintense regnhændelser dimensionsgivende, alligevel benyttes samme klimafaktor til kloak- og bassindimensionering. Der bør tages hensyn til, at kloak- og bassindimensionering har forskelligt dimensioneringsgrundlag.

Historiske regnserier bør benyttes til dimensionering af bassiner, da alternativet, kasseregnen, ikke tager højde for koblede hændelser, som har stor betydning for bassinvolumenet, især ved små afløbstal. Der findes mange SVK målestationer med lange dataserier, og derfor er der grundlag for at benytte disse til bassindimensionering fremover. Målestationerne er ikke ligeligt fordelt i landet, og hvor afstanden til en måler er stor, skal valget mellem at benytte historiske målinger eller SVK dimensioneringsarket bero på en vurdering. Det er tydeligt, at koblingsfaktoren på 1,2 er for lav ved afløbstal under 1 l/s/ha. En model for koblingsfaktoren er udarbejdet og bør benyttes, såfremt bassinet dimensioneres med SVK dimensioneringsarket.

Anbefalingen for oplands- og sikkerhedsfaktorer er af generel karakter og gælder for alle bassindimensioneringer i Danmark. Oplandsfaktorerne har stor spredning og de beregnede 95 % fraktiler er anbefalede værdier. Befæstelsesgraden skal bero på en vurdering af oplandet. Anbefalede værdier for hydrologisk reduktionsfaktor er 0,92 og tilslutningsgraden er 1. En konkret vurdering af det enkelte opland vil give mere korrekte værdier. Ved vurdering af sikkerhedsfaktorerne har det vist sig, at disse bør være mindre end de traditionelt anvendte værdier. Klimafaktoren bør være 1,05-1,2 og modelusikkerhed- og fortætnignsfaktor bør være 1.

Der bør ikke gives udledningstilladelser under 0,3 l/s/ha, svarende til højeste årsmiddelnedbør i Danmark. Såfremt afløbstallet fra bassinet defineres til vandløbets medianmaksimum er der set tilfælde af akkumulering af vand i bassinet. Problemet er tydeligt ved 8 af 44 beregnede bassiner, hvor vandløbets medianmaksimum ca. har samme værdi som årsmiddelnedbøren.

Antagelsen om konstant udløb, som benyttes i SVK dimensioneringsarket og er bredt anvendt i branchen, er forkert. Dimensioneres bassinudløbet med antagelse om konstant udløb er volumenet for lille. Trykvarierende udløb fra rør eller vandbremse vil resultere gennemsnitligt i hhv. 16 % og 11 % større volumener. Ved at definere forskellig gentagelsesperiode for udløb og overløb sikres en bedre udnyttelse af udledningstilladelsen. Med en gentagelsesperiode på 1 år for udløbet og 5 år for overløb, vil udløb fra rør eller vandbremse resultere gennemsnitlig i hhv. 4 % og 3 % større volumener set i forhold til konstant udløb. Dette er en væsentlig reduktion

sammenlignet med trykvarierende udløb med en gentagelsesperiode på 5 år. Udløbet vil én gang årligt være 1-1,25 l/s/ha, hvis udledningstilladelsen angiver 1 l/s/ha.

Udløbets størrelse afhænger i høj grad af recipienten og da disse er meget forskellige, er det ikke muligt at definere en generel anbefaling for udløbets størrelse. Nuværende udledningstilladelser bygger ofte på vandløbets afstrømningskarakteristikker og der er sjældent en konkret vurdering af udledningens påvirkning på det specifikke udløbsområde, såsom lokal vandspejlsstigning eller erosion. Der er lavet en model for vandspejlsstigning i vandløb bredere end 2 m, som kan bruges til et overslag for hydrauliske konsekvenser af udledningen. Erosion i vandløb er et naturligt fænomen. Bassinudledninger kan forårsage erosion, men kun i områder, hvor der naturligt er hastigheder i vandløbet, som giver risiko for erosion.

Oversvømmelsesrisikoen for et vandløb bør vurderes individuelt, da oversvømmelser er et naturligt fænomen. Der er beskrevet en fremgangsmåde for vurdering af, om oversvømmelsen er problematisk. Oversvømmelsesudbredelsen i en referencesituation er acceptabel og det undersøges hvilken udledning, der forårsager øget udbredelse og økonomiske konsekvenser. Analysen viser, at i fem af seks case-vandløb er der mulighed for at have en højere udledning end de typisk benyttede 1 l/s/ha. Der bør laves en vurdering af et vandløbs hydrauliske kapacitet, når en udledningstilladelse gives. I større vandløb vil der sandsynligvis være mulighed for at udlede mere end 1 l/s/ha, uden at vandløbets hydrauliske kapacitet overskrides. I mindre vandløb og hvor der er høj andel befæstet opland, skal udledning fra bassiner muligvis være mindre end 1 l/s/ha.

Der er i forbindelse med udarbejdelse af nærværende rapport fremstillet et værktøj til udregning af bassinvolumen baseret på historiske regnserier. Værktøjet inddrager den nytilegenede viden fra denne rapport og kan downloades fra: kortlink.dk/u5n9

Litteraturliste

Arnbjerg-Nielsen, K. (2008). *Forventede ændringer i ekstremregn som følge af klimaændringer: Skrift nr. 29*. IDA Spildevandskomiteen.

Arnbjerg-Nielsen, K., & Harremoës, P. (1996). Prediction of hydrological reduction factor and initial loss in urban surface runoff from small ungauged catchments. *Atmospheric research*, *42*(1-4), 137–147.

Brookes, A. (1987). The distribution and management of channelized streams in denmark. *Regulated Rivers, University of Wales*, *1*, 3–16.

Brorson, M., & Larsen, T. (2009). *Lærebog i hydraulik*. Aalborg Universitetsforlag.

Danmarks Miljøportal (2017). *Overfladevandsdata*. Hentet: 01-12-2017. Kræver log-in. URL http://www.miljoeportal.dk/myndighed/overfladevand/Sider/default.aspx

DHI (2017). *Mike11*. Hentet: 07-11-2017. URL https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-11

DMI (2017). *SVK BESTILLING LOGINSIDE*. Hentet: 2017-10-15, Kræver log-in. URL http://svk.dmi.dk/dmi/RainEvents/div/*.login

Flickr (2011). *Pavement*. Besøgt: 20-04-2018. URL https://flic.kr/p/acS1hf

Frederikshavn Kommune (2018). *Voer Å*. Besøgt: 12-02-2018. URL http://xn--pkantmedvandet-lib.dk/voer-%C3%A5

Gregersen, I. B., Madsen, H., Linde, J. J., & Arnbjerg-Nielsen, K. (2014a). *Klimafaktorer og dimensionsgivende regnintensiteter: Skrift nr. 30*. IDA Spildevandskomiteen.

Gregersen, I. B., Madsen, H., Linde, J. J., & Arnbjerg-Nielsen, K. (2014b). *Regnrække Version 4.1 (xls)*. IDA Spildevandskomiteen. URL https://universe.ida.dk/media/13413673/regionalregnraekke_ver_4_1.xls

Harremoës, P., Pedersen, C. M., Laustsen, A., Sørensen, S., Laden, B., Friis, K., Andersen, H. K., Linde, J. J., Mikkelsen, P. S., & Jakobsen, C. (2005). *Funktionspraksis for afløbssystemer under regn: Skrift nr. 27*. IDA Spildevandskomiteen.

Hovedstadens Udviklingsråd (2005). *Regionplan 2005 for Hovedstadsregionen*. Copenhagen: Hovedstadens Udviklingsråd (Greater Copenhagen Authority). URL http://kommuneplan.ltk.dk/download/pdf/dokumenter_til_kommuneplanforslag_2013/hurregionplan2005.pdf

Jensen, M. (1990). Rain-runoff parameters for six small gauged urban catchments. *Hydrology Research*, *21*(3), 165–184.

Keifer, C. J., & Chu, H. H. (1957). Synthetic storm pattern for drainage design. *Journal of the hydraulics division*, *83*(4), 1–25.

Kristensen, E. A., Gade, A., & Rasmussen, K. (2017). *Udledningstilladelser, Gå-hjem-møde oktober*. Præsentation hos EnviDan.

Kristensen, E. A., Skanderborg Forsyning, Envidan, & Silkeborg Kommune (2018). *En ny standard for vurdering af påvirkninger på vandløb fra udledninger?*. PowerPoint præsentation ved EVA dag.

Laden, B., Sørensen, M. S., & Nielsen, J. E. (2015). Når 9 regnmålere i et forsyningsområde ikke er nok. *Drift af Spildevandskomiteens Regnmålersystem, 15-03*.
URL http://www.dmi.dk/fileadmin/user_upload/Rapporter/TR/2015/TR_15-03_.pdf

Larsen, T. (2017). Manningtallet for vandløb - en uudtømmelig kilde til diskussion. *Vand og Jord*, *2*, 70–73.

Larsen, T. (2018). *Aspekter af regnbetingede udløb fra byer til vandløb*. Ikke udgivet.

Linde, J. J., Winther, L., Jensen, H., Mathiasen, L., & Johansen, N. (2002). *Afløbsteknik*. Polyteknisk forlag Kgs. Lyngby.

Miljø- og Fødevareklagenævnet (2017). *Om nævnet*. Besøgt: 20-04-2018.
URL www.nmkn.dk/om-naevnet/

Miljø- og Fødevareministeriet (2017). *Bekendtgørelse om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4 (Spildevandsbekendtgørelsen)*. BEK nr 1469 af 12/12/2017. Besøgt: 04-12-2017.
URL https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=194212#id7f4d9f06-8b68-480c-b782-bf2d7004c0fc

Miljøministeriet (2011a). *Vandplan 2009–2015, Nordlige Kattegat og Skagerrak. Hovedvandopland*.

Miljøministeriet (2011b). *Vandplan 2009-2015: Lillebælt/Jylland*.

Miljøstyrelsen (1997). *Det intensive måleprogram regnbetinget udløb*.

Miljøstyrelsen (2000). *Vejledning til Spildevandsbekendtgørelsen*. Hentet: 09-01-2018.
URL http://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2000/jan/vejledning-om-bekendtgoerelse-om-spildevandstilladelser-efter-miljoebeskyttelseslovens-kapitel-3-og-4/

Miljøstyrelsen (2001). *Redegørelse om Vandrammedirektivet*.

Miljøstyrelsen (2002). *Orientering om retningslinjer for udledning af overfladevand til vandløb med risiko for hydrauliske problemer*. Brev sendt til alle amter. Vedlagt i bilag A.

Miljøstyrelsen (2015). *Vandområdeplan 2015-2017*. Hentet: 01-02-2018.
URL http://miljoegis.mim.dk/cbkort?profile=vandrammedirektiv2-2016

Miljøstyrelsen (2017). *Grødeskæringsvejledning*. Vejledning nr. 25.

Mosbaek A/S (2018). *Cyklonbremse CYE*. Besøgt: 30-03-2018.
URL https://www.mosbaek.dk/dk/produkter/cyklonbremse-cye/

Natur- og Miljøklagenævnet (2010). *Udledning af spildevand fra Mørke Renseanlæg*.
URL https://www2.mst.dk/NMKN/afgfradec97/100-00017.htm

Natur- og Miljøklagenævnet (2012). *Sag NMK-10-00424: Afgørelse i sag om Frederikssundsmotorvejen - bassin F, udledning til Smørumnedreafløbet*. URL http://www.nmknafgoerelser.dk/afgoerelse/nmk20120125-000k

Natur- og Miljøklagenævnet (2015). *Afgørelse i sag om Odder Kommunes tilladelse til udledning af overfladevand fra [adresse1] til regnvandsbassin ved Torrild og videre til Stampmøllebæk*. URL http://www.nmknafgoerelser.dk/afgoerelse/nmk20150312-000g

Naturstyrelsen (2011). *Det intensive måleprogram regnbetinget udløb2007-2010 – Gistrup oplandet*.

Nielsen, M. K. (2007). *Drift af Spildevandskomitéens Regnmålersystem Årsnotat 2004*. Danish Meteorological Institute. Besøgt: 05-02-2018. URL http://www.dmi.dk/fileadmin/Rapporter/TR/tr05-07.pdf

Orbicon (2017). *Forudsætninger og data ved vandspejlsberegninger i vandløb*. Hedeselskabet.

Orbicon (2017). *Vandløbsadministration*. Hentet: 07-11-2017. URL https://www.orbicon.dk/expertise/vandloebsadministration

Ovesen, N. B., Iversen, H. L., Larsen, S. E., Müller-Wohlfeil, D.-I., Svendsen, L. M., Blicher, A. S., & Jensen, P. M. (2000). *Afstrømningsforhold i danske vandløb*. Danmarks Miljøundersøgelser.

Plastmo (2018). Billede fra mail.

Scalgo ApS (2017). *Scalgo Live - DK + Flood Risk*. Besøgt: 2017-11-01, Kræver log-in. URL http://scalgo.com/live

Spildevandskomiteen (2002). *Rapport om Udledningskrav for regnbetingede udløb*. Udvalget vedrørende regnbetingede udløb.

Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering (2015). *Danmarks Højdemodel, DHM/Terræn*. Hentet: 2017-10-01. URL https://download.kortforsyningen.dk/content/dhmterr%C3%A6n-04-m-grid

Teknologisk Institut (2018). *Vandbremser*. Besøgt: 20-04-2018. URL www.teknologisk.dk/vandbremser/33661

Thomsen, A. T. H., & Larsen, M. E. (2016). Metoder til vurdering af de hydrauliske forhold i recipienterne. *Erfaringsudveksling i vandmiljøteknikken, EVA*, *1*, 26–31.

Thorndahl, S., Andersen, A. K., & Larsen, A. B. (2017). Event-based stochastic point rainfall resampling for statistical replication and climate projection of historical rainfall series. *Hydrology and Earth System Sciences*, *21*(9), 4433–4448.

Vestergaard, K. (2012). *Metodebeskrivelse for vurdering af konsekvenser for afvandingsdybden i forbindelse med ændret vedligeholdelse af vandløb*. Notat til Naturstyrelsen. URL http://naturstyrelsen.dk/media/133482/tr49.pdf

Vestergaard, K. (2016). Udledninger fra regnvandsbassiner. *Erfaringsudveksling i vandmiljøteknikken, EVA*, *1*, 18–25.

Villarini, G., Mandapaka, P. V., Krajewski, W. F., & Moore, R. J. (2008). Rainfall and sampling uncertainties: A rain gauge perspective. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012)*, *113*(D11).
URL https://doi.org/10.1029/2007JD009214

Del IV

Appendiks

A | Kritisk regnhændelse

I dette appendiks undersøges, hvilken regnhændelse, der er dimensionsgivende for et bassinvolumen. Traditionelt set har der i afløbsteknikken været meget fokus på de kortvarige ekstreme regnhændelser. For bassiner er det langvarige, lavintense regnhændelser, der er dimensionsgivende, da disse indeholder de største volumener af vand.

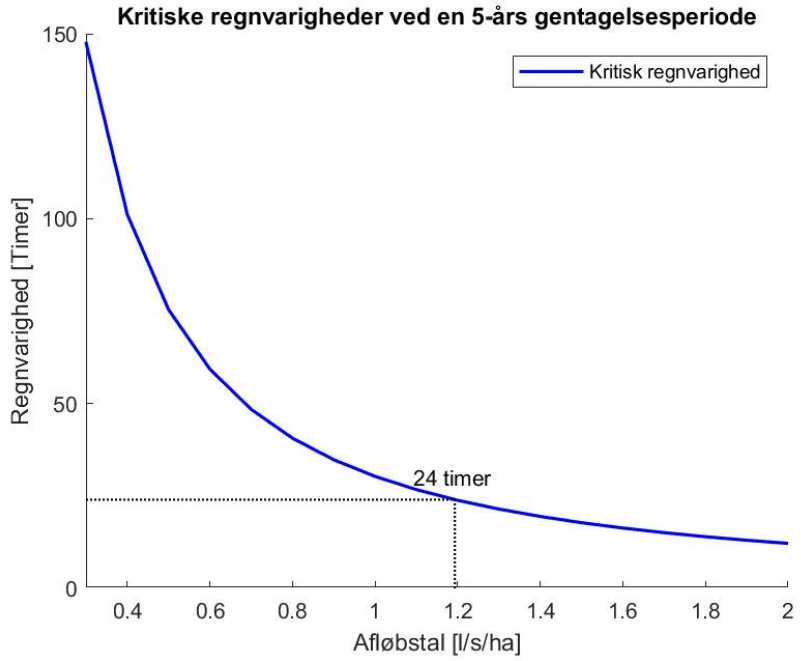
Til beregning af den kritiske regnhændelse til et givet udløb anvendes formel A.1 [Linde et al., 2002]. Ud fra formlen findes den regnvarighed, der giver det største bassinvolumen baseret på indløb og udløb.

$$t_r = \left(c \cdot \frac{1-\alpha}{a} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \tag{A.1}$$

hvor:

t_r	Regnens varighed	[timer]
a	Bassinets udløb	[l/s/ha]
c , α	Regnparametre fra regnrækken	[–]

Figur A.1 viser de kritiske varigheder til et givet afløbstal for en 5-årshændelse regnet på baggrund af landsregnrækken.



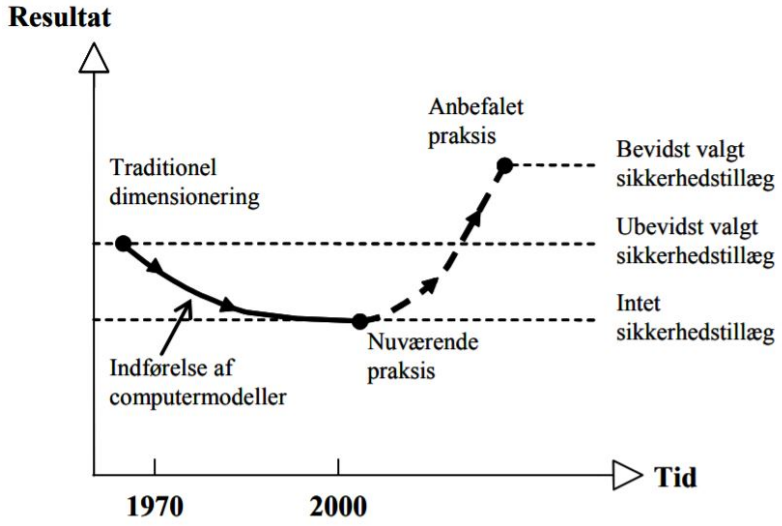
Figur A.1. Sammenhæng mellem valg af afløbstal og kritisk regnhændelse for en regn med en 5-års gentagelsesperiode.

På figur A.1 ses, hvordan varigheden for den dimensionsgivende regnhændelse falder eksponentielt med stigende afløbstal. Afløbstallet har altså betydning for hvilken regn, der er dimensions-

givende for et regnvandsbassin. Ved bestemmelse af klimafaktoren i Skrift 29 er der kun vurderet på varigheder op til 24 timer. For bassiner med lave afløbstal er varigheden længere.

B | Analyse af sikkerhedsfaktorer

Modeller og beregninger kan kun til en vis grad beskrive naturen og en beregnet eller modelleret situation vil afvige fra virkeligheden. Modelløren bør være bevist om usikkerheden og kunne redegøre for afvigelsen, det kan resultere i. I afløbsteknikken er det 'ubevidste sikkerhedstillæg' reduceret, i takt med at beregninger og modeller er blevet mere præcise, jf. figur B.1 [Harremoës et al., 2005]. Ved benyttelse af computermodeller er det nødvendigt at anvende et bevidst sikkerhedstillæg, for at tage højde for forskellen mellem model og virkelighed. Det bevidste sikkerhedstillæg skal findes på baggrund af tilgængelig viden om usikkerhederne ved modellen.



Figur B.1. Konceptuel illustration af sikkerhedstillæg ved dimensionering af afløbssystemer. [Harremoës et al., 2005]

Sikkerhedstillæg kan opdeles efter *placering, type* og *natur*. Disse er beskrevet herunder efter Skrift 27 [Harremoës et al., 2005]:

- Placering: Om usikkerheden ligger i korrekt beskrivelse af problemet; i modellens utilstrækkelighed; i registrering og indførsel af data; eller i parametre, som ikke kan bestemmes præcist.
- Type: Inddeling efter hvor godt usikkerheden kan beskrives. Ofte vil det enten være scenarie-usikkerhed, hvor usikkerheden kun kan beskrives som et skøn, et interval eller som bedste/dårligste scenarie, eller statistisk usikkerhed, hvor der foreligger tilstrækkelig viden til at angive en statistisk variation og afvigelse.
- Natur: Usikkerhed kan være udtryk for naturlig variabilitet, som hvornår det vil regne, eller manglende viden og forståelse

Til bassindimensionering anvendes tre sikkerhedsfaktorer: klimafaktor, fortætningsfaktor og modelusikkerhed. Disse har forskellig placering, type og natur og vil derfor blive behandlet forskelligt i det efterfølgende. Inddeling i typer er vist i tabel B.1.

Tabel B.1. Inddeling af sikkerhedsfaktorer i kategorier defineret i SVK 27 [Harremoës et al., 2005]

Faktor	Placering	Type	Natur
Klima	Parameterusikkerhed	Scenarie-usikkerhed	Naturlig variabilitet
Fortætning	Parameterusikkerhed	Scenarie-usikkerhed	Manglende viden
Modelusikkerhed	Modelstrukturusikkerhed	Statistisk usikkerhed	Manglende viden

B.1 Klimafaktor

Beregning og dimensionering af afløbssystemer og bassiner skal ske med en vis tidshorisont, så det anlagte kan stå måls for fremtidige ændringer. Klimaændringernes realitet er indiskutable, men konsekvenserne og nødvendige handlinger på grund af disse er diskuteret. Spildevandskomiteen har i Skrift 29 vurderet på konsekvensen af klimaændringerne i forhold til danske afløbssystemer [Arnbjerg-Nielsen, 2008].

Arnbjerg-Nielsen [2008] undersøger tre metoder til bestemmelse af fremtidens regnintensisteter. Disse vil kort blive gennemgået herunder, men der henvises til Skrift 29 og referencer heri for fyldestgørende gennemgang.

- Syntetiske regnserier
- Analogt klima
- Dimensioneringsregn

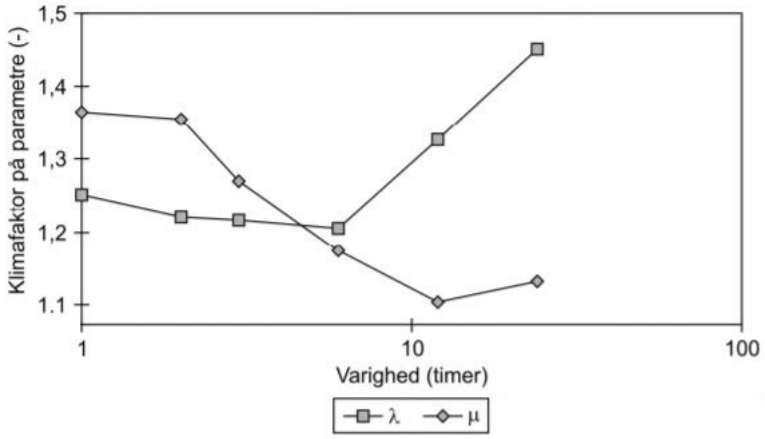
Syntetiske regnserier: Den syntetiske regn er dannet på baggrund af otte variable, som beskriver forskellige elementer i en regn (tiden mellem hændelser, antal af nedbørsceller, tidsmæssig udstrækning, intensitet osv.) og er meget brugt i Storbritannien. Hver parameter skaleres på baggrund af historiske regnserier og fremskrives til en klimafaktor. Arnbjerg-Nielsen [2008] nævner primært metodens svaghed i forbindelse med en benyttet skaleringsmodel, som er nødvendig for at kunne beskrive korte højintense regnhændelser, og vurderer derfor at metoden har begrænset anvendelighed i afløbssystemer, som ofte dimensioneres på baggrund af disse hændelser. Muligvis kan metoden benyttes til dimensionering af bassiner o.lign. hvor lavintense regnhændelser er dimensionsgivende. De fundne klimafaktorer er højst for regn med varighed på 5 min – 3 t.

Analog klima: Ved metoden for analogt klima udføres ingen matematisk fremskrivning, men der vurderes et konkret geografisk område, som Danmark vil svare til i år 2100. Forskellige områder bliver valgt i modellen, men Arnbjerg-Nielsen [2008] undersøger kun ét område som ligger på grænsen ved Tyskland/Frankrig. Det er for ham ikke muligt at fremskaffe lange tidsserier for området, og klimafaktoren kan derfor kun beregnes for 2 og 10 års gentagelsesperiode.

Dimensioneringsregn: Dimensioneringsregn er en parametermodel til beskrivelse af regn. Den indeholder fire parametre (afskæring af ekstreme hændelser, årlig antal hændelser, middelværdi og formparameter) og beskriver kun ekstreme regnhændelser. Arnbjerg-Nielsen [2008] beregner klimafaktor for hver individuel parameter, hvor de mest interessante er λ (antal ekstreme hændelser) og μ (middelværdi af den ekstreme hændelse). De beregnede klimafaktorer for parametrene er vist i figur B.2, hvor det især bemærkes at:

- Der er en stor stigning i antallet af ekstremhændelser λ af lang varighed (1,35-1,45) og mindre stigning ved kort varighed (1,25)

- Middelværdien μ stiger meget (1,35) for hændelser med kort varighed og lidt (<1,15) for hændelser af varighed over 10 timer



Figur B.2. Klimafaktorer for parametre i dimensioneringsregn. λ: antal ekstreme hændelser, μ: middelværdi af ekstreme hændelser. [Arnbjerg-Nielsen, 2008]

Arnbjerg-Nielsen [2008] sammenligner de tre metoder, som hver har deres styrker og svagheder, og finder at klimafaktoren ligger mellem 1,1 og 1,5. For at gøre faktoren let anvendelig skelnes der ikke imellem regnvarigheder, men kun i gentagelsesperioder (2, 10 og 100 år). Det konkluderes at *"klimafaktoren stiger med stigende gentagelsesperiode og faldende varighed af hændelsen. Betydningen af gentagelsesperioden er størst"*. Her skal det nævnes, at Skrift 29 er udarbejdet til kloakdimensionering, hvor korte, højintense regn ofte er dimensionsgivende, og anbefalingen bygger på denne målgruppe. Ved bassindimensionering er det imidlertid de længere, lavintense regnhændelser, som er dimensionsgivende (se beregninger i appendiks A) og det bør afspejles i valg af klimafaktor.

Tabel B.2 viser de af Arnbjerg-Nielsen [2008] beregnede skøn for klimafaktorer, for 2 og 10 års gentagelsesperiode og varigheder på 6-24 timer. Ud fra dette vurderes det i denne rapport, at en klimafaktor for bassindimensionering ligger i intervallet 1,05-1,2. Fordelingen antages at være uniform. Værdierne i Skrift 29 er behæftet med usikkerheder og klimafaktorerne er kun forslag, men værdierne bruges af kommuner og rådgivere. Derfor vurderes det også som acceptabelt at benytte en værdi mellem 1,05 og 1,2 for en 2-10 års gentagelsesperiode og regnhændelser på 12-24 timer. Det har ikke været muligt at vurdere klimafaktoren for længerevarende regn.

