Downloaded from orbit.dtu.dk on: Apr 27, 2024

DTU Library

# Bassindimensionering med SVKs Regionale Regnrækkeværktøj

**Gregersen, Ida Bülow; Arnbjerg-Nielsen, Karsten; Sørup, Hjalte Jomo Danielsen; Paludan, Birgit ; Thorndahl, Søren ; Mollerup, Ane Loft; Sloth Illeris, Toke; Rosbjerg, Dan**

*Publication date:*
2023

*Document Version*
Publisher's PDF, also known as Version of record

Link back to DTU Orbit

*Citation (APA):*
Gregersen, I. B., Arnbjerg-Nielsen, K., Sørup, H. J. D., Paludan, B., Thorndahl, S., Mollerup, A. L., Sloth Illeris, T., & Rosbjerg, D. (2023). *Bassindimensionering med SVKs Regionale Regnrækkeværktøj*. IDA Spildevandskomiteen.

**General rights**
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Bassindimensionering med SVKs Regionale Regnrækkeværktøj

Forfattere:

Ida Bülow Gregersen, Karsten Arnbjerg-Nielsen, Hjalte Jomo Danielsen Sørup, Birgit Paludan, Søren Thorndahl, Ane Loft Mollerup, Toke Sloth Illeris og Dan Rosbjerg

Juni 2023

Det faglige udvalg under IDA Spildvandskomiteen, undergruppen vedr. regn og dimensionering

Arbejdet er udført under det VUPD støttede projekt forsknings- og innovationsprojekt VÆRDI



Confidential

# Indholdsfortegnelse

1 Formål ..... 3
2 Opsummering ..... 3
3 Baggrund ..... 4
4 Bassindimensionering med SVKs regionale Regnrækkeværktøj ..... 6
4.1 Bassindimensionering baseret på regnrækker ..... 6
4.2 Volumentillæg ..... 7
4.3 Volumenkurver til vurdering af volumentillægget ..... 8
4.4 Operationel faktor ..... 9
5 Gyldighedsområdet for regnearkets metoder til dimensionering ..... 10
5.1 Lange tømmetider og små afløbstal ..... 10
5.2 Hændelsesdefinitionen for overløb ..... 10
6 Opmærksomhedspunkter ved sammenligning med andre værktøjer til bassindimensionering . 12
6.1 Dimensionering baseret på regnserier ..... 12
6.1.1 Bestemmelse af gentagelsesperioden vha. plotte-funktioner ..... 12
6.1.2 Regnseriens statistik ift. den regionale regnrække ..... 13
6.2 Konstant afløbstal vs. dynamisk afløbstal ..... 14
6.3 Inklusion af ledningsvolumen ..... 14
6.4 Usikkerhed i bassindimensionering ..... 14
7 Beregningseksempler ..... 14
8 Referencer ..... 16
Appendiks: Bassindimensionering med reservoirmodel og SVKs regionale Regnrækkeværktøj 4.1 og 5.0 beta ..... 17



Confidential

# 1 Formål

Dette notat ser på bassindimensionering med afsæt i *Spildevandskomiteens (SVKs) regionale Regnrækkeværktøj* og med fokus på begrænsningerne i anvendelsen af værktøjet. Formålet er at give brugerne af SVKs regionale Regnrækkeværktøj en bedre forståelse af teorien, der ligger bag værktøjets resultater, samt en viden om værktøjets begrænsninger, således at man er i stand til at vurdere, hvornår man med fordel kan bruge værktøjet, og hvornår man bør overveje andre metoder til bassindimensionering. Desuden berøres nogle af de overvejelser, man bør gøre sig, hvis man sammenligner bassinvolumener fundet ved hjælp af SVKs regionale Regnrækkeværktøj med bassinvolumener fundet ved andre metoder. Notatet forudsætter generelt kendskab til praksis for dimensionering af afløbssystemer.

Notatet behandler alene metoder til simpel dimensionering baseret på overløbsfrekvens ud fra en given hændelsesdefinition, der er baseret på enten varighed mellem overløb eller tømning af bassin.

# 2 Opsummering

SVKs regionale Regnrækkeværktøj er hyppigt anvendt til at bestemme det nødvendige volumen af bassiner i afløbssystemer, baseret på acceptable overløbshyppigheder. Nærværende notat dokumenterer en analyse af metoden, som er baseret på de data, der ligger bag Skrift 32. Notatet kommer, på basis heraf, med en række anbefalinger vedrørende brugen af SVKs regionale Regnrækkeværktøj.

Overordnet tyder analysen på, at resultaterne fra SVKs regionale Regnrækkeværktøj er robuste for høje afløbstal, idet såvel betydningen af variationer i fyldningsgrad ved begyndelsen af den dimensionsgivende hændelse, samt betydningen af hændelsesdefinitionen, er lille. Derved bliver resultaterne fra regnrækkeværktøjet det samme som resultater baseret på simuleringer med en mere generel reservoirmodel.

For meget små afløbstal vil SVKs regionale Regnrækkeværktøj systematisk undervurdere det nødvendige bassinvolumen, fordi betydningen af koblede hændelser undervurderes og dermed vil den initiale fyldning af bassinet ikke være korrekt. Endvidere vil det korrekte volumen variere væsentligt afhængigt af, hvordan hændelsesdefinitionen for overløb defineres.

Det er derfor vigtigt at have fokus på effekten af koblede hændelser og på hændelsesdefinitionen, når der dimensioneres bassiner med lave afløbstal. Værktøjets beregnede volumen bør i dette tilfælde suppleres med en manuel vurdering. Denne vurdering bør, som minimum, omfatte den information, som regnearket angiver som et regionalt skøn over fejlen på den initiale fyldningsgrad, men også gerne suppleres med beregninger - enten baseret på en mere generel reservoirmodel eller en mere detaljeret distribueret model.

De analyser, som er dokumenteret i nærværende notat, tyder på, at for afløbstal højere end 0,2 µm/s er metoden i SVKs regionale Regnrækkeværktøj meget robust, og at andre beregningsmetoder i almindelighed vil give resultater, som ligger endog meget tæt på de voluminer som SVKs regionale Regnrækkeværktøj beregner. For lavere afløbstal vil betydningen af koblede hændelser og hændelsesdefinitionen gradvist blive vigtigere. Figurerne i SVKs regionale Regnrækkeværktøj er begrænset til kun at vise afløbstal højere end 0,05 µm/s. Disse figurer skal anvendes som en visuel indikation på, hvor det beregnede volumen med stor sikkerhed er undervurderet. Endvidere er der tilføjet en advarsel, såfremt tømmetiden er over 72 timer, hvilket kun sker for ret små afløbstal. Det



Confidential

er i sidste ende op til brugeren at sikre relevant og korrekt anvendelse af SVKs regionale Regnrækkeværktøj.

# 3 Baggrund

Med henblik på at beskytte de recipienter, der modtager regnvandsafstrømning fra byer, dimensioneres afløbstekniske bassiner normalt ud fra krav til overløbshyppighed og udløbsvandføring, og i dansk praksis findes der flere metoder man kan anvende.

Afløbstekniske bassiner dækker i denne sammenhæng over:

- *Fællesbassiner*, hvor afløbstallet er givet af fællessystemets kapacitet nedstrøms bassinet fratrukket tøjvejrsbidraget.
- *Separate regnvandsbassiner*, hvor afløbstallet er givet i udledningstilladelsen til en recipient og/eller i kapaciteten i regnvandssystemet nedstrøms bassinet.

Ved bassindimensionering skal gentagelsesperioden for fyldt bassin, og dermed overløb, fastlægges forud for dimensionering, da denne sammen med afløbstallet bestemmer det nødvendige volumen.

Nærværende notat gennemgår teorien, der ligger til grund for bassindimensioneringen i SVKs regionale Regnrækkeværktøj, samt baggrunden for nogle af de hjælpekurver og -tekster, som er i værktøjet. Notatet forudsætter generelt kendskab til praksis for dimensionering af afløbssystemer. Tabel 1 definerer en række centrale begreber, som anvendes igennem notatet.

I afsnit 4 gennemgås metoderne og teorien bag bassindimensionering med SVKs regionale Regnrækkeværktøj. Først gennemgås den teori, der ligger bag bassindimensioneringen, som er baseret på regnrækker. Dernæst gennemgås kort, hvordan volumentillægget på 20 %, der benyttes som standard i værktøjet, er fremkommet. Afslutningsvis beskrives, hvordan størrelsen af volumentillægget kan vurderes i den konkrete dimensioneringssituation, og teorien bag de kurver, der muliggør dette. Dette er især relevant ved dimensionering af bassiner med afløbstal < 0,2 µm/s (2 l/s/ha).

I afsnit 5 gennemgås nogle vigtige begrænsninger for brugen af SVKs regionale regnrækkeværktøj. Her fokuseres især på tømmetiden af bassinet (og dermed afløbstallet) samt hændelsesdefinitionen for overløb. Hændelsesdefinitionen er vigtig, fordi den, særligt ved lave afløbstal, har betydning for, hvor mange overløb, der observeres eller beregnes, og dermed for, hvor stort et bassin skal være for at overholde en given gentagelsesperiode for fyldning og overløb. Når afløbstallet er lavt, og bassinet derfor tømmer langsomt, øges sandsynligheden for, at der kommer en ny regn, der fylder bassinet, før det er tomt, og det fulde volumen er tilgængeligt. To regnhændelser, der meteorologisk set er uafhængige, kan derfor skabe en koblet effekt, hvilket øger behovet for magasinering. Dette tydeliggøres i notatets afsnit 5.2 med fokus på, hvordan man inkluderer effekten af "koblet regn" ved bassindimensioneringen, og hvilke begrænsninger, der ligger i de anvendte antagelser.

I afsnit 6 gennemgås de vigtigste opmærksomhedspunkter, som er relevante at kende, hvis man sammenligner bassinvolumener fremkommet ved dimensionering med SVKs regionale Regnrækkeværktøj med bassinvolumener dimensioneret med andre metoder, der modellerer fyldning og tømning dynamisk.

Afslutningsvis ses der i afsnit 7 på udvalgte beregningseksempler, der bruges til at vise, hvordan betydningen af hændelsesdefinitionen på det endelige bassinvolumen afhænger både af afløbstallet og bassinets ønskede gentagelsesperiode.



Confidential

**Tabel 1:** *Ordliste*

| Begreb | Forklaring |
|---|---|
| Afløbstal | Den afløbskapacitet som bassinet dimensioneres ud fra pr. arealenhed, et evt. tørvejrsbidrag fratrækkes jf. principperne i Winther et al. (2011). I dette notat anvendes enheden [µm/s]; i Winther et al. (2011) anvendes enheden [l/(s·ha)]; 1 µm/s =10 l/(s ha) |
| Initialmagasineringen | Restvolumen i et bassin der stammer fra den forrige regnhændelse, altså en initialbetingelse som skal tages i regning, når næste regn starter. |
| Kasseregn | En syntetisk dimensioneringsregn der har konstant regnintensitet over en given varighed. |
| Koblede hændelser | Forekommer når to regnhændelser tidsmæssigt ligger så tæt, at det resulterende udløb fra bassinet kun fremstår som én hændelse. Afhænger af bassinets afløbstal, og dermed tømmetiden.<br>To selvstændige regnhændelser, der meteorologisk set er uafhængige, opleves som koblede, når et restvolumen fra første regnhændelse mindsker det tilgængelige volumen ved den efterfølgende regnhændelse. |
| Korrektionsfaktor | Faktor der ganges på bassinvolumen fundet ved regnrækkemetoden, bl.a. som korrektion for effekten af koblede hændelser. |
| Reduceret areal | Det reducerede opland er den del af et opland, som antages at forårsage overfladeafstrømning,<br>som ledes til kloaksystemet, altså det totale opland gange med afløbskoefficienten. Det reducerede areal er dermed mindre end det tilsluttede befæstede areal. |
| Regnrækker | En tabel med sammenhæng mellem intensitet, varighed og gentagelsesperiode. |
| Regnserier | Fortløbende målinger af intensitet eller dybde i en given tidsopløsning. |
| Reservoirmodel | En simpel matematisk massebalance model som beskriver akkumuleret volumen i et reservoir (bassin) ud fra en regnserie og deraf følgende indløbshydrograf, overløb og udløb. En reservoirmodel giver mulighed for flere definitioner af hændelser, mens SVKs regionale Regnrækkeværktøj er baseret på én bestemt definition. |
| Simulering med uendelig stor bassinkapacitet | En reservoirmodel uden overløb dvs. med uendelig stor bassin kapacitet. En hændelse defineres som en ubrudt sekvens tidsskridt, hvor der er vand i bassinet. Maksimal volumen under hændelsen udtrækkes til videre statistisk bearbejdning. Denne metode kan overvurdere betydningen af koblede hændelser – fordi vand, der i virkeligheden løber over, bliver i modellen og ikke når at løbe ud, før den næste regn starter. |
| Simulering af bassin med overløb | Udføres med en reservoirmodel med fastlagt bassinvolumen og overløb eller med en distribueret model. Endeligt volumen som opfylder kravet til overløbsfrekvensen findes ved iteration. Modellen giver fuld fleksibilitet i forhold til valg af hændelsesdefinition. |
| Volumentillæg | Samme som korrektionsfaktor, blot angivet i procent i stedet for som en faktor. |



Confidential

# 4 Bassindimensionering med SVKs regionale Regnrækkeværktøj

I SVKs regionale Regnrækkeværktøj, der ligger som bilag til Skrift 26, 28, 30 og senest Skrift 32, anvendes to metoder til at beregne bassinvoluminer. Den første kan benyttes af brugeren til at finde et estimat på det nødvendige bassinvolumen, mens den anden metode er indlagt i værktøjets volumenkurver for at give brugeren mulighed for at vurdere resultatets sensitivitet ift. koblede hændelser og dermed behovet for yderligere analyser.

