

Forsyningssekretariatet

PULS-indberetning af overløb Udarbejdelse af grundlag for standardiseret indberetning af overløb

d. 24. juni 2020

Udarbejdet til:
Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen
Forsyningssekretariatet
Carl Jacobsens Vej 35
2500 Valby

Udarbejdet af:
Kristoffer Tønder Nielsen, EnviDan A/S
Ørjan Heggdal, EnviDan A/S
Michael Robdrup Rasmussen, Aalborg Universitet
E-mail: kri@envidan.dk
Direkte tlf.: 42 12 54 80
Projekt navn: Udarbejdelse af grundlag for standardiseret indberetning af overløb
Projektnr.: 1191728-01
Kvalitetssikring: Mads Uggerby, EnviDan A/S
Side 1 af 60

Indholdsfortegnelse

1.	Baggrund	5
1.1	Formål	5
1.2	Sammenfatning	6
1.3	Besvarelse af uddrag fra udbudsmaterialet	7
2.	Kategorisering af overløbsbygværker	12
2.1	Usikkerhed baseret på niveau	13
2.1.1	Lavere usikkerhed ved national aggregering af overløbsmængder	16
2.2	Inddeling af overløbsbygværker baseret på overløbsmængder	17
2.3	Kategoriseringsmatrice	18
2.4	Minimering af usikkerhed	18
2.4.1	Den nuværende usikkerhed	19
2.5	Omkostningseffektiv fordeling af overløbsbygværker på vidensniveau	19
2.5.1	Ressourceforbrug ved anvendelse af niveauerne	19
2.5.2	Omkostningseffektiv fordeling bygværker	20
2.5.3	Meromkostning	24
2.5.4	Den økonomiske meromkostning for forbrugeren	26
2.6	Niveaudispensation	26
3.	Metodebeskrivelse af niveauer for vandselskabets vidensniveau	29
3.1	Standardværdier og usikkerhed for generelle inputparametre	29
3.1.1	Regn-input	29
3.1.2	Initialtab	29
3.1.3	Bestemmelse af befæstelsesgrad	30
3.1.4	Hydrologisk reduktionsfaktor	30
3.1.5	Afstrømning fra ubefæstede områder	31
3.1.6	Grundvandsindsivning og bidrag fra omfangs- og markdræn	31
3.1.7	Spildevandsbelastning i fællessystemer	32
3.1.8	Beregning af opspædningsgrad af spildevand i overløbsvand	32
3.2	Niveau 1: Simple massebalanceberegning	34
3.2.1	Metodens hidtidige anvendelse	34
3.2.2	Forbedringspotentiale til nedbringelse af usikkerhed	35
3.2.3	Beregningseksempel ved brug af reservoir model	35
3.3	Niveau 2: Den ukalibrerede 1D hydrodynamiske model	37
3.4	Niveau 3: Den kalibrerede 1D-hydrodynamiske model	38
3.5	Niveau 4: Overløbsestimering baseret på softwaresensorer	38
3.6	Niveau 5: Måling af overløbsmængder	39

3.7	Separate regnvandsudløb	40
4.	Eksisterende data om stofkoncentrationer	41
4.1	Gennemgang af NOVANA-data	41
4.2	Usikkerhed ved anvendelse af typetal	45
4.2.1	Stedlige variationer i stofkoncentrationer	45
4.2.2	Tidslige variationer i stofkoncentrationer i overløbsvand	46
4.2.3	Usikkerhed ved anvendelse af typetal for stofkoncentrationer	46
5.	Casestudier	49
5.1	Casestudie 1: Kategorisering af overløbsbygværker på baggrund af PULS-data.....	49
5.1.1	Analyse af normalårsdata registreret i PULS	49
5.1.2	Fordelingsnøgle til vidensniveauer	50
5.2	Casestudie 2: Vurdering af udgifter baseret på modelniveau.....	52
6.	Referenceliste.....	59

Bilagsfortegnelse

Bilag 1	Notat (udkast): Definition på vandselskabernes leverance af forsyningssikkerhed
Bilag 2	Uncertainty analysis of model-based calculations of wet-weather discharges from point sources
Bilag 3	Datateknisk anvisning for regnbetingede udløb
Bilag 4	Omkostningsanalyse baseret på erfaringstal fra rundspørge hos forsyninger

1. Baggrund

I november 2018 blev der indgået en stemmeaftale om ”Justeret økonomisk regulering af vandsektoren”. Det fremgår bl.a. af aftalen, at:

”Partierne er enige om, at forsyningsikkerhed og forbrugertilfredshed fremover skal integreres i den økonomiske regulering. Forsyningssekretariatet får derfor mulighed for at stille målbare og objektive krav til forsyningsikkerhed samt til forbrugertilfredshed i den økonomiske regulering på længere sigt. Selskaberne skal således belønnes eller sanktioneres afhængig af om de overholder de opstillede mål. Dermed sikres det, at selskaberne både leverer høj service og kvalitet, samtidig med at de imødekommer de løbende effektiviseringskrav, som sikrer forbrugerne lavere priser.”

For at kunne levere på denne del af aftalen, er der behov for bedre og mere sikre data om overløbsmængder.

Miljø- og Fødevarerministeriet (MFVM) har i samarbejde med Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet (KEFM) samt Konkurrence og Forbrugerstyrelsen i Erhvervsministeriet (EM) udviklet den foreløbige definition af vandselskabernes leverance af forsyningsikkerhed, som fremgår af det vedlagte bilag 1. I definitionen indgår stofmængder i regnbetingede udledninger, og derved også i overløb.

Med afsæt i stemmeaftalen og den foreløbige definition har EnviDan og Aalborg Universitet påtaget sig opgaven ”Udarbejdelse af grundlag for standardiseret indberetning af overløb”. Opgaven skal give et grundlag for valg af beregningsmetode og standardværdier til brug for kommunernes indberetning af overløb af spildevand, og søger i sin helhed at nedbringe den samlede usikkerhed på de indberettede vand- og stofmængder, der udledes til recipienter via overløb.

1.1 Formål

Opgavens grundlæggende mål er at skabe grundlaget for at nedbringe usikkerheden på opgørelsen af udledte stofmængder til et niveau under 50 %. Usikkerheden skal nedbringes til dette niveau ved at anvende modellerings- og/eller måleteknikker med en lavere usikkerhed. Dette gøres igennem følgende elementer:

1. Reduktion af usikkerheden gennem omkostningseffektiv forbedring af modelleringen- og/eller målingen af udledte mængder for det enkelte overløb. Udvikling af metode til valg af det nødvendige vidensniveau, herunder modelkompleksitet, på baggrund af en kategorisering af overløbsbygværker baseret på normalårsindberetninger til PULS.
2. Beskrivelse af de enkelte beregningsniveauer, herunder anbefalinger til optimal brug af de hydrauliske modeller, parameterbestemmelse, kalibrering mv.
3. Opdatering af standardværdier for stofkoncentrationer gennem analyse af eksisterende måledata om stofkoncentrationer. Nuværende standardværdier findes i ”Datateknisk anvisning for regnbetingede udløb” vedlagt i bilag 3, som senest er opdateret d. 4. februar 2020.

Arbejdspakkerne udfoldes i henholdsvis kapitel 2, 3, og 4. Kapitlerne indgår tilsammen i en opdatering af det nuværende notat for indberetning af overløbsdata til PULS: ”Datateknisk anvisning for regnbetingede udløb”. Kapitel 2 udgør den egentlige opgaveløsning og analyse af, hvordan usikkerheden kan

EnviDan

nedbringes til maksimalt 50 %. Kapitlet indeholder referencer til de øvrige kapitler i rapporten, hvor metoder og modeller beskrives mere dybdegående. For den ikke tekniske læser fremhæver kapitel 2 rapportens vigtige resultater.

1.2 Sammenfatning

I dag anvendes typisk to forskellige beregningsmetoder til beregning af overløbsmængder fra de danske overløbsbygværker. Beregningsmetoderne beskrives i den datatekniske anvisning vedlagt i bilag 3 som niveau 1 og 3 (ændres til henholdsvis niveau 1 og 2 i nærværende rapport) og baseres på henholdsvis en simpel massebalance betragtning og dynamisk modellering af overløb ofte udført ved hjælp af programmet Mike Urban.

Da de i dag anvendte beregningsniveauer ikke altid er i stand til, med høj nøjagtighed, at beregne de resulterende overløbsvoluminer, anbefales det i denne rapport, at der indføres yderligere tre niveauer til beregning og estimering af overløbsmængder. Disse benævnes i rapporten som niveau 3, 4 og 5. Med de nye niveauer sker der en større inddragelse af målinger, som enten anvendes til kalibrering og validering af modeller, eller til direkte bestemmelse af overløbsmængderne. Desuden indgår der også en større anvendelse af komplekse modelleringsteknikker i disse niveauer. På baggrund af en relativt simpel analyse af de usikkerheder, der indgår i hvert niveau, beregnes en usikkerhed på estimering af overløbsmængder (kombineret usikkerhed ved beregning af overløbsvolumen og stof) for niveau 1, 2, 3, 4 og 5 på henholdsvis 135, 100, 55, 45 og 30 %.

Usikkerheden falder generelt i takt med øget vidensniveau og det anbefales i denne sammenhæng, at de bygværker, som i normalåret står for de største årsudledte overløbsmængder, skal indgå i højere vidensniveauer end bygværker der kun udleder relativt små overløbsmængder. I nærværende rapport indgår ikke en vurdering af den modtagende recipients følsomhed over for overløb, men det kunne være hensigtsmæssigt, i fremtiden, at anvende højere vidensniveauer til at bestemme overløbsmængderne til følsomme recipienter.

I nærværende rapport angribes opgaven om reduktion af usikkerhed ved at betragte den samlede vægtede usikkerhed på bestemmelse af overløbsvolumen i Danmark. Det vil sige, at usikkerhederne på de enkelte bygværker lægges sammen i et vægtet gennemsnit på baggrund af det enkelte bygværks udledte vandvolumen sammenlignet med det totale udledte vandvolumen fra alle bygværker. Dette resulterer i, at det bedst kan betale sig at flytte de bygværker, der udleder de største overløbsmængder, til højere og mere omkostningstunge vidensniveauer (niveau 3, 4 og 5). Mange bygværker udleder så små voluminer, at det ikke kan betale sig at bruge avancerede metoder til beregningen.