Spildevandskomiteens Skrift 30 indeholder opdaterede klimafaktorer med en høj klimafaktor til kritiske situationer, samt en lavere klimafaktor for 50 års tidshorisont [Gregersen et al., 2014a]. Den høje klimafaktor er ikke repræsentativ for bassiner. Argumentet om en lavere faktor ved kortere planlægningsperiode kan tale for, at klimafaktoren for bassiner skal være lavere. De opdaterede faktorer fra Skrift 30 ændrer dog ikke på denne rapports anbefaling om en uniform fordeling på 1,05-1,2.

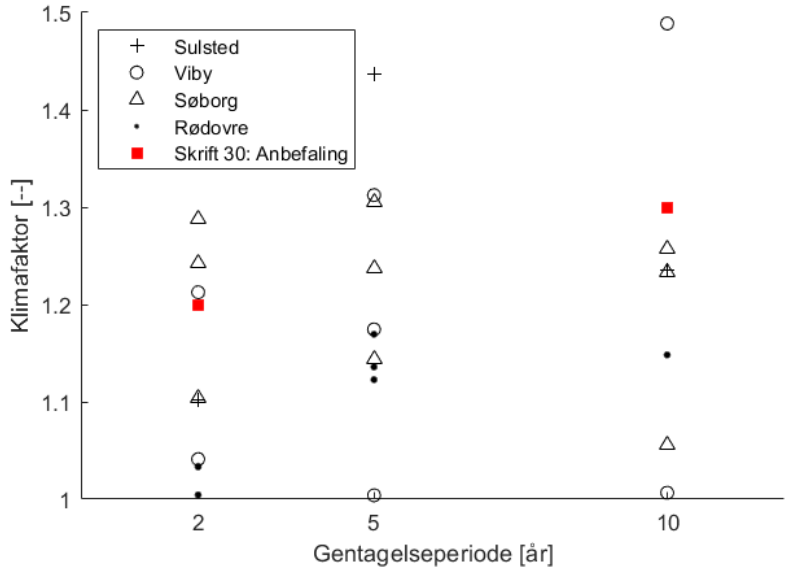
Tabel B.2. Udsnit af klimafaktorer fra Arnbjerg-Nielsen [2008]. Kun de længste hændelser er medtaget. Analogt klima har ingen værdier for 12 og 24 timer, hvorfor 6 timer er vist kun for denne.

	2 års gentagelsesperiode			10 års gentagelsesperiode		
	Dim. regn	Regn-serier	Analogt klima	Dim. regn	Regn-serier	Analogt klima
6 timer			1,15			1,19
12 timer	1,12	1,08	-	1,15	1,07	-
24 timer	1,18	1,07	-	1,21	1,06	-

B.1.1 Klimafremskrevne historiske regnserier.

Der er i Thorndahl et al. [2017] benyttet en metode til at klimafremskrive en historisk regnserie. Metoden tager udgangspunkt i at generere regn, der beskriver forskellige statistiske parametre for den valgte historiske regn. Parametrene kunne eksempelvis være årlig nedbør og ekstremhændelser over 10 og 20 mm. Metoden gør det muligt at vægte de enkelte parametre, dermed beskriver den 'resamplede' regn de ønskede parametre. De klimafremskrevet historiske regnserier er prioriteret som i Thorndahl et al. [2017], hvor afløbssystemer har været fokus. Der er i denne rapport benyttet 10 klimafremskrevet historiske regnserier til at beregne klimafaktoren for forskellige gentagelsesperioder. Klimafaktoren er beregnet som forskellen mellem bassinvolumen for den historiske regnserie og den klimafremskrevne regnserie. Der er generet tre klimafremskrevne regnserier for hver af byerne Viby, Søborg og Rødovre og én klimafremskrevet regnserie for Sulsted. Resultaterne af de beregnede klimafaktorer er vist i figur B.3. Der er en stor spredning i klimafaktoren og analysen gav ikke nogen tydelig indikation af et fornuftigt valg for klimafaktoren.

Klimafaktor anbefales til 1,05-1,2 for en 2-10 års gentagelsesperiode, og regnhændelser på 12-24 timer, denne vurdering er baseret på værdierne i tabel B.2.



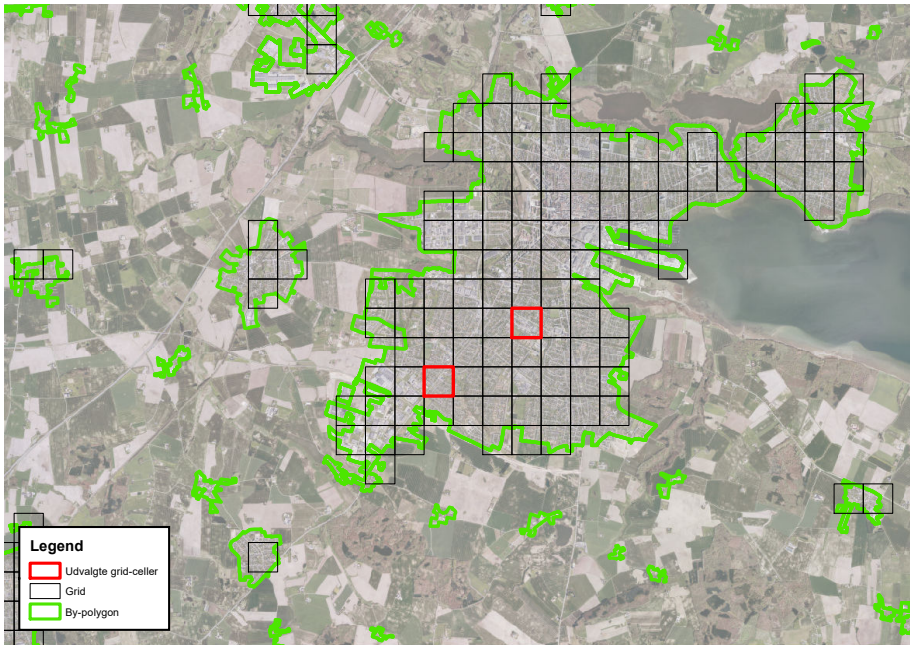
Figur B.3. Beregnet klimafaktor for gentagelsesperioder på 2, 5 og 10 år, generet fra tre regnserier for regnmålere fra Viby, Søborg og Rødovre og en for Sulsted. De anbefalede klimafaktorer for gentagelseperiode på 2 og 10 år fra Skrift 30 er vist med rød firkant.

B.2 Fortætningsfaktor

Fortætningsfaktoren beskriver den forventede stigning i befæstede areal i et opland. Fortætningsfaktoren kan ses som forholdet mellem det nuværende befæstede areal og det forventede befæstede areal i fremtiden. Såfremt det befæstede areal øges er faktoren over 1 og hvis det mindskes er faktoren under 1. I dette afsnit er distribueringen af denne faktor undersøgt.

B.2.1 Indsamling af data

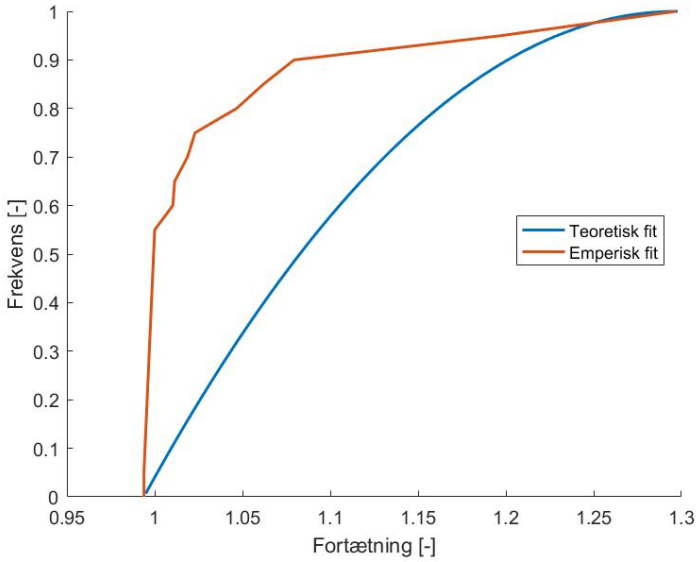
Data er indsamlet ved at vurdere fordelingen af overflade befæstelser i tilfældigt udvalgte by-oplande. Derefter er genereret et 500 m x 500 m grid i alle by-polygoner i Danmark, hvilket resulterer i et totalt celleantal på 9939. Fortætningen for 20 tilfældigt udvalgte celler blev herefter bestemt. Fortætningen blev vurderet ved at sammenligne et ortofoto fra 2017 med et ortofoto fra 1999. Altså er det i dette tilfælde fortætningen over en 18-årig periode, der er undersøgt. Figur B.4 viser et eksempel på en by opdelt i celler, hvor nogle er udvalgt til analyse.



Figur B.4. Eksempel på udvalgte by-polygoner

B.2.2 Distribution af data

Distribueringen af fortætningsgraden er undersøgt for hhv. en normal, LOGnormal og treksnatsfordeling. Ingen af distribueringerne gav et tilfredsstillende resultat. I figur B.5 er fittet for trekantsfordelingen illustreret. Trekantsfordelingen viste det bedste fit til datasættet, men fittet er ikke tilfredsstillende. Dette skyldes den stejle stigning omkring værdien 1 i det empiriske fit. Altså har mange af de indsamlede data værdien 1,0. Middelværdien for datasættet er 1,03. Det kan konkluderes, at der oftest er en fortætningsgrad på 1, hvilket er anbefalingen i denne rapport.



Figur B.5. Fittet trekantsfordeling for fortætningsgraden

B.3 Modelusikkerhedsfaktor

Modelusikkerheden fremkommer både ved simple og komplicerede modeller. I afløbsteknikken inddeles kompleksiteten i tre beregningsniveauer (1: rationelle metode, 2: numerisk model med CDS-regn, 3: nummerisk model med LTS-regn) Harremoës et al. [2005]. Ved niveau 2 og 3 tillægges en større modelusikkerhedsfaktor end ved niveau 1. Skrift 27 anbefaler at sikkerhedsfaktoren for niveau 1 beregnes på baggrund af usikkerheden på inputs, og for niveau 2 beregnes ved Monte Carlo simulering. Ved gennemgang af kommunernes benyttede værdier ses det, at der bruges konstante modelusikkerhedsfaktorer på 1,1-1,3. Den nuværende praksis er problematisk af to grunde:

- Harremoës et al. [2005] angiver at der skal ligge konkrete beregninger til grund for faktoren, hvorimod kommunerne typisk bruger faste værdier
- Sikkerhedsfaktorerne er udarbejdet for kloakdimensionering, hvor fx den rationelle metode benyttes. Der er forkert at overføre faktorerne direkte til bassiner, som beregnes anderledes.

Modeller benyttet til beregning af bassinvolumen afhænger af regninput med nødvendige parametre og tilladelige udløb. Såfremt en historisk regn eller varierende udløb benyttes, skal der vælges et tidsskridt. I denne rapport er tidsskridtet valgt til 1 minut, svarende til regnmålerens opløsning, da det er den fineste opløsning i input data.

For fremtidig bassindimensionering anbefales det at undlade at benytte en modelusikkerheds-faktor, men tage højde for usikkerheden ved at benytte den øvre fraktil af inputfaktorerne.

C Udvalgte afgørelser fra Natur- og Miljøklagenævnet

Gennemgang af udvalgte NMKN-sager, med ændret praksis for udledningstilladelser. Alle sager er påklaget pga. mangelfuld beregning af vandløbets hydrauliske kapacitet. Nogle er godkendt med få ændringer, et par stykker er godkendt såfremt reduceret areal benyttes som grundlag for beregningen, og en del er afvist men krav om inddragelse af al relevant viden, samt en konkret beregning af vandløbets hydrauliske kapacitet. G: Godkendt, Æ: Ændret, A: Afvist. Stjernen efter afløbstal betyder, at der ikke er brugt reduceret areal. Kilde: www.nmknafgoerelser.dk, søg på sagsnummer.

Tabel C.1 er vist på næste side.

Tabel C.1. Gennemgang af udvalgte NMKN-sager.

	År	**Kommune**	**Nat. afstr. vinter med. max []l/s/ha**	**Afløbstal []l/s/ha-red] *[l/s/ha]**	**Opland []ha-red]**	**Bemærkninger og sagsnummer**
G	2011	Egedal (flere udledninger)	0,18	1,9-4,4	2,6-1,1	Afløb fastsat til 5 l/s grundet vedligeholdelse af udløb. Kommunen: 1-2 l/s/ha-red ved hydraulisk belastede vandløb NMK-10-00425
G	2012	Syddjurs		2	1,9	Ingen behov for konkret vurdering, da 2 l/s/ha-red kan brugs. NMK-10-00182
Æ	2013	Stevns		2* ->2	5,4	Afløbstal ændret fra 2 l/s/ha til 2 l/s/ha-red. NMK-10-00106
Æ	2013	Hjørring		1* ->1	2,3	Afløbstal ændret fra 1 l/s/ha til ca. 1 l/s/ha-red NMK-00566
A	2013	Middelfart (flere udledninger)	0,34	1*	2,4-20 ha	Naturlig afstrømning skal anvendes til beregning. Vandløbs kapacitet skal respekteres NMK-10-00116, NMK-10-00275
A	2013	Egedal	0,45	2	5,37	Regulativ er tilgængelig og skal derfor bruges NMK-10-00425
A	2013	Bornholm	0,78	1,4	7,4	Inddrage alt tilgængelig viden NMK-10-00590
G	2014	Næstved	0,5-0,75	0,58		Godkendt da afløbstal passer til naturlig afstrømning NMK-43-00366
A	2014	Allerød		1,5*	0,7 ha	Mangler viden om naturlig afstrømning. NMK-43-00408
A	2015	Middelfart	0,46	1*	19,2	Naturlig afstrømning skal anvendes til beregning. Vandløbs kapacitet skal repsekteres NMK-10-00767
A	2016	Aalborg (flere udledninger)	0,19-0,38	1*	0,6-4,4	Konkret vurdering mangler. Mange udløb er samlet = stor belastning på recipient Kommunen: min 5 l/s afløb grundet vedligehold af rør NMK-10-00654

D Håndtering af historiske regndata

I dette appendiks beskrives hvordan historiske regnhændelser udvælges og hvordan en kasseregn beregnes.

D.1 Kasseregn genereret fra historiske data

Til udregning af en kasseregn fra en historisk regnserie anvendes regnformlen, se formel D.1 [Brorson & Larsen, 2009]. De to regnparametre, α og c, beskriver hhv. hældningen og skæringen for regnkurven i et dobbeltlogaritmisk koordinatsystem. Disse to regnparametre findes for hver af de historiske datasæt.

$$i = c \cdot t_r^{-\alpha} \tag{D.1}$$

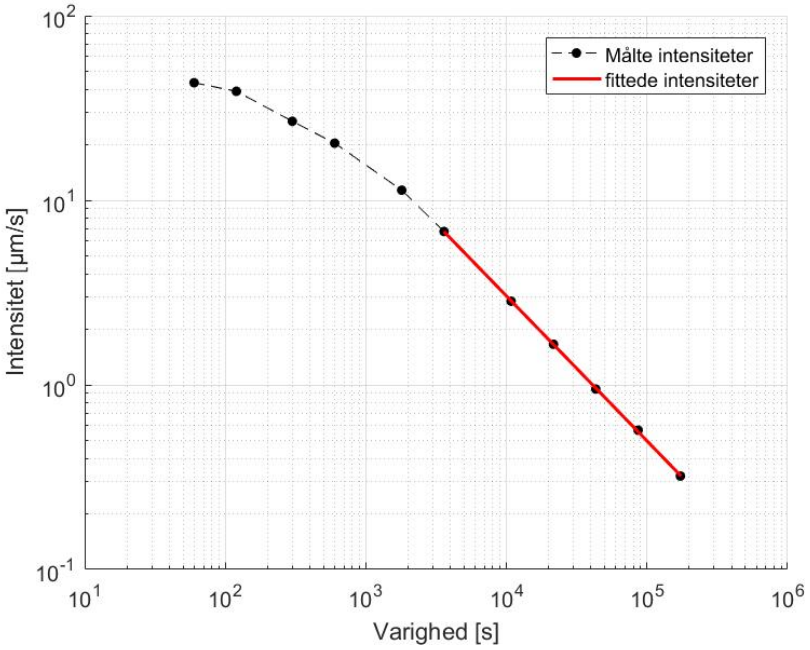
hvor:

i	Regnintensitet	$[\mu m/s]$
t_r	Regnens varighed	$[s]$
c og α	Regnparametre	$[-]$

Regnseriernes gentagelsesperioder analyseres i programmet Winregn eller DTU Rain Analyst. Programmerne rangerer dataseriens regnhændelser efter gentagelsesperiode. Ud fra disse data kan de fire regnkurver plottes for den ønskede gentagelsesperiode. Et eksempel fra Sulsted er vist i figur D.1. Ud fra regnkurven er regnparametrene beregnet, hvilket er vist i tabel D.1. Den lineære sammenhæng er kun gældende for varigheder over 60 min. Eftersom det er de længere varigheder, der er kritiske for bassinvolumener vurderes det, at disse parametre er anvendelige til at bestemme de nødvendige bassinvolumener.

Tabel D.1. Udregnede regnparametre for målestation st. 5047 for en 5-års gentagelseperiode

	c	α
St. 5047 - Sulsted	3911	0,78



Figur D.1. Målt og fittet regnkurve for SVK st. 5047 ved Sulsted for en 5-års gentagelsesperiode. Linjen er fittet fra 60 min til 24 timer

D.2 Behandling af regndata fra Spildevandskomiteens målersystem

Regnhændelser fra SVK målersystemet bliver af DMI inddelt i godkendte og ikke-godkendte hændelser på baggrund af algoritmer [Nielsen, 2007]. Flere forhold kan bevirke, at en regnhændelse ikke bliver godkendt, se tabel D.2

De 'ikke-godkendte' hændelser kan være relevante at benytte til beregning af bassindimensionering. Eksempelvis skal hændelser med varmelegemet tændt ikke automatisk kasseres, da mange vinternedbørshændelser ellers vil gå tabt. For urbane afstrømninger kan snevejr undlades da afstrømningen er langsom, men da bassiner har lang tømningstid og den meste nedbør smelter indenfor et par dage, medtages de i denne analyse. Teknisk fejl på måleren bør ikke betyde fravælgelse af alle hændelserne den pågældende dag. Derfor betyder en teknisk fejl ikke i sig selv ekskludering af regnen. Kun såfremt regnintensiteterne er urealistisk høje, ekskluderes regnhændelsen. Hændelser som er markeret 'ikke-godkendte' pga. afvigelse fra nærmeste stationer bør medtages, da regn kan falde meget lokalt og sagtens kan registreres i én måler og ikke i en anden, [Villarini et al., 2008]. Problematikken er beskrevet af Laden et al. [2015] med et eksempel fra Aalborg. Sorteringen af regnserie og regnrække følger et flowchart, vist på figur D.2.

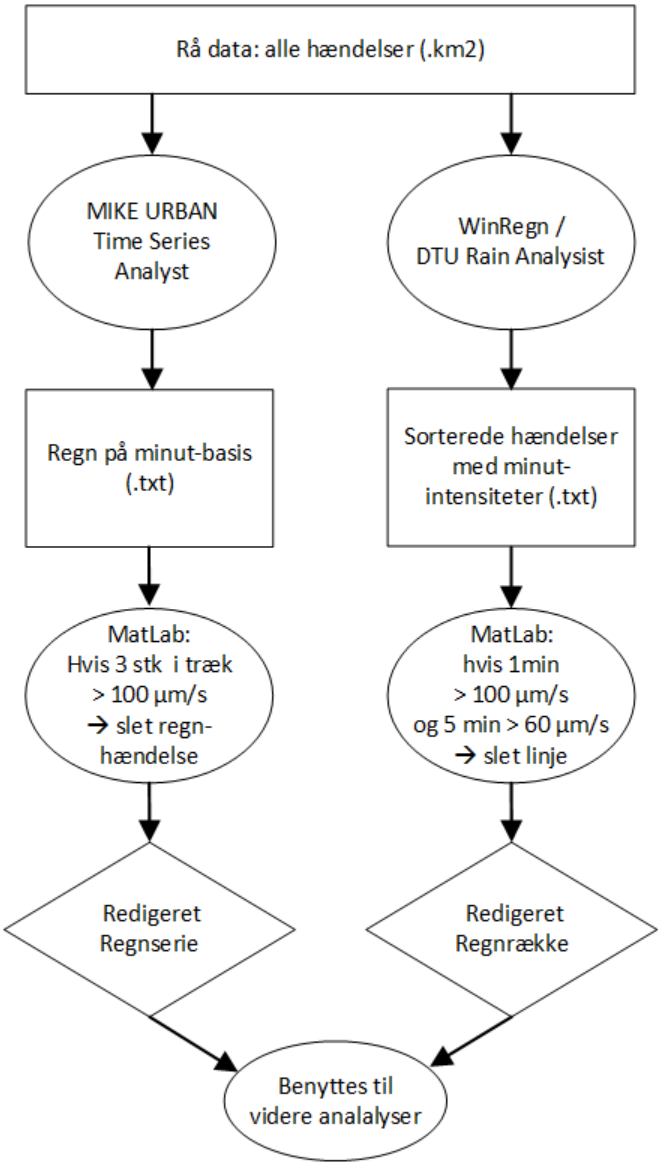
Tabel D.2. Beskrivelse af fejlkoder i regndata fra SVK stationer, med kommentarer fra DMI og forklaring på benyttelse i denne rapport.

Fejltype	DMI kommentar	Behandling i denne rapport
a: Afbrudt hændelse	Afbrudt, hvis nedbørhændelsen varer ud over den specificerede datafangstperiode.	Hændelsen er medtaget da regnen faktisk er faldet.
e: Ekstrem hændelse	Ekstrem nedbørintensitet ($\geq$ 2 mm/min) er indeholdt i hændelsen. Hændelsen tjekkes manuelt af en klimatolog. Markeringen bibeholdes både for forkastede og godkendte hændelser.	Kun hændelser med intensitet >100 μm/s i tre minutter er afvist.
d: Afvigelse fra nærliggende målere	Større afvigelse fra nærmeste målere. Hændelsen bør forkastes.	Regn kan falde meget lokalt i Danmark og målingen kan ikke afvises alene af denne grund.
s: Varmelegeme tændt	Varmelegemet har været tændt under hele eller dele af hændelsen, hvilket betyder, at temperaturen har ved måletidspunktet været $\leq$ 3°C(den registrerede nedbør kan stamme fra sne). Hændelser med denne markering indgår ikke i godkendte hændelser, men kan indeholde værdifuld information alligevel.	For lange intensiteter bør disse medtages, da nedbøren ofte smelter relativt hurtigt.
t: Teknisk fejl	Tekniske fejl på regnmåleren under hændelsen. Hændelsen bør forkastes.	Det angives ikke nærmere hvad fejlen skyldes, og regn forkastes ikke pga. dette.

Ekstreme værdier er pr. definition ikke grundlag for ekskludering, men der er observeret helt urealistiske værdier, så visse regn er forkert og skal ekskluderes. Data er fjernet ud fra følgende kriterier, hvor hele den berørte regnhændelse fjernes:

- Hvis 3 regnintensiteter i træk overstiger 100 μm/s

Rent teknisk har det været nødvendigt at fjerne hændelser i to step. km2-filen er upraktisk at søge og ændre i, hvor det er meget lettere at ændre i filerne fra MIKE Urban Time Series Analyst og WinRegn eller DTU Rain Analysist. Figur D.2 viser arbejdsgangen ved fjernelse af regn før videre bearbejdning. To stationer (5192 og 5279) giver ukendte problemer i WinRegn og det har været nødvendigt manuelt at fjerne alle hændelser med intensiteter over 100 μm/s og bagefter benytte DTU Rain Analyst til at beregne de sorterede hændelser. To stationer (5340 og 5370) giver ukendte fejl i både WinRegn og DTU Rain Analyst, hvorfor der manuelt er søgt efter de regn, som giver fejlmeddelelser. Der er fjernet hhv. 4 og 2 regnhændelser i de to filer, som ikke vurderes at have betydning for det endelige resultat.



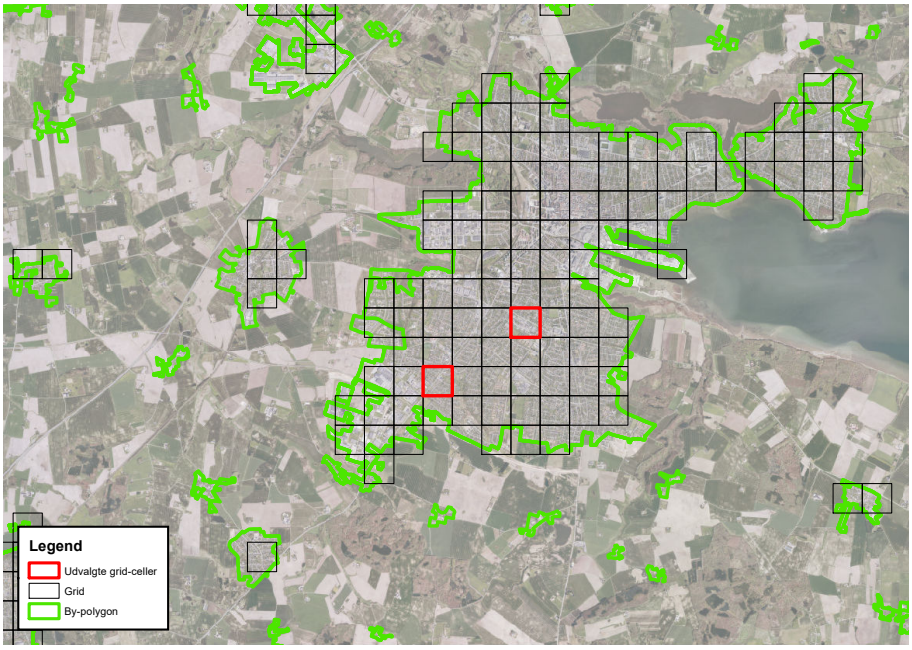
Figur D.2. Oversigt over databehandling af historiske regn fra SVK målestationer.

E | Analyse af oplandsfaktorer

I dette appendiks er der lavet en statistisk analyse af de to oplandsfaktorer befæstelsesgrad og tilslutningsgrad. Formålet er at undersøge faktorerdistributionerne i tilfældigt udvalgte oplande fra hele landet.

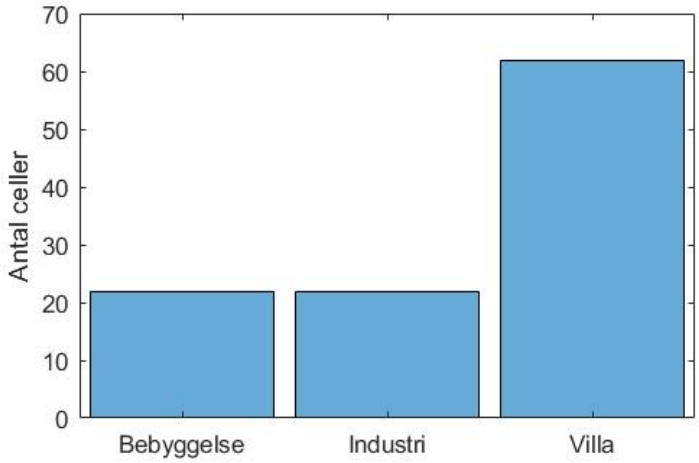
E.1 Indsamling af data

De anvendte data er indsamlet ved at vurdere andelen af befæstelsestyper i tilfældigt udvalgte by-oplande. Vurderingen er lavet ved at generere et 500 m x 500 m grid i alle by-polygoner i Danmark, hvilket resulterede i et totalt celleantal på 9939. Der blev tilfældigt udvalgt 120 celler. Befæstelsesgrad og tilslutningsgrad blev bestemt for hver af de udvalgte celler, vurderet på baggrund af ortofoto fra 2017. Figur E.1 viser et eksempel på en by opdelt i celler, hvor nogle er udvalgt til analyse.