Den første metode er baseret på en beskrivelse af regnrækken (afsnit 4.1), den anden er baseret på en regional model for maksimale bassinvoluminer som funktion af gentagelsesperioder for tre afløbstal (afsnit 4.3). De to metoder giver ikke identiske resultater, fordi den første antager, at bassinet er tomt, når regnen starter, mens den anden medtager en eventuel restvolumen fra den foregående regn. Sammenligning af resultaterne fra de to metoder kan derfor anvendes til at skønne betydningen af koblede regnhændelser under forskellige forhold. De to metoder og tilhørende hændelsesdefinition er kort beskrevet i det følgende. Med begge metoder ses der bort fra koncentrationstiden i oplandet, initialtab samt et evt. varierende afløbstal som funktion af vandstanden i bassinet (idet der regnes med konstant udløbsvandføring).

## 4.1 Bassindimensionering baseret på regnrækker

Metoden til at bestemme bassinvoluminer ud fra regnrækker blev allerede beskrevet i Skrift 6 fra 1953 og er siden beskrevet i flere danske lærebøger. Metoden antager, at regnen falder som jævn kasseregn, svarende til, at så længe bassinet er delvist fyldt, er mindre variationer i intensiteten uden betydning. Voluminet (relativt til det reducerede areal) i løbet af den dimensionsgivende hændelse (altså kasseregnen) er derfor givet ved (Winther et al., 2011):

$$V = (i_m - a)t \tag{1}$$

Hvor $i_m$ er intensiteten af kasseregnen, $a$ er den afskærende ledningskapacitet, svarende til afløbstallet, og $t$ er regnvarigheden. Der regnes med kasseregn, fordi bassinet udjævner variationerne i intensiteten i løbet af hændelsen. Den matematiske udledning af, hvor stort det maksimale volumen er, er angivet i Winther et al. (2011). Fremgangsmåden er at udregne voluminet som funktion af varigheden af kasseregnen, idet det maksimale volumen optræder, når $dV/dt = 0$.

I regnearket anvendes følgende formel for $i_m$ som funktion af regnens varighed:

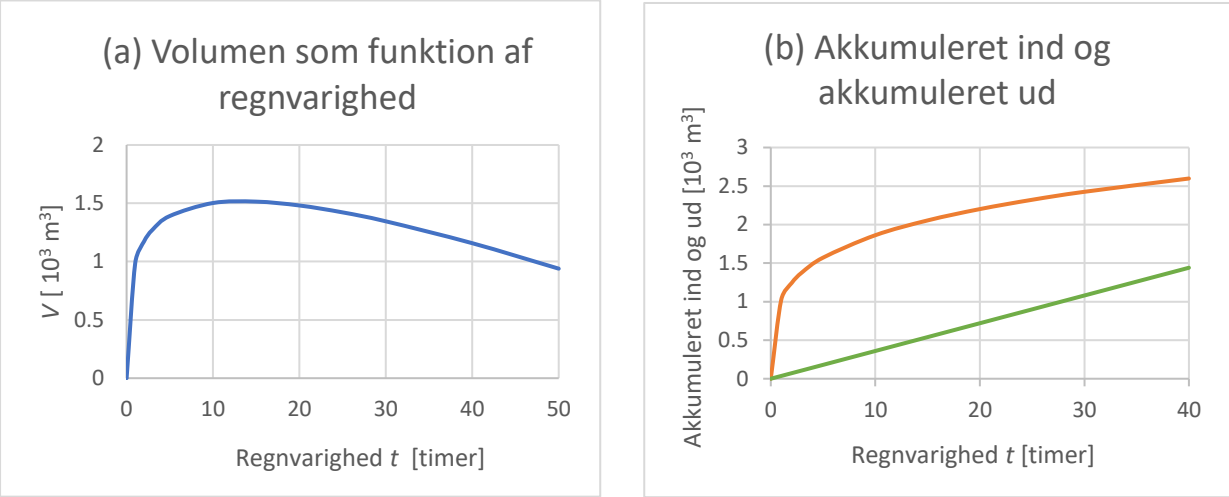
$$i_m(t) = \alpha(t + \theta)^{-\nu} \tag{2}$$

Hvor $\alpha$, $\theta$ og $\nu$ er konstanter, som beregnes af det regionale regnrækkeværktøj via regression. Formelen kaldes også en regnkurve.

Ved kombination af de to ligninger, og med multiplikation med det reducerede areal, kan det nødvendige volumen for en given gentagelsesperiode plottes som funktion af regnvarigheden $t$, (se Figur 1 ). Intensitet og varighed trækker i hver sin retning, hvorfor der fremkommer én kritisk varighed, hvor den nødvendige bassinvolumen er størst, i eksemplet ca. 13 timer.



Confidential




**Figur 1:** *(a) For en gentagelsesperiode på T = 5 år, et opland på 5 ha og med et afløbstal på 0,2 µm/s er det nødvendige bassinvolumen beregnet for Odense ved kombination af ligning (1) og ligning (2). (b) Den største differens mellem akkumuleret indstrømning (orange kurve) og udstrømning (grøn kurve) som funktion af regnvarigheden giver også det kritiske bassinvolumen.*

Den kritiske og dermed dimensionsgivende regnvarighed kan findes ved at sætte det nedenstående udtryk lig med 0:

$$\frac{dV}{dt} = \alpha(t+\theta)^{-(1+\nu)}((1-\nu)t+\theta) - a \tag{3}$$

Når $t$ er bestemt herudfra, findes den korresponderende intensitet og det korresponderende volumen ud fra henholdsvis formel (2) og (1). Formel (3) har kun en analytisk løsning for den kritiske regnvarighed bestemt ved $dV/dt = 0$, når $\theta = 0$. Denne løsning er angivet i Winther et al. (2011). Når $\theta \neq 0$, som det er tilfældet i regnrækkeværktøjets parameterisering af regnrækken, kan den analytiske løsning fra lærebogen ikke anvendes. Derfor er der i regnrækkeværktøjet implementeret en numerisk løsning, hvor det maksimale volumen bestemmes ved iteration.

## 4.2 Volumentillæg

I praksis vil det ofte ske, at bassinet ikke er helt tomt, når den dimensionsgivende hændelse kommer. Jo længere tømmetid des større sandsynlighed for at bassinet vil stå delvist fyldt ved starten af en dimensionsgivende hændelse (dvs. at hændelserne er koblede). For bassiner med små afløbstal er tømmetiden høj, og den forventede initialmagasinering vil også i gennemsnit være høj. For meget lave afløbstal vil initialmagasineringen være uforholdsmæssigt stor, fordi bassinet det meste af tiden står mere eller mindre fyldt.

Det volumen der findes ved brug af regnrækker, vil derfor ofte være for småt, da der ikke er taget hensyn til koblede regnhændelser. For at kompensere for dette er derfor tilføjet et volumentillæg i regnrækkeværktøjet. Volumentillægget er altid 20%, hvilket stammer fra en analyse udført samtidigt med Skrift nr. 28 og dermed indarbejdet i det tilsvarende hjælpeværktøj. Analysen blev udført ved at bestemme det nødvendige volumentillæg ud fra en sammenligning med det daværende program for avanceret beregning af bassindimensionering (SAMBA[1]). For lokaliteter dækket af den regionale

[1] SAMBA var det program, der i mange år blev anvendt til at bestemme aflastninger og overløb fra afløbssystemer under regn i DANMARK. Der blev regnet såvel årlige som maksimale aflastninger fra afløbssystemet. Ved beregning af maksimale aflastninger blev der anvendt et stop-kriterium for beregningerne



Confidential

model blev der kørt beregninger for gentagelsesperioder mellem 1 og 5 år og afløbstal mellem 0,1 og 1,0 µm/s (1-10 l/s/ha). I dette interval blev volumentillægget på grund af koblede regn skønnet til 20% med en usikkerhed på 1-2%.

## 4.3 Volumenkurver til vurdering af volumentillægget

Da bassiner i dag ofte dimensioneres med lavere afløbstal end 0,1 $\mu$m/s, er metoden fra Skrift 28 udvidet til også at omfatte et afløbstal på 0,05 $\mu$m/s for at undersøge, om volumentillægget forbliver konstant med faldende afløbstal.

I Skrift 32 er benyttet en simpel reservoirmodel til bassindimensionering. Her betragtes et fiktivt bassin med uendelig stor kapacitet, og en hændelse er i denne sammenhæng defineret som en ubrudt sekvens af tidsskridt, hvor der er vand i bassinet. Modellen udregner det nødvendige volumen for at undgå aflastning/overløb gennem hele hændelsen; fra regnintensiteten begynder at være kraftigere end afløbstallet, og indtil regnen er holdt op, og bassinet er tømt. Såfremt en ny hændelse begynder inden bassinet er tomt, er det per definition samme hændelse. Denne hændelsesdefinition er i overensstemmelse med den, der blev anvendt i SAMBA, og tager hensyn til koblede hændelser for den pågældende lokalitet. Dog er der i denne bearbejdning kun udregnet nødvendigt bassinvolumen for tre afløbstal: 0,05, 0,1 og 1,0 µm/s. Modellen er kørt for alle de historiske regnserier fra SVK-systemet, der også ligger bag den statistiske model for de regionale regnrækker. For hvert afløbstal rangordnes hændelserne, og de største hændelser indgår i en regional model for bassinvoluminer, helt analogt til den regionale model for de ekstreme regnintensiteter (Madsen, 1998). Dette indebærer, at en volumenkurve 'inklusiv koblet regn' kan beregnes for vilkårlige lokationer og gentagelsesperioder (herefter regnserie-metoden) for den pågældende hændelsesdefinition.

På Figur 2 som svarer til volumenkurven i regnrækkeværktøjet, er resultaterne fra regnserie-metoden vist sammen med resultaterne baseret på regnrækkerne. De tre sorte punkter angiver de volumenestimater, som stammer fra regionaliseringen af bassinvoluminer beregnet ud fra regnserier (reservoirmodel med uendelig stor bassinkapacitet), altså metoden hvor der er taget hensyn til koblede hændelser. Den sort-optrukne kurve er volumenestimatet baseret på 'regnrække-metoden', dvs. uden at koblede hændelser eksplicit er taget i regning, men inkl. det simple volumentillæg på 20%. Det er tanken, at brugeren ved sammenligning af de to metoder kan vurdere, om man regner på et så simpelt tilfælde, at det regionale regnrækkeværktøj kan benyttes til bassindimensioneringen, alene med et fast tillæg på 20%, eller om mere avancerede metoder er nødvendige. Af Figur 2 ses det, at forskellen mellem bassinvolumen udregnet ved 'regnrække-metoden' og 'reservoirmodel med uendelig stor bassinkapacitet' stiger, når afløbstallet falder. Procentangivelsen på kurven angiver afvigelsen fra det faste volumentillæg. For det viste eksempel ses det, at det ved et afløbstal på 0,05 µm/s ikke længere er tilstrækkeligt at anvende en korrektion på 20%, her vil et yderligere tillæg på 17% være nødvendigt.