Gennemføres fordelingen på baggrund af ovenstående metode, hvor det fortsat tillades, at enkelte bygværker (med mindre udledning) kan anvende vidensniveauer med højere usikkerhed end 50 %, mens de bygværker, der udleder mest, anvender metoder med lavere usikkerhed, kan der opnås en reduktion i den vægtede usikkerhed til 50 % ved en årlig totalomkostning til bestemmelse af overløbsmængder på 37 til 70 mio. kr. pr. år. vurderet som en gennemsnitsbetragtning over en 10-årig periode. Dette svarer til en meromkostning for forsyningerne på 20 til 37 mio. kr. pr. år, hvis det arbejde de allerede i dag udfører i forbindelse med bestemmelse af overløbsmængder fratrækkes. Det vurderes endeligt at svare til en takststigning på mellem 0,05 og 0,13 kr. pr. m³ solgt vand, hvis det måtte blive besluttet, at forsyningernes omkostninger skal finansieres over taksterne.

Er der et ønske om, at overløbsmængderne fra alle overløbsbygværker i Danmark enkeltvist skal bestemmes med en usikkerhed under 50 % vil dette resultere i en årlig totalomkostning på op mod 270 mio. kr. pr. år. Sidstnævnte vurderes generelt ikke at være omkostningseffektivt, fordi det forventes at ville resultere i investeringer i mange overløb, som ingen praktisk betydning har i forhold til samlede udledning af overløbsvand og stof til recipienter. Det skal dog bemærkes, at mindre overløbsmængder fra nogle bygværker kan have lokal betydning for særligt følsomme recipienter, hvilket dog

ikke vurderes at have et omfang, så den generelle konklusion påvirkes. Dette behandles ikke yderligere i nærværende rapport.

1.3 Besvarelse af uddrag fra udbudsmaterialet

I det følgende brydes den udbudte opgave op i delelementer, hvortil der hæftes separate korte besvarelser, som tager afsæt i rapporten. Dette gøres for at sikre, at opgaven i sin helhed er løst og at rationalet bag de forskellige løsninger står klart. I det følgende er uddrag fra udbudsmaterialet angivet med kursiv og i citationstegn.

Den udbudte opgave defineres med følgende formål:

”Forsyningssekretariatet i Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen skal i samarbejde med Miljøstyrelsen have udført en opgave, hvor der udarbejdes et grundlag for valg af beregningsmetode og standardværdier til brug for kommunernes indberetning af overløb af spildevand.”

I rapporten anbefales det, at beregningsmetoden til estimering af overløbsmængder fra det enkelte bygværk vælges på baggrund af hvor store overløbsmængder, der i normalåret forventes udledt fra det konkrete bygværk. Desto større overløbsmængder fra et overløb, desto mere præcis metode til bestemmelse af overløbsmængderne. I rapporten analyseres eksisterende rapporter om stofkoncentrationer, og på baggrund af de tilgængelige data, findes der ikke grundlag for at opdatere de nuværende enhedstal i *Datateknisk anvisning for regnbetingede udløb* vedlagt i bilag 3. Med enkelte undtagelser anbefales der i rapporten ikke konkrete standardværdier som input til hydrauliske modeller. I stedet anbefales metoder til faglig, saglig fastlæggelse af disse værdier. Årsagen til dette er, at der som regel ikke findes nationale standardværdier, der kan sættes ind i lokale modeller for afløbssystemet. Den geografiske variation i hydrologien og andre forhold med betydning for overløbsmængderne betyder, at nationale standardværdier frem for lokalt fastsatte parametre til modellering, kalibrering og/eller måling ikke bidrager til reduktion af usikkerheden.

”Kommunerne skal allerede i dag i henhold til dataansvarsaftalen indberette oplysninger om regnbetingede udløb i PULS-databasen. En undersøgelse fra DTU (se bilag 2) har vist, at der i dag er op til 200 pct. usikkerhed på data for vandmængder og indholdet af næringsstoffer i overløb af spildevand. Usikkerheden skyldes primært, at kommunerne og deres forsyningsselskaber anvender forskellige beregningsmetoder og standardværdier, når de indberetter data. Der findes i dag standardværdier til simple, men usikre beregningsmetoder. Der er behov for, at standardværdier opdateres og suppleres med standardværdier og anbefalinger til de mere avancerede og mere sikre beregningsmetoder. Derved forventes usikkerheden på beregninger af de udledte mængder på enkeltudløbsniveau at kunne nedbringes til under 50 pct.”

I rapporten introduceres nye metoder/niveauer til bestemmelse af overløbsmængder (ift. eksisterende datatekniske anvisning), som reducerer usikkerheden på overløbsmængder i forskellige grader. Sammenlignet med i dag (se bilag 3), indbefatter disse avancerede metoder kalibrering af 1D-hydrodynamiske modeller (f.eks. Mike Urban), bestemmelse af overløb med softwaresensorer, samt måling af flow i overløbsbygværket.

Nedbringelse af usikkerheden til under 50% for hvert enkelt overløb medfører væsentlige tiltag på en stor del af de overløb, der er registeret i Danmark. Nærværende analyse viser, at det ikke er den mest omkostningseffektive måde at nedbringe den samlede usikkerhed på overløbsmængder fra landets overløb til under 50%. I stedet bør usikkerheden reduceres til under 50 % på de overløbsbygværker

der udleder store overløbsmængder, mens der tillades en større beregningsusikkerhed på de overløbsbygværker de kun udleder meget små overløbsmængder. På denne måde skal der i stedet sigtes efter en samlet vægtet beregningsusikkerhed, som skal reduceres til 50 %.

Med udgangspunkt i estimerede omkostninger for de enkelte niveauer med tilhørende usikkerhedsniveau for bestemmelse af overløbsmængder, er den mest omkostningseffektive niveaufordeling af overløbene bestemt således, at den samlede usikkerhed på landet overløbsmængder netop er under 50%. De estimerede totale årlige omkostninger til denne reduktion set over 10 år vurderes til at ligge i størrelsesordenen 37 til 70 mio. kr., svarende til ca. 7 til 14 tkr. pr. overløbsbygværk i gennemsnit. Heraf vil forsyningernes merinvestering sammenlignet med i dag være i omegnen af 20 til 37 mio. kr. pr. år. Til sammenligning estimeres det, at en reduktion af usikkerheden til under 50 % for samtlige bygværker i Danmark vil beløbe sig til i en totalomkostning i størrelsesordenen af 270 mio. kr. pr. år, ligeledes set over 10 år.

"Usikkerhedsniveauet forventes at blive endnu mindre, når alle udledninger i oplandet til de enkelte forsyningsselskaber summeres, jf. også DTU-rapporten (se bilag 2):

"Usikkerhedsniveauet forventes dog at blive nedsat på grund af aggregeringen over flere afladningspunkter og over tid".

Rapporten er enig i at usikkerheden kan forventes at være lavere, hvis der ses på usikkerheden af det totale overløbsvolumen fra samtlige bygværker i landet. I denne rapport vurderes den samlede usikkerhed på baggrund af et vægtet gennemsnit af usikkerheder baseret på overløbsmængden fra de enkelte bygværker. Derfor kan den resulterende usikkerhed potentielt være lavere, end den der fremhæves i rapporten.

"Hvis man ønsker en yderligere reduktion i usikkerhedsniveauet, skal der foretages måling af stofindhold og flow på de enkelte overløb. Disse løsninger er meget omkostningstunge, og sensorteknologien er endnu ikke pålidelig til måling i overløbsvand. Ved denne opgørelsesmetode vurderes usikkerheden p.t. at kunne nedbringes til 30-35 pct."

På baggrund af den gennemførte omkostningseffektivitetsanalyse i nærværende rapport, kan det godt betale sig at opsætte omkostningstunge sensorer, hvis blot overløbsbygværket årligt udleder tilstrækkeligt høje overløbsmængder. Rapporten er enig i, at sensorteknologien i dag ikke er pålidelig i forhold til online måling af stofkoncentrationer i overløbsvand, men det vurderes at usikkerheden på stof kan reduceres betydeligt med lokale målekamper, hvor den lokale forsyning opstiller prøvetagningsapparater og analyserer prøverne på egne laboratorier i begrænsede perioder. På denne baggrund anses det for realistisk at opnå en usikkerhed på 30 % for enkelte bygværker med relativt intensive måleprogrammer.

"Det vurderes at usikkerheden på opgørelsen på forsyningsoplandsniveau vil komme ned på et niveau, hvor det vil være muligt evt. at afgiftsbelægge overløbsvand og medtage parameteren i den økonomiske benchmarking, men dette vil skulle afdækkes nærmere."

Denne rapport forholder sig ikke til eventuelle afgiftsstrukturer, men rapporten anskuer usikkerhed på et nationalt plan og anbefaler hvordan det enkelte bygværk kan håndteres for at reducere denne usikkerhed. Det vil sige, at de overløbsbygværker der udleder mest, skal have det største fokus i forhold til at reducere usikkerheden.

"Formålet med denne opgave er at få nedbragt usikkerheden på opgørelsen af udledte mængder til under 50 %. Dette skal ske ved at der udarbejdes en manual for valg af beregningsmetode og standardværdier til brug for kommunernes indberetning af overløb af spildevand."

Rapporten anbefaler at usikkerheden sænkes til under 50 % ved at nedbringe det vægtede gennemsnit af usikkerheder baseret på overløbsvoluminer udledt fra alle landet overløbsbygværker.

"I opgaven skal der opsættes modelberegninger og standardprocedurer for indrapportering af data om overløb til PULS, hvor følgende elementer indgår:

- *Beregningsmodel (hydrodynamiske modeller)*
 - *Oplandsanalyser*
 - *Kloaksystemet*
- *Oplandsspecifikke standardværdier for stofindhold*
 - *Udførelse af beregninger*
 - *Nedbørsmålinger*
 - *Kalibrering*
- *Afreportering af resultater"*

Rapporten beskriver de modeltyper der skal anvendes under de enkelte vidensniveauer, hvis usikkerheden skal reduceres til det leje, som niveauerne forudsætter. Desuden giver rapporten en række anbefalinger til, hvordan de ovennævnte punkter kan bestemmes.