Figur E.1. Eksempel på udvalgte by-polygoner

På baggrund af en vurdering af de udvalgte cellers oplandskarakteristika, er cellerne blevet inddelt i de tre følgende kategorier; villakvarter, industri og bebyggelse. Villakvarteret dækker over oplande med overvejende lav bebyggelse med have, industri dækker over oplande med større produktionsbygninger og bebyggelse dækker over højere etagebyggerier med tilhørende grønne områder. Fordelingen af de cellerne i de tre kategorier er vist i figur E.2.



Figur E.2. Fordeling af analyserede celler. Kun 106 af 120 celler er inddelt i de tre kategorier, da 14 celler ikke har haft en entydig oplandstype og er udeladt.

E.2 Test af distribution

For at finde den distribution, der bedst repræsenterer befæstelsesgraden og tilslutningsgraden for de tre kategorier, er Lilliefors testen og Kologorov-Smirnov testen brugt til at analysere distributionernes fit med de empiriske data. Lilliefors testen kan kun teste normalfordeling, og er bedst til dette. Kologorov-Smirnov testen kan vurdere fit for alle distributioner. For begge test gælder det, at fittet bliver afvist hvis P-værdien er >0,05. Der er derfor 5 % sandsynlighed for at datasættet passer på distributionen selvom testen afviser dette.

Testene er udført for de tre distributioner, der visuelt er vurderet til at give de bedste fit; normal-, LOGnormal- og trekants-distribution. Normalfordelingerne er afgrænset for at sikre, at distributionen ikke giver resultater uden for intervallet 0 til 1. Resultaterne for de to tests er vist i tabel E.1 og E.2.

For befæstelsesgraden gælder det, at alle tre oplandskategorier er normalfordelt. De to distributionstests indikerer at andre fordelinger også kunne være repræsentative for datasættene. Lilliefors testen, som er mest sensitiv overfor normalfordelinger, giver normalfordelingen den højeste P-værdi i alle tre oplandskategorier. I oplandskategorien 'bebyggelse' accepterer Lilliefors testen kun normalfordelingen.

Tabel E.1. Test af fit for de udregnede befæstelsesgrader fordelt på tre oplandskategorier. P-værdien indikerer med hvor høj sandsynlighed dataene fitter distributionen. H-værdi '0' betyder at distributionen er accepteret, H-værdi '1' betyder at distributionen er afvist. Grønne felter indikerer de valgte distributioner.

Test af fit - Befæstelsesgrad				
Distribution	Lilliefors test		Kologorov-Smirnov test	
	P	H	P	H
Normal - Villa	0,50	0	0,93	0
LOGnormal - Villa	0,14	0	0,95	0
Trekant - Villa	–	–	0,28	0
Normal - Industri	0,50	0	0,78	0
LOGnormal - Industri	0,50	0	0,71	0
Trekant - Industri	–	–	0,36	0
Normal - Bebyggelse	0,05	0	0,38	0
LOGnormal- Bebyggelse	0,01	1	0,29	0
Trekant- Bebyggelse	–	–	0,06	0

For tilslutningsgraden gælder det, at alle tre oplandskategorier er trekantsfordelt. De to distributionstests indikere at andre fordelinger også kunne være repræsentative for datasættene. Trekantsfordelingen er vurderet som bedste fit på baggrund af resultaterne fra Kologorov-Smirnov testen, hvor trekantsfordelingen giver den bedste P-værdi i alle tre kategorier.

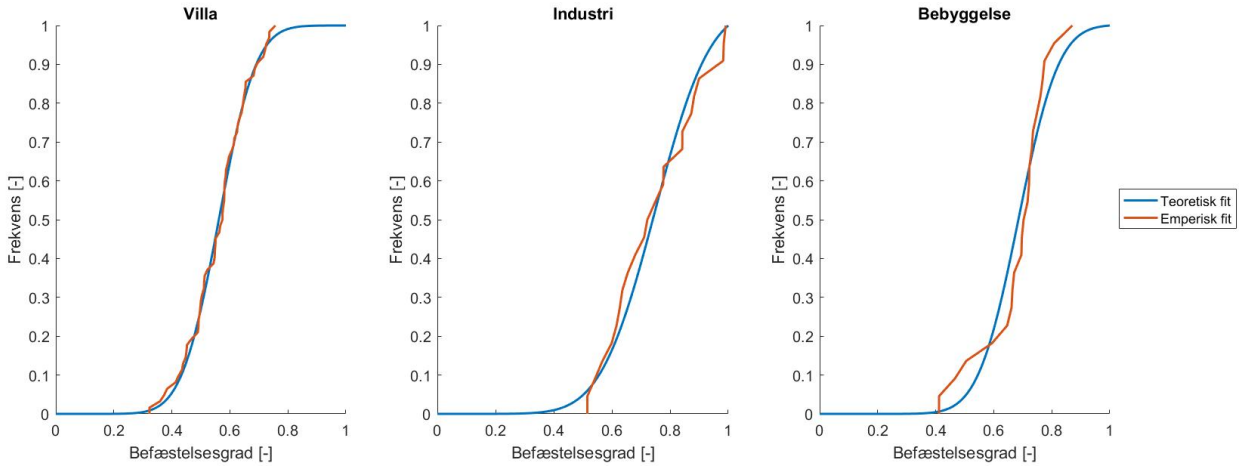
Tabel E.2. Test af fit for de udregnede tilslutningsgrader fordelt på tre oplandskategorier. P-værdien indikerer med hvor høj sandsynlighed dataene fitter distributionen. H-værdi '0' betyder at distributionen er accepteret, H-værdi '1' betyder at distributionen er afvist. Grønne felter indikerer de valgte distributioner.

Test af fit - Tilslutningsgrad				
Distribution	Lilliefors test		Kologorov-Smirnov test	
	P	H	P	H
Normal - Villa	0,07	0	0,19	0
LOGnormal - Villa	0,03	1	0,11	0
Trekant - Villa	–	–	0,24	0
Normal - Industri	0,07	0	0,01	1
LOGnormal - Industri	0,05	1	0,01	1
Trekant - Industri	–	–	0,05	0
Normal - Bebyggelse	0,03	1	0,12	0
LOGnormal- Bebyggelse	0,02	1	0,09	0
Trekant- Bebyggelse	–	–	0,59	0

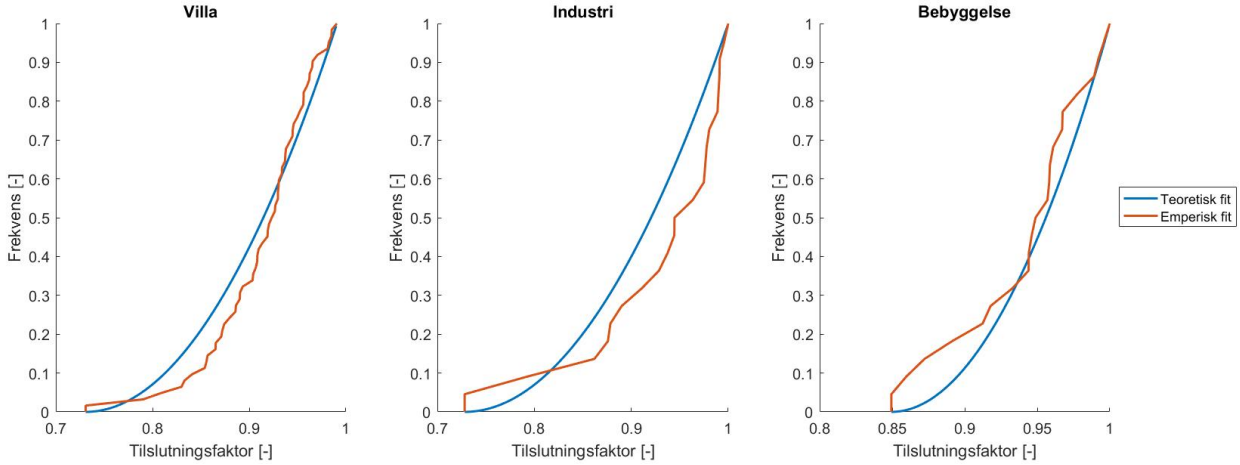
E.3 Fittet distribution af data

På baggrund af de to distributionstest, Lilliefors og Kologorov-Smirnov, er de bedste distributioner valgt for befæstelsesgrad og tilslutningsgrad. Distributionerne og empiriske data er illustreret i figur E.3 og E.4.

Distributionsværdierne samt 95 % konfidensintervallet for de teoretiske fit i figur E.3 og E.4 er vist hhv. i tabel E.3 og E.4.



Figur E.3. Fittet normalfordeling for befæstelsesgraden i de tre kategorier



Figur E.4. Fittet trekantsfordeling for tilslutningsgraden i de tre kategorier

Tabel E.3. Distributionsværdier for befæstelsesgraden med angivelse af middelværdi og standardafvigelse.

Parameter	Distribution	Middel	Standard-afvigelse	95% konfidens-interval
Befæstelsesgrad - Villa	Normal	0,56	0,10	[0,36 ; 0,76]
Befæstelsesgrad - Industri	Normal	0,74	0,14	[0,45 ; 0,96]
Befæstelsesgrad - Bebyggelse	Normal	0,68	0,11	[0,47 ; 0,90]

Som det fremgår af a-, b- og c-værdierne i tabel E.4, er placeringen af toppunktet og maksværdien sat i samme punkt, denne antagelse er baseret på en visuel vurdering. Grundet placeringen af toppunktet over maksværdien svarer 95 % konfidensintervallet til værdier fra 5-100 % fraktilen.

Tabel E.4. Distributionsværdier for tilslutningsgraden. a er minimumsværdien, b er placeringen af toppunktet og c er maksværdien.

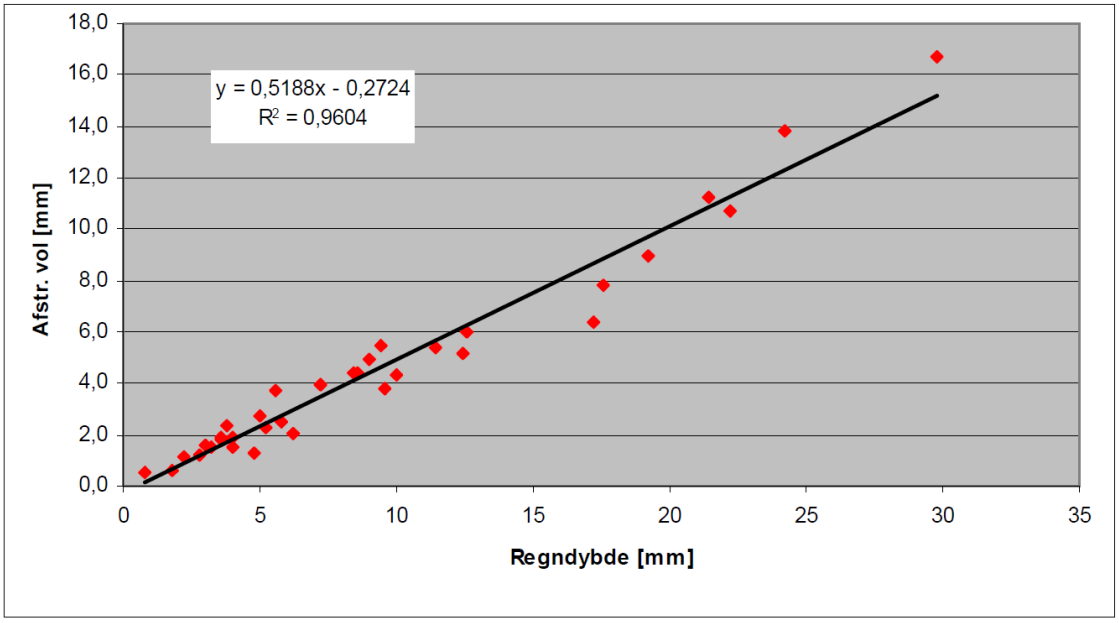
Parameter	Distribution	a	b	c	95% konfidensinterval
Tilslutningsgrad - Villa	Trekant	0,73	0,99	0,99	[0,79 ; 0,99]
Tilslutningsgrad - Industri	Trekant	0,72	1	1	[0,79 ; 1]
Tilslutningsgrad - Bebyggelse	Trekant	0,85	1	1	[0,88 ; 1]

F | Hydrologisk reduktionsfaktor

Igennem et litteraturstudie er den hydrologiske reduktionsfaktor for boligområder i Danmark undersøgt. Formålet er at lave en vurdering af hvilke distribution, der bedst beskriver en generel værdi for hele landet, samt undersøge parameterens betydning for bassinvolumenet.

F.1 Indsamling af data

Der er i et litteraturstudie fundet 16 hydrologiske reduktionsfaktorer for konkrete oplande. Den hydrologiske reduktionsfaktor er vurderet for hvert opland ved at lave en lineær regression mellem afstrømmet volumen og regndybden. Regndybden registreres i SVK målere placeret i nærheden af oplandet. Afstrømmende volumen måles ved flowmålere i kloakken fra det respektive opland og omregnes til et volumen relativt til oplandet. Den hydrologisk reduktionsfaktor er defineret ved forskellen mellem regndybde og afstrømmet volumen. Et eksempel fra Gistrup er vist på figur F.1.



Figur F.1. Eksempel på målinger og bestemmelse af hydrologisk reduktionsfaktor for Gistrup. [Naturstyrelsen, 2011]

Tabel F.1 viser hydrologisk reduktionsfaktor og initialtab for forskellige kloakoplande i Danmark. Vurderingerne af hydrologisk reduktionsfaktor er baseret på årlige vandføringer. Arnbjerg-Nielsen & Harremoës [1996] viser at der for ekstreme regnhændelser over 10 mm er en tendens til højere hydrologisk reduktionsfaktor for de fire oplande undersøgt i artiklen. Der er ikke datagrundlag for en sådan vurdering på de resterende oplande, derfor er vurderingen af hydrologisk reduktionsfaktor baseret på årlige vandføringer.

Tabel F.1. Værdier for hydrologisk reduktionsfaktor og initialtab ved forskellige boligområder i Danmark, baseret på litteraturstudi.

Område	Hydrologisk reduktionsfaktor	Initial-tab	Litteratur
Gistrup	0,52	0,53	1
Sulsted – fælles	0,61	0,26	1
Sulsted - separat	0,55	0,6	1
Frejlev	0,46	0,45	1
Soldalen	0,71	0,8	2
Rynkeby	0,5	0,5	2
Vangede	0,72	1,8	2
Frimestervej	0,89	0,5	2
Hasseris Villaby	0,43	0,4	2
Vissing	0,9	0,5	2
Cedervænget	0,7	0,8	3 / 4
Munkerisparken	0,7	0,48	3
Vestre paradisvej	0,73	0,87	3 / 4
Emdrup Banke	0,61	0,92	3 / 4
Nannasgade-Vølundsgade	0,62	0,71	3 / 4
Bispeengsbuen	0,84	0,7	3
Middel	**0,66**	**0,68**	
1: [Naturstyrelsen, 2011]	2: [Miljøstyrelsen, 1997]		
3: [Jensen, 1990]	4: [Arnbjerg-Nielsen & Harremoës, 1996]		

F.2 Test af distribution

Der er lavet vurdering af hvilken distribution hydrologisk reduktionsfaktor tilhører, vist i tabel F.2. For at finde den distribution, der bedst repræsenterer hydrologisk reduktionsfaktor, er Lilliefors og Kologorov-Smirnov testene benyttet til at analysere hvordan distributionernes passer med de empiriske data. Lilliefors testen kan kun teste normalfordeling og er bedst til dette. Kologorov-Smirnov testen kan vurdere fit for alle distributioner. For begge test gælder det, at distributionen bliver afvist hvis P-værdien er >0,05. Der er derfor 5 % sandsynlighed for at de empiriske datasæt passer på distributionen selvom testen afviser dette. Testene er udført for de tre distributioner; normal-, LOGnormal- og trekants-distribution. Normalfordelingerne er afgrænset for at sikre, at distributionen ikke giver resultater uden for intervallet 0 til 1.

Den hydrologisk reduktionsfaktor passer bedst med en normalfordeling, hvilket begge tests verificerer.

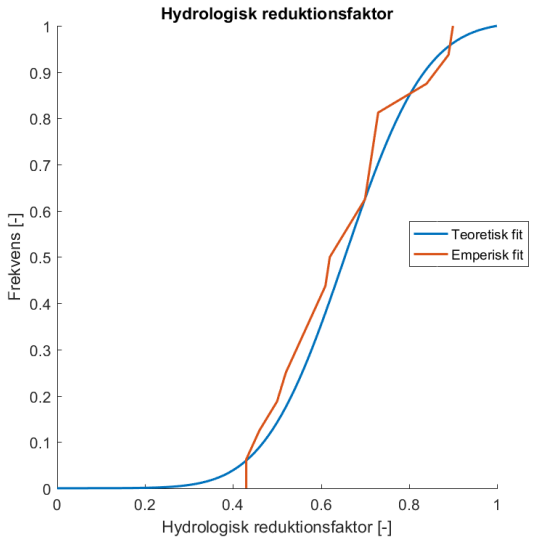
Tabel F.2. Test af fit for de udregnede tilslutningsgrader. P-værdien indikerer med hvor høj sandsynlighed dataene passer med distributionen. H-værdi '0' betyder at distributionen er accepteret, H-værdi '1' betyder at distributionen er afvist. Grønne felter indikerer valgt distribution.

Test af fit - Hydrologisk reduktionsfaktor				
Distribution	Lilliefors test		Kologorov-Smirnov test	
	P	H	P	H
Normal	0,50	0	0,93	0
LOGnormal	0,38	0	0,69	0
Trekant	–	–	0,64	0

F.3 Distribution af hydrologisk reduktionsfaktor

På baggrund af de to distributionstest, Lilliefors og Kologorov-Smirnov, antages det, at hydrologisk reduktionsfaktor er normalfordelt, hvilket er vist på figur F.2. Parametrene for normalfordelingen er opsummeret i tabel F.3, hvilket benyttes til følsomhedsanalysens Monte Carlo simulering i kapitel 4.

Ud fra distributionen kan det konkluderes at hydrologisk reduktionsfaktor med 95% sikkerhed ligger mellem 0,37 og 0,92 for hele landet. Dette bygger på et datasæt med 16 punkter. Der behøves større datagrundlag for at definere en egentlig tendens og verificere distributionen.



Figur F.2. Fittet normalfordeling og empirisk fordeling for hydrologisk reduktionsfaktor.

Tabel F.3. Hydrologisk reduktionsfaktors normalfordelings parameter.

Parameter	Distribution	Middel	Standard-afvigelse	95% konfidens-interval
Hydrologisk reduktionsfaktor	Normal	0,66	0,14	[0,37 ; 0,92]

G | Robusthedsanalyse af vandløb

Der er udført robusthedsanalyser for de seks udvalgte case-vandløb:

- Binderup Å
- Herningsholm Å, Hammerum Å og Hammerum Bæk
- Karup Å
- Lindenborg Å
- Svejstrup Bæk
- Voer Å

Formålet med robusthedsanalyserne er at fremskaffe de nødvendige data til at vurdere effekterne af forsinkede og uforsinkede regnbetingede udløb i recipienten. I det følgende afsnit præsenteres vandløbene og resultater enkeltvist. Alle resultater er sammenlignet med en referencesituation. Referencesituationen er defineret som en situationen uden udledning fra de urbane oplande. Da der ikke forelægger tilgængelige data fra en 'naturlig' upåvirket situation uden nogen regnbetingede udledninger, er data fra de tilgængelige målestationer anvendt som referencedata. Analysen følger tre trin for oversvømmelse og erosion:

1. Referencesituationen defineres ved vintermedianmaksimum i vandløbet og ingen udledning fra bassiner.
2. Scenarier med gradvist stigende udledning fra eksisterende bassiner modelleres. Konsekvensen i form af ændret vandspejlsstigning, oversvømmelse og erosion registreres.
3. Det kritiske niveau er det punkt, hvor erosionen eller oversvømmelse overskrider et valgt acceptabelt niveau i større omfang end referencesituationen.

Afsnittene for hvert vandløb er bygget ens op med en beskrivelse af vandløbet og nuværende udledninger efterfulgt af modelresultater. Vandspejlsstigningen i vandløbet er beregnet i tværsnit for forskellige vandføringer. Der er lavet dynamiske modelkørsler for Herningsholm Å og Voer Å til undersøgelse af uforsinkede udledningers konsekvens på vandspejlet i det modtagne vandløb.

G.1 Model og data

Alle stationære og dynamiske vandløbsmodeller er beregnet i Mike Hydro River [DHI, 2017]. Data til modellerne stammer fra følgende kilder:

- Vandløbsopmåling: Mange kommuner benytter VASP [Orbicon, 2017] til vandløbsadministration og har opmålinger og beregninger heri. Alle vandløbsopmålinger benyttet i denne rapport er stillet til rådighed fra de pågældende kommuner.
- Opland og strømningsveje: Værktøjet SCALGO Live er benyttet til beregning størrelse af deloplande og strømningsveje [Scalgo ApS, 2017]. Programmet bygger på Danmarks Højdemodel [Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering, 2015]
- Nedbørsmålinger: Regnserier er hentet fra SVK-regnmålerne [DMI, 2017] og indeholder data i perioden mellem 1961 og 2018. Der er 44 stationer, som indeholder mere end 25 års data.

- Afstrømningsmålinger: Hvor det ikke har været muligt at beregne den konkrete afstrømningskarakteristik på grund af manglende målerdata, er data fundet i Miljøportalen [Danmarks Miljøportal, 2017] eller i rapporten Afstrømningsforhold i danske vandløb [Ovesen et al., 2000]
- Eksisterende udledninger: Udledninger er fundet i Vandområdeplanerne [Miljøstyrelsen, 2015] og indeholder værdier som: koordinater, total og reduceret oplandsareal, bassinets volumen, tilladte udledningsmængde. Hvis udledningen sker til en grøft eller et bivandløb, er den koblet på det modellerede vandløb uden forsinkelse.

Beregning af power index

Power index er defineret som produktet af bundforskydningsspændingen og middelhastigheden i tværsnittet, formel G.1. Bundforskydningsspændingen, τ, beregnes fra formel G.2. Friktionstallet, *f*, er beregnet ved iteration i Colebrook og White-formlen, formel G.3. I Colebrook og White-formlen anvendes hydraulisk- eller modstandsradius. I denne rapport er modstandsradius anvendt.

$$PI = \tau \cdot v \tag{G.1}$$

$$\tau = f \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \tag{G.2}$$

$$f = \frac{2}{\left(6{,}4 - 2{,}45 \cdot \ln\left(\frac{k_*}{R_*} + \frac{4{,}7}{Re\sqrt{f}}\right)\right)^2} \tag{G.3}$$

hvor:

PI	Power index	[W/m^2]
τ	Bundforskydningsspænding	[Pa]
f	Friktionstal	[-]
ρ	Densitet	[kg/m^3]
v	Middelhastighed	[m/s]
k/k_*	Ruhed for hydraulisk-/modstandsradius	[m]
R/R_*	Hydraulisk-/modstandsradius	[m]
Re	Reynolds nummer	[-]

G.2 Binderup Å

Kort beskrivelse: Binderup Å er et vandløb i Vesthimmerlands Kommune, som løber i Limfjorden nord for Nibe. Åen er 26 km lang med lavt fald (0,5 ‰) på de første 6 km. Herefter øges faldet opstrøms Nibe på nogle strækninger op til 3,8 ‰ med to opstemninger med fald på 1 og 2,8 meter. Opmålingen er fra 2001.

Bassinudledninger: Der er registreret 3 udledninger fra regnvandsbassiner med et samlet reduceret befæstet areal på 9,6 ha. To udledninger sker til station 0. Der er ingen udløb fra Nibe by, som formodentlig afleder direkte til fjorden.

Tabel G.1. Oplandsfordeling

	Opland [ha]	Andel [%]
Binderup Å	9060	
Regnvandsbassiner	9,6	0,11

Oversvømmelse: Der ses i referencesituationen oversvømmelse vest for Nibe og ned til udløbet. Ortofoto viser at områderne ikke er dyrkede og vurderes jævnligt at være fugtige. Ved udledning på 9 l/s/ha fra registrerede regnvandsbassiner ses meget begrænset øget oversvømmelse, primært i de områder, hvor der allerede er oversvømmelse. Oversvømmelsen er vist på figur G.1. Dette opland har en lille andel befæstet areal. For at undersøge robusthed overfor en forøgelse i befæstet areal, laves en analyse, hvor en række fiktive befæstede oplande udleder til åen. Tilsammen udgør det eksisterende og fiktive opland 1 % af det totale opland. Denne situation giver en betydelig oversvømmelse, se figur G.2. Altså er åen følsom overfor store ændringer i andelen af det befæstede areal.

De beregnede vandspejlsstigninger er vist i tabel G.2.

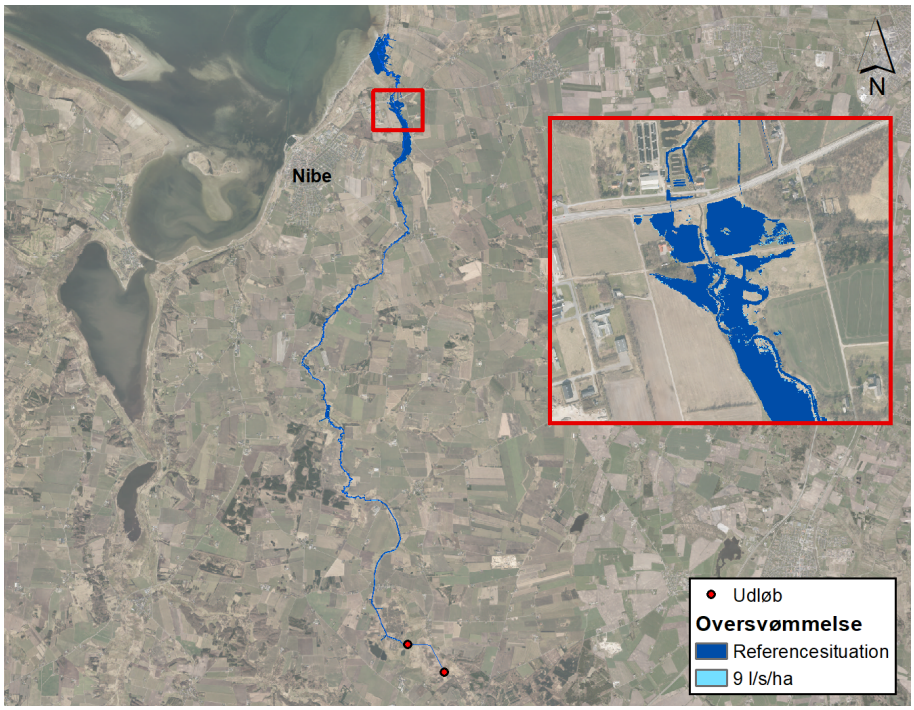
Tabel G.2. Vandspejlstigning ved bassinudløb fra et fiktivt opland på 5 ha i udvalgte punkter i vandløbet.