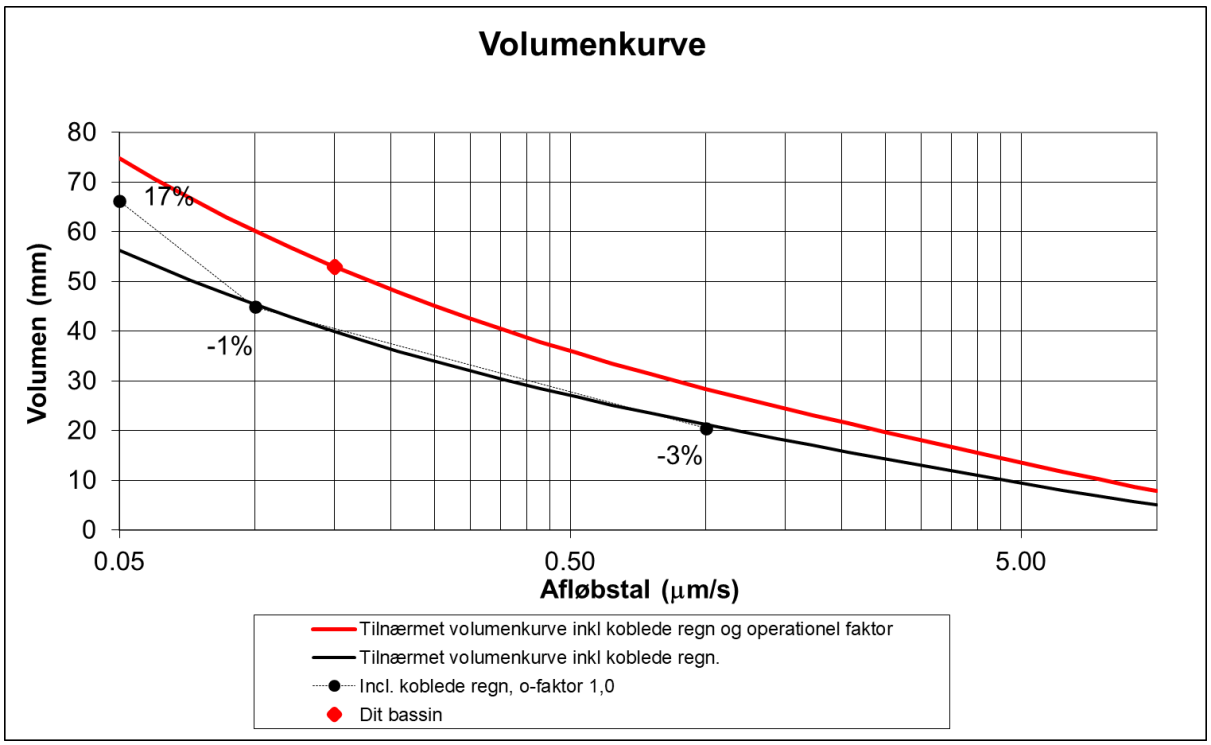
Det faste volumentillæg på 20% er således fortsat verificeret i intervallet mellem 0,1 og 1,0 µm/s, men for lavere afløbstal bør man benytte volumenkurven til at vurdere, hvorvidt 20% volumentillæg er retvisende.

---

svarende til, at når 98% af regnen var ude af modellen antog modellen, at hændelsen var færdig. Hændelsesdefinitionen var således i nogen grad afhængig af hvor store voluminer og afløbstal modellen regnede på.



Confidential




**Figur 2:** *Volumenkurve angivet i SVKs regionale Regnrækkeværktøj. Den sorte linje angiver volumenkurven, som beregnet med metoden beskrevet i afsnit 4.1, uden klima og/eller sikkerhedsfaktor. Kurven indeholder det tillæg på 20%, der lægges på bassinvolumen i regnearket efterfølgende. De tre punkter angiver volumen som beregnet med metoden beskrevet i afsnittet ovenfor, der inkluderer effekten af koblede hændelser. Den røde linje angiver volumenkurven som beregnet med metoden beskrevet i afsnit 4.1, med klima og/eller sikkerhedsfaktor, hvis denne er forskellig fra 1. Eksemplet er lavet for en 5 års hændelse med faktor 1.24.*

Volumenkurven i regnrækkeværktøjet har endvidere en rød kurve. Når regnrækken ikke er ganget med en operationel faktor, vil den røde og den sorte kurve ligge oven i hinanden. Når der anvendes en operationel faktor, viser forskellen mellem de to linjer resultatet af denne korrektion. Idet den operationelle faktor opjusterer volumenkurven udregnet på baggrund af regnrække-metoden, vil den røde linje ligge højere end volumenestimaterne baseret på de historiske regnserier (de sorte prikker). Prikken på den røde linje angiver det bassin, som brugeren af regnrækkeværktøjet er i gang med at dimensionere (defineret ved det afløbstal, som er indtastet i værktøjet).

## 4.4 Operationel faktor

Når bassindimensioneringen baseres på regnrækker, kan den regnrække som ligger til grund herfor ganges med en operationel faktor. Denne funktionalitet er en indbygget del af det regionale regnrækkeværktøj. I Illeris og Paludan (2023) opridses hvordan den operationelle faktor kan bestå af: Sikkerhedsfaktor på afstrømningen, scenariefremskrivning (forventede klimaændringer og byfortætning) og bias-faktor. Da statistikken for regnrækkerne i Skrift 32 er baseret på historiske observationer, repræsenterer denne år 2000. Skrift 32 giver retningslinjer for hvordan statistikken og dermed regnrækken kan opjusteres til nutidens klima (anno 2023, ved publiceringen af nærværende notat). Denne justering er en del af den operationelle faktor. Scenariefremskrivning samt faktor for sikkerhed på afstrømningen kan endvidere indgå ved dimensionering af bassiner, alt efter hvilket formål bassinet har. Det ligger udenfor dette notat at vejlede i valget af faktorer.

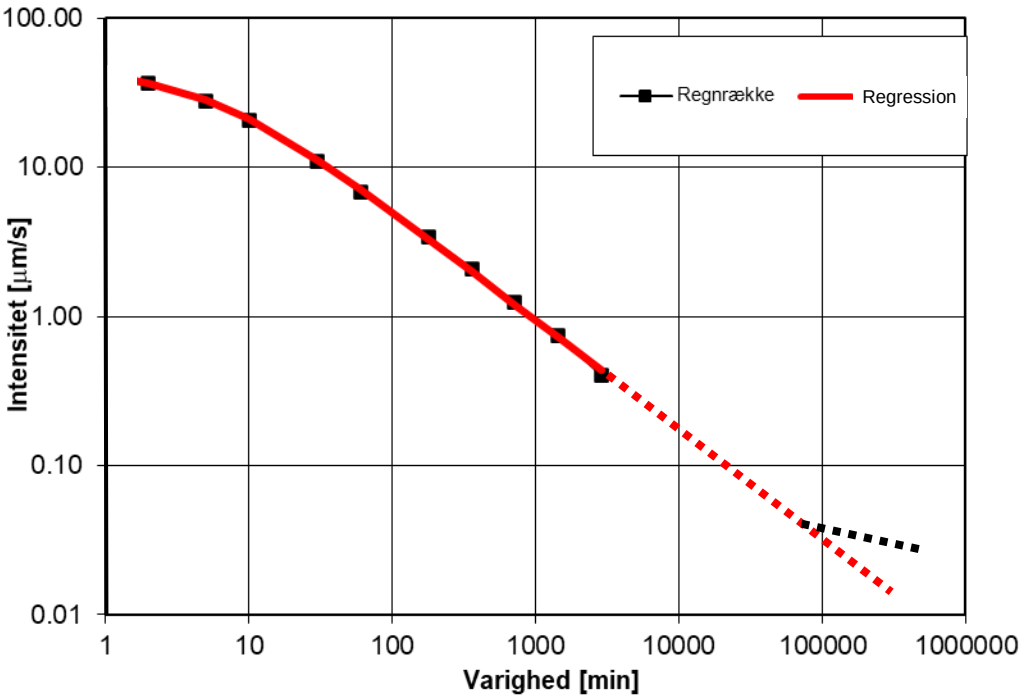


Confidential

# 5 Gyldighedsområdet for regnearkets metoder til dimensionering

## 5.1 Lange tømmetider og små afløbstal

Metoden i regnearket ekstrapolerer automatisk regnrækken, hvis den dimensionsgivende varighed ligger udenfor de varigheder, som regnrækken er beregnet for (se Figur 3). Fysisk er der dog en naturlig grænse for, hvor langt ekstrapolationen i den dobbeltlogaritmiske graf holder.




**Figur 3:** *Regnrækken (sorte firkanter) bliver i SVKs regionale regnrækkeværktøj, via regression, beskrevet af en regnkurve (rød optrukket linje), som kan ekstrapoleres til varigheder der ligger udenfor regnrækken (rød stiplet linje). Denne ekstrapolation holder ikke for meget lange varigheder, idet kurven på et tidspunkt 'knækker' (illustreret ved den sorte stiplede linje). Det vides ikke med sikkerhed hvilken varighed, der definerer overgangen fra den røde stiplede til den sorte stiplede linje.*

Beregninger lavet i forbindelse med Skrift 32 viser, at ekstrapolationen (groft illustreret på Figur 3) er tilfredsstillende op til 7 døgn (godt 10.000 min), men på figuren er regnrækken ekstrapoleret ud til varigheder på næsten et helt år, selv om det er anerkendt, at kurven vil 'knække' et sted efter 7 døgn. Knækket betyder, at for situationer, hvor den dimensionsgivende varighed er meget lang, bliver bassinet højest sandsynligt aldrig helt tomt. Dette sker i særdeleshed, hvis afløbstallet hen over året er begrænset til at fjerne en mængde, der svarer til årsnedbøren. Med andre ord vil meget små afløbstal skabe en sø frem for et bassin, hvilket ikke må anses som et ideelt, hvis bassindimensioneringen skal ske ud fra hensyntagen til overløbshyppighed. I det tilfælde giver det ikke længere mening at lave bassindimensionering med de simple antagelser, som er benyttet i regnearket. Kurven på Figur 2 vises ikke for afløbstal under 0,05 µm/s, da det ikke anbefales at bruge værktøjet til bassindimensionering ved afløbstal under denne værdi.

## 5.2 Hændelsesdefinitionen for overløb

Som nævnt i indledningen skal man, for at kunne dimensionere et bassin der skal overholde et serviceniveau eller en udledningstilladelse, forholde sig til hvilket kriterie, der adskiller overløbshændelser (hændelsesdefinitionen).



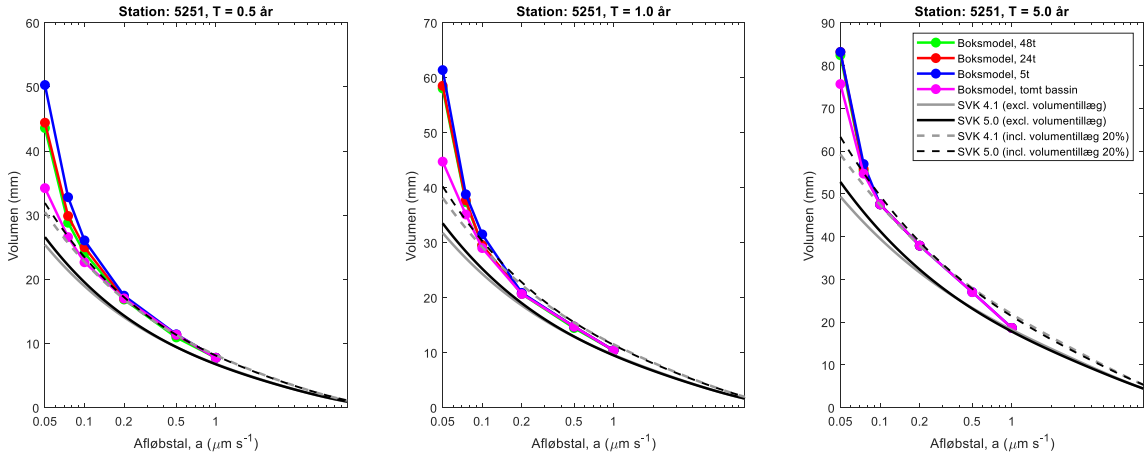
Confidential

Hændelsesdefinition dækker over, hvornår en overløbshændelse fra et bassin starter og stopper, og dermed hvornår to på hinanden følgende overløb regnes for uafhængige eller som en del af den samme overløbshændelse. Ved ansøgning om udledningstilladelse kan der være forskel på, om der stilles specifikke krav til hændelsesdefinitionen eller ej, og i givet fald hvordan definitionen eventuelt er formuleret.

Hændelsesdefinitionen er vigtig, fordi den, særligt ved lave afløbstal, har betydning for, hvor mange overløb, der observeres eller beregnes, og dermed for, hvor stort et bassin skal være for at overholde en given gentagelsesperiode for fyldning og overløb. Når afløbstallet er lavt, og bassinet derfor tømmer langsomt, øges sandsynligheden for, at der kommer en ny regn, der fylder bassinet, før det er tomt, og det fulde volumen er tilgængeligt. To regnhændelser, der meteorologisk set er uafhængige, kan derfor skabe en koblet effekt, hvilket ofte betegnes "koblet regn". Forskellige hændelsesdefinitioner for overløb - f.eks. 5, 24 eller 48 timer - vil give et forskelligt antal overløb for et givent bassin og dermed forskellige behov for bassinvolumener, for at kunne overholde det samme krav til antal overløb fra bassinet.