"Der skal ske en evaluering af standardværdier og enhedstal til benyttelse i de tilfælde, hvor man ikke anvender mere avancerede modeller. Her tænkes specielt på opdatering af enhedstal for vandmængder og stofkoncentrationer for både overløb fra fælleskloak og udledning fra separatkloakerede regnvandsudløb."

I rapporten anbefales det, at der beregnes oplandsspecifikke overløbsvolumen, der baseres på de konkrete forhold i oplandet og ikke standardiserede enhedstal. Overløbsvolumenet fra et opland bør beregnes på baggrund af dynamiske regnserier og ikke faktorkorrigeret baseret på årsnedbør, som det i nogle tilfælde gøres i dag. Ligeledes anbefales i rapporten, at udledte voluminer fra separate regnvandssystemer beregnes på baggrund af lokale regnserier og lokale analyser af størrelsen af det bidragende oplandsareal, hvorfor der også i dette tilfælde bør gås bort fra faktorkorrigeret. På baggrund af analysen om stofkoncentrationer i rapporten, findes der ikke grundlag for at opdaterer de nuværende enhedstal for stofkoncentrationer. Der vurderes, at datagrundlaget er for spinkelt, med undtagelse af den nylige opdatering af enhedstal for fosfor, der er baseret på en rapport fra Danmark Tekniske Universitet (Arildsen & Vezaro, 2019), som også understøttes af de nyeste målinger i det nationale NOVANA-overvågningsprogram.

EnviDan

2. Kategorisering af overløbsbygværker

Visse overløb leder meget store mængder vand og stof ud i recipienter, mens rigtig mange små overløb relativt udleder meget små mængder. Derfor lægges der i nærværende rapport op til, at der foretages en differentieret indsats for reduktion af usikkerheden på bestemmelse af de udledte mængder, således målet om mindre end 50 % usikkerhed opnås så omkostningseffektivt som muligt.

Det foreslås således, at valg af beregningsmetode til estimering af overløbsmængder i fremtiden skal foregå på baggrund af en kategorisering af overløbsbygværkerne i PULS-databasen. Kategoriseringen foretages på baggrund af normalårsindberetningen af overløbsmængder. Kategoriseringen baseres på den anvendte beregningsmodel og datakvalitet (tilsammen *vandselskabet vidensniveau*) og de normalårsudledte overløbsvoluminer fra det enkelte bygværk.

Vandselskabets vidensniveau og de årlige overløbsmængder for det enkelte bygværk kan herved anvendes til at kategorisere bygværkerne i matricen eksemplificeret i Figur 1. Kategoriseringen anviser, om vandselskabet bør anvende en mere præcis model og flere måledata til at minimere usikkerheden på det enkelte overløbsbygværk, eller om det nuværende anvendte vidensniveau er tilstrækkeligt.

Matricen i Figur 1 bør udpensles med en række kategorier, der angiver hvornår vidensniveauet sammenlignet med overløbsmængderne er tilfredsstillende. Det kunne tage form som vist, hvor rød, gul og grøn er henholdsvis utilfredsstillende, acceptabelt og særdeles godt. I rapporten tages der ikke stilling til, hvornår vidensniveauet sammenholdt med overløbsmængderne er acceptabelt. Derfor er de efterfølgende matricer efterladt uden farvelagte kategorier.

		Overløbsmængder		
		lav	mellem	høj
Vandselskabets vidensniveau	intet	rød		
	lavt	gul	gul	rød
	mellem	gul	gul	rød
	højt	grøn	gul	gul
	højt	grøn	grøn	gul

Figur 1. Eksempel på matrix til kategorisering af overløbsbygværker.

Vandselskabets vidensniveau definerer grundlæggende graden af modelkompleksitet samt mængden af måledata, der anvendes til at bestemme overløbsmængden for det enkelte overløbsbygværk. Vandselskabets vidensniveau forbedres som regel ved anvendelse af mere præcise modeller og/eller brugen af måledata til kalibrering og validering af modellerne. Tabel 1 præsenterer kort de modeltyper

samt måledata, der i fremtiden kunne danne grundlag for overløbsestimering. I dag anvendes der kun to vidensniveauer til bestemmelse af udledte vand- og stofmængder ved overløb. Disse niveauer er svarende til niveau 1 og 2 i Tabel 1. Som anført baseres niveau 1 på en relativt simpel massebalancebetragtning over oplandet til et bygværk, mens niveau anvender en 1D hydrodynamisk model (som regel Mike Urban), til beregning af overløbsmængderne.

Niveau 0 (jf. Tabel 1) betyder, at vandselskabet i dag ikke giver nogen vurdering af overløbsmængderne fra det enkelte overløbsbygværk. Dette betyder naturligvis, at overløbsbygværket ikke kan indgå i den egentlige usikkerhedsvurdering. Sådanne overløbsbygværker bør derfor, det kommende år, indrapportere en niveau 1 beregning, hvis der heller ikke eksisterer data om overløbsmængderne fra tidligere år. Niveau 1 til 4 er de egentlige beregningsmetoder, der kan anvendes til at estimere overløbsmængderne. Niveau 5 baseres udelukkende på målinger, hvis der er mulighed for at udføre kvalificerede målinger på overløbsbygværket.

Tabel 1. Overordnede forudsætninger for vandselskabets vidensniveau. Modellerne, der ligger til baggrund for disse vidensniveauer, beskrives nærmere i kapitel 3.

	Modeltype	Måledata
Niveau 0	Ingen data	Ingen
Niveau 1	Massebalanceberegning baseret på opland og afløbssystemets kapacitet	Ingen/få. Kræver dog viden om afløbssystemets videreførende kapacitet, magasineringkapacitet og oplandsarealet.
Niveau 2	Ikke kalibreret 1D hydrodynamisk model	Få. Kræver dog kendskab til topografiske data, udformningen af afløbssystemet og overløbsbygværket samt viden om andre fysiske strukturer der vedrører størrelsen af potentielle overløbsmængder.
Niveau 3	Kalibreret 1D hydrodynamisk model	Sammenhængende målte tidserier til kalibrering af den 1D hydrodynamiske model. Dette kunne være flowmålinger centrale steder i afløbssystemet.
Niveau 4	Softwaresensor	Online monitoring af f.eks. vandstand i overløbsbygværk kobles med CFD-modeller og danner grundlag for softwaresensorer
Niveau 5	Direkte måling af overløbsmængde	Overløbsestimering udelukkende baseret på flowmålinger og vandstand.

2.1 Usikkerhed baseret på niveau

For de enkelte vidensniveauer fastsættes en usikkerhed. Usikkerheden vil senere blive anvendt til at bestemme den samlede vægtede usikkerhed på overløbsestimering i Danmark. I baggrundsmaterialet til dette projekt angiver Danmarks Tekniske Universitet (DTU) i en rapport (se bilag 2) en række usikkerheder for forskellige beregningsmetoder. Usikkerhederne anvendes ikke direkte i denne rapport, men kan bruges som et sammenligningsgrundlag for de i denne rapport estimerede usikkerheder.

Usikkerheden for overløbsmængder (herunder udledt stof og vand) repræsenterer den kombinerede usikkerhed baseret på en kombination af den hydrauliske usikkerhed samt usikkerheden på enhedstal for stofkoncentrationer i overløbsvand. Den hydrauliske usikkerhed baseres yderligere på en kombi-

nation af forskellige usikkerheder, herunder regninput, befæstelsesgrad, hydrologisk reduktionsfaktor, uvedkommende vand, og modelusikkerhed. Den kombinerede usikkerhed beregnes ud fra følgende simple formel (Bell, S., 1999):

$$U_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2}$$

Hvor U_c er den kombinerede usikkerhed, u_i er den i 'te usikkerhedskomponent og n er det totale antal usikkerhedskomponenter.

Det antages ved beregningen af den kombinerede usikkerhed, at usikkerhedskomponenterne er uafhængige variable. Usikkerheden på de enkelte usikkerhedskomponenter er skønsmæssigt vurderet på baggrund af Aalborg Universitets forskning, erfaring og samarbejde med de danske forsyninger. Igenem dette samarbejde har Aalborg Universitet fået indgående kendskab til, hvilke udfordringer de danske forsyninger har ved forskellige aspekter fra det hydrologiske kredsløb til hydraulisk modellering. Der forelægger ikke henvisninger til studier, da der i Danmark ikke findes en egentlig systematisk indsamling af viden fra de danske forsyninger. Derved bør det også tilstræbes, at de i det følgende foreslåede usikkerhedsværdier, løbende opdateres, når der indsamles mere viden særligt i forbindelse med de nye foreslåede vidensniveauer i denne rapport. Endvidere bør det undersøges, om der kan iværksættes en systematisk vidensindsamling vedrørende de forskellige usikkerhedskomponenter.