Vandføring i vandløb [l/s]	Vandspejlsstigning [cm] ved følgende bassinudledninger			
	Medianmaksimum	1 l/s/ha	3 l/s/ha	9 l/s/ha
48	0,3	0,9	2,6	7,0
1030	0,0	0,0	0,0	0,0

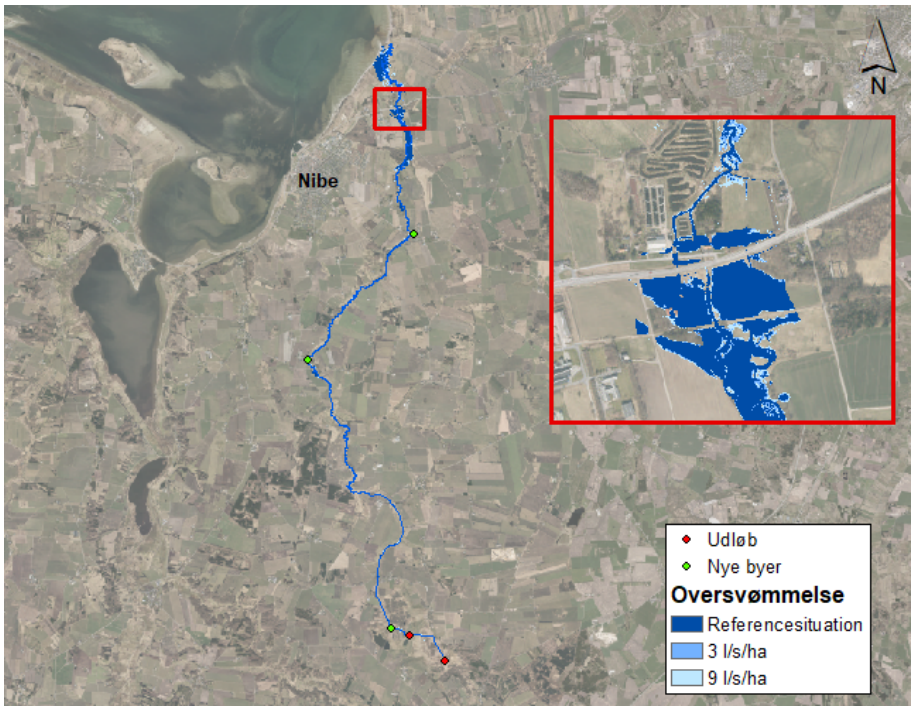
Erosion: Grundet Binderup Ås varierende fald ses ned igennem vandløbet et varierende powerindex fra 0 til over 35. Ved udledning på 9 l/s/ha fra bassinerne ses en lille forøgelse i powerindex (figur G.3), men ingen strækninger som passerer grænsen på 35 W/m^2. Udledningerne vurderes derfor ikke at have nogen effekt på erosionen i vandløbet.

Tabel G.3. Oversvømmelse (areal) og erosion (meter vandløbsstrækning over 35 W/m^2) ved forskellige udledninger. Forøgelse i forhold til referencesituation

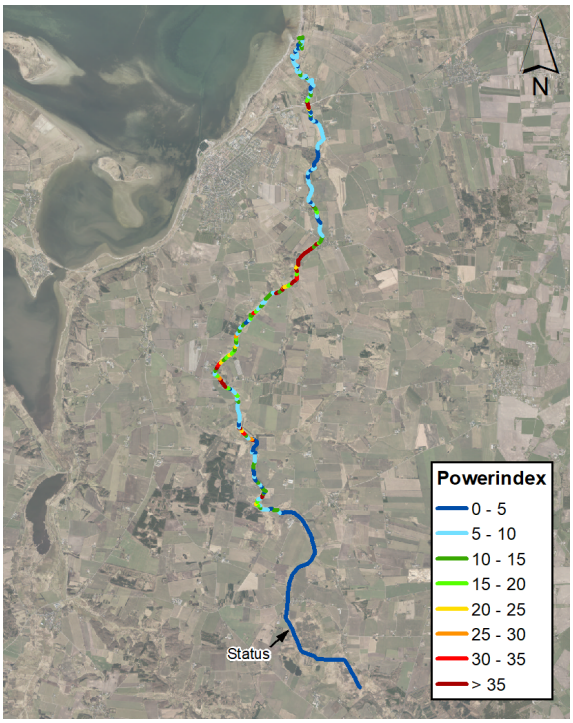
	Oversvømmelse [ha]	Forøgelse [%]	Erosion [m]	Forøgelse [%]
Referencesituation	59,9		1812	
Udledning: 3,0 l/s/ha	60,8	1,4	1812	0,0
Udledning: 6,0 l/s/ha	61,6	2,9	1812	0,0
Udledning: 9,0 l/s/ha	62,4	4,3	1812	0,0
Befæstet areal der svarer til 1 % af total opland				
Udledning: 3,0 l/s/ha	66,7	11,2	1812	0,0
Udledning: 9,0 l/s/ha	80,0	33,4	1812	0,0



Figur G.1. Modelleret oversvømmelse ved referencesituation og ved udledning fra alle nuværende bassiner på 9 l/s/ha. Kort fra Geodatastyrelsen.

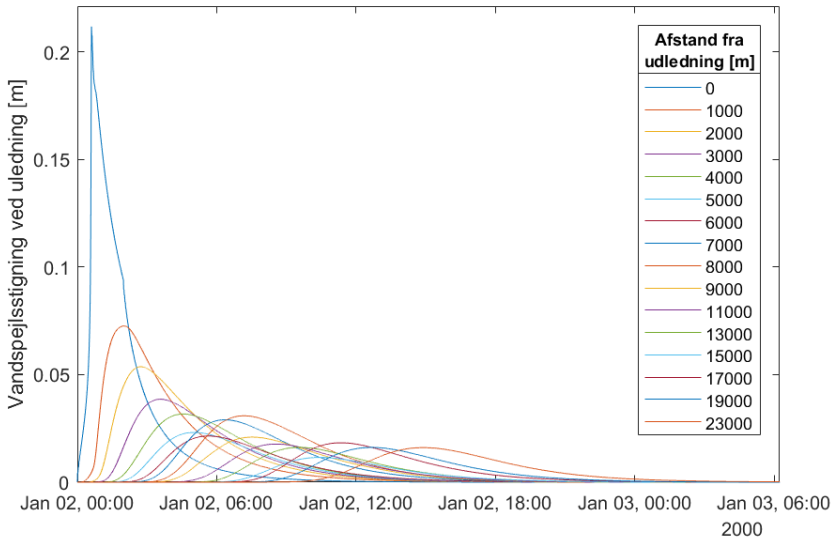


Figur G.2. Modelleret oversvømmelse ved referencesituation og ved udledning fra bassiner svarende til 1 % af oplandet ved udledninger på 3 og 9 l/s/ha. Kort fra Geodatastyrelsen.



Figur G.3. Modelleret erosion i Binderup Å. Der ses ingen forskel i power index-værdierne ved øgede udledninger, hvorfor kun en situation er vist. Kort fra Geodatastyrelsen.

Uforsinket udledning: Dæmpningen ved uforsinkede udledninger er undersøgt ved en CDS-regn svarende til en 2-års hændelse på 5 ha befæstet opland. Bølgen er efter 1 km halveret i højde og efter 10 km og 10 timer dæmpet til 10 % af oprindelig højde, vist i figur G.4.



Figur G.4. Dæmpning af en uforsinket udledning i Binderup Å med angivet afstand fra udledningspunkt

G.3 Herningsholm å-systemet

Kort beskrivelse: Igennem byerne Herning, Hammerum og Gjellerup løber Herningsholm Å, Hammerum Å og Hammerum Bæk. Vandløbene har en stor andel befæstet opland og mange forsinkede punktudledninger. Herningsholm Å er 30 km lang med gennemsnitlig 0,6 ‰ fald og løber i Storå, men kun strækningen på 13 km opstrøms Gødstrup Sø er medtaget i denne simulering. Tilløbene Hammerum Å og Hammerum Bæk har en længde på hhv. 6,7 og 9,2 km med fald på 1-5 ‰.

Opmålinger for vandløbene er mangelfulde, idet en reel opmåling kun er tilgængelig for Hammerum Bæk (årstal ukendt), derfor er resten af vandløbsprofilerne indtastet fra regulativerne. Da regulativdimensionerne kan afvige fra de faktiske forhold, er det sandsynligt at resultaterne giver yderligere usikkerheder. Den modellerede ændring som sammenholdes med referencesituationen, er dog stadig aktuel. Oversvømmelseskortet kan vise større oversvømmelser, end hvad der faktisk vil være tilfældet, såfremt regulativets bundkote ligger over vandløbsbund.

Bassinudledninger: Vandløbene er bynære områder hvilket resulterer i en recipient med meget befæstede opland. Der er registreret over 60 udløb fra regnvandsbassiner med et samlet befæstet opland på over 1000 ha. Udledninger som er placeret i de mindre vandløb inde i Herning by er i Mike Hydro modellen koblet på samme tilløb i Herningsholm Å uden forsinkelse. Tabel G.4 viser andelen af befæstet opland koblet på regnvandsbassiner og figur G.5 viser placeringen af tilløbene til vandløbene.

Figur G.5. Placering af Hammerum Bæk, Hammerum Å og Herningsholm Å og tre større tilløb (fra venstre: Tyvkær Bæk, Smalbæk og Holing Bæk). Stationering er i Herningsholm Å. Kort fra Geodatastyrelsen.

Tabel G.4. Oplandsfordeling opgjort på de to tilløb og samlet for Herningsholm Å opstrøms Gødstrup sø

	Opland [ha]	Andel [%]
Hammerum Å	1094	
Regnvandsbassiner	89	8,1
Hammerum Bæk	1194	
Regnvandsbassiner	179	15,0
Herningsholm Å (inkl. Hammerum Å og Hammerum Bæk)	7275	
Regnvandsbassiner (total)	1007	13,8

Oversvømmelse: Der sker øget oversvømmelse i alle tre vandløb ved udledninger på 1-3 l/s/ha, se tabel G.6. De største oversvømmelser i Herningsholm Å og Hammerum bæk sker i ådalsområder, som ikke er beboet. Figur G.6 viser, at der er størst konsekvenser i den vestlige ende af Herning. I det område er der tre tilløb med mange bassiner tilkoblet. Ved udledningen på 1 l/s/ha vil oversvømmelsen være så stor, at der skal laves en konkret vurdering af, om oversvømmelsen er til gene.

I Hammerum Å ses længst opstrøms et større område som er oversvømmet ved referencesituationen. Dette vurderes ikke sandsynligt ud fra ortofoto, hvor områderne er bebyggede eller dyrkede. Fejlen kan skyldes, at vandløbet i modellen er beskrevet med regulativprofiler, som afviger fra den faktiske situation.

De beregnede vandspejlsstigninger er vist i tabel G.5.

Tabel G.5. Vandspejlstigning ved bassinudløb fra et fiktivt opland på 5 ha i udvalgte punkter i vandløbet.

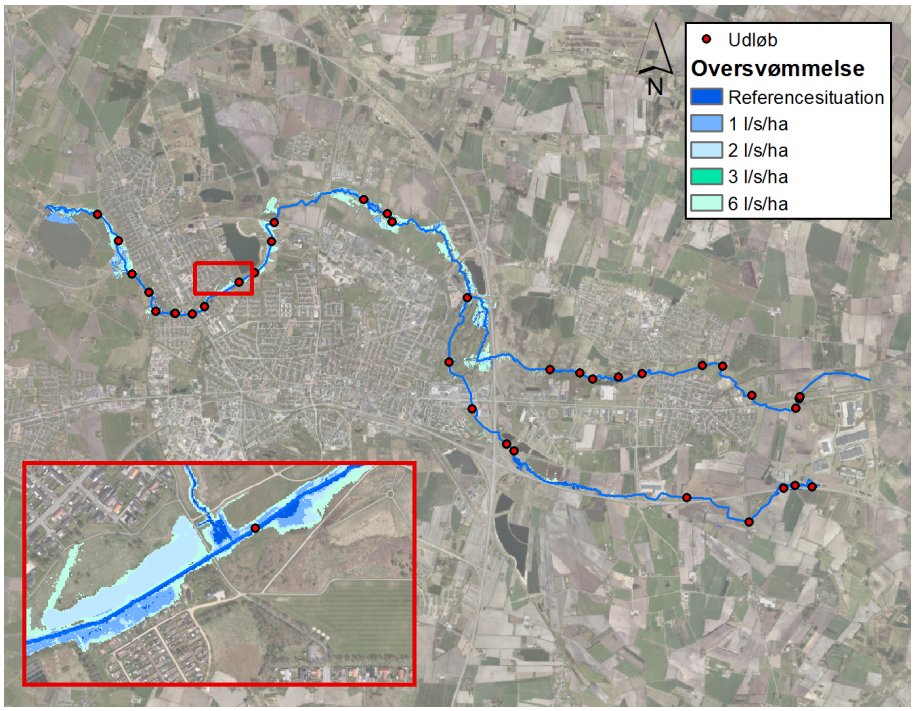
Vandføring i vandløb [l/s]	Vandspejlsstigning [cm] ved følgende bassinudledninger			
	Medianmaximum	1 l/s/ha	3 l/s/ha	9 l/s/ha
Hammerum Å				
8	1,9	3,6	7,8	16,2
102	02	0,6	1,9	5,3
Hammerum Bæk				
18	0,4	1,2	3,5	8,4
102	0,3	0,7	2,1	5,7
Herningsholm Å				
223	0,1	0,4	1,2	3,6
508	0,1	0,2	0,7	2,0

Erosion: Der ses meget erosion i referencesituationen i begyndelsen af Hammerum Bæk og Hammerum Å, med dette stiger ikke ved varierende udledning. I Hammerum Å er erosionen uændret og den øgede udledning skaber ikke forværring. I Hammerum Bæk er der meget erosion i referencesituationen, som falder ved øget udledning. Det kan skyldes, at vandspejlet overstiger vandløbsprofilernes brinkkote og beregningen er forkert, som beskrevet i afsnit 9.3.

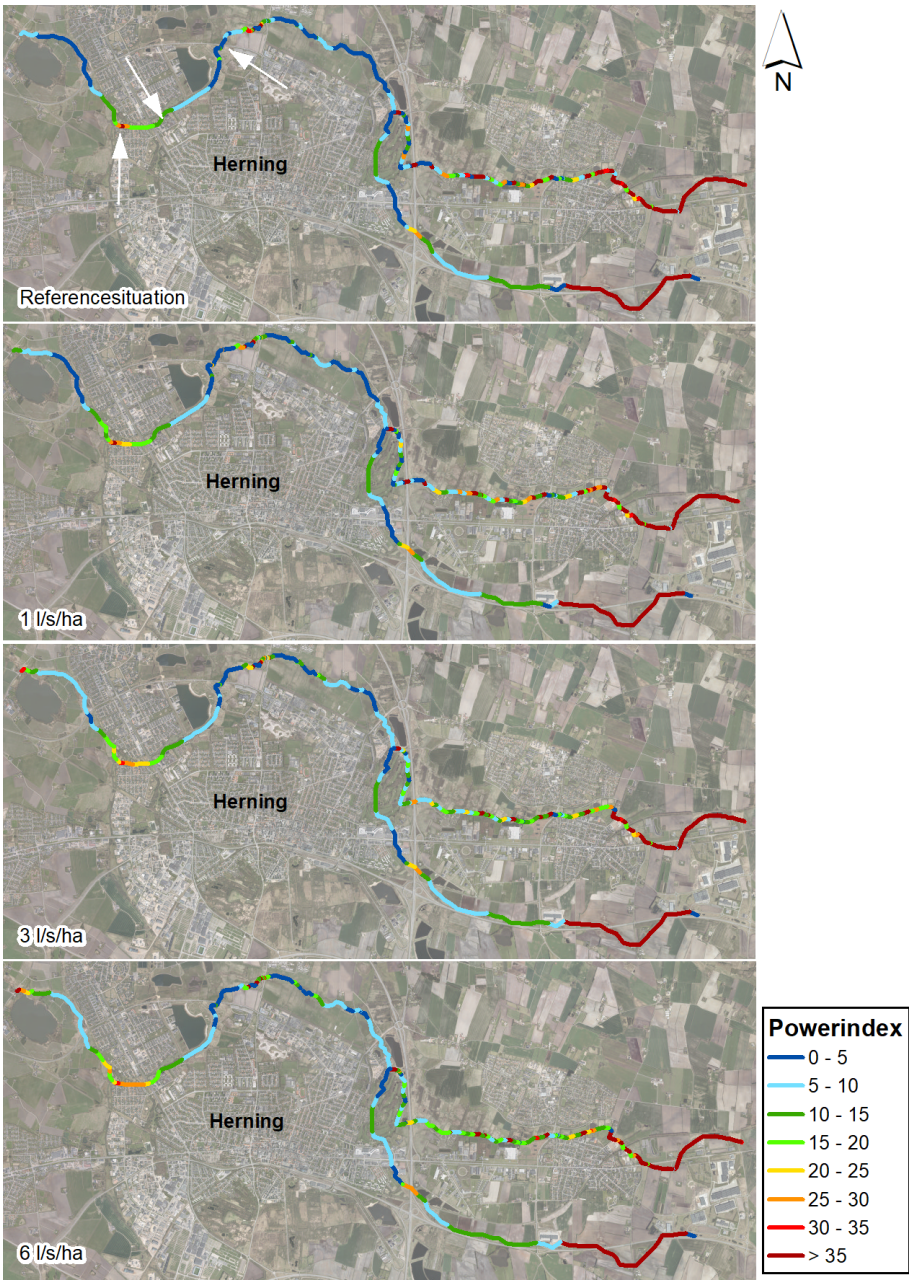
Gennem Herning sker de største udledninger i den vestlige ende af byen ved udløb af Holing Bæk, Smalbæk og Tyvkær Bæk (hvide pile på figur G.7). Der ses en forøgelse af power index nedstrøms udledningerne og korte strækninger over grænseværdien på 35 W/m^2 stiger ved 1, 2 og 6 l/s/ha. Ved udledning på 3 l/s/ha ses et fald i strækninger med erosion. Det skyldes, at på nogle strækninger falder erosionen, som forklaret i afsnit 9.3, mens den stiger andre steder. I Herningsholm Å bliver usikkerhederne ved power index tydeliggjort, da læseren uden yderligere undersøgelser på baggrund af tabelværdierne kunne konkludere, at ved udledning på 3 l/s/ha vil erosionen i vandløbet begrænses – og det vil være en forhastet konklusion at drage. I Herningsholm Å kan det være nødvendigt at inddele vandløbet i delstræk og undersøge, hvordan erosionen vil ændres her.

Tabel G.6. Oversvømmelse (areal) og erosion (meter vandløbsstrækning) ved forskellige udledninger. Forøgelse i forhold til referencesituation

	Oversvømmelse [ha]	Forøgelse [%]	Erosion [m]	Forøgelse [%]
Hammerum Å				
Referencesituation	7,4		2603	
Udledning: 1 l/s/ha	8,1	10,2	2603	0
Udledning: 2 l/s/ha	8,4	13,5	2603	0
Udledning: 3 l/s/ha	7,9	7,9	2603	0
Udledning: 6 l/s/ha	11	49,9	2603	0
Udledning: 9 l/s/ha	17	135,4	–	–
Hammerum Bæk				
Referencesituation	3,8		3816	
Udledning: 1 l/s/ha	6,7	76,7	3558	-6,8
Udledning: 2 l/s/ha	9,6	153,2	3213	-15,8
Udledning: 3 l/s/ha	9,7	154,8	3206	-16,0
Udledning: 6 l/s/ha	24	529,7	3145	-17,6
Udledning: 9 l/s/ha	55	1331,1	–	–
Herningsholm Å				
Referencesituation	13		131	
Udledning: 1 l/s/ha	29	133,3	134	2,3
Udledning: 2 l/s/ha	41	229,3	149	13,7
Udledning: 3 l/s/ha	39	212,4	95	-27,5
Udledning: 6 l/s/ha	91	625,3	177	35,1
Udledning: 9 l/s/ha	119	850,4	–	–

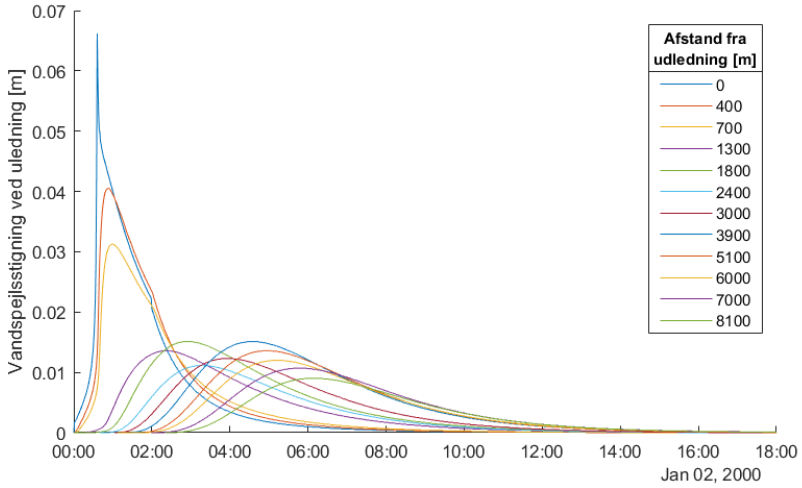


Figur G.6. Modelleret oversvømmelse ved referencesituation og ved udledning fra alle bassiner på 1, 2, 3 og 6 l/s/ha. Udledningspunkter fra regnvandsbassiner er vist. Kort fra Geodatastyrelsen.



Figur G.7. Modelleret power index ved referencesituation og ved udledning fra alle bassiner på 1, 3 og 6 l/s/ha). Hammerum Bæk er som den eneste af de tre opmålt, hvorfor der er mange flere små strækninger med farveskift end i Herningsholm Å og Hammerum Å. De hvide pile på første kort viser placeringen af de tre større tilløb; fra venstre: Tyvkær Bæk, Smalbæk og Holing Bæk. Kort fra Geodatastyrelsen.

Uforsinket udledning: Dæmpningen ved uforsinket udledning er undersøgt med en 2-års hændelse på 5 ha befæstet opland. Efter 1,3 km er bølgen dæmpet til ca. 20 % af oprindelig højde og dæmpes ikke yderligere på den resterende modellerede strækning, vist i figur G.8.



Figur G.8. Dæmpning af en uforsinket udledning i Herningsholm Å med angivet afstand fra udledningspunkt

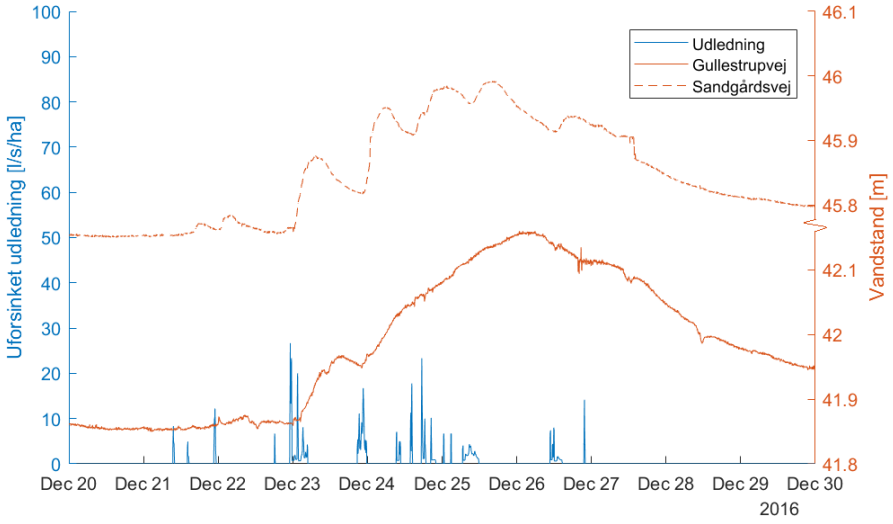
G.3.1 Dynamisk model

Vandløbene i Herning er stærkt påvirket af udledninger, som alle er droslede. Det er interessant at undersøge, hvad konsekvenserne vil være af uforsinkede udledninger. Herningsholm Å har størst andel befæstet areal af de udvalgte case-vandløb.

Følgende data er benyttet (se placering i figur G.5):

- Nedbørsdata fra SVK station 5279. Målinger hvert minut
- Vandstand målt i Herningsholm Å ved Gullestrupvej og i Hammerum Bæk ved Sandgårdsvej. Målinger hvert fjerde minut

På figur G.9 er sammenhængen mellem regnbetinget udledning og vandstand i vandløbet illustreret. Figuren viser stor sammenhæng mellem udledninger og vandstand i vandløbene. Den største korrelation mellem nedbørsmålinger og vandstand ved Sandgårdsvej er fundet til ca. 9 timer, og kan forstås som den forventede forsinkelse i oplandet.



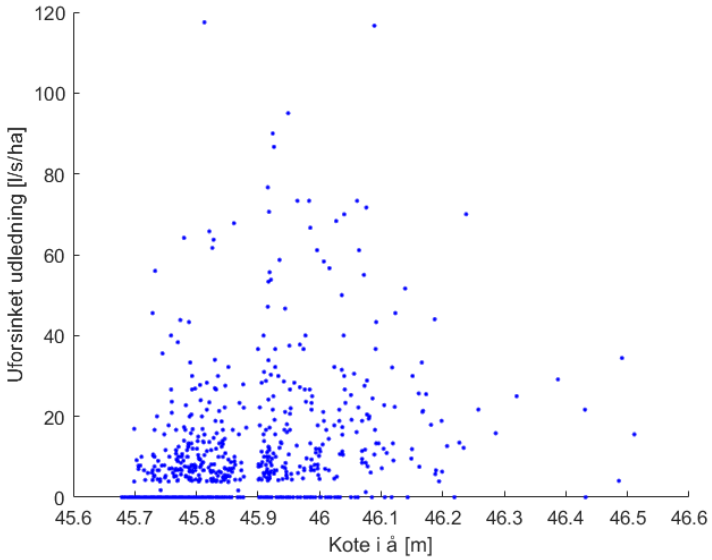
Figur G.9. Vandstanden er målt ved en station kaldet Guldestrupvej og Sandgårdsvej. Den uforsinket udledning er baseret på regnserier fra SVK-station 5279.

Til brug i en dynamisk model ønskes basisvandføringen i vandløbet uden påvirkning af bassiner. Fordi vandstanden er tydelig afhængig af nedbøren, og fordi der er mange bassiner langs hele vandløbet, kan det ikke antages, at vandstandsmålingen er uafhængig af bassinudledninger. I mangel af en basisvandføring er det besluttet at benytte konstant vandføring svarende til vintermedianmaksimum. Denne vandføring er fundet ved statistik fra to nærliggende vandløb uden stor påvirkning af by. Udledningerne modelleres dynamisk og den resulterende vandstand kan sammenlignes med de stationære beregninger.