Ved brug af regnrækkeværktøjet ligger hændelsesdefinitionen for overløb fast og kan ikke ændres af brugeren. Regnrækkemetoden bruger en hændelsesdefinition baseret på nedbøren, og ved analysen af SVK-serier (reservoirmodel med uendelig stor bassinkapacitet) er anvendt en hændelsesdefinition, hvor man antager, at der først er tale om et nyt overløb, når bassinet er helt tomt, selv om der er forekommet flere overløb fra bassinet pga. koblede regn. Det er her undersøgt, hvornår hændelsesdefinitionen for overløb bliver betydende for resultatet. Helt konkret ved sammenligning af resultater fra 'Regnrækkemetoden', reservoirmodel med uendelig stor bassinkapacitet, samt reservoirmed med overløb kombineret med forskellige hændelsesdefinitioner.

For små afløbstal kan bassinet være delvist fyldt i dage- eller ugevis, inden det igen står tomt, og her bliver hændelsesdefinitionen af stor betydning, hvilket kan ses på Figur 4. Her ses, at forskellen på de estimerede bassinvolumener stiger med et faldende afløbstal, og at hændelsesdefinitionen for overløb begynder at være af betydning for afløbstal mindre end ca. 0,1-0,2 µm/s (1-2 l/s/ha). Samme tendens ses i en række beregningseksempler (se afsnit 7 og appendiks), hvilket viser at betydningen af koblede hændelser kan stige markant for afløbstal under 0,2 µm/s.




**Figur 4:** *Volumenkurver for Kolding for tre forskellige gentagelsesperioder, baseret på den lokale regnmåler samt regnrækker fra hhv. Skrift 30 (regneark SVK 4.1) og Skrift 32 (regneark SVK 5.0). Reservoirmodellen er regnet med en hændelsesdefinition for overløb på hhv. 48 timer(grøn), 24 timer (rød) og 5 timer (blå). Reservoirmodellen er ligeledes regnet med uendelig stor bassinvolumen (lyserød).*

På baggrund af resultaterne skitseret i figur 3 og 4 gives der i SVKs regionale Regnrækkeværktøj en advarsel, når tømmetiden overstiger 3 døgn/72 timer, da der i dette tilfælde er behov at overveje, om man skal foretage mere detaljerede analyser af bassinets fyldning og tømning, hvor der tages hensyn



Confidential

til initialfyldningen, for at sikre at bassinet reelt får den funktion, som det var tiltænkt. Dette svarer f.eks. nogenlunde til tømmetiden for et bassin med en gentagelsesperiode på 5 år og et afløbstal på 0,05 µm/s.

# 6 Opmærksomhedspunkter ved sammenligning med andre værktøjer til bassindimensionering

## 6.1 Dimensionering baseret på regnserier

Ofte benyttes SVKs regionale Regnrækkeværktøj til den indledende dimensionering af et bassin. Ved den efterfølgende detailprojektering vælger man typisk at eftervise bassindimensioneringen med andre mere komplekse værktøjer, hvor bassinets kapacitet vurderes ud fra en simulering af fyldning og tømning med en historisk regnserie. Når man ønsker at sammenligne disse resultater med de oprindelige resultater fra SVKs regionale Regnrækkeværktøj, er der nogle opmærksomhedspunkter ift. typiske årsager til afvigelser, som der redegøres for i det følgende. Gør man den fejl, at man ikke tager disse opmærksomhedspunkter med i sin vurdering af resultaterne, kan man komme til at træffe den fejlslutning, at der er fejl i resultaterne.

### 6.1.1 Bestemmelse af gentagelsesperioden vha. plotte-funktioner

Regnes der med en regnserie, vil man, uanset værktøj, kunne lave en sorteret liste over hvilke hændelser, der fører til overløb og deres aflastede volumener. Når man ud fra disse resultater skal finde gentagelsesperioden for overløb fra et bassin, kan denne beregnes ved at tælle, hvor mange gange der er overløb over en given periode. Det er flere formler til at beregne gentagelsesperioden for overløb, hvor to hyppigt anvendt i Danmark er givet nedenfor. For begge gælder, at *n* er antallet af observationsår i den anvendte regnserie, og *i* er rangen for overløb sorteret efter volumen. Ved udnyttelse af, at gentagelsesperioden *T* er den reciprokke af overskridelsessandsynligheden, bliver formlerne

California: $T = \frac{n}{i}$

Median: $T = \frac{n+0,4}{i-0,3}$

California-plotning baserer sig på den kumulative frekvens i den foreliggende serie og har derfor ikke et egentligt statistisk fundament. Median-plotning baserer sig på en antagelse om, at den foreliggende serie er én stokastisk realisation ud af vilkårligt mange. Observationen af rangen *i* antages at være medianen i fordelingen af den i'te "order statistic", som ved transformation til sandsynlighedsaksen bliver overført til medianen af sandsynligheder. Dermed opnås et skøn på gentagelsesperioden, som er uafhængigt af observationernes fordeling, hvilket er en fordel, da man normalt ikke kender denne. Median-plotning vil give de mest retvisende gentagelsesperioder, især for sjældne hændelser, så hvor det er vigtigt at bestemme disse, bør den anvendes frem for California-plotning. Median-plotning medfører at gentagelsesperioden for hver hændelse skønnes højere end ved California-plotning.

Tabel 2 giver et eksempel på anvendelsen af de to formler. For de største hændelser divergerer de to formler, hvilket netop indikerer, at for disse gentagelsesperioder bliver usikkerheden stor, idet gentagelsesperioden nærmer sig den samlede observationsperiode. Denne usikkerhed påvirker også beslutningen om det dimensionsgivende volumen. I det tilfælde, at aflastning er accepteret i gennemsnit én gang hver 5. år, er hændelsen med rang otte dimensionsgivende ud fra California-plotning, mens Median-plotning peger på en dimensionsgivende hændelse mellem rang 8 og rang 9. I eksemplet er det dog af mindre betydning, da forskellen på de to volumenestimater er under 10%, men i nogle tilfælde kan forskellen være betydelig og reflektere en usikkerhed på estimatet, som beregneren må håndtere. Samtidig viser det også, at hvor man med SVKs regionale Regnrækkeværktøj



Confidential

finder det nødvendige bassinvolumen til en specifik gentagelsesperiode, så kan det, når man dimensionerer ved brug af regnserier, være nødvendigt at interpolere imellem to hændelser, hvilket er mest udtalt ved de høje gentagelsesperioder.

**Tabel 2:** *Eksempel på tildeling af gentagelsesperiode til beregnede overløbsmængder med de to plotteformler*

| Observationsperiode 40 år | | | |
|---|---|---|---|
| volumen [m³] | rang | $T_{median}$ [år] | $T_{calif}$ [år] |
| 663 | 1 | 57.7 | 40.0 |
| 580 | 2 | 23.8 | 20.0 |
| 577 | 3 | 15.0 | 13.3 |
| 576 | 4 | 10.9 | 10.0 |
| 547 | 5 | 8.6 | 8.0 |
| 506 | 6 | 7.1 | 6.7 |
| 498 | 7 | 6.0 | 5.7 |
| 464 | 8 | 5.2 | 5.0 |
| 431 | 9 | 4.6 | 4.4 |
| 408 | 10 | 4.2 | 4.0 |
| 396 | 11 | 3.8 | 3.6 |
| 390 | 12 | 3.5 | 3.3 |
| 386 | 13 | 3.2 | 3.1 |
| 378 | 14 | 2.9 | 2.9 |
| 376 | 15 | 2.7 | 2.7 |

### 6.1.2 Regnseriens statistik ift. den regionale regnrække

Benyttes en regnserie til basindimensioneringen skal man være opmærksom på, at regnseriens statistik godt kan afvige fra den statistik, der ligger i den regionale regnmodel, selv om man vælger koordinaterne for regnmåleren. Får man således større afvigelser mellem beregninger foretaget med SVKs regionale Regnrækkeværktøj og med et værktøj, der dimensionerer på baggrund af regnserier, så kan det skyldes, at regnserien indeholder ekstremer, der gør at den er uegnet til formålet.

På nuværende tidspunkt er der mulighed for at evaluere regnseriens maksimale intensiteter ift. den regionale regnmodel ved hjælp af SVKs regnserieværktøj, der kan udregne forholdet mellem de maksimale intensiteter i hhv. regnserien og regnrækken som f-værdier (Sørup, 2023). f-værdier omkring 1,0 viser, at de maksimale intensiteter i hhv. regnrækken og ens regnserie er ens. Men særligt ved lange tømmetider kan der alligevel være udfordringer, da undersøgelser viser, at f-værdierne ved lange tømmetider ikke altid er en retvisende indikator for, om regnserien er repræsentativ ift. bassindimensionering. Har man således en regnserie med to ekstreme hændelser med blot en enkelt dags mellemrum, så vil disse to hændelser potentielt føre til ét stort overløb i dimensioneringen med den givne regnserie, men dette vil være jævnet ud i den regionale model, da det er usædvanligt med to ekstreme hændelser indenfor så kort tid, hvorfor man vil få et markant mindre volumen med SVKs regionale Regnrækkeværktøj.

I forbindelse med anvendelsen af SVKs regnserieværktøj til evalueringen af regnserier må det fremhæves, at værktøjet refererer til statistikken fra den regionale model i Skrift 32, og dermed middelklimaet over den historiske periode 1979-2019. Herudfra kan der udregnes f-værdier, efter



Confidential

samme praksis som tidligere. Der hersker stadig stor usikkerhed om, hvordan man laver den bedste udvælgelse og korrektion af en regnserie.

## 6.2 Konstant afløbstal vs. dynamisk afløbstal

Som tidligere nævnt antages tømningen af bassinet at ske med et konstant afløbstal. Ofte vil tømningen i virkeligheden ske ved gravitation, hvor vandspejlsniveauet i bassinet har indflydelse på vandføringen i udløbet. Ved dimensionering med regnrækkeværktøjet bør man derfor overveje, hvad det repræsentative afløbstal for bassinet er under tømning og eventuelt bruge dette ved dimensioneringen, i stedet for blot det maksimale afløbstal. Afløbsdefinitionen kan være af stor betydning jf. en sammenligning af dimensionsgivende volumener ved henholdsvis fast afløbstal og et lineært reservoir, hvor afløbet er proportionalt med volumenindholdet (Rosbjerg, 2021).

Bruges det maksimale afløbstal til dimensioneringen af bassinet, vil man således have undervurderet magasineringsbehovet, og man bør overveje behovet for at kompensere for dette. Skulle man senere lave en detailprojektering med mere avancerede modelleringsværktøjer, kan forskellen i modelleringen af udløbet fra bassinet være med til, at der konstateres et behov for større bassinvolumener end først antaget.

## 6.3 Inklusion af ledningsvolumen

Benyttes en fuld hydrodynamisk model til bassindimensioneringen, vil ledningssystemet være inkluderet i modellen. Afhængigt af terrænets hældning og ledningernes dimensioner, så kan der være et betydeligt magasineringsvolumen til rådighed i de opstrøms ledninger til bassinet. Dette volumen skal naturligvis inkluderes i opgørelsen over det nødvendige bassinvolumen, når der sammenlignes resultater fra en hydrodynamisk model med resultaterne fra det regionale regnrækkeværktøj. Undlades dette vil man konstatere, at behovet for bassinvolumen er mindre end beregnet med det regionale regnrækkeværktøj.

## 6.4 Usikkerhed i bassindimensionering

Som de ovenstående afsnit viser, så er der en del opmærksomhedspunkter ved brugen af SVKs regionale Regnrækkeværktøj, som betyder, at man bør forholde sig kritisk til de resultaterne, man får. Ovenstående afsnit er ikke en udtømmende liste over usikkerheder, og overordnet er det vigtigt at fremhæve, at der naturligvis er en usikkerhed forbundet med de resultater, man får, når man laver en bassindimensionering, uanset om dimensioneringen er baseret på simple eller komplekse modeller. Usikkerheden ved bassindimensionering håndteres ikke i dette notat, men vil man arbejde mere struktureret med dette henvises f.eks. til Spildevandskomiteens rapport om usikkerhedsvurdering i afløbsdimensionering (Illeris og Paludan, 2023).