Usikkerheden på usikkerhedskomponenterne og den kombinerede usikkerhed præsenteres i Tabel 2, hvor følgende usikkerhedskomponenter indgår:

- *Regninputtet*, der repræsenterer usikkerheden på anvendelse af punktmåling af regn ud over et helt opland og et opland som ikke nødvendigvis er centreret omkring regnmåleren. Usikkerheden vil i høj grad være afhængig af afstanden til nærmeste regnmåler. Til bestemmelse af overløbsvolumen forventes nøjagtigheden af regnmålerdataene at være tilstrækkelig, hvis regnmåleren er placeret i en afstand på 4 - 5 km til oplandet i forbindelse med overløb ved kraftige konvektive regnhændelser, og 15 - 20 km ved stratiform nedbør. Der arbejdes dog i øjeblikket på at gøre radardata præcise nok til, at disse kan anvendes i oplande, hvor der ikke nødvendigvis står en regnmåler meget tæt på. Dette sker i udviklingsprojektet *Vejrradar i Vandsektoren* (www.veva.dk).
- *Bidragende areal*, der indbefatter usikkerheden forbundet med bestemmelse af oplandets befæstelsesgrad samt hydrologiske reduktionsfaktor. Usikkerheden vedrørende bestemmelse af befæstelsesgraden er afhængig af, hvor grundigt befæstelsen i området er kortlagt, mens usikkerheden vedrørende den hydrologiske reduktionsfaktor er afhængig af hvor stor en andel af det befæstede areal der egentlig er koblet til afløbssystemet.
- *Uvedkommende vand*, hvori der indgår indsvivning samt afstrømning fra ubefæstede områder. I nogle oplande ses der eksempelvis variabel afstrømning henover året, hvor der særligt om vinteren ser ud til at være en øget indsvivning i afløbssystemet.
- *Hydraulisk model*, som beskriver modelusikkerheden. Højere modelkompleksitet antages at nedbringe modelusikkerheden på grund af en mere virkelighedstro model. Herunder hvor godt overløbet kan bestemmes i form af usikkerhed på overløbsformlen, bygværkets geometri, samt beregning af vandstand i bygværket.
- *Enhedsstal for stof*, som beskriver usikkerheden forbundet med at anvende standardværdier for stofkoncentrationer.

Usikkerheden på enhedsstal for stof er ikke skønsmæssigt bestemt som de øvrige usikkerheder, men vurderet på baggrund af spredningen af data i de måleprogrammer, der gennem tiden er udført til at

opdatere enhedstallene for stofkoncentrationer. Udledningen af denne usikkerhedskomponent uddybes i afsnit 4.2.3, men resulterer i en usikkerhed på $\pm 45\%$.

Jævnfør Tabel 2 fremgår det, at usikkerheden på regninput, bidragende areal og uvedkommende vand for niveau 3 sættes til 0 %. Dette sker under antagelse af, at usikkerheden for disse komponenter kan negligeres efter kalibrering og håndteres under usikkerheden for den hydrauliske model. De samme usikkerhedskomponenter sættes også til 0 % for niveau 4 og 5, men skyldes i denne sammenhæng, at disse ikke indgår som et decideret input til en model.

De vurderede usikkerheder for niveau 5 adskiller sig idet usikkerheden under *hydraulisk model* ikke er en modelusikkerhed, men rettere en måleusikkerhed. Derudover er usikkerheden for *enhedstal for stof* i niveau 5 ikke baseret på data, men et skøn af den usikkerhed der kan opstå, hvis der udføres konkrete målinger af vandkvaliteten på bygværksniveau i en længere periode.

Tabel 2. Overslag på usikkerhed af delementer og den kombinerede usikkerhed af de hydrauliske beregninger samt den totale kombinerede usikkerhed på beregning af udledte stofmængder. Overslaget er baseret på Aalborg Universitets erfaring og samarbejde med de danske forsyninger. De beregnede kombinerede usikkerheder er afrundede værdier.

	Regn - in- put	Bidra- gende areal	Uvedkom- mende vand	Hydraulisk model	Komb. hy- draulisk usikkerhed, U_c	Enheds- tal for stof	Komb. total usikkerhed, U_c
Niveau 1	30 %	50 %	50 %	100 %	125 %	45 %	135 %
Niveau 2	30 %	50 %	50 %	50 %	90 %	45 %	100 %
Niveau 3	0 %	0 %	0 %	30 %	30 %	45 %	55 %
Niveau 4	0 %	0 %	0 %	5 %	5 %	45 %	45 %
Niveau 5	0 %	0 %	0 %	20 %*	20 %	20 %	30 %

*Usikkerhedskomponenten under hydraulisk model for niveau 5 repræsenterer ikke en modelusikkerhed men usikkerheden på flowmåling i et overløbsbygværk

De udledte kombinerede usikkerheder sammenlignes for de enkelte niveauer i Tabel 3 med de udledte usikkerheder fra DTU's rapport om usikkerheds i bilag 2. Det ses at usikkerhederne ligger relativt tæt, dog bør det bemærkes, at de bagvedliggende metoder for niveauerne ikke nødvendigvis er fuldstændigt sammenlignelige med de beskrevne metoder i denne rapport.

Det er vigtigt at være opmærksom på, at usikkerheden i sagens natur ikke kan blive mindre end -100 % (f.eks. -110 %), idet overløbsmængden ikke kan antage negative værdier. Årsagen til at den totale kombinerede usikkerhed i denne rapport kan antage værdier mindre end -100 % skyldes antagelsen om, at de enkelte usikkerhedskomponenter er uafhængige. Dette er ikke nødvendigvis tilfældet. Eksempelvis vil en udledt vandmængde på 0 m³ automatisk også resultere i 0 kg udledt stof. Derved har usikkerhedskomponenten for stof ingen betydning i dette tilfælde, da den er afhængig af, at der er et overløbsvolumen. Der findes dog ikke nok undersøgelser om overløb og hvordan de forskellige usikkerhedskomponenter hænger sammen til at disse usikkerhedsniveauer kan undersøges i detaljer. På grund af dette vurderes den anvendte antagelse at være den bedst mulige på nuværende tidspunkt og også på den sikre side i forhold til, at usikkerheden beskriver den maksimale usikkerhed.

Tabel 3. Sammenligning af usikkerheden for de foreslåede nye beregningsniveauer i nærværende rapport med usikkerhed udledt for fem foreslåede niveauer i DTU's rapport vedlagt i bilag 2. Det skal bemærkes, at de foreslåede niveauer i denne rapport og i DTU's rapport kan indeholde metodeforskelle, hvorfor nogle niveauer ikke nødvendigvis er direkte sammenlignelige.

	Kombineret usikkerhed	Usikkerhed i DTU-rapport (bilag 2)
Niveau 1	135 %	150-200 %
Niveau 2	100 %	100 %
Niveau 3	55 %	50 %
Niveau 4	45 %	35 - 50 %
Niveau 5	30 %	30 - 35 %

Det kan umiddelbart synes svært at bringe den samlede usikkerhed på overløbsestimering under 50 %, når kun få af de angivne usikkerheder for niveauerne i Tabel 1 er under 50 %. Det hele skal dog ses i lyset af, at ganske få overløbsbygværker i Danmark står for store dele af de samlede overløbsmængder. Derfor er det muligt at sænke den vægtede usikkerhed over mange bygværker betragteligt ved især at målrette en forbedret beregningsikkerhed mod relativt få bygværker, der årligt udleder store overløbsmængder. I nærværende undersøgelse beskrives usikkerheden som den vægtede usikkerhed på landsplan baseret på overløbsvolumenet fra enkelte bygværker og den tilhørende usikkerhed under den anvendte beregningsmetode. Den vægtede usikkerhed beregnes med følgende formel:

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i u_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Hvor \bar{u} er den vægtede usikkerhed, w_i er det samlede overløbsvolumen i niveau i , også svarende til vægten, u_i er usikkerheden i niveau i , og n er det totale antal vidensniveauer. Antages det f.eks., at det totale overløbsvolumen fordeles ligeligt på alle fem niveauer med 20 % af det totale overløbsvolumen, beregnes en vægtet usikkerhed på 73 % på estimering af overløbsvolumen i Danmark:

$$\bar{u} = \frac{20\% \times 135\% + 20\% \times 100\% + 20\% \times 55\% + 20\% \times 45\% + 20\% \times 30\%}{20\% + 20\% + 20\% + 20\% + 20\%} = 73\%$$

Usikkerheden på landsplan er sandsynligvis lavere, når overløbsvoluminerne for alle landets bygværker lægges samme. Det skyldes, at de resulterende overløbsvoluminer sandsynligvis er fordelt omkring en middelværdi, hvor nogen overløbsvoluminer ligger over og andre under. Når overløbsvolumenerne for alle landets bygværker summeres, er det samlede volumen formentlig tættere på det rigtige volumen end hvad den vægtede usikkerhed indikerer.

2.1.1 Lavere usikkerhed ved national aggregering af overløbsmængder

Den vægtede beregningsusikkerhed i nærværende rapport baseres på et udtryk for, hvad beregningsusikkerheden er for estimering af overløbsmængderne på det enkelte bygværk. Beregningsusikkerheden for det enkelte bygværk vil dog reelt være udtrykt ved en fordeling omkring et gennemsnit, hvor nogle beregninger skyder over og andre under.

Derfor vil den estimerede overløbsmængde, når de samlede overløbsmængder for hele Danmark aggregeres op over mange bygværker, ligge tættere på den virkelige totale udledte stofmængde, end den vægtede beregningsusikkerhed egentlig beskriver.

Dette skyldes, at de bygværker, hvor overløbsmængderne overestimeres, vil blive udlignet af de beregninger, hvor overløbsmængderne underestimeres. Derfor skal den vægtede beregningsusikkerhed ses som den øvre del af et interval over, hvad den egentlige beregningsusikkerhed, på nationalt plan,

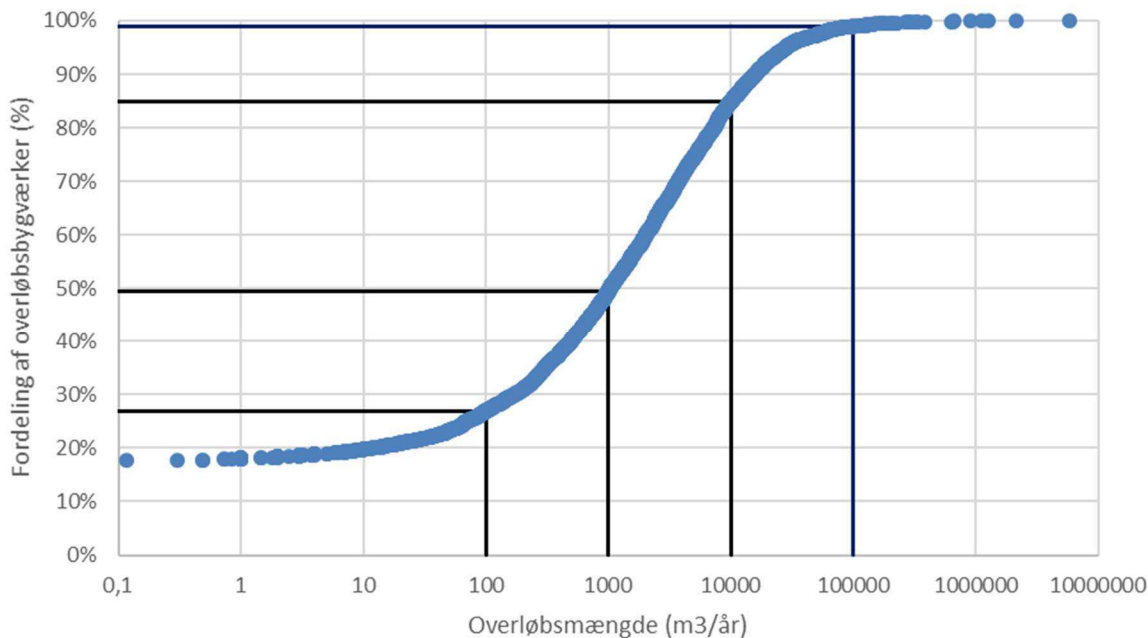
er. I praksis vil den med stor sandsynlighed være lavere, når overløbsmængderne aggregeres over hele Danmark jævnfør de store tals lov, som foreskriver, at jo flere observationer, der indgår i den samlede beregning, desto tættere vil estimatet være på den rigtige middelværdi (Hazewinkel, 2001). For at bevise dette, er det dog nødvendigt at observere den rigtige værdi, hvilket på landsplan ikke ville være praktisk muligt at gennemføre for samtlige af landets bygværker.