Undersøgelse af sammenfald

Korrelationen mellem uforsinket udledning og vandstanden er ca. 9 timer og er den gennemsnitlige reaktionstid fra regnen falder, til påvirkningen observeres i vandløbet både fra befæstet og ubefæstet opland. Der er en kort reaktionstid på de uforsinkede udledninger og lang reaktionstid ved afstrømningen fra det ikke-befæstede opland. Det er ikke muligt at beregne den individuelle reaktionstid.

Den daglige sammenhæng mellem maksimal uforsinket udledning og maksimal målt vandstand er vist på figur G.10. Der findes kun sammenfaldende data for 2,5 år og datagrundlaget er derfor for tyndt til at give en klar konklusion. Punkterne viser ikke et tydeligt sammenfald mellem høje udledninger og høj vandstand. Dette skyldes at den uforsinkede udledning påvirker vandstanden i åen, inden bidraget fra det ikke-befæstede opland løber til åen.



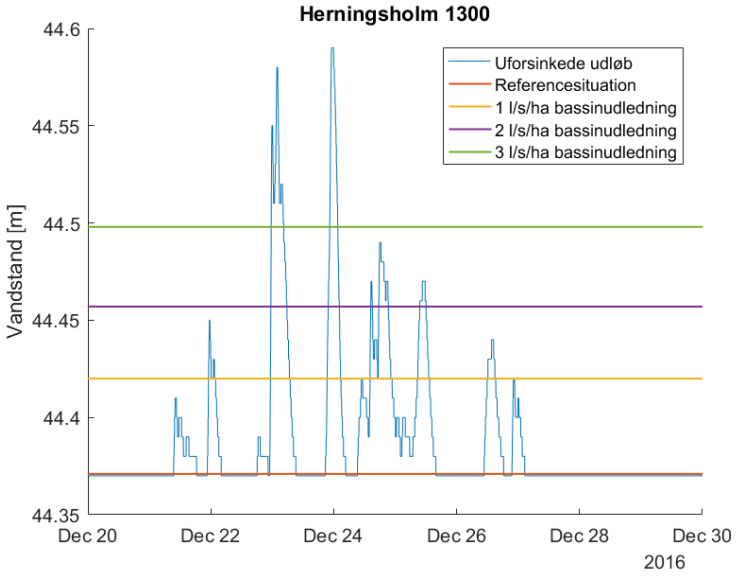
Figur G.10. Hver prik viser en daglig sammenhæng mellem maksimal uforsinket udledning og maksimal målt vandstand. Uforsinket udløb er beregnet på den historiske regnserie fra SVK st. 5279 med 10 min koncentrationstid. Data er tilgængeligt for 2,5 år.

Effekt af reduceret udledning

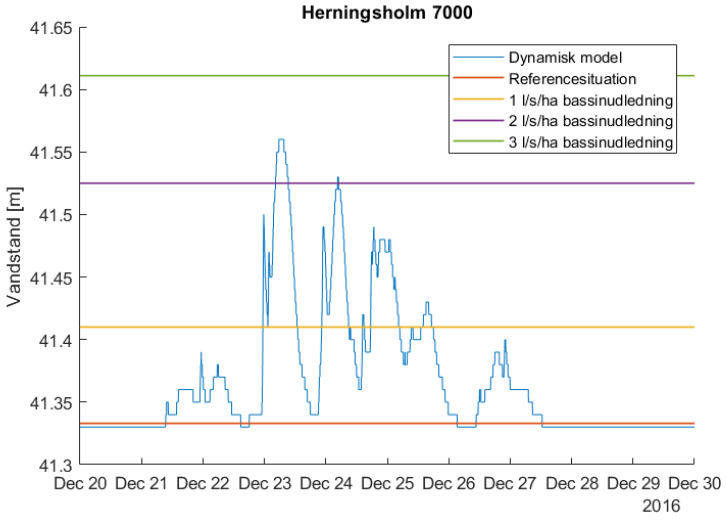
Til sammenligning af bassinudledninger og uforsinkede udledninger er to tværsnit i Herningsholm Å udvalgt (5700 m afstand; se placering i figur G.5). Vandstand for den dynamiske simuleringsperiode og vandstand for stationær referencesituation, samt 1, 2 og 3 l/s/ha konstant bassinudledning er vist i figur G.13. Ofte forårsager en uforsinket udledning højere vandstand, end ved en konstant udledning på 3 l/s/ha. Set over perioden på 2,5 år har det en betydelig konsekvens

at drosle udledningen. Figur G.11 og G.12 med data fra 10 dage, viser forskellen mellem de to stationer i vandløbet. I station 7000 er de uforsinkede peaks mindre, hvilket formodentlig skyldes, at flere udledninger har forskudte udløbskurver. På figur G.11 ses at afstrømningerne har en hurtig respons. Den uforsinkede udledning overskrider 3 l/s/ha konstant udledning markant. På figur G.12 overskrider de uforsinkede udledninger ikke 3 l/s/ha konstant udledning, og der er her ikke så stor påvirkning af afstrømningen.

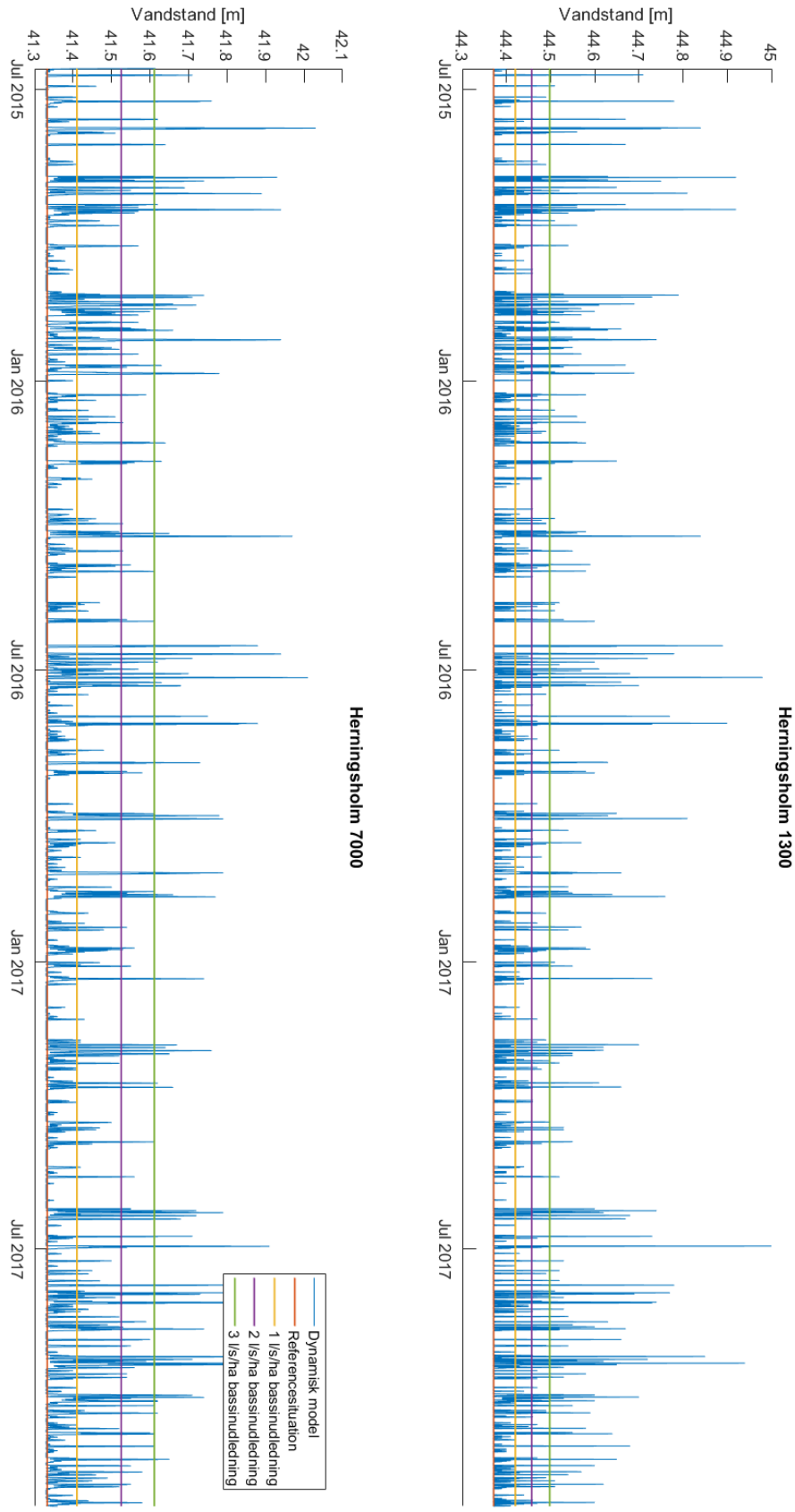
Analysen viser vigtigheden i, at drosle udledninger i Herningsholm Å.



Figur G.11. Vandstand i tværsnit ved station 1300 i Herningsholm Å, ved forskellige konstante bassinudledninger og ved uforsinket udeledning.



Figur G.12. Vandstand i tværsnit ved station 7000 i Herningsholm Å, ved forskellige konstante bassinudledninger og ved uforsinket udeledning.



Figur G.13. Vandstand i to tværsnit for Herningsholm å

G.4 Karup Å

Kort beskrivelse: Karup Å udspringer nær Bording vest for Silkeborg og løber derfra mod nord. Vandløbet løber gennem Karup og Skive, før den udmunder i Skive Fjord. Vandløbet er ca. 83 km langt og har et gennemsnitligt fald på 0,6 ‰. Områderne omkring vandløbet er primært dyrkede, lige før udmundingen i Skive Fjord løber vandløbet dog gennem Skive midtby. Her vil en oversvømmelse kunne få store konsekvenser.

Bassinudledninger: Der er registreret 37 udledninger fra regnvandsbassiner med et samlet reduceret befæstet opland på 109 ha. Elleve af udledningerne sker i Skive By.

Tabel G.7. Oplandsfordeling

	Opland [ha]	Andel [%]
Karup Å	76300	
Regnvandsbassiner	109	0,14

Oversvømmelse: Referencesituationen viser oversvømmede områder i åens nederste halvdel. Disse områder er lavt liggende, og åens fald er generelt lavt i disse områder, det må derfor forventes, at dette er områder hvor hyppige oversvømmelser er forventet. I Skive by ses også en del oversvømmede areal. De oversvømmede arealer er dog ånære områder uden bebyggelse, altså er der ikke observeret bygningsskader i de områder, på trods af en vandspejlskote der overstiger åbrinkerne. Grundet den lave procentdel af befæstede arealer koblet til de registrerede bassinudløb sammenlignet med det totale opland, ses der minimal ændring i oversvømmelsessituationen på trods af, at bassinerne gives en høj udledning på 9 l/s/ha. Dette vandløb er altså meget robust mod udledninger fra de eksisterende bassiner med de nuværende tilkoblede arealer. De beregnede oversvømmelser for referencesituationen og ved udledning fra alle bassiner på 9 l/s/ha er vist på figur G.14.

De beregnede vandspejlsstigninger er vist i tabel G.8.

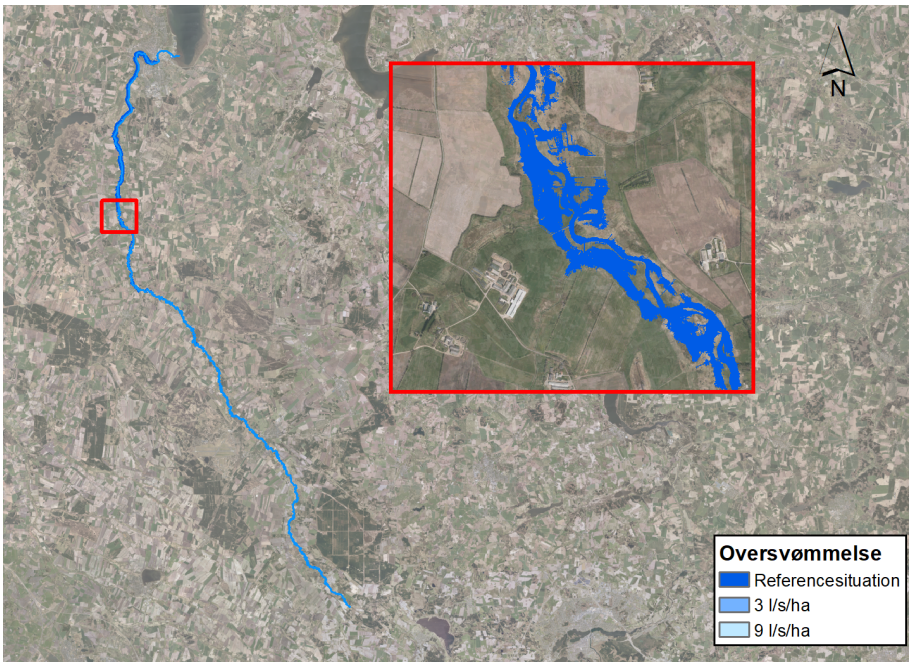
Tabel G.8. Vandspejlstigning ved bassinudløb fra et fiktivt opland på 5 ha i udvalgte punkter i vandløbet.

Vandføring i vandløb [l/s]	Vandspejlsstigning [cm] ved følgende bassinudledninger			
	Medianmaximum	1 l/s/ha	3 l/s/ha	9 l/s/ha
983	0,04	0,1	0,4	1,3
1243	0,0	0,1	0,4	1,2
2436	0,0	0,1	0,2	0,7
3729	0,0	0,1	0,2	0,8

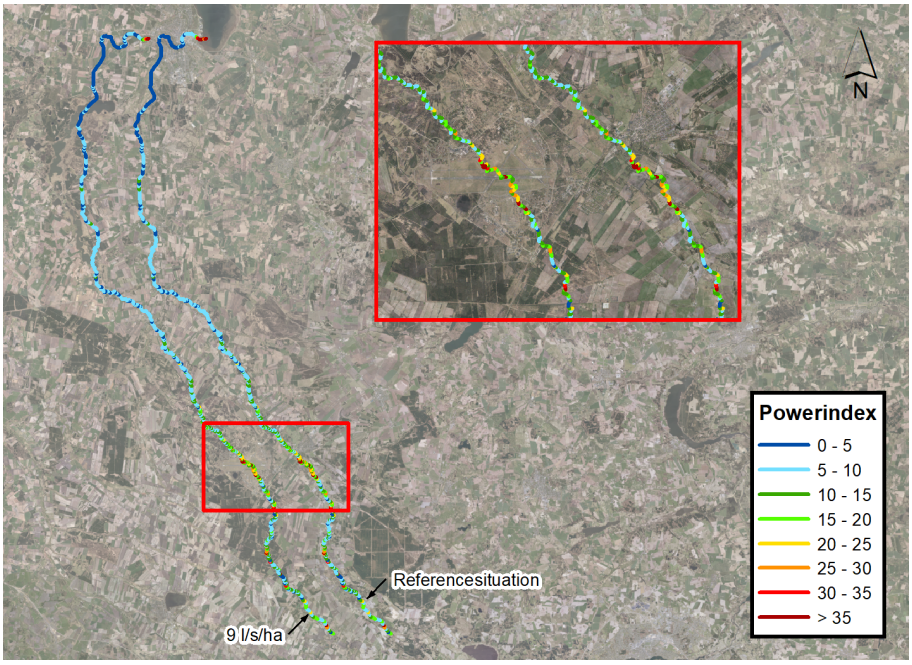
Erosion: Referencesituationen viser at erosion kan forekomme enkelt steder. Det må forventes at erosion i disse områder, er en naturlig situation. Ved udledning fra bassinerne på 9 l/s/ha ses ingen yderligere erosion. Det forventes at vandløbet i den nuværende situation er robust mod uacceptable erosionsskader fra de eksisterende urbane oplande. De beregnede power index for referencesituationen og ved udledning fra alle bassiner på 9 l/s/ha er vist på figur G.15. Ved at forøge oplandsstørrelse til 1% af det totale opland sker der en forøgelse af erosion på flere små strækninger i den øverste halvdel af vandløbet.

Tabel G.9. Oversvømmelse (areal) og erosion (meter vandløbsstrækning over 35 W/m^2) ved forskellige udledninger. Forøgelse i forhold til referencesituation.

	Oversvømmelse [ha]	Forøgelse [%]	Erosion [m]	Forøgelse [%]
Referencesituation	676		1380	
Udledning: 3 l/s/ha	–	–	1190	-13,8
Udledning: 9 l/s/ha	682	0,9	996	-27,8
Befæstet areal der svarer til 1 % af total opland				
Udledning: 3,0 l/s/ha	682	0,9	1598	15,8
Udledning: 9,0 l/s/ha	679	0,4	1600	15,9

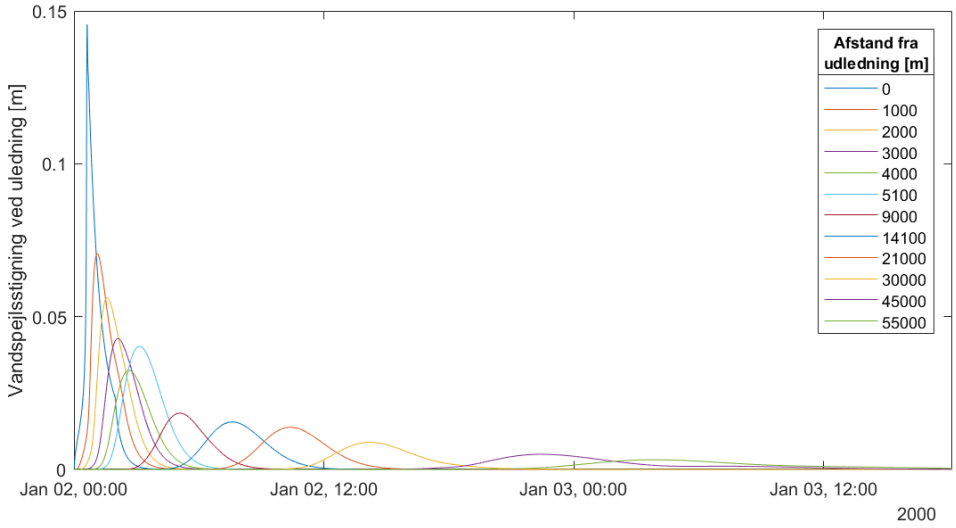


Figur G.14. Modelleret oversvømmelse ved referencesituation og ved udledning fra alle bassiner på 9 l/s/ha. Kort fra Geodatastyrelsen.



Figur G.15. Modelleret stream power ved referencesituation og ved udledning fra alle bassiner på 9 l/s/ha. Kort fra Geodatastyrelsen.

Uforsinket udledning: Dæmpningen af uforsinket udledning er undersøgt med en 2-års hændelse på 5 ha befæstet opland, vist på figur G.16. Bølgen er efter 1 km halveret i højde og efter 30 km og 12 timer dæmpet til 10 % af højden ved udløbspunktet.



Figur G.16. Dæmpning af en uforsinket udledning i Karup Å med angivet afstand fra udledningspunkt

G.5 Lindenborg Å

Kort beskrivelse: Lindenborg Å ligger sydøst for Aalborg og løber igennem Rebild og Aalborg kommuner. Opmålingen af vandløbet er stillet til rådighed af Aalborg Kommune og er sammensat af delopmålinger fra 1994/95 og 2000/01. Lindenborg Å er 36 km lang og har lavt fald på 0,2 ‰. Områderne omkring er dyrkede og ligger lavt, hvorfor vandløbsnære oversvømmelser vurderes at ske jævnligt.

Bassinudledninger: Der er registreret 18 udledninger fra regnvandsbassiner med et samlet reduceret befæstet opland på 104 ha.

Tabel G.10. Oplandsfordeling

	Opland [ha]	Andel [%]
Lindenborg Å	31400	
Regnvandsbassiner	104	0,33

Oversvømmelse: Referencesituationen viser få oversvømmede områder omkring Lindenborg Å. Flere områder omkring åen ligger lavt og oversvømmelser må derfor forventes. Ved udledning fra alle registrerede bassiner på 3 l/s/ha ses minimal forøget oversvømmelse, og ved udledning på 9 l/s/ha ses øget oversvømmelse i de områder, som allerede er belastede, se figur G.17 og tabel G.12. Områder som oversvømmes er ikke dyrkede og det vurderes derfor at selv høje udledninger fra nuværende bassiner ikke vil forårsage kritisk ny oversvømmelse. Lindenborg Å vurderes derfor forholdsvist robust i forhold til udledning fra regnvandsbassiner. For analysen hvor eksisterende og fiktive opland udgør 1 % af det totale opland giver en betydelig oversvømmelse, se figur G.18. Altså er åen følsom overfor ændringer i andelen af det befæstede areal.

De beregnede vandspejlsstigninger til vurdering af vandløbets robusthed er vist i tabel G.11.

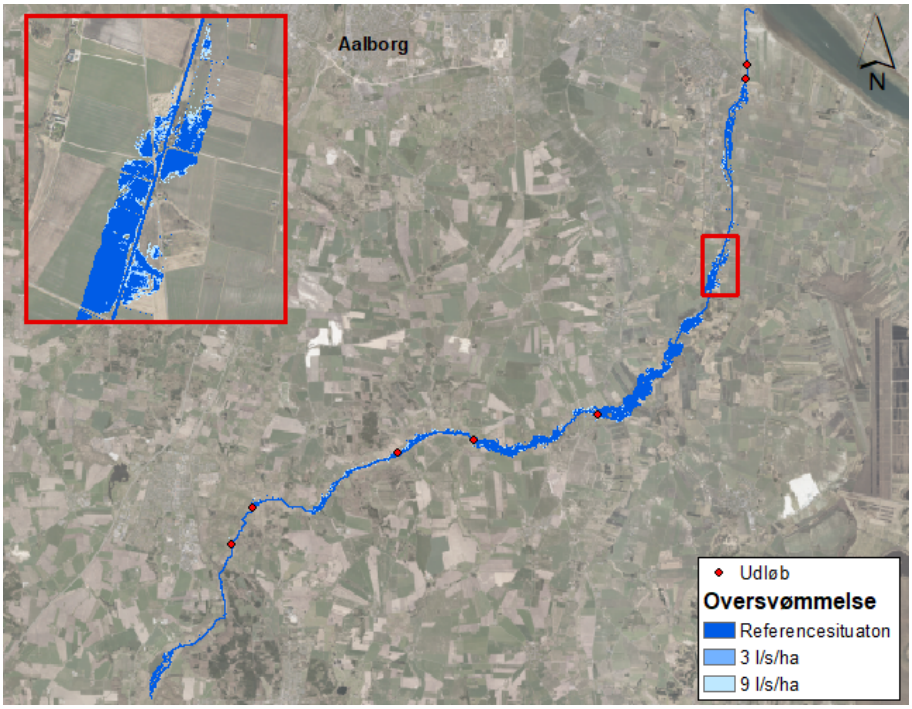
Tabel G.11. Vandspejlstigning ved bassinudløb fra et fiktivt opland på 5 ha i udvalgte punkter i vandløbet.

Vandføring i vandløb [l/s]	Vandspejlsstigning ved følgende bassinudledninger [cm]			
	Medianmaximum	1 l/s/ha	3 l/s/ha	9 l/s/ha
523	0,1	0,2	0,5	1,5
1108	0,1	0,2	0,4	1,3
2286	0,0	0,1	0,3	0,9
3428	0,0	0,1	0,2	0,6

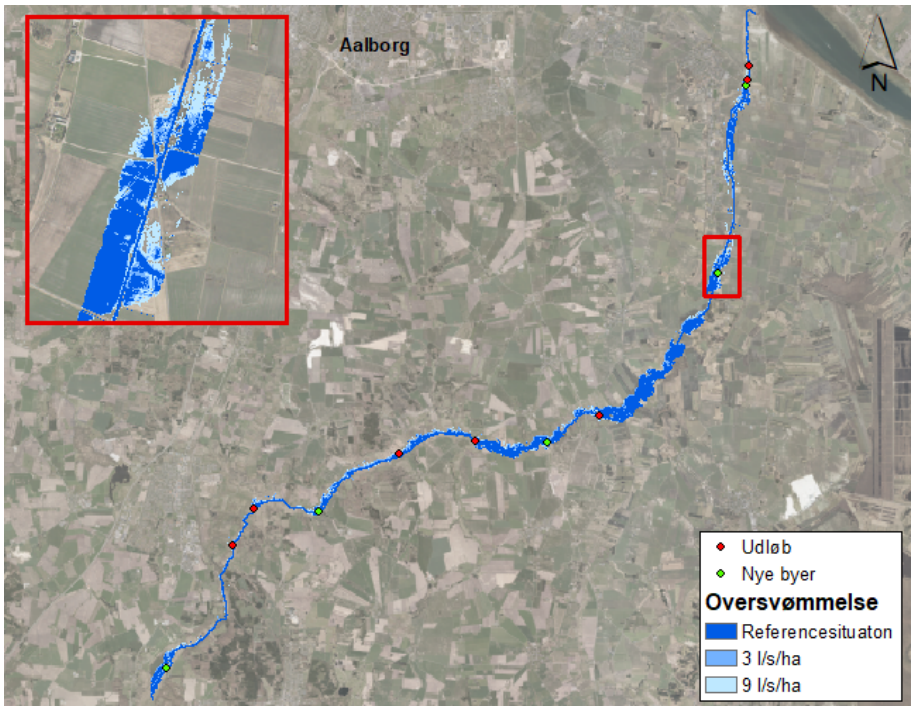
Erosion: Ingen af de undersøgte situationer resulterer i bundforskydning over 35 W/m^2 og erosion vurderes derfor ikke at forekomme i Lindenborg Å, se figur G.19 og tabel G.12.

Tabel G.12. Oversvømmelse (areal) og erosion (meter vandløbsstrækning over 35 W/m^2) ved forskellige udledninger. Forøgelse i forhold til referencesituation.