# 7 Beregningseksempler

Betydningen af hændelsesdefinitionen på det endelige bassinvolumen afhænger både af afløbstallet og hvilken gentagelsesperiode, bassinet skal dimensioneres til. Dette er illustreret med beregninger for 14 forskellige regnserier (med 30-40 års observationsperiode og fordelt over Danmark), tre forskellige gentagelsesperioder (0,5, 1 og 5 år), seks forskellige afløbstal (0,05, 0,075, 0,1, 0,2, 0,5 og 1 µm/s) og fire forskellige hændelsesdefinitioner (5, 24 og 48 timer, samt til tomt bassin; hvor hændelser først adskilles, når voluminet i bassinet i løbet af beregningen har nået 0). Endvidere sammenlignes alle estimerede bassinvoluminer med estimater fra både den regionale model i Skrift

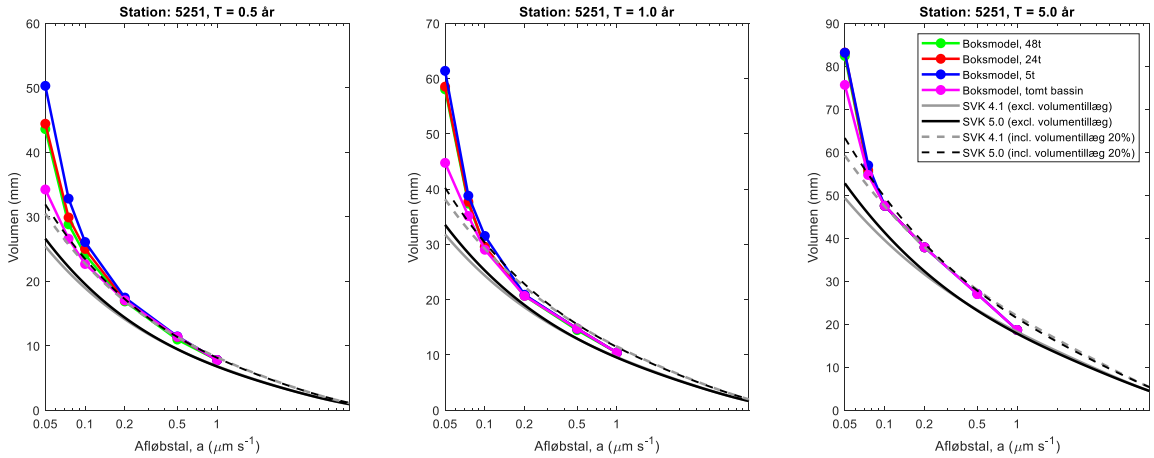


Confidential

30 (SVK Regnrækkeværktøj 4.1) og i Skrift 32 (Regnrækkeværktøj 5.0). Konklusionerne kan ikke direkte overføres til beregning med regnserier, hvor observationsperioden er kortere. Alle resultaterne er samlet i Appendiks: Bassindimensionering med reservoirmodel og SVKs regionale Regnrækkeværktøj 4.1 og 5.0 beta, der findes sidst i notatet.

Figur 5 viser volumenkurver for SVK-stationen 5251 ved Kolding, samt regionale volumenkurver for den samme lokation. Det ses at:

1) For denne lokation ligger volumenkurven baseret på regnrækken i Skrift 30 (grå) marginalt under volumenkurven baseret på regnrækken fra Skrift 32 (sort). Dette forhold er ikke entydigt ens for hele Danmark (se Appendiks), men forskellen mellem de to kurver er altid forsvindende lille i forhold til den generelle usikkerhed på estimaterne. Derfor er denne forskel generelt ikke interessant at betragte.
2) For de tre gentagelsesperioder er volumenestimatet uafhængigt af hændelsesdefinitionen, når afløbstallet er over ca. 0,2 µm/s.
3) For de tre gentagelsesperioder er det rimeligt at anvende en korrektionsfaktor på 1,2, når afløbstallet er mellem 0,2 og 1 µm/s. Denne konklusion gælder for Danmark som helhed i det viste interval (se Tabel 3 ).
4) For *T* = 1 år og *T* = 5 år, får hændelsesdefinitionen betydning, når afløbstallet er under 0,1 µm/s. Forskellen stiger, når afløbstallet falder. Et uafhængighedskriterie på 5 timer giver det største bassinvolumen. For et afløbstal på 0,05 µm/s giver hændelsesdefinitionen op til 40% forskel.
5) For *T* = 0,5 år begynder hændelsesdefinitionen at få betydning, allerede når afløbstallet er under 0,2 µm/s. Forskellen stiger, når afløbstallet falder. Et uafhængighedskriterie på 5 timer giver det største bassinvolumen. For et afløbstal på 0,05 µm/s giver hændelsesdefinitionen her op til 50% forskel.




**Figur 5:** *Volumenkurver for Kolding for tre forskellige gentagelsesperioder, baseret på den lokale regnmåler samt regnrækker fra hhv. Skrift 30 (regneark SVK 4.1) og Skrift 32 (regneark SVK 5.0). Reservoirmodellen er regnet med en hændelsesdefinition for overløb på hhv. 48 timer(grøn), 24 timer (rød) og 5 timer (blå). Reservoirmodellen er ligeledes regnet med uendelig stor bassinvolumen (lyserød). Figuren er identisk med Figur 4.*

Tabel 3 viser de gennemsnitlige korrektionsfaktorer fra beregningerne givet i Appendiks, udregnet udfra afløbstal mellem 0,1 og 1 µm/s og for to forskellige hændelsesdefinitioner for overløb. Fra



Confidential

tabellen ses, at korrektionsfaktoren er forholdsvis konstant på tværs både af gentagelsesperioden og de to hændelsesdefinitioner for overløb. Dette tyder endnu en gang på, at et tillæg på 20 % for koblede hændelser generelt er en repræsentativ værdi for afløbstal mellem 0,1 og 1 µm/s, dog viser resultaterne i Appendiks også, at der kan være lokale forskelle, hvorfor man bør se, hvor man ligger på volumenkurven, for at vurdere volumentillægget i den konkrete situation.

**Tabel 3:** *Gennemsnitlig korrektionsfaktor for de 14 regnserier for afløbstal under 0,1 µm/s samt for to forskellige hændelsesdefinitioner. Korrektionsfaktorens spredning ses i Appendiks.*

| | Gennemsnitlig korrektionsfaktor, afløbstal mellem 1 og 0,1 µm/s (24 timer) | Gennemsnitlig korrektionsfaktor, afløbstal mellem 1 og 0,1 µm/s (Tomt bassin) |
|---|---|---|
| T = 0,5 år | 1,19 | 1,18 |
| T = 1 år | 1,19 | 1,18 |
| T = 5 år | 1,20 | 1,18 |

Samlingen af eksempler i Appendiks viser variation mellem de forskelle regnserier, som ikke alene kan tilskrives regional variabilitet. Det ligger uden for rammerne af dette notat at behandle, hvordan forskellen mellem regnserier og den regionale model håndteres, samt hvordan regnserier til basindimensionering kan vælges.

# 8 Referencer


Madsen, H. (1998). Ekstremregn i Danmark. Statistisk bearbejdning af nedbørsdata fra Spildevandskomiteens Regnmålersystem 1979-96. Baggrundsrapport til skrift 26. DTU. Institut for Miljøvidenskab.

Illeris, T. og Paludan, B. (2023). Vejledning i håndtering af usikkerheder ved beregning af regnafstrømning i byer. Arbejdsgruppens sammenfatning og anbefaling. Rapport fra Spildevandskomiteen, Ingeniørforeningen i Danmark – IDA.

Rosbjerg, D. (2021). Bassindimensionering med regnrækker, *EVA-Bladet* **34**(1), 20-27.

Spildevandskomiteen (1953). Bestemmelse af regnrækker, Skrift nr. 6, Spildevandskomiteen, Ingeniørforeningen i Danmark – IDA.

Spildevandskomiteen (1999). Regional variation af ekstremregn i Danmark, Skrift nr. 26, Spildevandskomiteen, Ingeniørforeningen i Danmark – IDA.

Spildevandskomiteen (2006). Regional variation af ekstremregn i Danmark – ny bearbejdning 1979-2005, Skrift nr. 28, Spildevandskomiteen, Ingeniørforeningen i Danmark – IDA.

Spildevandskomiteen (2014). Opdaterede klimafaktorer og dimensionsgivende regnintensiteter, Skrift nr. 30, Spildevandskomiteen, Ingeniørforeningen i Danmark – IDA.

Spildevandskomiteen (2023). Regional variation af ekstremregn i Danmark – ny bearbejdning 1979-2019, Skrift nr. 32, Spildevandskomiteen, Ingeniørforeningen i Danmark – IDA.

Sørup, H. J. D. (2023). Brugervejledning og teknisk dokumentation til ”Spildevandskomiteens Regnserieværktøj” – version 1.0”, DTU Sustain, Danmarks Tekniske Universitet

Winther, L., Linde, J. J., Jensen, H. T., Mathiasen, L. L. Johansen, N. B. (2011). Afløbsteknik. 6. Udgave. Polyteknisk forlag.




Confidential

# Appendiks: Bassindimensionering med reservoirmodel og SVKs regionale Regnrækkeværktøj 4.1 og 5.0 beta

Bassinvoluminerne i SVKs regionale Regnrækkeværktøj er baseret på en antagelse om at bassinet skal være tømt for en ny hændelse begynder. Med opstilling af en reservoirmodel (her i Appendiks benyttes termen 'boksmodel') er følgende alternative definitioner undersøgt:

- 5 t, dvs. mindst 5 timer mellem overløbshændelser
- 24 t, dvs. mindst 24 timer mellem overløbshændelser
- 48 t, dvs. mindst 48 timer mellem overløbshændelser

I reservoirmodellen, ved overstående definitioner, itereres bassinvoluminet, indtil det giver overløb på hhv. T = 0,5, 1 og 5 år.

Der er endvidere opstillet en reservoirmodel med et uendeligt stort bassin, hvor hændelser adskilles når volumenet er 0. Resultaterne herfra noteres som 'tomt bassin'.

SVK 4.1 og 5.0 bruger parametre fra den regionale model (uden tillæg for koblede hændelser).

Der regnes ikke med initialtab.

Beregningerne er gennemført med historiske regnserier.

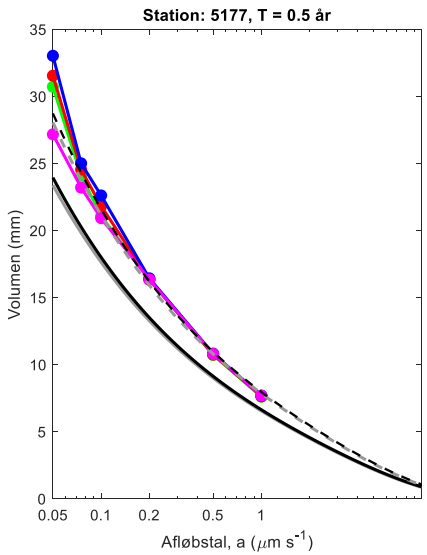
Rangen er bestemt med California plotting metoden.

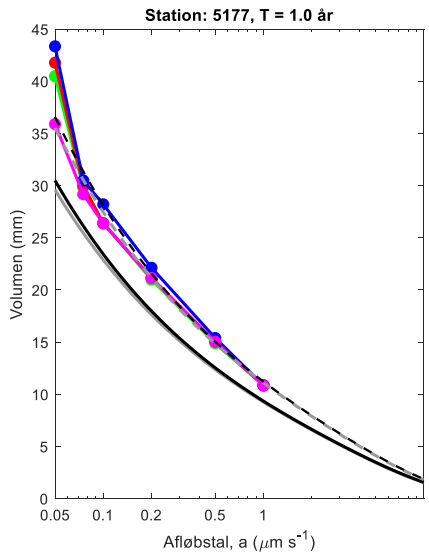
| Stationsnavn | Stationsnr. | Serielængde (år) | Dimensions-givende rang T = 0,5 år | Dimensions-givende rang T = 1,0 år | Dimensions-givende rang T = 5 år |
|---|---|---|---|---|---|
| Viby | 5177 | 40.9 | 82 | 41 | 9 |
| Odense | 5419 | 36.9 | 74 | 37 | 8 |
| Mosede | 5810 | 40.9 | 82 | 41 | 9 |
| Vedbæk | 5625 | 40.9 | 82 | 41 | 9 |
| Ishøj | 5805 | 27.1 | 55 | 28 | 6 |
| Esbjerg | 5340 | 40.9 | 82 | 41 | 9 |
| Kolding | 5251 | 40.9 | 82 | 41 | 9 |
| Silkeborg | 5192 | 41.0 | 82 | 41 | 9 |
| Sulsted | 5047 | 40.9 | 82 | 41 | 9 |
| Nykøbing F | 5980 | 40.9 | 82 | 41 | 9 |
| Holbæk | 5540 | 40.9 | 82 | 41 | 9 |
| Søborg | 5694 | 40.9 | 82 | 41 | 9 |
| Helsingør | 5570 | 40.9 | 82 | 41 | 9 |
| Rønne | 5990 | 30.1 | 61 | 31 | 7 |