Såfremt de foreslåede niveauer i nærværende rapport implementeres og der opfordres til, at den indberettende part indleverer måleresultater m.v. til Miljøstyrelsen, vil det med tiden være muligt at danne et bedre datagrundlag. Blandt andet kan det ses hvordan de indberettede overløbsmængder med de nye metoder adskiller sig fra tidligere anvendte niveauer. Derudover vil typetal for stofkoncentrationer løbende kunne tages op til revision, hvor de seneste f.eks. 5 års måledata inddrages til at revurdere de eksisterende typetal.

2.2 Inddeling af overløbsbygværker baseret på overløbsmængder

For at minimere den vægtede usikkerhed fordeles overløbsbygværkerne i de forskellige vidensniveauer i Tabel 1. Fordelingen kan med fordel foretages på baggrund af hvor store udledningerne er fra det enkelte overløbsbygværk. Det vil sige, at overløbsbygværker med store overløbsmængder generelt bør vurderes på baggrund af et højt vidensniveau. Omvendt kan der accepteres et lavere vidensniveau for overløbsbygværker, der relativt udleder meget små overløbsmængder.

Overløbsbygværkerne klassificeres i en række intervaller af årlige overløbsvoluminer som benyttes til at prioritere indsatsen for de enkelte bygværker. Intervallerne fastsættes ved at benytte en statistisk fordeling af normalårsdata fra PULS-indberetningen fra 2018 i Figur 2.



Figur 2. Fordeling af overløbsbygværker baseret på indberettede normalårsdata fra 2018. Hver blå prik repræsenterer et overløb.

Det fremgår af Figur 2 at de indberettede data følger en lognormal fordeling på den horisontale akse. Derfor inddeles intervallerne til kategorisering også logaritmisk som vist i Tabel 4. Det fremgår, at der er få bygværker der udleder store mængder der bør kategoriseres for sig, hvorfor kategori 4 og 5 kun repræsenterer henholdsvis 14 og 1 % af det samlede antal bygværker. De udledte intervaller ses

i Tabel 4. Det fremgår også, at næsten halvdelen af de udledte vandmængder udledes fra ca. 1 % af overløbsbygværkerne.

Tabel 4. Intervaller til kategorisering af overløbsbygværker baseret på overløbsmængder. Fordelingen er baseret på normalårsdata fra 2018.

Kategori	Overløbsmængde (m ³ /år)	Andel bygværker 2018	Totalt overløbsvolumen fra bygværker (m ³)
1	< 100	27 %	15.919 (< 0,1 %)
2	100 - 1.000	23 %	445.176 (1,1 %)
3	1.000 - 10.000	36 %	5.921.984 (14,1 %)
4	10.000 - 100.000	14 %	15.359.310 (36,6 %)
5	> 100.000	1 %	20.221.958 (48,2 %)

2.3 Kategoriseringsmatrice

Vandselskabets vidensniveau og de årlige overløbsmængder for det enkelte overløbsbygværk indbygges nu i kategoriseringsmatricen eksemplificeret i Figur 1. Dette resulterer i den endelige kategoriseringsmatrice i Figur 3 som nu kan anvendes til at fordele overløbsbygværkerne. Det kan på baggrund af princippet præsenteret i Figur 1, senere angives hvilket kategorier der er utilfredsstillende, acceptable og særdeles gode i forhold til hvilket vidensniveau, der er anvendt til at bestemme overløbsvolumenet.

		Overløbsmængder (m ³ / år)				
		<100	100-1.000	1.000-10.000	10.000-100.000	>100.000
Vandselskabets vidensniveau	Niveau 0					
	Niveau 1					
	Niveau 2					
	Niveau 3					
	Niveau 4					
	Niveau 5					

Figur 3. Matrice til kategorisering af overløbsbygværker på baggrund af vandselskabets vidensniveau og årlige overløbsmængder.

2.4 Minimering af usikkerhed

Casestudie 1 beskrevet i afsnit 5.1 demonstrerer hvad den nuværende usikkerhed er, og hvordan denne manuelt kan reduceres til under 50 % ved hjælp af den nye kategoriseringsmatrice og de nye vidensniveauer, der foreslås benyttet til at estimere overløbsmængderne. I det følgende beskrives resultaterne fra casestudiet, mens der henvises til afsnit 5.1 for en detaljeret gennemgang af studiet.

I de udleverede PULS-data findes i alt 4490 overløbsbygværker, hvoraf der eksisterer normalårsdata for i alt 4287 overløbsbygværker. Det følgende er baseret på de 4287 overløbsbygværker, der eksisterer data på. De øvrige 203 bygværker indsættes i niveau 0, hvilket vil sige, at der ikke findes data herpå. Der opfordres dog til, at der indhentes data på disse bygværker hurtigst muligt, således at de senere kan indgå i usikkerhedsvurderingen.

2.4.1 Den nuværende usikkerhed

Den samlede usikkerhed vurderes på baggrund af den vægtede usikkerhed af samtlige overløbsbygværker baseret på det beregnede overløbsvolumen fra hvert enkelt bygværk. Det vil sige, at usikkerheden for et overløbsbygværk, der udleder store overløbsmængder, har en større betydning for den vægtede usikkerhed, end bygværker der udleder relativt små mængder.

I dag anvendes primært to beregningsmetoder. Disse er niveau 1 og 2 (niveau 1 og 3 i den datatekniske anvisning vedlagt i bilag 3) beskrevet under vandselskabets vidensniveau i denne rapport. Ved en optælling af PULS-dataene for normalår ses det at 11,5 mio. m³ overløbsvand (svarende til 1577 overløbsbygværker) blev indberettet på niveau 1, mens 30,5 mio. m³ overløbsvand (svarende til 2710 overløbsbygværker) blev indberettet på niveau 2. Med de anførte usikkerhedsværdier i Tabel 2, beregnes det, at den vægtede usikkerhed for alle overløbsbygværker i Danmark er ca. 110 % i dag.

2.5 Omkostningseffektiv fordeling af overløbsbygværker på vidensniveau

I det følgende opstilles en metode til at frembringe den mest omkostningseffektive fordeling af overløbsbygværker, hvor usikkerheden reduceres til 50 % med den mindst mulige investering. Der opstilles en automatiseret og objektiv procedure, der med udgangspunkt i omkostningseffektivitetsanalyse, skal udpege den mindst ressourcekrævende fordeling af overløbsbygværker til at opnå en vægtet usikkerhed på 50 %. Dette beskrives i det følgende, hvor de estimerede omkostninger forbundet med et niveau angives.

Efterfølgende udføres der en analyse af den omkostningsmæssige mest optimale fordelingsnøgle til at sænke usikkerheden til 50 %.

2.5.1 Ressourceforbrug ved anvendelse af niveauerne

Før en egentlig omkostningseffektiv fordeling af bygværker på de forskellige vidensniveauer kan opstilles, er det nødvendigt at estimere omkostningerne forbundet med disse vidensniveauer. For de enkelte niveauer anslås derfor en omkostning til at estimere overløbsmængderne med den under niveauet angivne metode.

Grundlaget for overslagene på totalomkostningerne findes i casestudie 2 i afsnit 5.2 og skal i sagens natur ses som et groft gennemsnitligt overslag, og kan derfor ikke anvendes direkte for konkrete overløb. Overslagene tager udgangspunkt i erfaringer for, hvor lang tid forskellige opgaver typisk tager, påregnet en timepris på 1.000 kr. Såfremt omkostningerne vedrører måleudstyr, er priser baseret på erfaringstal for omkostningerne til køb af sådanne ydelser. Fremtidige fysiske ændringer og ny viden om både overløb og omkostninger til etablering af de enkelte vidensniveauer forventes at give anledning til, at man med fordel kan opdatere denne analyse og dermed opdatere den mest omkostningseffektive fordeling af bygværker.

De vurderede omkostninger præsenteres i Tabel 5, og præsenteres som den forventede årlige omkostning til modellering og måling per bygværk ved anvendelsen af det konkrete niveau. Den forventede årlige omkostning er udledt ved at vurdere de samlede omkostninger over en periode på 10 år, hvorefter den årlige omkostning beregnes som den gennemsnitlige årlige omkostning over 10 år.

Omkostningerne for alle niveauer fastsættes ud fra, at der ingen viden er om overløbsbygværket. Det vil sige, at der i prisen indgår, at der skal opstilles nye modeller og målekampagner m.v.

Tabel 5. Årlig omkostning baseret på anvendt niveau til beregning af overløbsmængder per bygværk. Omkostning angivet i parentes anvendes til den senere beregning af den omkostningseffektive fordeling af bygværker.