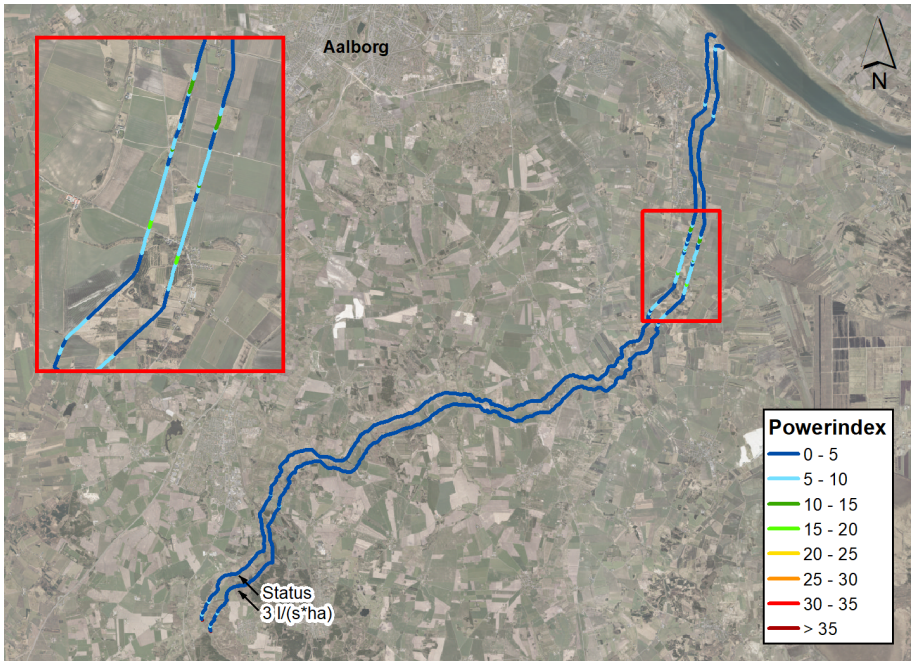
	Oversvømmelse [ha]	Forøgelse [%]	Erosion [m]	Forøgelse [%]
Referencesituation	372		0,0	
Udledning: 3 l/s/ha	393	5,5	0,0	0,0
Udledning: 9 l/s/ha	433	15,8	0,0	0,0
Befæstet areal der svarer til 1 % af total opland				
Udledning: 3 l/s/ha	426	14,3	0,0	0,0
Udledning: 9 l/s/ha	520	39,6	0,0	0,0



Figur G.17. Modelleret oversvømmelse ved referencesituation og ved udledning fra alle bassiner på 9 l/s/ha. Kort fra Geodatastyrelsen.

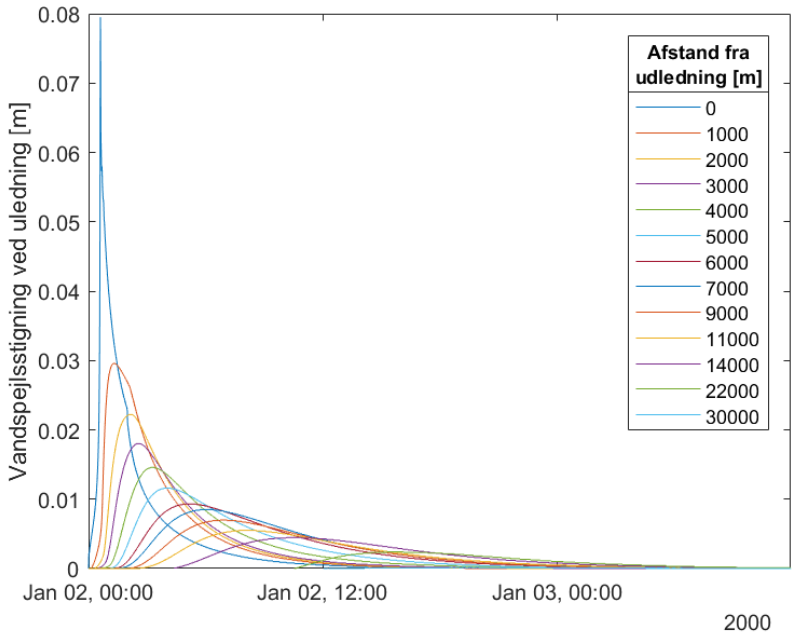


Figur G.18. Modelleret oversvømmelse ved referencesituation og ved udledning fra alle bassiner svarende til 1 % af oplandet på 3 og 9 l/s/ha. Kort fra Geodatastyrelsen.



Figur G.19. Modelleret stream power ved referencesituation og ved udledning fra alle bassiner på 9 l/s/ha. Kort fra Geodatastyrelsen.

Uforsinket udledning: Dæmpningen ved uforsinket udledning er undersøgt med en 2-års hændelse på 5 ha befæstet opland, vist på figur G.20. Bølgen er efter 1 km mere end halveret i højde og efter 11 km og 8 timer dæmpet til 10 % af højden ved udløbspunktet.



Figur G.20. Dæmpning af en uforsinket udledning i Lindenborg Å med angivet afstand fra udledningspunkt

G.6 Svejstrup Bæk

Kort beskrivelse: Svejsrup Bæk udspringer vest for Randers, herfra løber den gennem den vestlige del af byen, hvor den til slut har udløb i Gudenåen. Vandløbet er 10,7 km langt og har et fald på 1,7 ‰. Da vandløbet løber gennem den vestlige del af Randers, er der bebyggelse ved de ånære områder. Her kan oversvømmelser få store konsekvenser.

Bassinudledninger: Der er registreret 9 udledninger fra regnvandsbassiner med et samlet reduceret befæstet opland på 144 ha.

Tabel G.13. Oplandsfordeling

	Opland [ha]	Andel [%]
Svejstrup bæk	2460	
Regnvandsbassiner	144	5,8

Oversvømmelse: Udbredelsen af oversvømmelserne fra referencesituationen samt udvalgte udledninger fra bassinerne er vist på figur G.21 og tabel G.15. Som vist i udsnittet kan der observeres oversvømmelse af beboelse allerede i referencesituationen. Grundet den høje andel af befæstet areal, har bassinudledningerne en stor effekt på oversvømmelsesudbredelsen. Udledning på 1 l/s/ha giver ikke oversvømmelse af nye, kritiske områder, men en udledning på 3 l/s/ha giver uacceptabel oversvømmelse.

De beregnede vandspejlsstigninger er vist i tabel G.14.

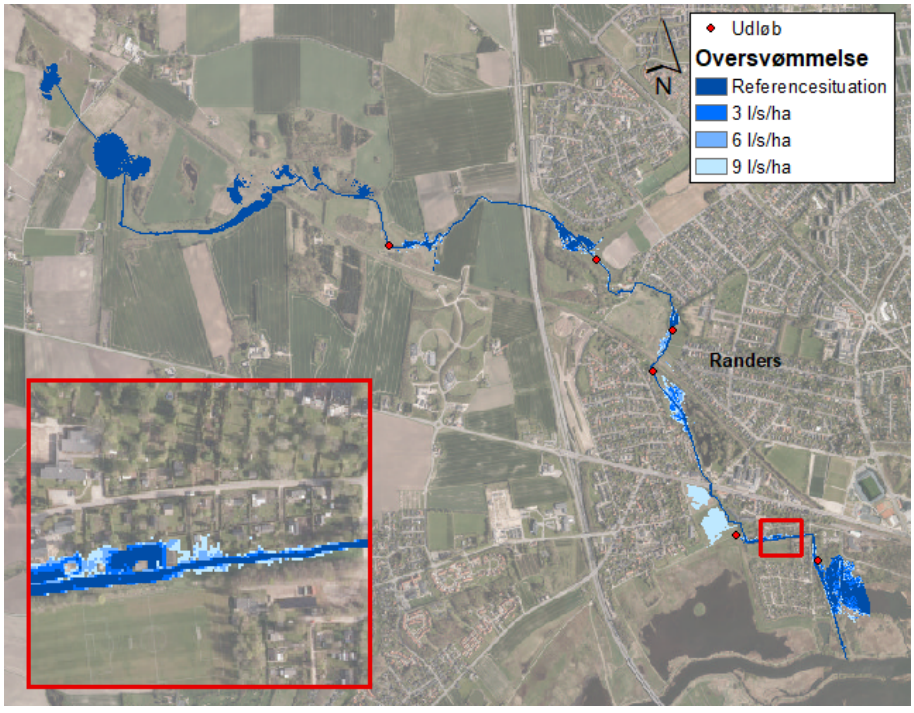
Tabel G.14. Vandspejlstigning ved bassinudløb fra et fiktivt opland på 5 ha i udvalgte punkter i vandløbet.

Vandføring i vandløb [l/s]	Vandspejlsstigning [cm] ved følgende bassinudledninger			
	Medianmaximum	1 l/s/ha	3 l/s/ha	9 l/s/ha
7	0,3	0,8	2,2	5,8
430	0,1	0,2	0,6	1,9
843	0,0	0,1	0,3	1,0

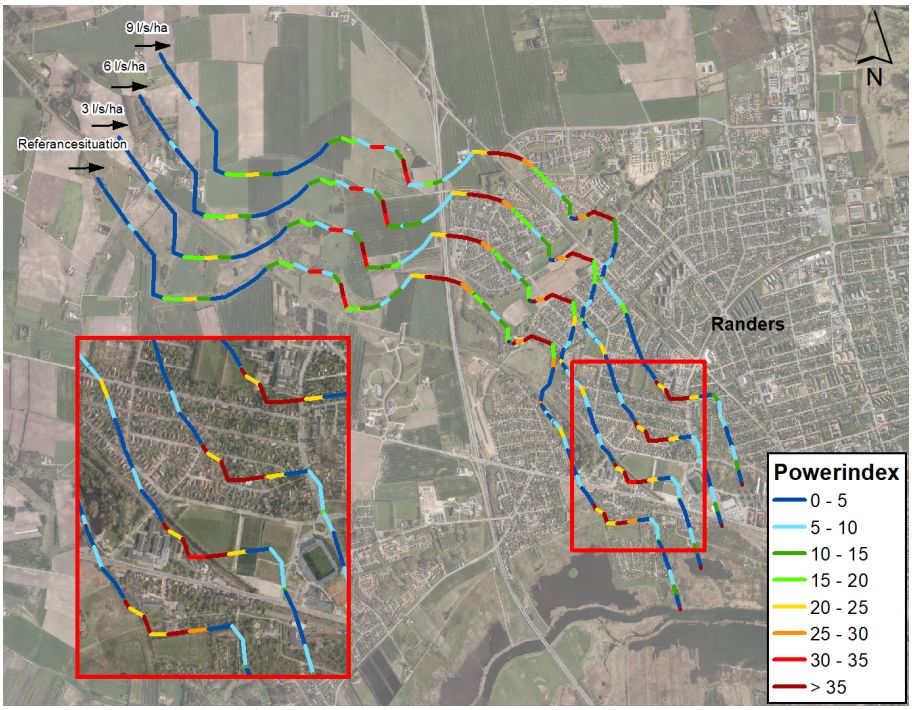
Erosion: De beregnede power index er illustreret på figur G.22 og tabel G.15. I referencesituationen ses enkelte delstrækninger med power index-værdier der overskrider grænseværdien på 35 W/m^2. Der sker en ubetydelig forøgelse af power index for udledning på 3 l/s/ha. Ved udledning på 6 l/s/ha ses en forøget strækning på 55 m over grænseværdien, forøgelsen sker i et sving. 6 l/s/ha er derfor den kritiske udledning.

Tabel G.15. Oversvømmelse (areal) og erosion (meter vandløbsstrækning over 35 W/m^2) ved forskellige udledninger. Forøgelse beregnet i forhold til referencesituation.

	Oversvømmelse [ha]	Forøgelse [%]	Erosion [m]	Forøgelse [%]
Referencesituation	16,5		865	
Udledning: 1 l/s/ha	17,3	4,6	–	–
Udledning: 3 l/s/ha	19,0	15,3	867	0,2
Udledning: 6 l/s/ha	21,1	28,3	920	6,4
Udledning: 9 l/s/ha	25,7	55,8	925	6,9

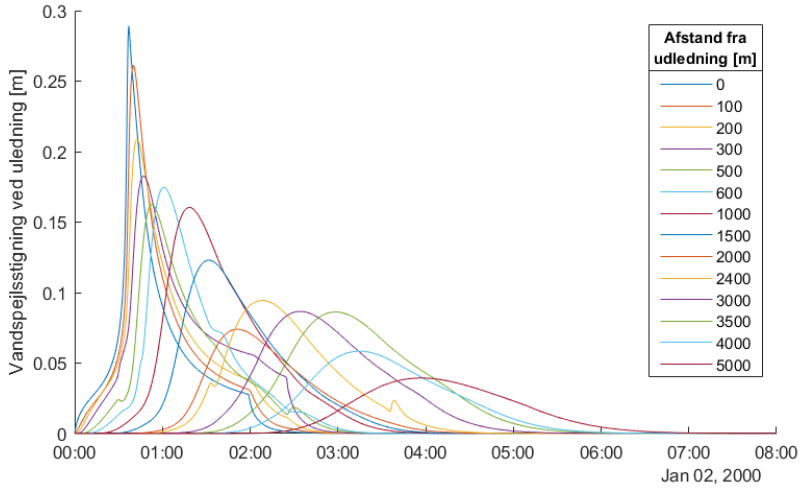


Figur G.21. Modelleret oversvømmelse ved referencesituation og ved udledning fra alle bassiner på hhv. 3, 6 og 9 l/s/ha. Kort fra Geodatastyrelsen.



Figur G.22. Modelleret stream power ved referencesituation og ved udledning fra alle bassiner på hhv. 3, 6, 9 l/s/ha. Kort fra Geodatastyrelsen.

Uforsinket udledning: Dæmpningen ved uforsinket udledning er undersøgt med en 2-års hændelse på 5 ha befæstet opland. Bølgen er efter 2,4 km dæmpet til ca. 30 % af oprindelig højde, hvilket tager 1-2 timer, vist i figur G.23. Svejstrup Bæk er for kort til at se en fuldstændig dæmpning af bølgen.



Figur G.23. Dæmpning af en uforsinket udledning i Svejstrup Bæk med angivet afstand fra udledningspunkt

G.7 Voer Å

Kort beskrivelse: Voer å ligger i Nordjylland og løber igennem Brønderslev og Frederikshavn Kommune med udmunding i Kattegat. Opmålingen er stillet til rådighed af Frederikshavn Kommune og er sammensat af delopmålinger fra 1984 og 1993/94. Den opmålte strækning er fra udmunding og 28 km opstrøms. Det har et fald på 0,6 ‰. Der er kendte oversvømmelsesproblemer omkring Præstbro og Dybvad, samt problemer for jordbrugsarealer [Frederikshavn Kommune, 2018].

Bassinudledninger: Der er registreret 15 udledninger fra regnvandsbassiner med et samlet reduceret befæstet opland på 36 ha. 12 af udledningerne er fra motorvej.

Tabel G.16. Oplandsfordeling

	Opland [ha]	Andel [%]
Voer Å	31360	
Regnvandsbassiner	36	0,11

Oversvømmelse: Referencesituationen viser at der sker oversvømmelser i den øverste del af oplandet. Hvilket passer overens med de kendte oversvømmelsesproblemer omkring Præstbro og Dybvad, samt problemer for jordbrugsarealer. De beregnede oversvømmeler for referencesituationen og ved udledning fra alle bassiner på 3, 6 og 9 l/s/ha er vist på figur G.24. Ved udledning på 3 l/s/ha ses ikke uacceptable oversvømmelser, men ved udledning på 6 l/s/ha ses uacceptable oversvømmelser. Når det befæstede areal øges til 1 % af det totale opland ses yderligere oversvømmelser, se figur G.25.

De beregnede vandspejlsstigninger er vist i tabel G.17.

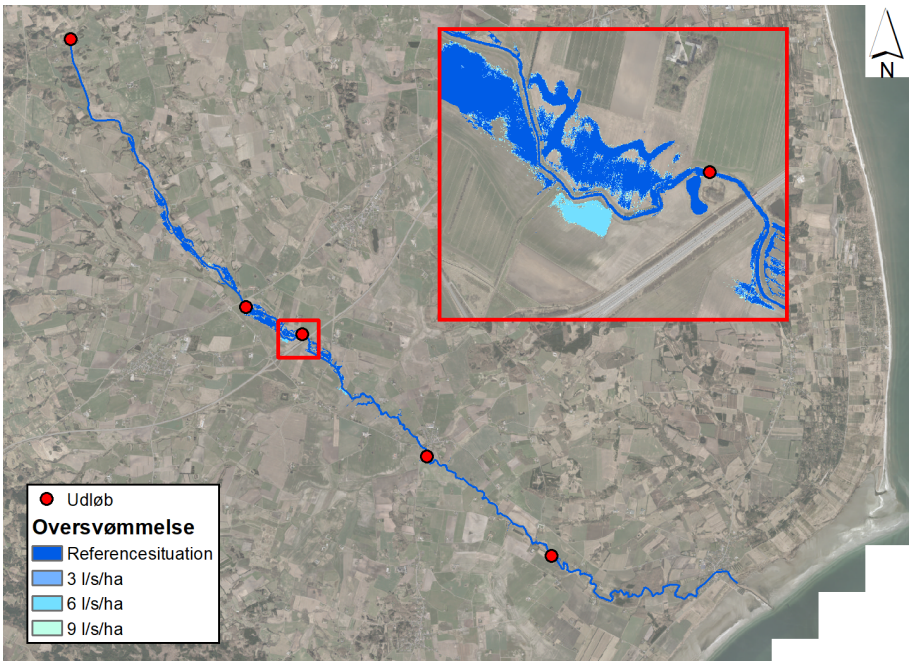
Tabel G.17. Vandspejlstigning ved bassinudløb fra et fiktivt opland på 5 ha i udvalgte punkter i vandløbet.

Vandføring i vandløb	Vandspejlsstigning [cm] ved følgende bassinudledninger			
[l/s]	Medianmaximum	1 l/s/ha	3 l/s/ha	9 l/s/ha
832	0,1	0,2	0,6	1,7
1151	0,1	0,2	0,5	1,4
2253	0,1	0,1	0,4	1,0

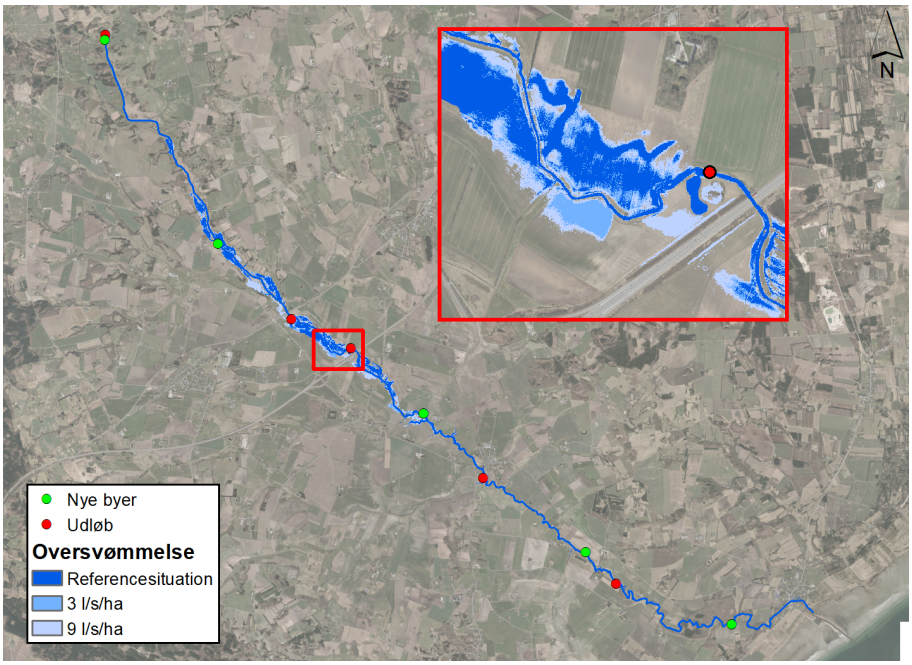
Erosion: Referencesituationen viser, at der sandsynligvis sker begrænset erosion i vandløbet og ingen forøgelse ved udledning fra bassin. Ved forøgelse af befæstet opland sker der ingen erosion, som overskrider grænseværdien. Det beregnede power index for referencesituationen er vist på figur G.26.

Tabel G.18. Oversvømmelse (areal) og erosion (meter vandløbsstrækning) ved forskellige udledninger. Forøgelse i forhold til referencesituation

	Oversvømmelse [ha]	Forøgelse [%]	Erosion [m]	Forøgelse [%]
Referencesituation	82		240	
Udledning: 3 l/s/ha	84	2,4	240	0,0
Udledning: 6 l/s/ha	88	7,3	240	0,0
Udledning: 9 l/s/ha	91	11,0	240	0,0
Befæstet areal der svarer til 1 % af total opland				
Udledning: 3,0 l/s/ha	100	22,0	240	0,0
Udledning: 9,0 l/s/ha	145	76,8	240	0,0



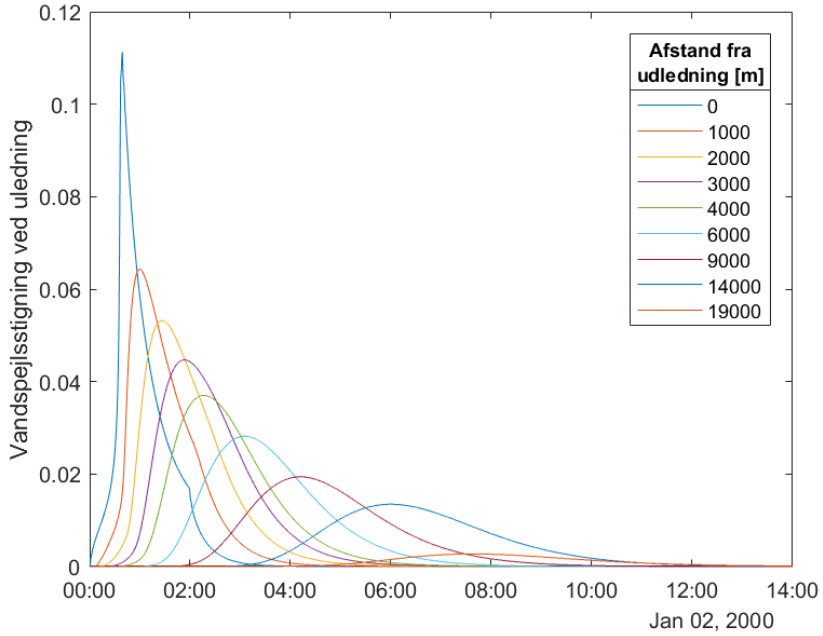
Figur G.24. Modelleret oversvømmelse ved referencesituation og ved udledning fra alle bassiner på 3, 6 og 9 l/s/ha. Kort fra Geodatastyrelsen.



Figur G.25. Modelleret oversvømmelse ved referencesituation og ved udledning fra bassiner svarende til 1 % af oplandet. Kort fra Geodatastyrelsen.

Figur G.26. Modelleret power index i Voer Å. Der ses ingen ændring ved øget udledning. Kort fra Geodatastyrelsen.

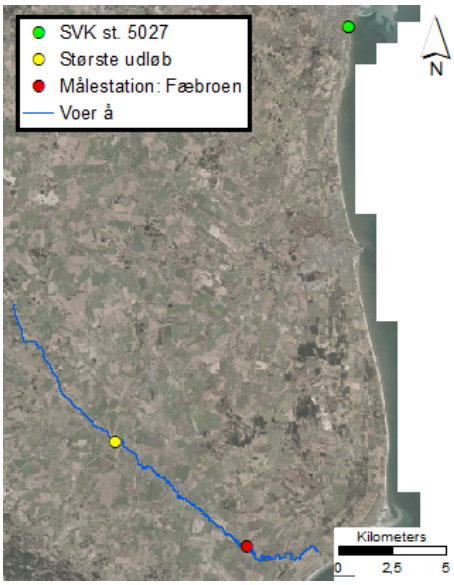
Uforsinket udledning: Dæmpningen ved uforsinket udledning er undersøgt med en 2-års hændelse på 5 ha befæstet opland, se figur G.27. Bølgen er efter 2 km halveret i højde og efter 19 km og 8 timer dæmpet til under 10 % af højden ved udløbspunktet.



Figur G.27. Dæmpning af en uforsinket udledning i Voer Å med angivet afstand fra udledningspunkt

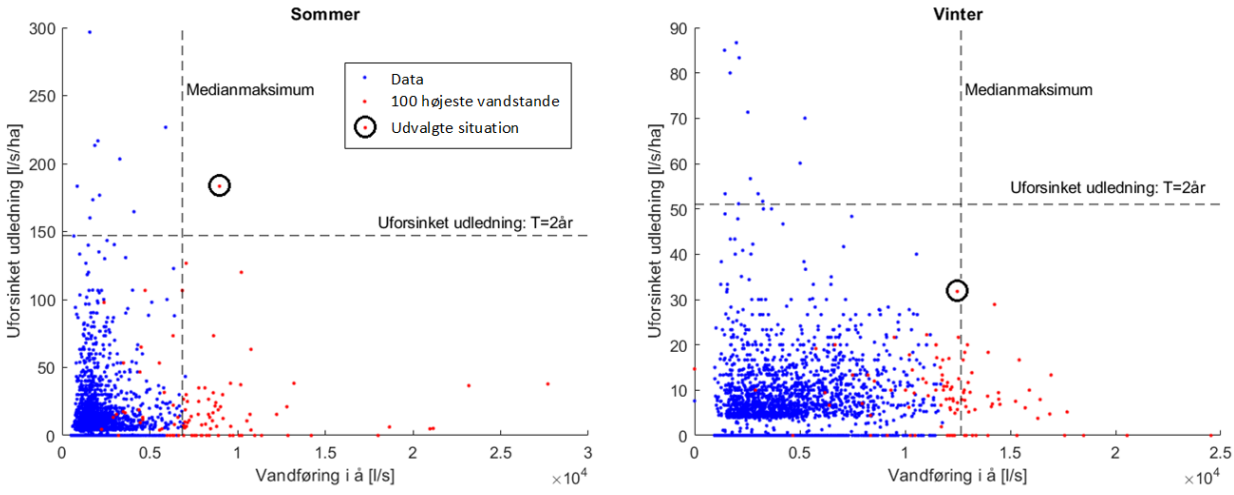
G.7.1 Dynamisk model

Det ønskes undersøgt, om det er nødvendigt at drosle udledninger til Voer Å. Der er valgt et punkt i Voer Å, som har den største udledning, se placeringen på figur G.28. Sammenfaldet mellem det uforsinkede udløbs største værdier og åens vandføring undersøges. Værdierne for det uforsinkede udløb kommer fra en regnserie fra SVK st. 5027, som ligger ca. 20 km nord for Voer å. Der er antaget en koncentrationstid i oplandet på 10 min. Åens vandføring er målt i målestation 'Fæbroen', se figur G.28. I alt bruges ca. 24 års overlappende data.



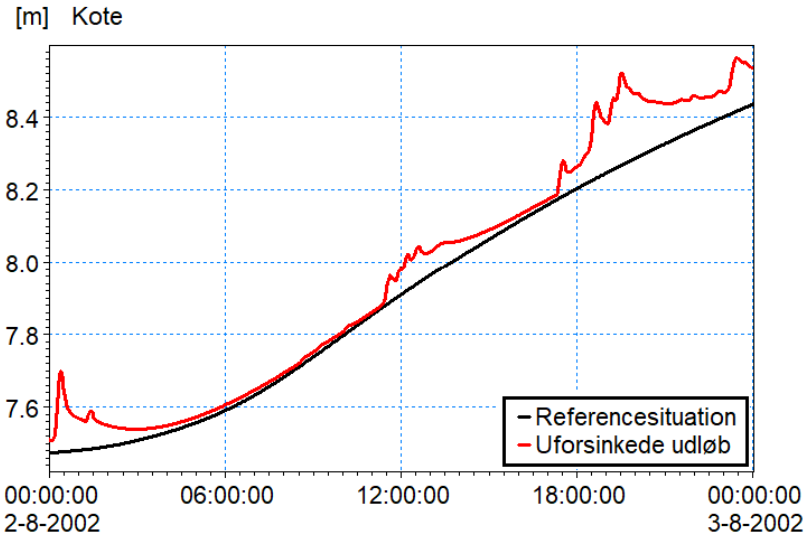
Figur G.28. Placeringen af SVK st. 5027, målestationen i Voer å og det modellerede udløb.