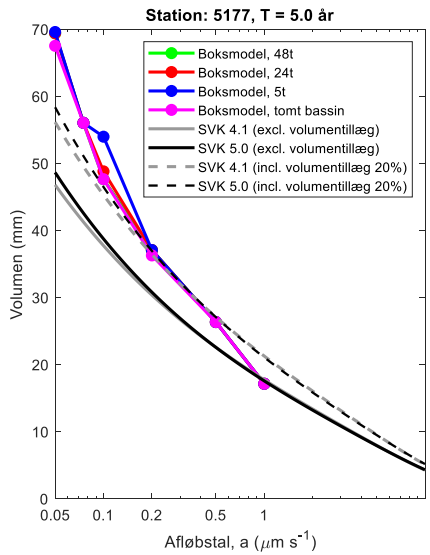


Confidential

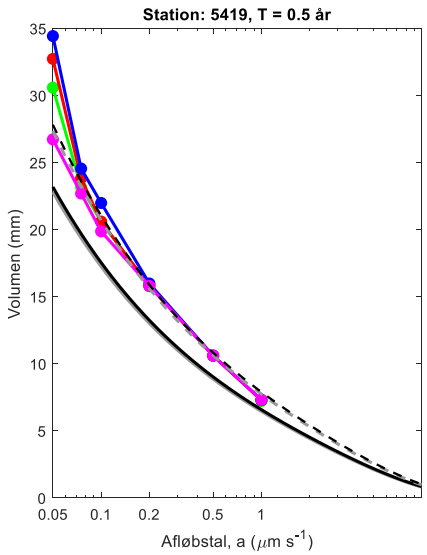
**Viby**

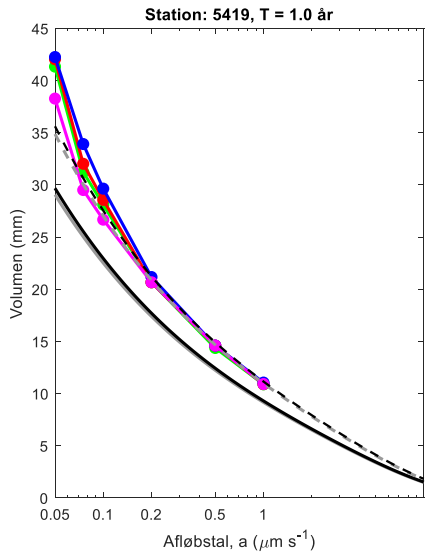


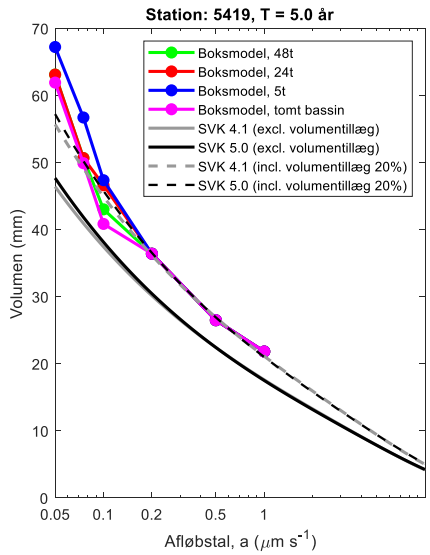




**Odense**



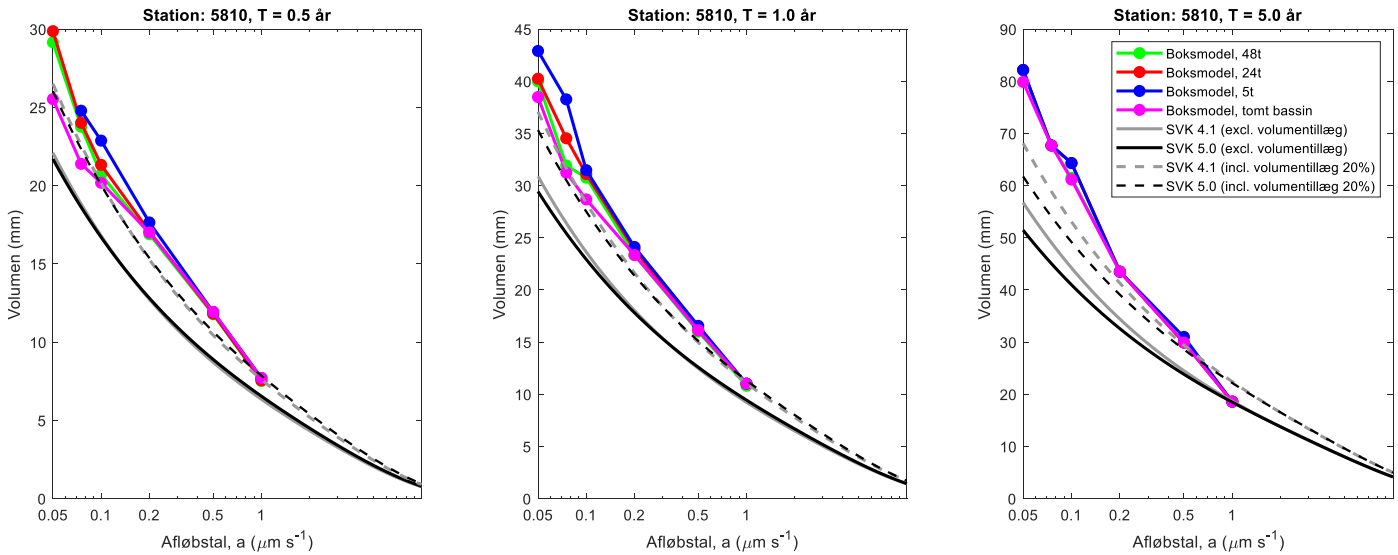



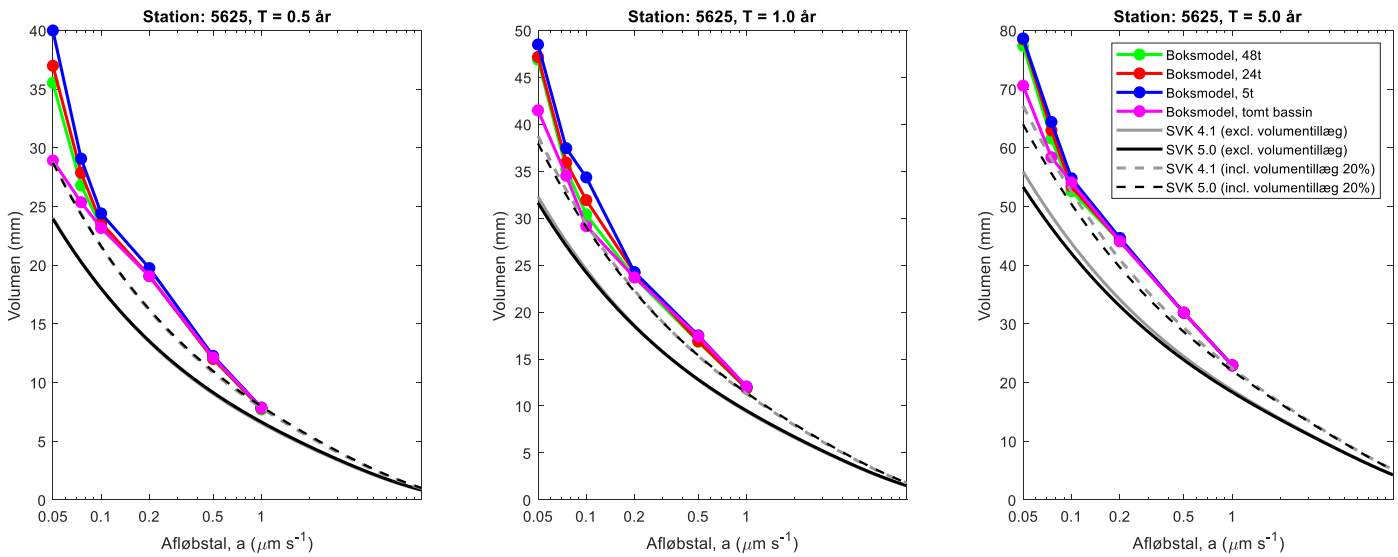



Confidential

## Mosede



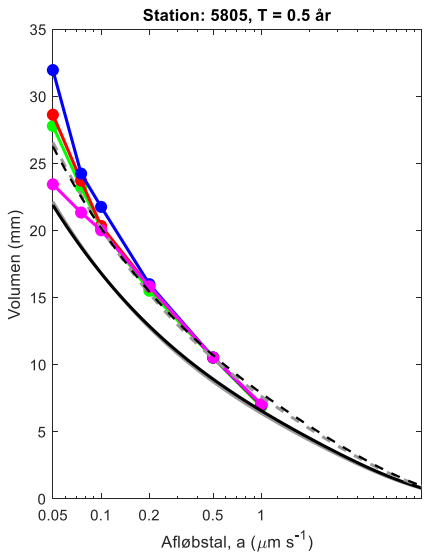

## Vedbæk

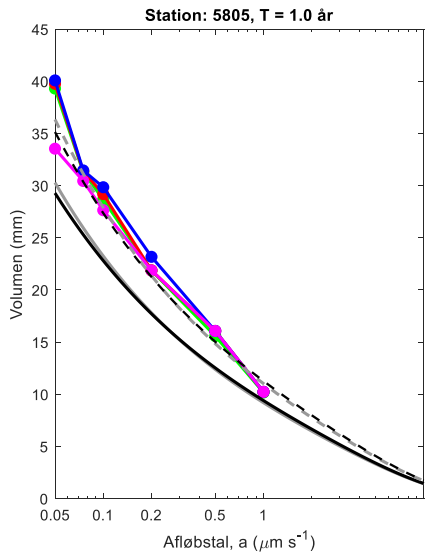


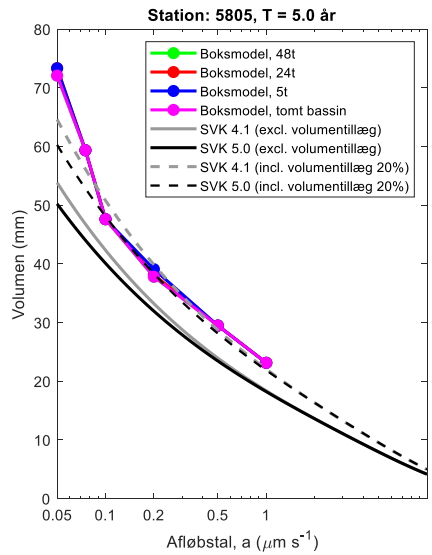



Confidential

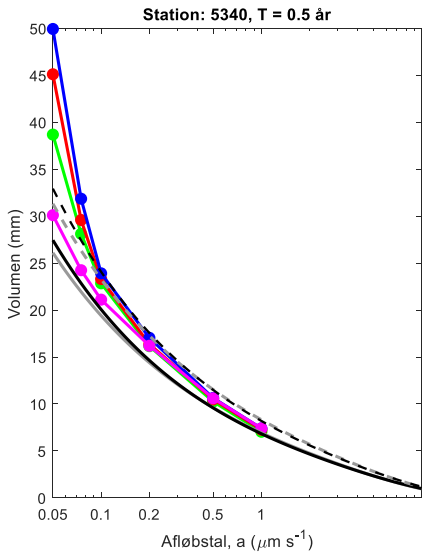
**Ishøj**

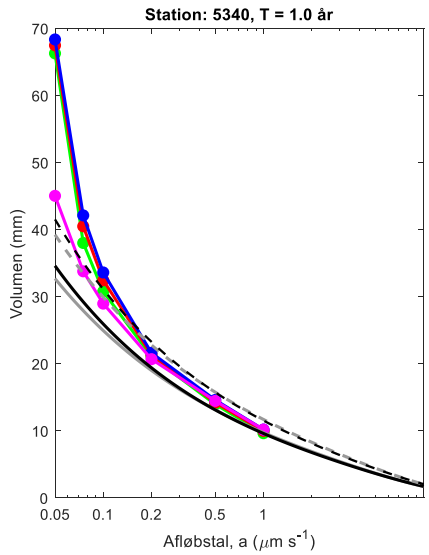


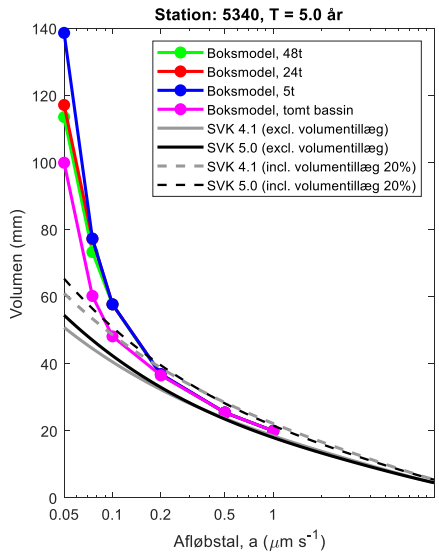




**Esbjerg**



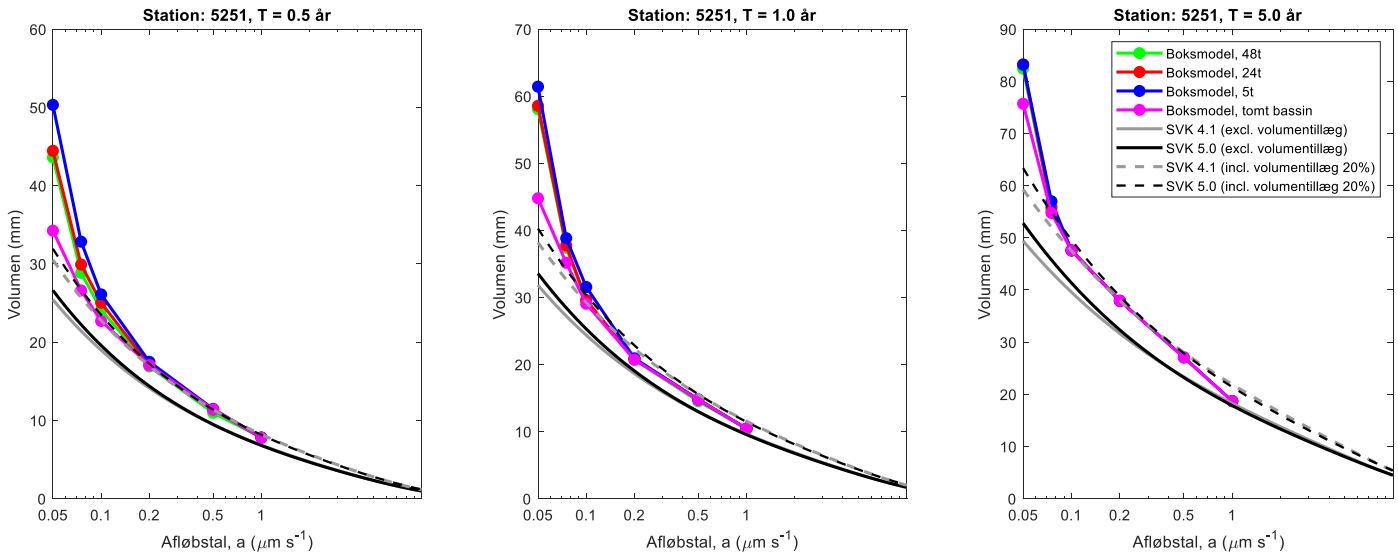



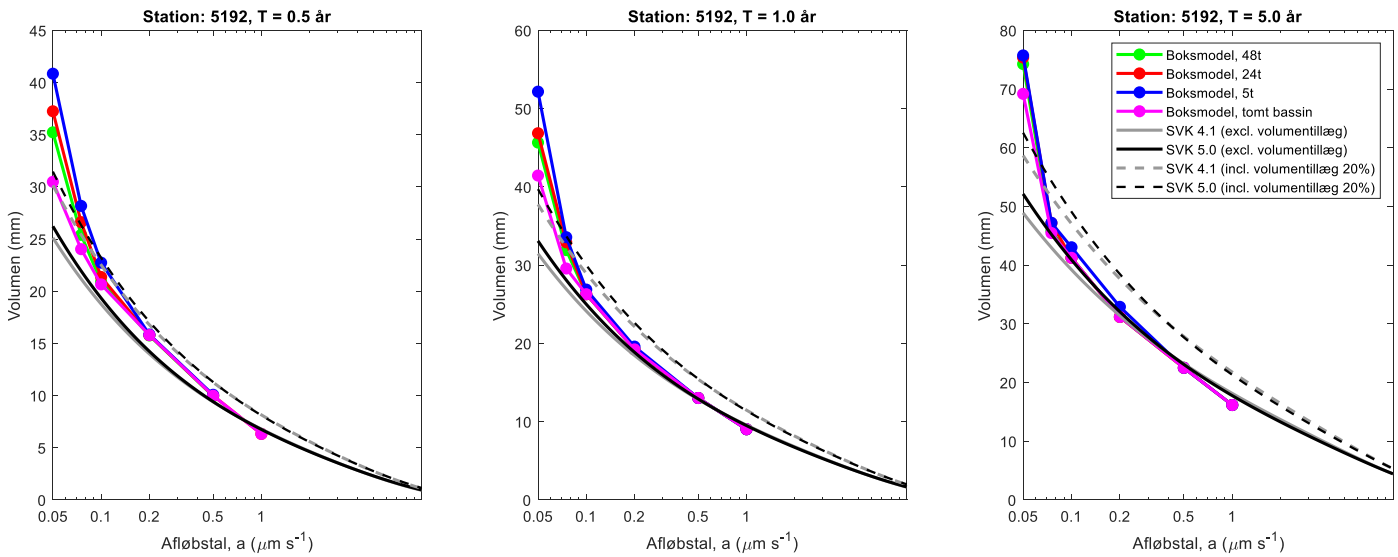



Confidential

## Kolding



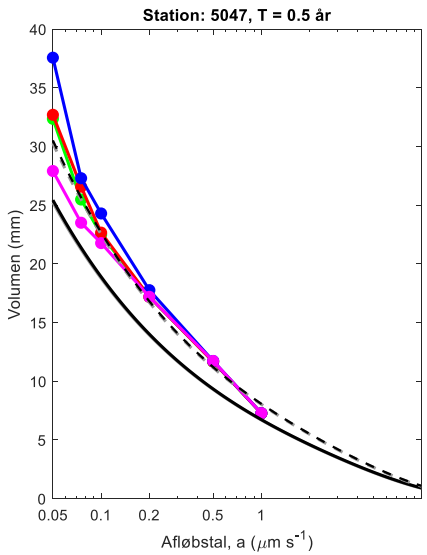

## Silkeborg

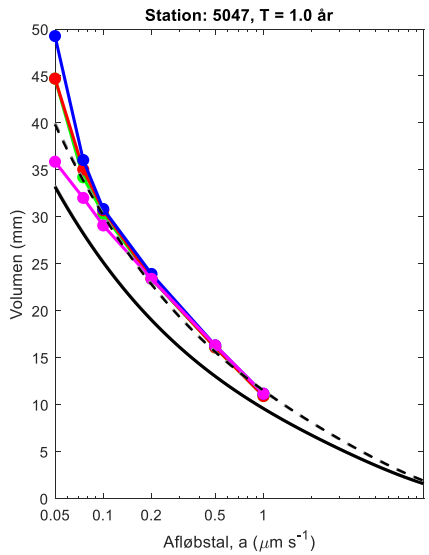


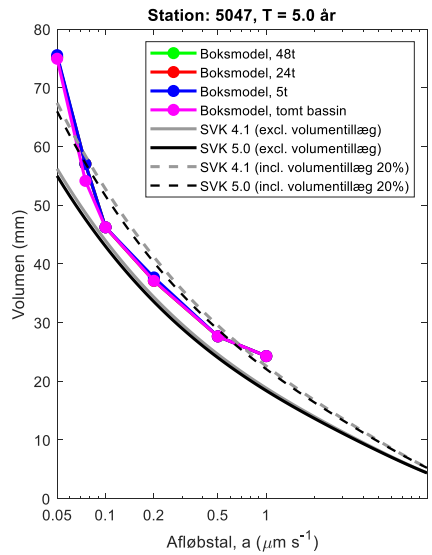



Confidential

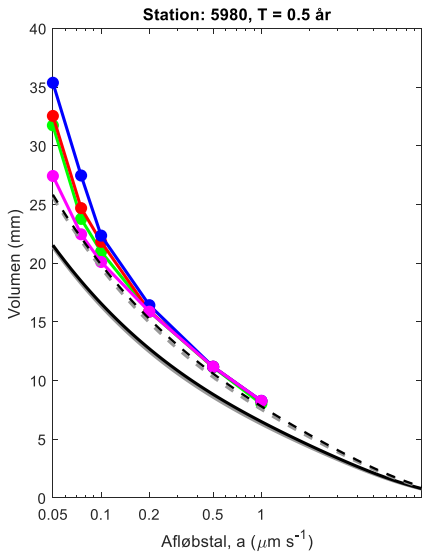
## Sulsted

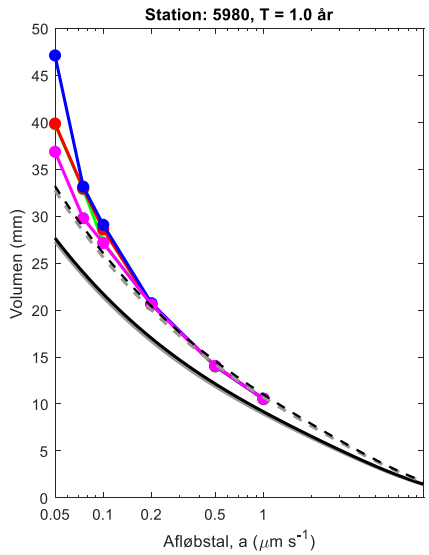