	Procedure	Omkostninger
Niveau 1	Ved beregning af overløbsmængder med niveau 1 antages det, at der årligt opsættes en beregning i et standardiseret regneark.	5 til 10 tkr. pr. år (7,5 tkr. pr. år)
Niveau 2	Der opsættes en ny model for afløbssystemet samt en opdeling af oplandet som fordeles på afløbssystemet.	10 til 20 tkr. pr. år (13 tkr. pr. år)
Niveau 3	Proceduren for niveau 2 gennemføres. Derudover opsættes eksempelvis flowmåler og der indsamles mindst 1 års måledata fra afløbssystemet til kalibrering. Derefter kalibreres den opstillede model.	30 til 55 tkr. pr. år (42 tkr. pr. år)
Niveau 4	I niveau 4 fremstilles en softwaresensor, der som udgangspunkt baseres på en Q-h-relation udledt med en CFD-model af overløbsbygværket. Overløbsmængden estimeres derved årligt med kontinuerte niveaumålinger i overløbsbygværket. Der vil konstant være niveaumålere i drift i en sådan opstilling.	45 til 80 tkr. pr. år (62 tkr. pr. år)
Niveau 5	Niveau 5 beregningen baseres udelukkende på målinger. Herunder kontinuert monitoring af flow og niveau, samt prøvetagning af overløbsvand i en begrænset periode. Der er som udgangs svært at prisfastsætte omkostningerne til at udføre sådanne målinger, da det i høj grad afhænger af bygværkets kompleksitet. Det forventes at bygværker i denne kategori som regel vil have en bygværkstruktur af høj kompleksitet. Som minimum forventes det at der gennemføres to flowmålinger, en niveaumåling samt regnmåling i oplandet. Målekampagnen afhænger dog i så høj grad af bygværket, at den nævnte opstilling udelukkende skal ses som en idealiseret opstilling der kan ligge til grund for en omkostningsvurdering af en sådan målekampagne.	220 til 420 tkr. pr. år (323 tkr. pr. år)

2.5.2 Omkostningseffektiv fordeling bygværker

Overløbsbygværker kan fordeles ud på de forskellige vidensniveauer både manuelt og automatisk. Med den manuelle metode, skrues der på fordelingen, indtil usikkerhed når 50 %. Dette eksemplificeres i casestudie 1 i afsnit 5.1. Det viste eksempel resulterer i en nødvendig totalomkostning på 75 mio. kr. om året, hvis priserne i Tabel 5 ganges ud på antallet af bygværker i hvert enkelt vidensniveau.

Ved manuel fordeling af overløbsbygværkerne er det ikke sikkert, at den mest omkostningseffektive løsning opnås og derfor opstilles der i det følgende en algoritme, der objektivt søger den mest omkostningseffektive måde at estimere overløbsmængder på, for at nå en vægtet usikkerhed på 50 %.

Den omkostningseffektive fordeling af bygværker udledes ved at lokalisere lige netop den fordeling af overløbsbygværker på de enkelte vidensniveauer og kategorier, hvor den vægtede usikkerhed er

50% og de årlige omkostninger til modellering og måling er mindst. Det vil sige, at der skal findes et omkostningsminimum ved denne usikkerhed.

Analysen gennemføres ved at opstille en relativt simpel Monte Carlo simulering, der skal kortlægge mulige kombinationer af niveauer og herefter beregne hvad disse kombinationer koster og hvad den vægtede usikkerhed er.

Der opstilles fordelingsfunktioner for de enkelte niveauer, som angiver forskellige procentandele, som de enkelte niveauer kan indeholde af det totale overløbsvolumen. Fordelingsfunktioner opsættes som vist i Tabel 6. Der regnes kun i heltal for procentsatserne.

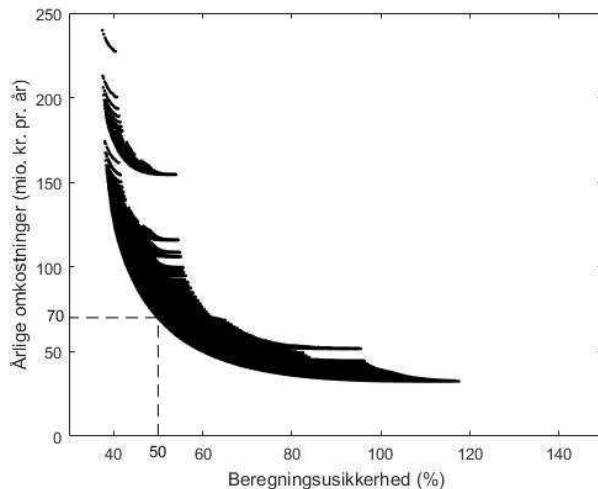
Tabel 6. Fordelingsfunktioner af procentfordeling af det totale overløbsvolumen på de enkelte vidensniveauer.

	Fordeling	Antal værdier
Niveau 1	0, 1, 2, 3 ... 50%	51
Niveau 2	0, 1, 2, 3 ... 90%	91
Niveau 3	0, 1, 2, 3 ... 90%	91
Niveau 4	0, 1, 2, 3 ... 70%	71
Niveau 5	0, 1, 2, 3 ... 50%	51

Fordelingsfunktionerne i Tabel 6 kan sammensættes i 1,5 mia. kombinationer. Dog kan de kombinationer der summeret giver mere eller mindre end 100 % af det totale overløbsvolumen ekskluderes. Dette reducerer antallet af mulige fordelingsnøgler til ca. 3,4 mio.

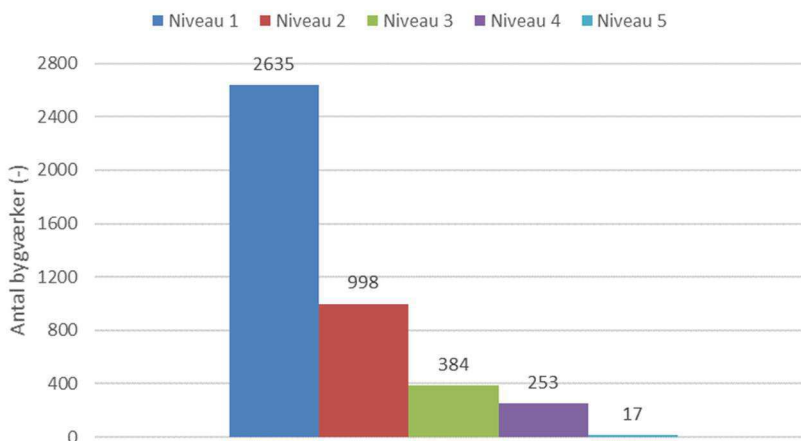
Ud fra de 3,4 mio. mulige fordelingsnøgler kan det 1) beregnes hvad den samlede usikkerhed for den enkelte fordelingsnøgle er, 2) udledes hvor stort et overløbsvolumen, der beregnes med det specifikke niveau, 3) fastsættes hvor mange bygværker, der indsættes i de forskellige niveauer, hvor de bygværker, der udleder mest indsættes på de højeste niveauer, 4) beregne hvilke omkostninger, der er forbundet med at bestemme overløb i det enkelte niveau, og derved fastsætte totalomkostningerne forbundet med den enkelte fordelingsnøgle.

På Figur 4 ses den resulterende sammenhæng mellem den vægtede usikkerhed og årlige omkostninger forbundet med forskellige fordelingsnøgler. Totalomkostningerne, som er beregnet på baggrund af priserne i Tabel 5, spænder bredt, alt efter hvilken usikkerhed der ønskes at opnå. Det fremgår tydeligt, at en procents sænkning af usikkerheden under 50 % medfører en betydeligt øget beregningsomkostning, sammenlignet med en usikkerhedsreduktion ved de større usikkerheder. Dette skyldes, at der ved sænkning af usikkerheden under 50 % i højere grad skal gøres anvendelse af dyrere metoder så som CFD-modellering og målinger.

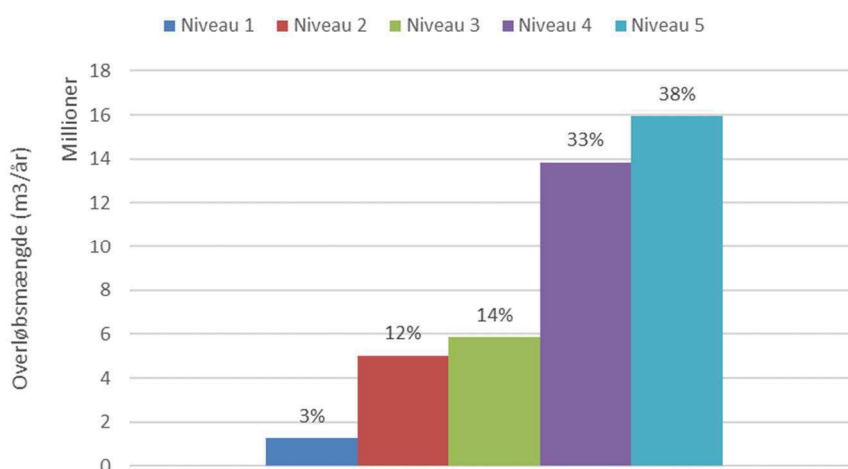


Figur 4. Sammenhæng mellem årlige totalomkostninger til beregning af overløb og den tilknyttede usikkerhed. Stiplet linje angiver 50 % usikkerhed.

Endeligt fremgår det af Figur 4, at det mest omkostningseffektive scenarie til at sænke usikkerheden til 50%, resulterer i årlige totalomkostninger til modellering og måling i størrelsesordenen 70 mio. kr. pr. år. Dette scenarie resulterer i en fordeling af overløbsbygværker på de enkelte niveauer som vist i Figur 5. Fordelingen af de tilhørende overløbsvoluminer på de enkelte niveauer er tilsvarende angivet i Figur 6. Det skal bemærkes, at der i dette scenarie er flere bygværker placeret i niveau 0, end der er i dag. Dette skyldes, at der i den automatisk fordeling ikke tages højde for, hvilket niveau bygværkerne i dag ligger på. Det anbefales, at hvis et bygværk befinder sig på et højere niveau, end det som bygværket henvises til i fordelingen, bør det nuværende vidensniveau fortsat blive anvendt. Dette vil blot sænke den samlede usikkerhed.