I figur G.29 svarer hver prik til daglig vandføring og højeste uforsinket udledning. De røde prikker markerer de 100 dage med højeste hændelser. Figuren viser, at der sjældent er sammenfald mellem de regnhændelser, som forårsager de største bølger og de højeste vandføringer. De 100 højeste vandstande er hovedsaligt forårsaget af høj vandføring i åen og ikke af uforsinkede udledninger.



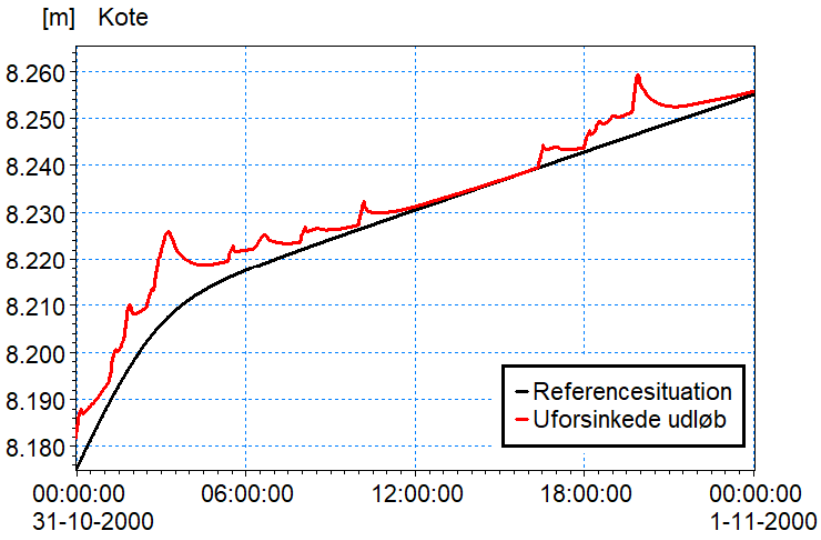
Figur G.29. Sammenhæng mellem daglig maksimal uforsinket udledning og målt døgnvandføringer. Vandføringer er målt i Voer å. Uforsinket udledning er beregnet på baggrund af nedbørsdata fra SVK station. De røde punkter er de 100 højeste daglige vandstande fra modellen.

Der er undersøgt en sommer- og vintersituation for den af de 100 højeste vandstande (røde prikker), som har den højeste uforsinket udledning. Den udvalgte sommersituation er fra 2. august i 2002. Udledningen fra bassin skaber en bølge i vandløbet på ca. 20 cm, se figur G.30. Bølgen er ca. 10 cm højere end den maksimale daglige vandstand for referencesituationen. Vandføring i sommersituationen er mindre end i vintersituationen, men resulterer i højere vandspejl, da manningtallet er lavere.



Figur G.30. Sommervandstand i Voer å i referencesituation og efter udløb for den største uforsinkede udledning, der bidrager til en kritisk vandstand i top 100.

Den mest kritiske vintersituation falder den 31. oktober 2000, og her forårsager den uforsinkede udledning en forøgelse af vandstanden på 1 cm i forhold til naturlig afstrømning, se figur G.31. Grundet høj naturlig afstrømning om vinteren vil den uforsinkede udledning ikke have stor betydning for vandstanden.



Figur G.31. Vintervandstand i Voer å i referencesituation og efter udløb for den største uforsinkedeudledning, der bidrager til en kritisk vandstand i top 100.

G.8 Opsamling

Seks vandløb er udvalgt for beregning af oversvømmelse og erosion ved forskellige udledninger fra regnvandsbassiner. Vandløbene varierer meget i størrelse, fald og andelen af befæstet opland. Der er derfor stor variation i resultaterne for oversvømmelse og erosion vandløbene imellem. Det er vanskeligt lave en generel konklusion for erosionsberegningerne på grund af usikkerheder i forbindelse med modellering.

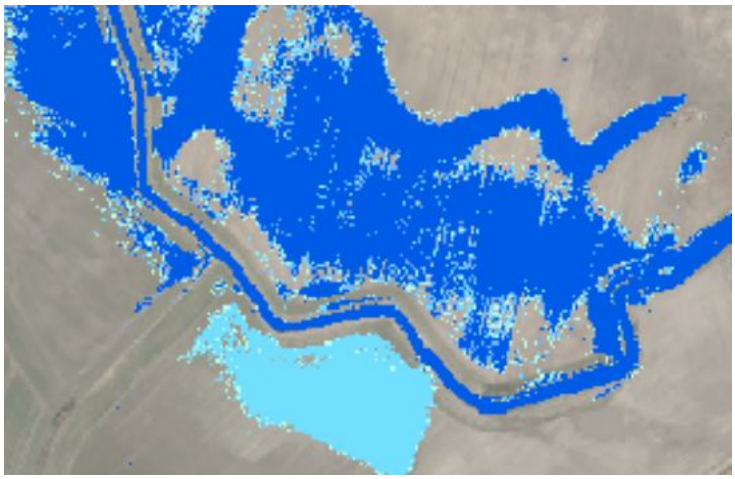
G.8.1 Oversvømmelse

I alle seks vandløb er der modelleret oversvømmelse for varierende udledning fra befæstet opland. Hvor nuværende befæstet opland udgør under 1% af det totale vandløbsopland er der ydermere modelleret situationer med ekstra befæstet opland. Udvalgte resultater fremgår af tabel G.19 og er angivet som procentvis forøgelse i forhold til en referencesituation uden punktudledninger. I referencesituationen er medianmaksimumafstrømning benyttet, målt i det pågældende vandløb eller i sammenlignelige nærliggende vandløb for Herningsholm Å og Svejstrup Bæk.

I denne rapport er en oversvømmelse medtaget, når der er forbindelse til vandløbet med en pixel. Der er i GIS indsat barrierer for at fjerne de 'oversvømmede' områder, som ikke har kontakt til vandløbet, se figur G.32

Tabel G.19. Resultater af oversvømmelsesberegning i seks vandløb. Værdierne er procentvis stigning i oversvømmelse i forhold til referencesituation.

Vandløb	Nuværende bassiner		Udledning fra 1% opland	
	3 l/s/ha [%]	9 l/s/ha [%]	3 l/s/ha [%]	9 l/s/ha [%]
Binderup å	1,4	4,3	11,2	33,4
Herningsholm å	212,4	850,4	–	–
Karup å	0,3	0,9	0,9	0,4
Lindenborg å	5,5	15,8	14,3	39,6
Svejstrup bæk	15,3	55,8	–	–
Voer å	2,4	11,0	22,0	76,8



Figur G.32. Eksempel på oversvømmelse i Voer Å. Et oversvømmet område har ikke direkte forbindelse til vandløbet i referencesituationen (mørk blå) og er derfor fjernet. Ved udledning på 6 l/s/ha er der forbindelse (lys blå), og området medtages.

Ud fra tabellen er det tydeligt, at Herningsholm Å og Svejstrup bæk udsættes for mest oversvømmelse ved en given fast udledning fra bassinerne. Disse vandløb har en stor andel befæstet areal tilknyttet. Karup Å viser en meget begrænset stigning ved udledning fra 1 % befæstet opland. Karup Å er speciel, idet vandløbet er afskåret med diger og på en lang strækning ligger i højere kote, end de omkringliggende arealer. Der ses ingen generel sammenhæng mellem Binderup Å, Lindenborg Å og Voer Å, som kan forklare lighederne og forskellene i den modellerede oversvømmelse. Derfor vurderes det, at oversvømmelsen ikke kun er afhængig af udledningsmængder, men også af mange andre faktorer.

Analyserne viser, at der i fem af de seks valgte case-vandløb er mulighed for at have en højere udledning end de typisk benyttede 1 l/s/ha. I større vandløb vil der sandsynligvis være mulighed for at udlede mere end 1 l/s/ha, uden at vandløbets hydrauliske kapacitet overskrides. I mindre vandløb og hvor der er høj andel befæstet opland skal udledning fra bassiner muligvis være mindre end 1 l/s/ha. Der bør laves en vurdering af et vandløbs hydrauliske kapacitet, når en udledningstilladelse gives.

G.8.2 Erosion

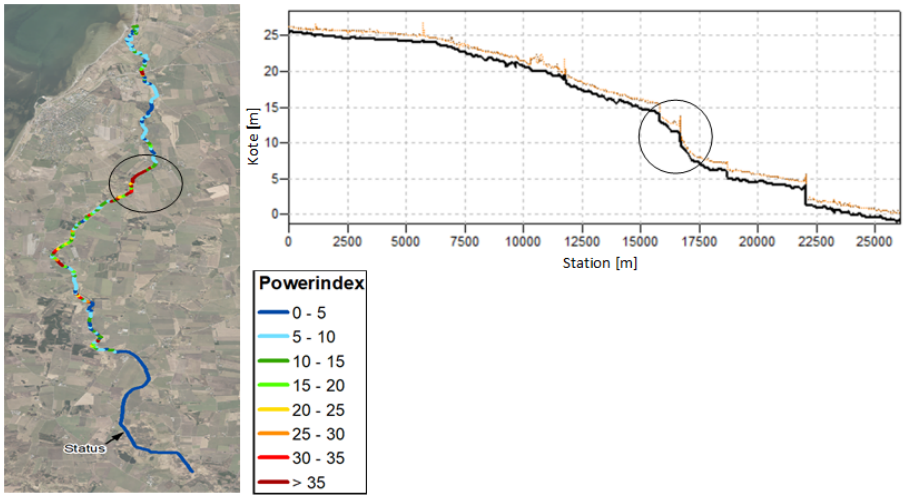
I denne rapport er forskydningsspændingen udtrykt ved power index, valgt til at beskrive erosionsrisikoen, overskrides grænsen på 35 W/m^2 er det vurderet kritisk. De viste resultater i tabel G.20 giver overblik over vandløbenes erosionsrisiko forårsaget af bassinudledninger. En beskrivelse af beregningsgangen til udregning af power index findes i afsnit 8.4.2.

Tabel G.20. Sammenfatning af vandløbets fald og befæstede opland og den beregnede erosion. Længden angiver den samlede længde af vandløbet, hvor power index overstiger 35 W/m^2 i referencesituationen. Sidste kolonne angiver ændring i længden af power index over 35 W/m^2 ved den angivne udløbsmængde fra nuværende befæstet areal.

	Befæstet opland [%]	Vandløbs fald [‰]	Længde af erosion i ref. [m]	Kritisk udledning fra bassin [l/s/ha]	Ændret erosion ved udledning [m]
Binderup Å	0,1	0,5 – 3,8	1800	9	–
Herningsholm Å	13,8	0,6	130	6	+50
Hammerum Å	8,1	0,8 –3,6	2600	6	–
Hammerum Bæk	15,0	1,3 – 5,4	3820	6	-650
Karup Å	0,1	0,6	1380	6	-190
Lindenborg Å	0,3	0,2	0	9	–
Svejstrup Bæk	5,8	1,7	870	6	+55
Voer Å	0,1	0,6	240	9	–

Nedenfor gennemgås de seks vandløb med fokus på, om erosion skyldes form og fald eller punktudledninger. Sammenfatningen ses i tabel G.21.

Binderup Å: Figur G.33 viser længdeprofilet sammenholdt med power index, og der er tydelig sammenhæng mellem vandløbets fald og højere erosions-værdier. Ydermere ses der ingen ændring ved øget udledning (og ekstra befæstet areal). Derfor skyldes erosionen i Binderup Ås form og fald.



Figur G.33. Eksempel på overskridelse af power index-grænseværdien i Binderup Å i referencesituationen samt længdeprofil. Cirklen markerer samme sted på plankort og længdeprofil

Herningsholm Å: Hovedløbet Herningshom Å har et lille fald og der er kun begrænset erosion i referencesituationen. Der ses markant ændringer i power index ved øgede udledninger, primært omkring de store udledninger.

Hammerum Å og Hammerum Bæk: I begge vandløb ses en stor andel erosion i referencesituationen, som skyldes det høje fald vandløbene har. Faldet varierer mellem 0,8-5,4 ‰ men begge vandløb har størst fald i starten af strækningen og størstedelen af strækningerne med erosion forekommer opstrøms i vandløbene. Der er en reduktion i strækningen med erosionsrisiko ved bassinudledninger i Hammerum Bæk, hvilket kan være forårsaget af at middelhastigheden falder, når vandet løber over brinken.

Karup Å: Den længste af de seks vandløb viser et lille fald i erosion ved udledning fra nuværende bassiner. Ved bassinudledning på 9 l/s/ha fra 1% af oplandet stiger erosionen med 15 %. Der kan ikke udpeges tydelige sammenhængende strækninger, hvor erosionen sker. Åen har gennemsnitligt fald på 0,6 ‰. Generelt er der højest power index i den øverste del af vandløbet, hvor faldet er lidt større og tværprofilerne mindre, hvilket kan give en tydeligere påvirkning af udledninger.

Lindenborg Å: Det eneste vandløb, hvor der slet ikke ses nogen erosion. Kun sjældent er power index over 5 W/m^2. Faldet er meget lavt på 0,2 ‰ og vandhastigheden ligeså. Selvom udledningen øges til langt over den nuværende værdi, opstår der ingen kritiske områder.

Svejstrup Bæk: Med et jævnt fald på 1,7 ‰ og flere store udledninger fra by, sker der en stigning i strækninger med erosion på op til 7 %. Områderne ses primært nedstrøms de store udledninger fra byen.

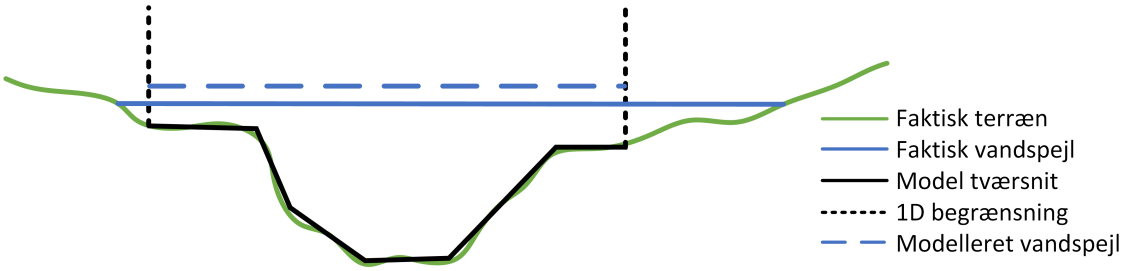
Voer Å: Har et jævnt fald på 0,6 ‰ og der ses kun meget begrænsede områder med erosion og ingen ændring ved øget udledning. Erosionen tilskrives derfor vandløbets naturlige form og fald og ikke udledninger.

Tabel G.21. Vurdering af strækninger med erosion skyldes påvirkning fra bassinudledninger eller om erosion kan forklares grundet vandløbets form og fald.

Vandløb	Forklaring på erosion
Binderup Å	Vandløbets form og fald
Herningsholm Å	Meget befæstet opland forårsager store bassinudledninger
Hammerum Bæk og Å	Vandløbets form og fald
Karup Å	Vandløbets form
Lindenborg Å	Ingen erosion grundet lavt fald
Svejstrup Bæk	Meget befæstet opland forårsager store bassinudledninger
Voer Å	Vandløbets form og fald

G.9 Usikkerheder af vandspejlsberegninger

I denne rapport er en 1D-model anvendt til beregning af vandspejlskoten i vandløbet. En 1D-model er begrænsende, når vandspejlskoten overstiger det angivne tværsnitsprofil, vandet vil ikke have mulighed for at løbe ud over tværsnittet og forårsage oversvømmelse på de omkringliggende arealer, som det ville ske i en naturlig situation. I stedet begrænses vandet af fiktive lodrette kanter, der holder vandet i tværsnitsprofilet. De fiktive lodrette kanter resulterer i et mindre tværsnitsareal og dermed en højere beregnet vandstand ved samme flow og manningtal. I så fald findes en højere vandstand, end der er tilfældet i den faktiske situation. Problematikken er vist i figur G.34.



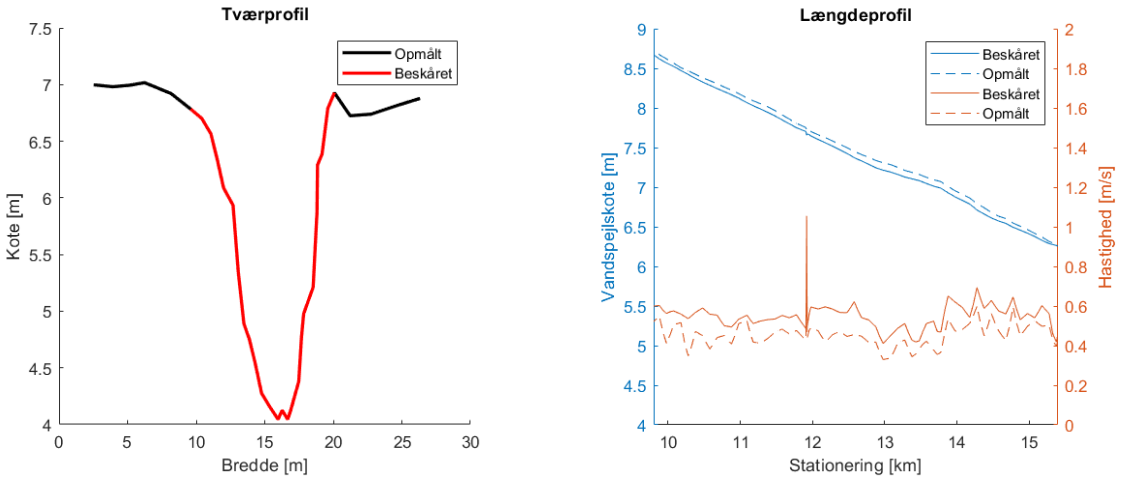
Figur G.34. Koncepttegning af problematik ved 1D-model, når vandspejlskoten overstiger tværsnitsprofilet. Flow og manningtal er konstant.

En analyse er lavet for at undersøge, om en model med udvidede brinker kan beskrive det faktiske vandspejl. Analysen er lavet i Voer Å, hvor forskellen i modelleret vandspejl ved tværsnit med og uden brink er vurderet. Figur G.35a viser et eksempel på et opmålt og et beskåret tværsnit. I Voer Å er profilerne ændret på en strækning, hvor vandspejlet flere steder overstiger brinken og derved vil blive påvirket af ændringen i tværprofilerne.

Vandspejlet viser sig at være lavest for de beskårne profiler, vist med blå i figur G.35b, hvilket var modsat af forventet. Resultatet skyldes, at 1D modellen regner med middelhastighed og -modstand i hele profilet. Når brinkerne er oversvømmet øges modstanden betragteligt og middelhastigheden reduceres, vist med orange i figur G.35b.

Et profil med beskårede brinker vil have et reduceret tværsnitsareal, hvilket giver højere vandspejl, samt en reduceret modstand hvilket giver lavere vandspejl. Samlet set falder vandspejlet. Vandspejlet i et beskåret profil vil dog stadig være højere end den virkelige situation

når brinken overskrides, vist i figur G.34. Det er derfor ikke muligt at beskrive det korrekte vandspejl over brinkkoten med en 1D model.



(a) (b)

Figur G.35. (a) Eksempel på hvordan tværsnit i station 13000 m er beskåret. (b) Vandspejl og middelhastighed for model med beskåret og opmålt tværsnit i Voer Å fra station 9800 til 15400 m.

H | Omregning af manningtal

Manningtallet benyttes til beskrive modstanden i et vandløb og har stor betydning for resultaterne af fx vandspejlsberegninger. Samtidig er manningtallet vanskeligt at bestemme korrekt.

Vestergaard [2012] kommer med forslag til intervaller for manningtal og disse bruges bl.a. af Miljøstyrelsen. Værdierne er vist i tabel H.1. Disse værdier er anbefalet ved brug af hydraulisk radius.

Tabel H.1. Intervaller for Manningtal for forskellige størrelse vandløb og grødevækst. [Vestergaard, 2012]

	Lille vandløb	Mellem vandløb	Stort vandløb
Vandspejlsbredde:	1-2 m	2-5 m	5-10 m
Med tæt grødevækst (sommer)	4-8	8-12	12-16
Med spredt grødevækst (sommer)	8-12	12-15	15-20
Uden grødevækst (vinter)	12-18	16-24	20-30

I denne rapport er vandløbsberegninger udført med modstandsradius. Manningtallet er afhængig af radius-typen og ovenfor angivne intervaller kan ikke uden videre benyttes sammen med modstandsradius. Desværre er omregningen af manningtallet ikke lineær, men afhænger af tværsnitsprofilet [Orbicon, 2017].

En omregning af manningtallet er foretaget i tabel H.2. Til omregning er benyttet et simpelt tværsnit med følgende geometri:

- Anlæg: 1:1
- Vandløbets bundhældning/fald: 1 ‰
- Dybde: 1,5 m
- Tværsnitsbredde: Middelværdien af de i tabel H.1 angivne bredder, hhv. 1,5 m, 3,5 m og 7,5 m.

Resultatet er nye intervaller for manningtal, som passer på modstandsradius, vist i tabel H.2. Da omregningen er baseret på simple geometriske antagelser, er manningtallene usikre. Samlet set bidrager omregningen til manningtallets generelle usikkerhed, som er til stede ved alle vandløbsberegninger.

Tabel H.2. Intervaller for Manningtal [$m^{\frac{1}{3}}/s$] til modstandsradius for forskellige størrelse vandløb og grødevækst.

	Lille vandløb	Mellem vandløb	Stort vandløb
Vandspejlsbredde:	1,5 m	3,5 m	7,5 m
Med tæt grødevækst (sommer)	3-6	6,5-9,7	10,5-14
Med spredt grødevækst (sommer)	6-9	9,7-12,2	13,1-17,5
Uden grødevækst (vinter)	9-13,4	13-19,5	17,5-26,3

Del V

Bilag

A | Miljøstyrelsen, skrivelse af 10. april 2002

Skrivelse modtaget af Miljøstyrelsen på mail d. 30.10.17. Oprindelig klagesag er ikke inkluderet i dette bilag.

IKKE SCANNET
Bevares i sagsomslag

Miljøstyrelsen
Miljøministeriet

Til
samtlige amter
Københavns Kommune
Frederiksberg Kommune

MODT. I JOURN.
10 APR. 2002
BREV NR.: 19

Spildevands- og Vandforsynings-kontoret
Journalnr. bedes anført ved besvarelse.
J.nr.M 236-0188
Ref.: lmu/8
Den 10 APR. 2002

Orientering om retningslinier for udledning af overfladevand til vandløb med risiko for hydrauliske problemer

Miljøstyrelsen har den seneste tid gennem sin behandling af klagesager erfaret at de krav amterne stiller til udledning af overfladevand, ofte ikke er tilstrækkelige til at sikre at der ikke opstår hydrauliske problemer i vandløb. Miljøstyrelsen har i relation til en konkret sag om udledning af overfladevand i Holbæk Kommune efter anmodning informeret Vejdirektoratet om de retningslinier som Miljøstyrelsen har som udgangspunkt for behandling af klagesager om udledning af overfladevand til vandløb med risiko for hydrauliske problemer.

./. Til amterne og København og Frederiksberg Kommunes orientering vedlægges kopi af Miljøstyrelsen brev af 9. april 2002 til Vejdirektoratet.

./. Desuden vedlægges kopi af Miljøstyrelsen afgørelse af 1. februar 2002 som var anledningen til henvendelsen fra Vejdirektoratet.

Venlig hilsen

Tony Christensen

Miljøstyrelsen · Strandgade 29 · DK-1401 København K
Telefon +45 32 66 01 00 · Fax +45 32 66 04 79 · Telex 31209 miljoe dk · CVR 25 79 83 76 · mst@mst.dk · www.mst.dk

IKKE SCANNET
Bevaret i sagsemslag

Miljøstyrelsen
Miljøministeriet

Vejdirektoratet
Thomas Helsteds Vej 11
Postboks 529
8660 Skanderborg

MODT. I JOURN.
10 APR. 2002
BREV NR 18

Spildevands- og Vandforsynings-
kontoret
Journalnr. bedes anført ved besvarelse.
J.nr.M 236-0188
Ref.: lmu/8
Den
9. APR. 2002

Svar på henvendelse om retningslinier for udledning af overfladevand

Vejdirektoratet har ved brev af 2. april 2002 anmodet om et møde i anledning af Miljøstyrelsens afgørelse af 1. februar 2002 om tilladelse til udledning af vejvand fra motorvejsforlængelsen etabe 1110, Langerød-Tuse N i Holbæk Kommune, idet direktoratet vil gennemgå præmisserne i den konkrete sag og høre om hvilke kriterier Miljøstyrelsen fremover vil lægge til grund i lignende sager.

Miljøstyrelsen beklager fejlagtigt at have givet klagevejledning til sin afgørelse af 1. februar 2002. Uden klageadgang er Miljøstyrelsens afgørelse dermed endelig, og afgørelsen vil ikke blive taget op til fornyet vurdering.

Der findes ingen standardiseret dansk praksis for dimensionering af regnvandsbassiner, og det er desværre Miljøstyrelsens erfaring at de retningslinier amterne arbejder efter, ofte ikke er tilstrækkelige til at sikre at der ikke opstår hydrauliske problemer i vandløbene. Miljøstyrelsen har hidtil og vil fortsat i fremtidige lignende sager lægge kriterier svarende til de der er redegjort for i afgørelsen af 1. februar 2002, til grund for sin afgørelse.

Overordnet set betyder det at udgangspunktet for en tilladelse til udledning af overfladevand til vandløb med risiko for hydrauliske problemer bør være et krav om neddrosling svarende til naturlig afstrømning, dvs. til 1-2 l/sek./ha. af hensyn til vandløbets hydrauliske kapacitet og til andre eventuelle fremtidige udledninger. Men ved vandløb med særlige hydrauliske problemer kan det være nødvendigt at neddrosle en udledning yderligere, lige som det var tilfældet i den konkrete sag i Holbæk Kommune.

Desuden finder Miljøstyrelsen som udgangspunkt at bassiner bør etableres i en størrelse, så der højst sker et gennemsnitligt overløb fra bassin en gang hvert. 5. år, dvs. at overløbshyppigheden som minimum ikke bør overstige n = 1/5. Alternativt skal det ved beregninger kunne dokumenteres at der ikke sker oversvømmelse langs vandløbet hyppigere end hvert 5. år. Igen kan særlige hydrauliske problemer i et vandløb berettige til at overløb bør begrænses yderligere, som det ligeledes var situationen i den konkrete sag.

Miljøstyrelsen · Strandgade 29 · DK-1401 København K
Telefon +45 32 66 01 00 · Fax +45 32 66 04 79 · Telex 31209 miljoe dk · CVR 25 79 83 76 · mst@mst.dk · www.mst.dk

På denne baggrund finder Miljøstyrelsen ikke anledning til at holde et møde som foreslået.

Venlig hilsen

Tony Christensen

Kopi til:
Vestsjællands Amt
Holbæk Kommune

B Dimensioneringsfaktorer i kommuner

Tabellen indeholder værdier for dimensioneringsparametre i alle kommuner og forsyninger, hvor disse er angivet. Værdierne er fundet i spildevandsplaner, klimatilpasningsplaner og bassindimensioneringsanvisninger. En række kommuner har ikke angivet parametre i disse dokumenter, eller dokumenterne ligger ikke tilgængelig på hjemmesiden.