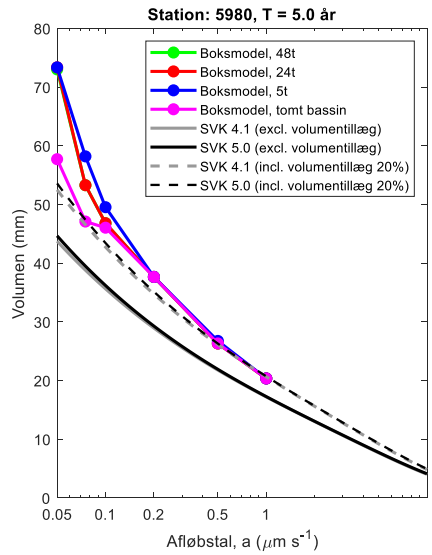




## Nykøbing F



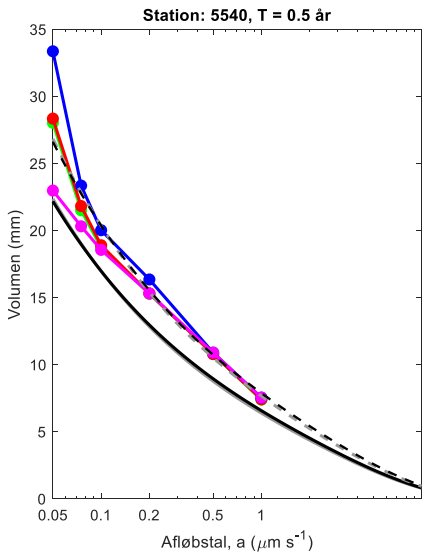



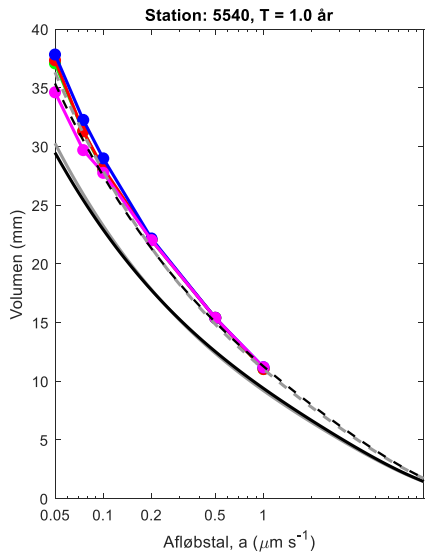



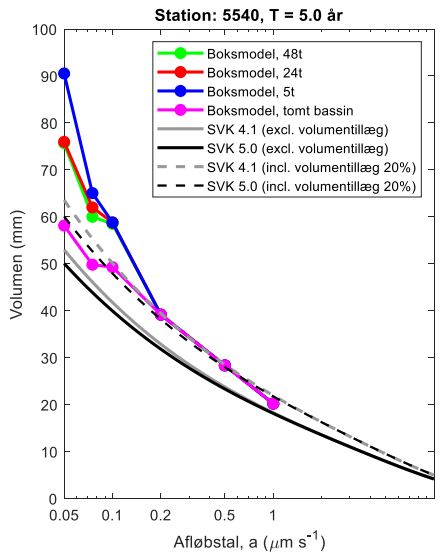



Confidential

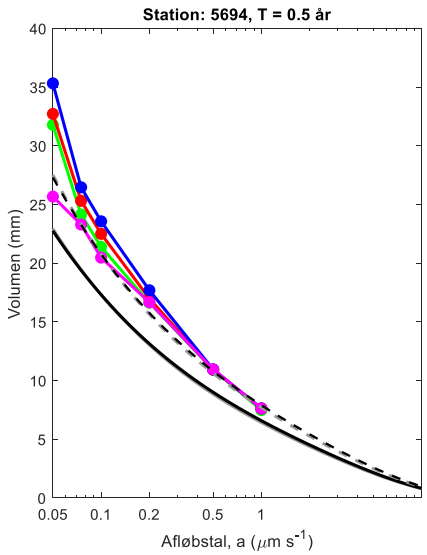
## Holbæk

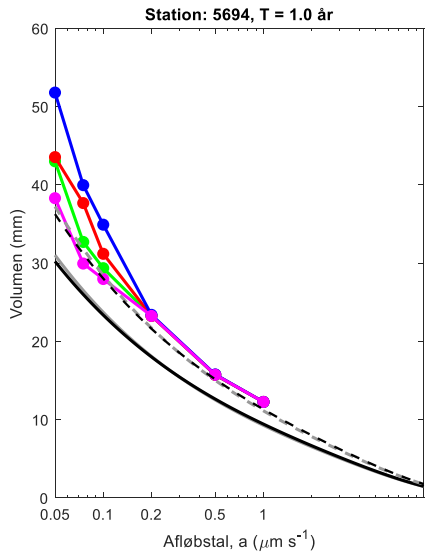


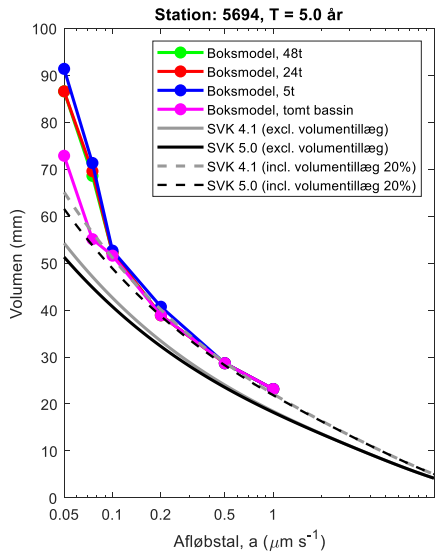




## Søborg



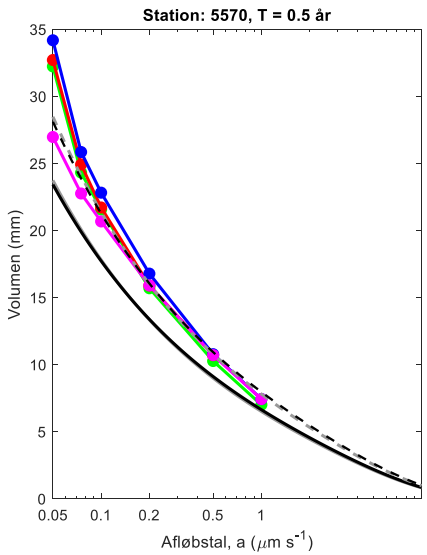



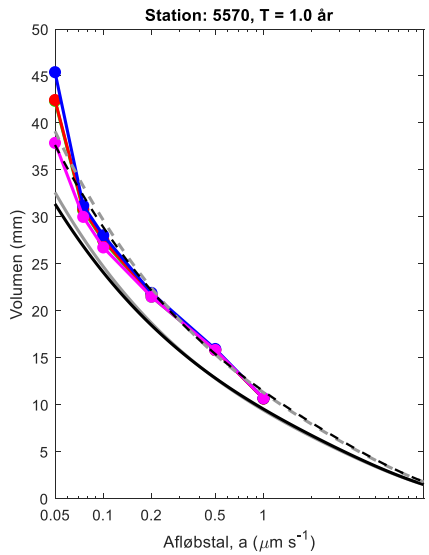



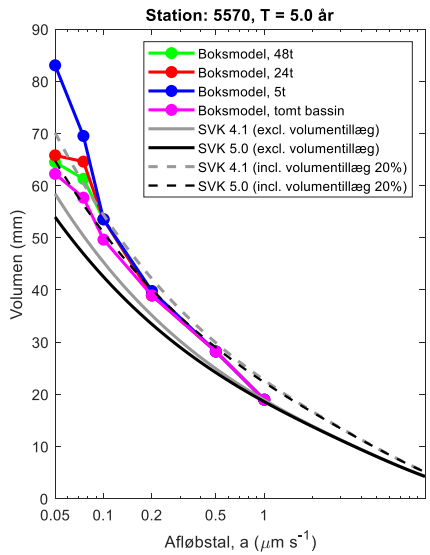



Confidential

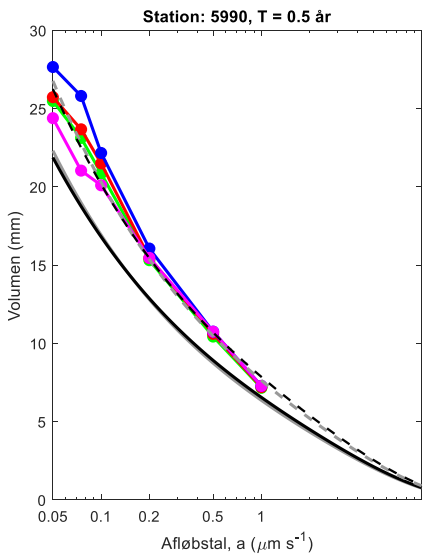
## Helsingør

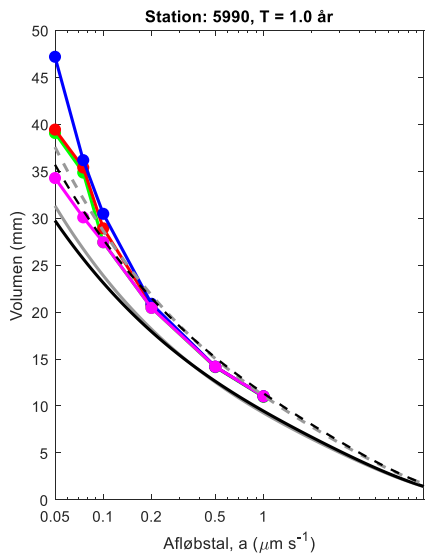


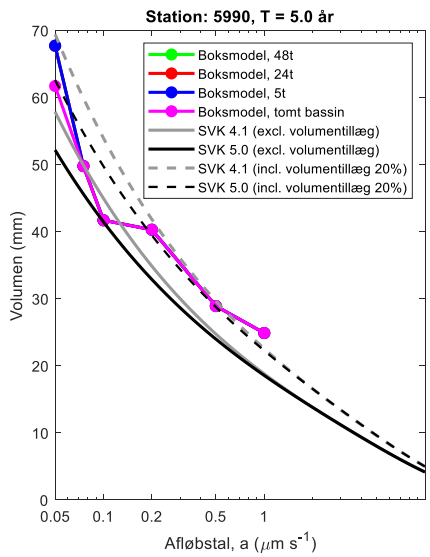




## Rønne



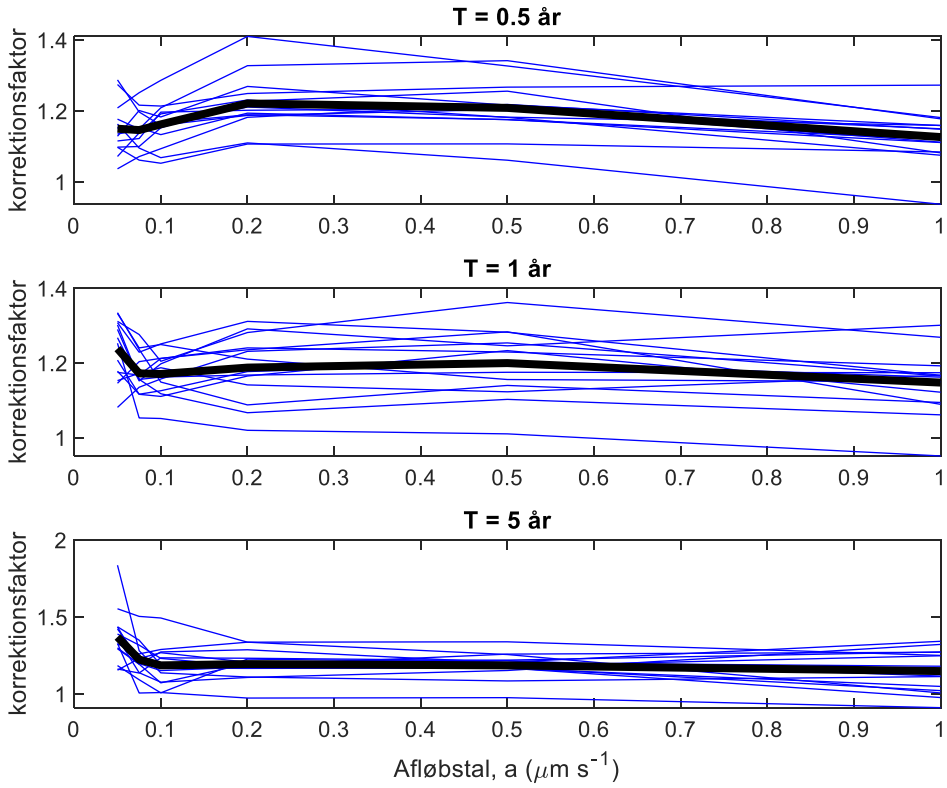






Confidential

Nedenfor ses beregnede korrektionsfaktorer mellem reservoirmodellen, der regner til på **tomt bassin** (som i SVK-regnearkene), og SVK 5.0. Blå kurver svarer til hver station, og den fede sorte kurve er gennemsnittet.



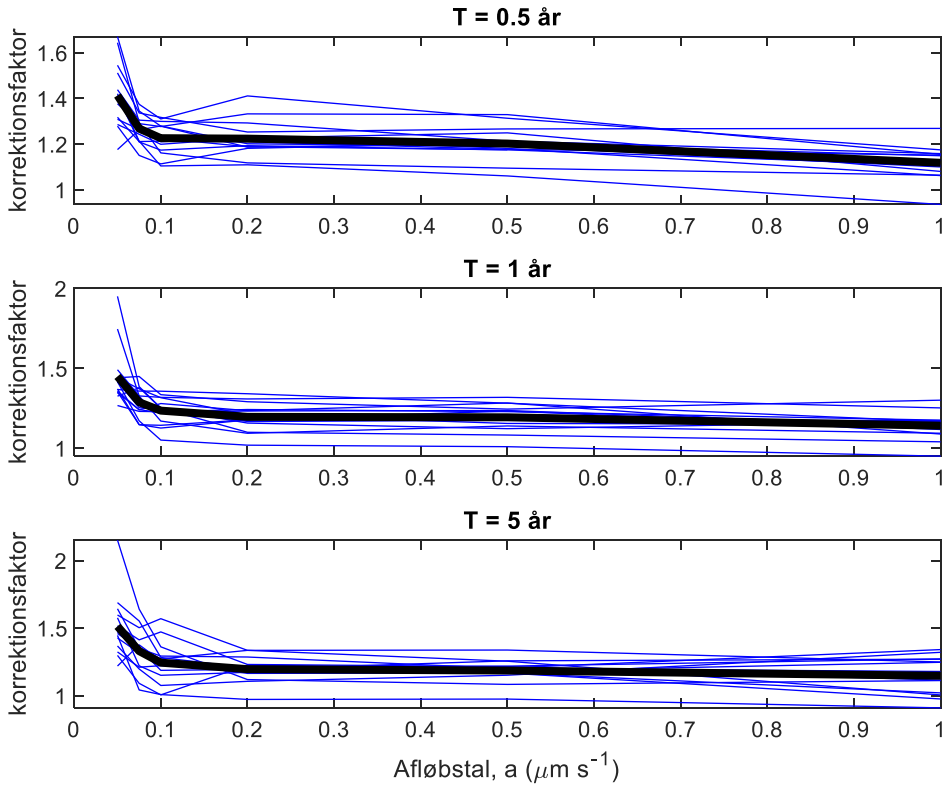