Figur 5. Fordeling af bygværker på de enkelte niveauer i det omkostningseffektive scenarie.



Figur 6. Fordeling af overløbsvolumener baseret på den omkostningseffektive fordelingsnøgle. De angivne procentsatser viser hvor stor en andel af det totale overløbsvolumen, der beregnes i det enkelte niveau.

På Figur 7 ses den endelige fordeling af overløbsbygværkerne baseret på den omkostningseffektive fordeling.

		Overløbsmængder (m ³ / år)				
		<100	100-1.000	1.000-10.000	10.000-100.000	>100.000
Vandselskabets vidensniveau	Niveau 0	O: 203				
	Niveau 1	O: 1150 V: 0,02	O: 967 V: 0,45	O: 518 V: 0,80		
	Niveau 2			O: 998 V: 5,04		
	Niveau 3			O: 9 V: 0,09	O: 375 V: 5,78	
	Niveau 4				O: 224 V: 9,58	O: 29 V: 4,22
	Niveau 5					O: 17 V: 16,00

Figur 7. Kategorisering af overløbsbygværker baseret på omkostningseffektiv fordeling. På figuren angiver O og V henholdsvis antallet af overløbsbygværker og overløbsvolumenet (mio. m³) i de enkelte kategorier.

I nedenstående Tabel 7 er der til sammenligning med den mest omkostningseffektive fordeling af overløbsbygværker vist konsekvenser af ens krav til alle overløb uanset størrelse. Totalomkostningen stiger markant jo højere vidensniveau, der anvendes, og det fremgår af Tabel 7, at det vil resultere i omkostninger svarende til 266 mio. kr., hvis usikkerheden skal bringes under 50 % for samtlige overløbsbygværker.

Der er altså en væsentlig økonomisk gevinst ved at søge at reducere den vægtede usikkerhed i stedet for usikkerheden for samtlige overløb. Derudover viser beregningen om omkostningseffektivitet også, at det er muligt at reducere omkostningerne yderligere ved at foretage en simulering til at finde billigste måde at beregne overløb på, fordi omkostningen reduceres til 70 mio. kr. pr. år fra 75 mio. kr. pr. år ved en manuel fordeling. Derfor anbefales det også, at der løbende foretages en revidering af, hvordan man mest omkostningseffektivt når en usikkerhed på 50 %.

Det skal bemærkes, at de 203 overløbsbygværker, for hvilke der ikke findes normalårsindberettede data i PULS, ikke indgår i den økonomiske værdi. Afhængigt af de udledte overløbsvoluminer fra disse bygværker, vil den nødvendige omkostning formentlig, i ukendt omfang, stige.

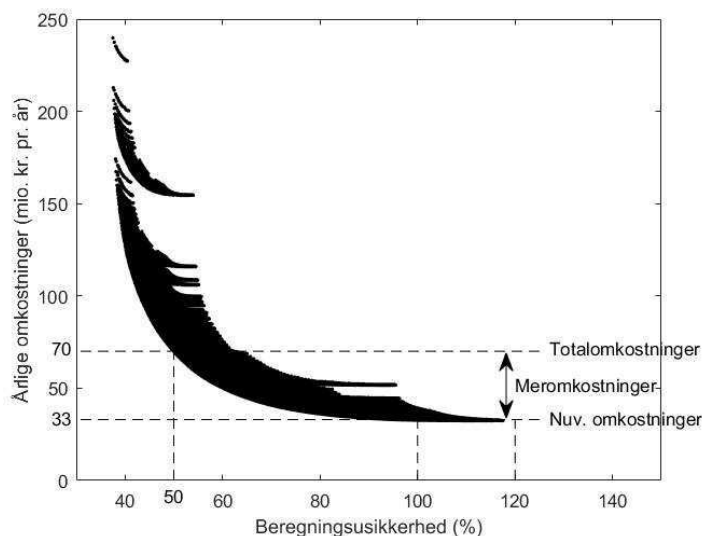
Tablet 7. 100 % fordeling af overløbsvolumen på de enkelte niveauer og den resulterende totalomkostning og vægtede usikkerhed. Dette er blot til eksemplificering af, hvor store omkostninger der vil være forbundet med kun at anvende de enkelte vidensniveauer til at beregne overløbsvoluminer. Da der i nærværende er tale om en 100 % fordeling på de enkelte niveauer, antager den vægtede usikkerhed samme værdi som den tidligere udledte kombinerede beregningsusikkerhed for de enkelte vidensniveauer.

Niveau 1	Procentuel fordeling af volumen				Niveau 5	Totalomkostning (mio. kr. pr. år)	Vægtet usikkerhed
	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Niveau 5			
100 %	0 %	0 %	0 %	0 %	32	135 %	
0 %	100 %	0 %	0 %	0 %	56	100 %	
0 %	0 %	100 %	0 %	0 %	180	55 %	
0 %	0 %	0 %	100 %	0 %	266	45 %	
0 %	0 %	0 %	0 %	100 %	1.385	30 %	

2.5.3 Meromkostning

Omkostningerne i Figur 4 beskriver de årlige totalomkostninger, men det må forventes at nogle af udgifterne allerede i dag afholdes hos forsyningerne og kommunerne, der har ansvaret for registrering og indberetning af overløbsmængder. Der afholdes eksempelvis i vid udstrækning allerede udgifter til niveau 1 og 2 beregninger samt målinger af forskellig art. Den reelle meromkostning er derfor lavere end de angivne totalomkostninger i Figur 4.

Som tidligere beskrevet vurderes det, at den nuværende beregningsusikkerhed er ca. 110 %. De forventede nuværende omkostninger til beregning af overløbsmængder kan derved udpeges på baggrund af omkostningseffektivitetsanalyse som vist på Figur 8 og svarer jævnført denne analyse til 33 mio. kr. pr. år på landsplan. Det vil sige, at der ifølge den matematiske analyse i dag forbruges 33 mio. kr. pr. år til at opretholde en beregningsusikkerhedsniveau på 100 - 120 %. De 33 mio. kr. pr. år kan fratrækkes totalomkostningerne på 70 mio. kr. pr. år, som er omkostningerne for at opnå den mest omkostningseffektive fordeling, hvor der opnås en beregningsusikkerhed på 50 %. Derved er den reelle meromkostning ifølge denne analyse i størrelsesordenen 37 mio. kr. pr. år.



Figur 8. De forventede totalomkostninger ved en omkostningseffektiv fordeling på de forskellige vidensniveauer, sammenlignet med de forventede nuværende omkostninger. Forskellen på disse udgør forsyningernes meromkostninger ved implementering af metoder beskrevet i denne rapport.

Rundspørge om forsyningernes nuværende omkostninger

Faciliteret af DANVA blev en række forsyningsselskaber adspurgt om specifikke informationer om deres aktuelle niveau for registrering af overløb samt omkostningerne forbundet hermed. Herunder vendte Billund Spildevand, Fredensborg Forsyning, Fredericia Spildevand, Nyborg Forsyning, og Samn Forsyning tilbage med besvarelser. Formålet var ud fra disse eksempler at opnå viden om:

1. nuværende fordeling af bygværker på de forskellige vidensniveauer (1-5). Der kan eksempelvis være forsyninger, der allerede i dag benytter sig af højere vidensniveauer, end dem man kan indberette under i PULS i dag.
2. nuværende omkostninger til beregning af overløbsmængder på hvert vidensniveau (1-5). Herunder ses omkostningerne på to måder, 1) omkostninger til opsætning af modeller, midlertidige målinger, kalibrering m.v., og 2) årlige driftsomkostninger til beregning af overløbsmængder og indberetning i PULS.
3. behov for justering af prisoverslag i nærværende rapport, da forsyningerne kan have en anden opfattelse af omkostningerne forbundet med de forskellige vidensniveauer, end dem der er præsenteret i nærværende rapport.

Tilbagemeldingerne er samlet i bilag 4 og på baggrund af tilbagemeldingerne fra forsyningsselskaberne konkluderes det, at:

1. der er stor forskel på måden hvorpå forsyningerne registrerer og beregner de aflastede vandmængder
2. der er stor forskel på den estimerede omkostning til registrering og beregning af overløbsmængder
3. de indsamlede informationer vurderes ikke at kunne udgøre et grundlag for justering af omkostningerne angivet i Tabel 5 og Figur 4
4. de indsamlede informationer indikerer et stort spænd i omkostninger mellem forsyninger/kommuner også inden for hvert niveau (1-5)

Stikprøverne har således givet grundlag for en simpel usikkerhedsanalyse, hvor den samlede omkostning er bestemt ved samme distribution af bygværkerne i niveauerne som i det omkostningseffektive scenarie vist på Figur 5, men hvor enhedsomkostningen for et bygværk er reguleret med afsæt i

informationer fra forsyningerne som vist i Tabel 8. Som det fremgår af tabellen, vendte ingen af forsyningerne tilbage med omkostninger forbundet med niveau 1 og 5. Derfor benyttedes omkostningerne fastsat i denne rapport på disse niveauer. Dette resulterer i en totalomkostning på 37 mio. kr. pr. år baseret på forsyningernes tilbagemeldinger.

Ifølge de fastsatte omkostninger i denne rapport, udgør meromkostningen 53 % af de totale omkostninger jævnfør analysen i Figur 8. Det antages, at meromkostninger jævnfør forsyningernes tilbagemeldinger vil antage samme størrelse, hvorved meromkostningen, med afsæt i forsyningernes tilbagemeldinger, er 20 mio. kr. pr. år.

Tabel 8. Sammenligning af de i nærværende rapport vurderede omkostninger og omkostninger jævnfør tilbagemeldingerne fra forsyningerne. Endeligt sammenlignes omkostningerne med den procentuelle forskel fra de i denne rapport fastsatte omkostninger.