Hvis der er angivet et interval, er dette noteret i kolonne 'fra' og 'til'. Såfremt en værdi er angivet er denne noteret i kolonne 'fra'.

	Klima		Sikkerhed		Fortætning		Hyd.red.		Modelusikkerhed		Gentagelsesperiode		Tilladte udledning	
	fra	til	fra	til	fra	til	fra	til	fra	til	fra	til	fra	til
Albertslund Kommune	1,1	1,3		1,2	1									
Allerød Kommune														
Assens Kommune														
Ballerup Kommune														
Billund Kommune														
Bornholms Kommune														
Brøndby Kommune														
Brønderslev Kommune	1,2	1,3	1,05	1,1	1									
Dragør Kommune														
Egedal Kommune	1,12	1,3	1,1		1						5			
Esbjerg Kommune	1,1	1,4			1				1	1,2	5			
Fanø Kommune														
Favrskov Kommune	1,2	1,3					0,8				5	10		
Faxe Kommune	1,25	1,3	1,05	1,1	1									
Fredensborg Kommune	1,3				1	1,1			1	1,2				
Fredericia Kommune														
Frederiksberg Kommune														
Frederikshavn Kommune														
Frederikssund Kommune	1,2				1	1,2	0,8		1,2		5		1	3
Furesø Kommune	1,25		1,2		1	1,1	0,8				5		1	2
Faaborg-Midtfyn Kommune	1,2				1,2				1,2	1,3				
Gentofte Kommune														
Gladsaxe Kommune	1,3				1				1,1					
Glostrup Kommune														
Greve Kommune														
Gribskov Kommune	1,3				1	1,1			1,2					
Guldborgsund Kommune	1,11	1,3	1,05	1,1	1									
Haderslev Kommune														
Halsnæs Kommune	1,3				1,1				1	1,2				
Hedensted Kommune	1,2	1,3							1,1	1,2	5	10		
Helsingør Kommune														
Herlev Kommune	1,3				1,1				1,2					
Herning Kommune	1,3										5	10		
Hillerød Kommune	1,43													
Hjørring Kommune														
Holbæk Kommune	1,2	1,3			1,1		0,8		1,05	1,2	2	5	2	
Holstebro Kommune	1,2	1,3			1	1,1	0,8		1,05	1,2	2	5	1	2
Horsens Kommune	1,125				1,075		0,8	1	1,1		5	10		
Hvidovre Kommune														
Høje-Taastrup Kommune	1,2	1,4												
Hørsholm Kommune	1,2	1,4			1,05				1,2					
Ikast-Brande Kommune	1,11	1,4												
Ishøj Kommune	1,3				1,1				1	1,2	15		0,5	8
Jammerbugt Kommune	1,11	1,4												

Tabellen er fortsat på næste side

	Klima		Sikkerhed		Fortætning		Hyd.red.		Modelusikkerhed		Gentagelsesperiode		Tilladte udledning	
	fra	til	fra	til	fra	til	fra	til	fra	til	fra	til	fra	til
Kalundborg Kommune														
Kerteminde Kommune														
Kolding Kommune														
Københavns Kommune														
Køge Kommune	1,32										5		1	
Langeland Kommune													1	
Lejre Kommune														
Lemvig Kommune											5		1	2
Lolland Kommune	1,3													
Lyngby-Taarbæk Kommune	1,3				1,1				1	1,2				
Læsø Kommune														
Mariagerfjord Kommune	1	1,3	1	1,2	1	1,1	0,8				5		1	
Middelfart Kommune													5	
Morsø Kommune	1,2						0,8				5	10	1	2
Norddjurs Kommune	1,1	1,3												
Nordfyns Kommune														
Nyborg Kommune	1,2				1		0,8		1,1	1,2				
Næstved Kommune	1,2	1,4												
Odder Kommune	1,4										5		0,5	2
Odense Kommune	1,2													
Odsherred Kommune	1,1	1,2			1		0,9		1	1,2	10		1	
Randers Kommune			1				1				5		1	2
Rebild Kommune														
Ringkøbing-Skjern Kommune	1,11		1,2		1,1		0,8				2	5	0,25	10
Ringsted Kommune														
Roskilde Kommune	1,3				1,1				1,1	1,2				
Rudersdal Kommune	1,3				1	1,1			1,1	1,2				
Rødovre Kommune	1,3				1				1,1					
Samsø Kommune														
Silkeborg Kommune														
Skanderborg Kommune														
Skive Kommune	1,3													
Slagelse Kommune														
Solrød Kommune	1,2	1,4												
Sorø Kommune														
Stevns Kommune	1,2													
Struer Kommune	1,3				1,1				1,05	1,2				
Svendborg Kommune	1,3				1,1				1,1	1,2				
Syddjurs Kommune	1	1,2					1				5	10	1	
Sønderborg Kommune	1,3	1,7	1,1	1,3	1	1,2	0,8	1			10		1	2
Thisted Kommune														
Tønder Kommune	1,3				1,1				1,05	1,2				
Tårnby Kommune	1,3						0,8		1,1	1,2	5	10	1	2
Vallensbæk Kommune	1,3				1,1				1	1,2				
Varde Kommune	1,1	1,4			1				1	1,2				
Vejen Kommune														
Vejle Kommune													1	
Vesthimmerlands Kommune	1,2	1,3			1	1,2			1,1	1,2				
Viborg Kommune														
Vordingborg Kommune														
Ærø Kommune														
Aabenraa Kommune	1,25				1,1		0,8		1,05	1,2	2	5	1	2
Aalborg Kommune											5		1	
Århus Kommune	1	1,8									5	10		

C | Anvendte SVK stationer

SVK stations nummer	Placering	Måleperiode [år]
5025	Frederikshavn	25
5027	Frederikshavn	28
5047	Sulsted	36
5052	Aalborg	28
5175	Trankær	28
5177	Viby	34
5180	Lystrup	28
5192	Silkeborg	39
5211	Horsens	35
5235	Vejle	35
5279	Herning	27
5340	Esbjerg	29
5370	Sønderborg	39
5390	Haderslev	31
5415	Odense	39
5419	Odense	38
5422	Bolbro	37
5540	Holbæk	39
5570	Sydkystens	39
5580	Hillerød	26
5590	Frederikssund	26
5600	Måløv	39
5625	Vedbæk	39
5633	Dronninggård	39
5670	Ordrup	26
5694	Søborg	39
5710	Rødovre	39
5730	Landbohøjskolen	26
5740	Køvermarksvej	39
5750	Tårnby	36
5755	Tårnby	39
5759	Tårnby	39
5765	Kongens	39
5775	Hvidovre	39
5781	Hvidovre	38
5790	Brøndbyvester	28
5795	Glostrup	39
5805	Ishøj	25
5810	Mosede	25
5845	Roskilde	38
5925	Næstved	39
5955	Nakskov	39
5980	Nykøbing	38
5990	Rønne	28

D | Kode i program fra MatLab

Herunder er koden fra beregningsprogrammet vist. Kun den primære kode, hvori bassinvolumenet itereres er vedlagt. Der er flere mindre stykker kode, som bl.a. initialiserer programmet, eller ændrer brugerflade undervejs. Dette er ikke vedlagt her.

```
% Tager tid og laver beregningsbar
tic % starter tidstagning
Progress=uiprogressdlg(app.UIFigure,'Title','Beregner','Indeterminate','on');

% Henter regndata fra database
load('Database\SVK_stationer') % henter stationsnavne
load('Database\regndata') % henter regndata
load('Database\Nedbrud') % henter dage der har været nedbrud

% Tjekker at SVK station findes
name=app.SVKstationDropDown.Value;
name_num=str2num(name);
SVK_station=SVK_station==name_num;
if sum(SVK_station)==0
   write='fejl'
else
   [~, index] = max(SVK_station);
end

% Opstiller parametre, henter data fra fanen
Area=app.Oplandsareal.Value; % areal i [ha]
BefGrad=app.Befaestelse.Value; % befæstelsesgrad
Hydred=app.Hydred.Value; % hydrologisk reduktionsfaktor
Tilslutning=app.Tilslut.Value; % tilslutningsgrad
s_fort=app.Fortatning.Value; % fortætningsfaktor
s_klima=app.Klima.Value; % klimausikkerhed
s_model=app.Model.Value; % modelusikkerhed
S=s_klima*s_fort*s_model; % samlet sikkerhedsfaktor
Fred=Tilslutning*Hydred*BefGrad*Area ; % reduceret areal [ha]
Area=app.Oplandsareal.Value+sum(StoreData.Red_Areal); % areal
a=app.Udlob.Value;     % afløbstal

% Tjekker om udledningen er for reduceret eller total areal
if app.udlob_red==2
   udledning=a*BefGrad; % udledning pr areal [l/(s*ha)]
else
   udledning=a; % udledning pr areal [l/(s*ha)]
end
Q=udledning/1000*Area; % udledning [m3/s]

% Værdier til iterationer for historisk regn
gentag=app.gentag.Value; % den ønsket gentagelsesperiode
Bassingat=200 ;     % gæt på bassinstørrelse (initialværdi)
runs=20;            % maks antal iterationer
langde=(1440*app.OverlbEditField.Value); %defineret periode for, hvor langt tid et
    overløb varer og skal tælle som et

% Henter regndata for den valgte SVK station
Time1=date(:,index); % dato til et nummer
idx=Time1>0; % finder index hvor værdier er over 0
Time1=Time1(idx);
Rain1=regn(:,index);
Rain1=Rain1(idx).*10; % omregning fra mu-m/s til l/s/h
clear date regn
```

```
54
55 % Lave fulde matricer
56 Dif=round((Time1(end)-Time1(1))*24*60+1,0); % beregner differencen mellem start og
       slut tidspunkt i minutter
57 Rain=zeros(Dif,1); % ny større matrix for rain data
58 limit=length(Time1); % limit for første loop
59 for i=1:limit
60    row=round((Time1(i)-Time1(1))*24*60+1,0); % hvilken række til regninstesitet
61    Rain(row,1)=Rain1(i); % indsætter regnintesitet i rækken
62 end
63 Time=zeros(Dif,1); % ny større matrix for tiden
64 limit = length(Time); % limit for resten af loopsne
65 for i=1:limit
66    Time(i,1)= (i-1)/24/60+Time1(1); % sætter tid ind for hvert minut
67 end
68
69 % Antal år med målinger
70 aar=(Time1(end)-Time1(1))/365.2425;
71 dag=dag(index,1); % henter antal dage med nedbrud
72 aar=aar-dag/365.2425;
73
74 %%%%% BEREGNER VOLUMEN FOR BASSINER I OPLANDET %%%%%%
75 Q_bassiner=zeros(limit,1);
76 if sum(StoreData.Red_Areal)>0
77    q_1=zeros(limit,5);
78    for i=1:5
79       Fred_1=StoreData.Red_Areal*Tilslutning*Hydred*BefGrad; % areal [ha]
80       Udl=StoreData.Udl_bassiner; % udledning til recipient [l/s]
81       Forsinkelse= StoreData.Forsinkelse; % forsinkelse fra dette bassin til
             hovedbassin [min]
82       limit=length(Time);
83       dQ=zeros(limit,1);
84
85       for t=1:limit ;
86          dQ(t)=((Rain(t)*Fred_1(i))/1000)*60-((Udl(i))/1000)*60; % ændring i
               volumen [m^3]
87       end
88       Vol=zeros(limit,1);
89       for t=2:limit
90          Vol(t)=Vol(t-1)+dQ(t); % [m^3]
91          q_1(t+Forsinkelse(i),i)=Udl(i);
92          % Hvis Vol < 0 må det betyde at bassinet er tomt og der er fortsat en
                tømning af bassinet dQ > 0. Hvis dette er tilfældet sættes Vol = 0 da
                bassinet er tømt.
93          if Vol(t)<0
94             Vol(t)=0;
95             q_1(t+Forsinkelse(i),i)=Rain(t)*Fred_1(i);
96          else Vol(t)=Vol(t);
97          end
98       end
99    end
100   % vandføring fra de ekstra bassiner
101   Q_bassiner=q_1(1:limit,1)+q_1(1:limit,2)+q_1(1:limit,3)+q_1(1:limit,4)+q_1(1:limit,5);
102 end
103
104 %%%%% VOLUMEN AF BASSIN %%%%%
105 dQ=zeros(limit,1);
106
107 %%%%% KONSTANT UDLEDNING %%%%%
108 if app.Udlob1==1 % er det konstant udløb
109    for t=1:limit; % vandføring til bassin pr min
110       dQ(t)=S*(Rain(t)*Fred+Q_bassiner(t))/1000*60-Q*60; % [m^3]
111    end
112    Vol=zeros(limit,1);
113    for t=2:limit
114       Vol(t)=Vol(t-1)+dQ(t); % [m^3]
```

```
115         % Hvis Vol < 0 må det betyde at bassinet er tomt og der er fortsat en
                tømning af bassinet dQ > 0. Hvis dette er tilfældet sættes Vol = 0 da
                bassinet er tømt.
116         if Vol(t)<0
117            Vol(t)=0;
118         end
119      end
120
121      % Laver iteration for at finde volumen krævet til den ønsket gentagelseperiode
122      overloblangde=1:langde;
123      Bassinvol=zeros(limit,1); % nul matrix til bassinvolumen
124      Bassintest=zeros(runs,1)+Bassingat; % volumen startgæt [m^3]
125      check1=zeros(runs+1,1);
126      j=0;
127      for i=1:runs
128         Antal=0;
129         for t=langde:limit % starter lidt forsinket for at kunne tjekke
                overløbslængde
130            Bassinvol(t)=Bassintest(i); % [m^3]
131            if Vol(t)>Bassinvol(t) && Vol(t-1)<Bassinvol(t) % undersøger om der sker
                   overløb og om det skete i forrige step
132               TT(1,1:langde)=t-overloblangde;
133               maxVol=max(Vol(TT));
134               if maxVol < Bassinvol(t)
135                  Antal = Antal+1;
136               end
137            end
138         end
139         % Beregner gentagelsesperiode
140         gentagelsesperiode=aar/Antal;
141         check1(i+1,1)=gentagelsesperiode>gentag;
142         if check1(i+1,1)==0
143            if check1(i,1)==0 && j==0
144               Bassintest(i+1)=Bassintest(i)+Bassintest(i);
145            else
146               Bassintest(i+1)=Bassintest(i)+abs((Bassintest(i)-Bassintest(i-1))/2);
147            end
148         else
149            Bassintest(i+1)=Bassintest(i)-abs((Bassintest(i)-Bassintest(i-1))/2) ;
150            j=1;
151         end
152      end
153   %%%%% VARIERENDE UDLEDNING %%%%%
154   else % er det varierende udløb
155      % Startværdi for iterationslykke
156      V=Bassingat; % der er gættet på et volumen til første kørsel
157      forskel=V; % forskel beregnes efter hver kørsel. I første kørsel defineres en
             stor forskel
158      iteration_no=0;
159      h=app.Designdybde.Value; % design dybde (fra brugerinput) [m]
160      a=app.Anlag.Value; % anlæg (fra brugerinput)
161      k=h/Q^2; % ledningens specifikke modstand.
162      gentag=app.Gentagaflobstal.Value; %gentagelsesperiode for udløbet
163
164      while forskel>(V/100) % Lykke kører indtil forskellen er under 1/100 af volumen
165         iteration_no=iteration_no+1;
166         s=2*a*h; % sidelængde af bassin [m]
167         test=0;
168         j=1;
169         % Finder rette bassingeometri ud fra volumen, sidelængde, anlæg og dybde
170         while test==0
171            V_s=(h*((3*s-2*a*h)*(s-2*a*h)+3*s^2+2*(s^2*(3*s-2*a*h)*(s-2*a*h))^(1/2)))/3;
172            dif=V_s-V;
173            if dif<1 && dif>-1
174               test=1;
175            else
```

```
176             if dif<0 && j==1
177                s_g=s;
178                s=s+s;
179                s_ny=s;
180             elseif dif>0
181                s=s_ny-abs(s_g-s_ny)/2;
182                s_g=s_ny;
183                s_ny=s;
184                j=2;
185             elseif dif<0 && j==2
186                s=s_ny+abs(s_g-s_ny)/2;
187                s_g=s_ny;
188                s_ny=s;
189             end
190          end
191       end
192       s_bund_bredde=s-2*a*h ;
193       s_bund_langde=3*s-2*a*h;
194 %%%%% UDLØB: VANDBREMSE ELLER RØR %%%%%
195       % Der laves sammehæng mellem dybde og Q og V baseret på rør eller
              vandbremsens udløbskurve, som også er defineret i appen
196       if app.Udlob1==3 % betyder der er en vandbremse
197          h_tabel = StoreData.H_tabel'; % [m]
198          h_tabel = [h_tabel 1.1:0.1:3]'*h;
199          Q_tabel=StoreData.Q_tabel'; % [m3/s]
200          Q_tabel=[Q_tabel*Q sqrt((1.1:0.1:3)/k)]';
201       else % betyder det er et rør
202          h_tabel = (0:(h/100):h*3)'; % [m]
203          Q_tabel=sqrt(h_tabel/k); % [m3/s]
204       end
205       V_tabel=h_tabel/3.*((s_bund_bredde*s_bund_langde)+((s_bund_bredde+2*a*h_tabel).*...
206       (s_bund_langde+2*a*h_tabel))+((s_bund_bredde*s_bund_langde).*...
207       ((s_bund_bredde+2*a*h_tabel).*(s_bund_langde+2*a*h_tabel))).^(1/2)); % [m^3]
208
209       % Loop udregner volumener med varierende udløb
210       vol=0; % volumen i bassinet starter på 0 [m^3]
211       Vol=zeros(limit,1); %nul-matrix
212       [~, index]=min(abs(V_tabel-vol)); % finder det nærmeste volumen i V-tabellen
213       dQ(1)=S*(Rain(1)*Fred+Q_bassiner(1))/1000*60-Q_tabel(index)*60; % [m^3]
214       for t=2:limit
215          [~, index]=min(abs(V_tabel-vol));
216          dQ(t)=S*(Rain(t)*Fred+Q_bassiner(t))/1000*60-Q_tabel(index)*60;
217          Vol(t)=Vol(t-1)+dQ(t);
218          if Vol(t)<0
219             Vol(t)=0;
220          end
221          vol=Vol(t);
222       end
223       % Iteration for at finde volumen krævet til den ønsket gentagelseperiode
224       overloblangde=1:langde;
225       Bassinvol=zeros(limit,1);
226       Bassintest=zeros(runs,1)+Bassingat; % [m^3]
227       check1=zeros(runs+1,1);
228       j=0;
229       for i=1:runs
230          Antal=0;
231          for t=langde:limit
232             Bassinvol(t)=Bassintest(i); % [m^3]
233             if Vol(t)>Bassinvol(t) && Vol(t-1)<Bassinvol(t) % undersøger om der
                    sker overløb og om det skete i forrige step
234                TT(1,1:langde)=t-overloblangde;
235                maxVol=max(Vol(TT));
236                if maxVol<Bassinvol(t)
237                   Antal=Antal+1;
238                end
239             end
```

```
240          end
241          % Beregning af gentagelsesperiode
242          gentagelsesperiode=aar/Antal;
243          check1(i+1,1)=gentagelsesperiode>gentag;
244          if check1(i+1,1)==0
245             if check1(i,1)==0 && j==0
246                Bassintest(i+1)=Bassintest(i)+Bassintest(i);
247             else
248                Bassintest(i+1)=Bassintest(i)+abs((Bassintest(i)-Bassintest(i-1))/2);
249             end
250          else
251             Bassintest(i+1)=Bassintest(i)-abs((Bassintest(i)-Bassintest(i-1))/2) ;
252             j=1;
253          end
254       end
255       % Beregner forskel i volumen fra forrige tidstep
256       ny_V=Bassinvol(t);
257       forskel=abs(ny_V-V);
258       V=ny_V;
259       if iteration_no>10 % stop ved 10. iteration
260          break
261       end
262    end
263
264    gentag=app.gentag.Value; % den ønsket gentagelsesperiode for bassin
265    %% laver iteration for at finde volumen krævet til den ønsket gentagelseperiode
266    overloblangde=1:langde;
267    Bassinvol = zeros(limit,1); %laver nul matrix til bassinvolumen
268    Bassintest=zeros(runs,1)+Bassingat; %m^3 startforsøg på bassin
269    check1=zeros(runs+1,1);
270    j=0;
271    for i=1:runs
272       Antal=0;
273       for t = langde:limit % starter en dag senere for at kunne tjekke
           overlobslængde
274          Bassinvol(t) = Bassintest(i); % m^3
275          if Vol(t) > Bassinvol(t) && Vol(t-1) < Bassinvol(t) % Dette if segment
              undersøger om der sker overløb og om det har har været sket
276             TT(1,1:langde)=t-overloblangde;
277             maxVol=max(Vol(TT));
278             if maxVol < Bassinvol(t)
279                Antal = Antal+1;
280             end
281          end
282       end
283       % beregner gentagelsesperiode
284       gentagelsesperiode=aar/Antal;
285       check1(i+1,1)=gentagelsesperiode>gentag;
286       if check1(i+1,1)==0
287          if check1(i,1)==0 && j==0
288             Bassintest(i+1)=Bassintest(i)+Bassintest(i);
289          else
290             Bassintest(i+1)=Bassintest(i)+abs((Bassintest(i)-Bassintest(i-1))/2);
291          end
292       else
293          Bassintest(i+1)=Bassintest(i)-abs((Bassintest(i)-Bassintest(i-1))/2) ;
294             j=1;
295       end
296    end
297
298 %%%%% BEREGNING AF DIMENSIONER FOR UDLØBSRØR %%%%%
299    if app.Udlob1==2 % betyder det er en rør
300       %% Data for beregning af rørdimensioner
301       l_ror=StoreData.L_r % længden af røret [m]
302       theta=StoreData.theta_r; % summen af enkeltab udløb og indløb
303       I_b=StoreData.I_r; % rørets hældningsgradient [m/m]
```

```
304         k_r=StoreData.k_r; % rørets ruhed [m]
305         M=25.4/(k_r)^(1/6); % manningtallet
306         g=9.82; % tyngdeacceleration [m/s^2]
307         D=1/1000:5/1000:10; % intervaller for diameter for rør [m]
308         A=pi().*(D/2).^2;
309         R=D/4;
310         k1=l_ror./(M.^2.*R.^(4/3).*A.^2)+theta./(2*g.*A.^2); % beregner k for alle
                mulige diametre [m]
311         [~,idx]=min(abs(k-k1)) % finder bedste k
312         % Loop med iteration for at finde D
313         D_pos=1/1000+5/1000*(idx);
314         D_neg=1/1000+5/1000*(idx-2);
315         it=0;
316         while abs(D_pos-D_neg)>0.001*D_pos
317            it=it+1;
318            D_midt=0.5*(D_neg+D_pos);
319            A=pi().*(D_midt/2).^2;
320            R=D_midt/4;
321            k1=l_ror./(M.^2.*R.^(4/3).*A.^2)+theta./(2*g.*A.^2);
322            FD=h-k1*Q^2;
323            if FD>0
324               D_pos=D_midt;
325            else
326               D_neg=D_midt;
327            end
328         end
329         app.Diameter.Value=D_midt*1000; % beregnet diameter [mm]
330         ror_str1=[110-6.3*2 160-9.1*2 200-11.4*2 250-14.2*2 315-17.9*2 400-22.7*2
                500-28.3*2]/1000; % handelsdimensioner indre diameter [mm]
331         ror_str2=[110 160 200 250 315 400 500]/1000; % handelsdimensioner ydre
                diameter [mm]
332
333         % Beregner nærmeste standard rørstørrelse
334         idx=0>ror_str1-D_midt;
335         ror_str=ror_str1(idx);
336         if sum(ror_str)==0
337            ror_str=ror_str1(1);
338            ror_str2=ror_str2(1);
339         else
340            ror_str=ror_str(end) ;
341            ror_str2=ror_str2(idx);
342            ror_str2=ror_str2(end);
343         end
344         % Beregner dimensioner med standard rørstørrelse
345         A=pi().*(ror_str/2).^2;
346         R=ror_str/4;
347         l_r=A^2*M^2*R^(4/3)*(k - theta/(2*A^2*g));
348         k=l_ror/(M^2*R^(4/3)*A^2)+theta/(2*g*A^2);
349         Q1=sqrt(h/k);
350         % Advarsel/anbefaling ved den valgte rørdimension
351         if D_midt<100/1000
352            str1={'Obmærksom det er en lav diameter!';...
353               'Anbefaling med tilpasset diameter til handelsdimmension';...
354               sprintf('D = %3.0f mm L = %0.0f m Q=%0.1f l/s',ror_str2*1000, l_r,
                      Q*1000);...
355               sprintf('D = %3.0f mm L = %0.0f m Q=%0.1f l/s',ror_str2*1000,l_ror,
                      Q1*1000);...
356               sprintf('D = %3.0f mm L = %0.0f m Q=%0.1f l/s',D_midt*1000,l_ror,
                      Q*1000);...
357               'OVERVEJ VANDBREMSE'}
358            warndlg(str1,'Advarsel')
359         elseif D_midt>500/1000
360            str2={'Obmærksom det er en høj diameter!';...
361               'Anbefaling med tilpasset diameter til handelsdimmension';...
362               sprintf('D = %3.0f mm L = %0.0f m Q=%0.1f l/s',ror_str2*1000, l_r,
                      Q*1000);...
```

```
363             sprintf('D = %3.0f mm L = %0.0f m Q=%0.1f l/s',ror_str2*1000,l_ror,
                    Q1*1000);...
364             sprintf('D = %3.0f mm L = %0.0f m Q=%0.1f l/s',D_midt*1000,l_ror,
                    Q*1000);...
365             'OVERVEJ BETONRØR'}
366          warndlg(str2,'Advarsel')
367       else
368          str3={'Anbefaling med tilpasset diameter til handelsdimmension';...
369             sprintf('D = %3.0f mm L = %0.0f m Q=%0.1f l/s',ror_str2*1000, l_r,
                    Q*1000);...
370             sprintf('D = %3.0f mm L = %0.0f m Q=%0.1f l/s',ror_str2*1000,l_ror,
                    Q1*1000);...
371             sprintf('D = %3.0f mm L = %0.0f m Q=%0.1f l/s',D_midt*1000,l_ror,
                    Q*1000)}
372          msgbox(str3,'Anbefaling')
373       end
374    end
375 end
376
377 %%%%% AFSLUTTENDE RESULTATBEHANDLING %%%%%
378 Vol_hist=Bassinvol(end); % det nødvendige volumen
379 % gemmer data i properties
380 app.Vol_data=Vol;
381 app.Time_data=Time;
382 app.langde_data=langde;
383 app.Bassinvol1=Bassinvol;
384 % viser resultat
385 resultat = sprintf('%0.0f%s',Vol_hist,'m^3');
386 app.Resultat_show.Text=resultat;
387 app.BeregningstidLabel.Enable = 'on';
388 app.VisgrafButton.Enable = 'on';
389 elapsedTime=toc; % stopper tidstagning
390 elapsedTime1 = sprintf('%0.1f s',elapsedTime);
391 app.GaugeText.Text=elapsedTime1;
392 app.Langde.Value=StoreData.L_r;
393 close(Progress)
```