| | Gennemsnitlig korrektionsfaktor, alle afløbstal (Tomt bassin / SVK 5.0) | Gennemsnitlig korrektionsfaktor, afløbstal > 0.1 µm/s (Tomt bassin / SVK 5.0) |
|---|---|---|
| *T* = 0.5 år | 1.17 | 1.18 |
| *T* = 1 år | 1.19 | 1.18 |
| *T* = 5 år | 1.22 | 1.18 |

Ovenstående faktorer tyder på at et tillæg på 20 % for koblede hændelser er en repræsentativ værdi.



Confidential

Nedenfor ses beregnede korrektionsfaktorer mellem reservoirmodellen der regner med mindst **24 timer** mellem hændelser og SVK 5.0




| | Gennemsnitlig korrektionsfaktor, alle afløbstal (24 t / SVK 5.0) | Gennemsnitlig korrektionsfaktor, afløbstal > 0.1 µm/s (24 t / SVK 5.0) |
|---|---|---|
| *T* = 0,5 år | 1,24 | 1,19 |
| *T* = 1 år | 1,25 | 1,19 |
| *T* = 5 år | 1,27 | 1,20 |

Resultaterne ovenfor indikerer validitet af korrektionsfaktor på 20 % for afløbstal over 0.1 µm/s. Generelt har hændelsesdefinitionen med 24 timer mellem hændelser større afvigelser fra regnrækkerne for små afløbstal, end når der regnes til tomt bassin. Derfor er hændelsesdefinitionen vigtig!



Confidential