	Omkostninger fra Tabel 5	Omkostning justeret på baggrund af informationer fra forsyningerne	Procentuel forskel
Niveau 1	5 til 10 tkr. pr. år (7,5 tkr. pr. år)	Ingen tilbagemelding	Ingen tilbagemelding
Niveau 2	10 til 20 tkr. pr. år (13 tkr. pr. år)	5,8 til 6,8 tkr. pr. år (6,3 tkr. pr. år)	-51 %
Niveau 3	30 til 55 tkr. pr. år (42 tkr. pr. år)	3,2 til 9,3 tkr. pr. år (6,2 tkr. pr. år)	-85 %
Niveau 4	45 til 80 tkr. pr. år (62 tkr. pr. år)	7,2 til 14,4 tkr. pr. år (10,8 tkr. pr. år)	-83 %
Niveau 5	220 til 420 tkr. pr. år (323 tkr. pr. år)	Ingen tilbagemelding	Ingen tilbagemelding

2.5.4 Den økonomiske meromkostning for forbrugeren

På baggrund af forsyningernes tilbagemeldinger og de angivne omkostninger i nærværende rapport, vurderes det, at den egentlige meromkostning ved implementering af metoderne i nærværende afsnit vil ligge i omegnen af 20 til 37 mio. kr. pr. år.

DANVA udgiver løbende magasinet Vand i Tal, hvor de gennemgår nøgletal i den danske vandsektor. I Vand i tal for 2018 og 2019 angives det, at spildevandsselskaberne i henholdsvis 2016 og 2018 behandlede 360 og 279 m³ vand (DANVA, 2018; DANVA, 2019). Under forudsætning af, at den nødvendige merinvestering kan fordeles ligeligt baseret på hver solgte kubikmeter vand, vil det resultere i en meromkostning på 0,05 til 0,10 kr. pr. m³ for den behandlede spildevandsmængde i 2016 og 0,07 til 0,13 kr. pr. m³ i 2018, hvor det nedre interval er beregnet på baggrund af tilbagemeldingerne fra forsyningerne og det øvre interval på baggrund af de fastsatte omkostningsniveauer i denne rapport.

2.6 Niveaudispensation

Det er nødvendigt, at de beregninger, der ligger til grund for overløbsindberetningen for de enkelte overløbsbygværker, stemmer overens med beskrivelsen under de enkelte niveauer jævnfør beskrivelsen i kapitel 3. Der foreslås dog en mulighed for 'dispensation', hvor det er muligt at hæve et bygværk til et højere niveau, hvis det kan dokumenteres, at bestemmelse af overløbsmængderne fra bygværket sker inden for det usikkerhedsinterval, der er gældende for det niveau, som det ønskes at hæve overløbsbygværket til. Det kan f.eks. være i form af lokale målinger af stofkoncentrationer ved det enkelte overløbsbygværk.

Indføres muligheden for niveaudispensation, er det også nødvendigt, at der føres tilsyn med den dokumentation der indleveres herfor. Det skal derfor vurderes om dette er muligt, før denne mulighed indføres.

3. Metodebeskrivelse af niveauer for vandselskabets vidensniveau

I det vedlagte notat udarbejdet af DTU i bilag 2 er det kortlagt hvilke elementer og parametre, der udgør de største usikkerheder i de nuværende anvendte beregningsmetoder til at bestemme overløbsmængder. I nærværende afsnit beskrives de parametre, som typisk indgår i de enkelte modelniveauer. Der opstilles et afsnit for hvert modelniveau beskrevet i Tabel 1, som beskriver hvad det specifikke niveau indebærer. Derudover opstilles et særskilt afsnit, der beskriver de parametre, som bredt set indgår i alle modeltyper.

3.1 Standardværdier og usikkerhed for generelle inputparametre

I det følgende beskrives de modelinput som kan betragtes generelt anvendelige på alle niveauer af modelkompleksitet.

3.1.1 Regn-input

Estimering af overløbsmængder med modeller er i høj grad afhængig af valg af regn-input (Thorndahl et. al., 2006). Det er derfor essentielt for estimering af overløbsmængder, at der benyttes en repræsentativ regnserie til formålet.

Usikkerheden, der introduceres som følge af valg af regnserie, skyldes variationer i tid og sted. De tidlige variationer udgør både ændringer på langt sigt, men også på regnseriens dynamik under en isoleret hændelse. De langsigtede variationer i nedbørsudviklingen påvirker beregning af overløbsmængder for normalår (referenceværdi) og konkretår. I det vedlagte notat udarbejdet af DTU i bilag 2 anbefales det at benytte en regnserie med en observationsperiode på minimum 20 år, til at beregne statistiske referenceværdier. Til beregning af overløbsmængder for konkretår benyttes nedbørsobservationer fra det konkrete år, på samme model som beregning af overløbsmængden for normalår.

For at nedbringe usikkerheden, der introduceres på baggrund af manglende inddragelse af stedlig variation i regn-inputtet, bør der som minimum laves en kvalitativ udvælgelse af en repræsentativ regnserie fra Spildevandskomitéens regnmålersystem eller en anden form for regnmåling. Regnserien bør være lokal og så vidt muligt, fra en målestation i oplandet. I store oplande, hvor der forefindes flere målestationer inden for oplandet, vil det være hensigtsmæssigt at opdele nedbørsbelastningen i oplandet, så der introduceres stedlig variation indenfor modelområdet. På sigt vil det være oplagt at benytte radarobservationer, til at beskrive den stedsige variation i nedbør, for på denne måde at nedbringe denne usikkerhed.

3.1.2 Initialtab

Initialtabet tager højde for tab i begyndelsen af regnhændelser, der skyldes magasinering i lavninger i overfladen eller vandmætning af de impermeable overflader. Den mest hensigtsmæssige metode til at estimere initialtabet for et opland er ved at analysere sammenhængen mellem nedbørsmængde og afstrømmet vandmængde for en række regnhændelser. Ved at opstille en lineær relation mellem de to variable kan initialtabet estimeres ved, at analysere hvilken regndybde der forekommer, før der måles afstrømning.

I den gældende datatekniske anvisning for indberetning af overløbsmængder vedlagt i bilag 3 benyttes en standardværdi for initialtab på 0,6 mm. Thorndahl et. al. (2006) har analyseret afstrømningsdata fra fire oplande i Danmark, for at estimere den hydrologiske reduktionsfaktor og initialtabet. Undersøgelserne viser et initialtab der varierer mellem 0,4 mm og 0,7 mm. Andre danske studier anbefaler at benytte værdier i intervallet 0,5 - 1,0 mm (Thorndahl et. al., 2006).

Initialtabets betydning for usikkerheden på estimering af overløbsmængder er relativt lille. Dette skyldes at initialtabet udgør en relativt lille del af den samlede afstrømning. Dette understøttes af undersøgelser i Thorndahl et. al. (2008), der viser at initialtabet er en ikke-følsom parameter til optimering af afstrømningsmodeller på baggrund af flow og overløbsregistreringer.

Der findes ikke et tilstrækkeligt grundlag for at ændre det nuværende anbefalede initialtab på 0,6 mm. Anvendes en anden værdi, skal denne underbygges af målinger eller anden dokumentation eksempelvis som demonstreret af Miljøstyrelsen (1990) og DHI (2017).

3.1.3 Bestemmelse af befæstelsesgrad

Der findes adskillige metoder til at fastsætte befæstelsesgraden for et givent opland. Valg af metode afhænger i høj grad af de lokale forhold, hvorfor der ikke kan gives en anvisning til én konkret metode. I det følgende nævnes flere forskellige metoder, der kan anvendes til bestemmelse af befæstelsesgraden.

Med udgangspunkt i data fra GeoDanmark (<https://www.geodanmark.dk/>), kan bygningslaget anvendes til at kortlægge det befæstede areal udgjort af bygninger. I dette kortlag indgår der som regel ikke overflader som indkørsler og lignende. For at korrigere for sådanne overflader kan der tages stikprøver, der danner grundlag for en vurdering af, hvor meget disse overflader forøger det totale befæstede areal. Befæstelsesgraden for bygningerne kan derved faktorkorrigeres således, at der også tages højde for indkørsler m.v.

Befæstelsesgraden fra veje kan ligeledes vurderes ved hjælp af kort over f.eks. vejmidter. Vejmidterne kan ved hjælp af GIS-behandling tilføjes en buffer, der beskriver vejens bredde og derved areal. Foruden kort over vejmidter, kan der også anvendes kort over vejnettet. Vejnettet udgør i sig selv en overflade, men kan dække arealer, der ikke nødvendigvis er 100 % befæstede. Derfor kan det ved brug af vejnettet være nødvendigt at korrigere befæstelsesgraden. Der findes forskellige GIS-baserede værktøjer, der ved hjælp af bygningspolygoner og polygoner for veje og andre befæstede overflader, kan anvendes til at bestemme oplandets befæstelsesgrad.

Andre metoder anvender luftfotodata og tekniske grundkort i kombination til både manuelle og automatiserede klassificeringer af overfladerne. Først og fremmest kan luftfoto og grundkort anvendes til manuel optegning af de befæstede overflader. Derudover kan klassificeringsalgoritmer automatisk genkende f.eks. tage, veje m.v. og sætte disse forskellige overflader ind i kategorier og skille de ubefæstede overflader fra. Både manuel og automatisk klassificering kan verificeres med fysiske inspektioner af kortlagte oplande. Det kan gøres for at verificere at overfladerne er klassificeret korrekt, men også om disse er tilsluttet afløbssystemet.

Automatisk klassificering af overfladetyper er i fortsat udvikling, hvilket blandt andet ses af Styrelsen for Dataforsyning og Effektiviserings [nye projekt](#) om at undersøge potentialet i machine learning til kortlægning af befæstede overflader. Det forventes, at usikkerheden på inputdata om befæstelsesgrad vil falde markant i takt med den teknologiske udvikling.

3.1.4 Hydrologisk reduktionsfaktor

Den hydrologiske reduktionsfaktor er vigtig i forhold til korrekt bestemmelse af flow og overløb (Thorndahl et. al., 2008). Den hydrologiske reduktionsfaktor benyttes til at tage højde for, at det ikke

altid er hele det befæstede areal der bidrager til afstrømningen. Dette kan f.eks. være indkørsler eller drivhuse der ikke er tilsluttet afløbssystemet, men som indgår i kortlægningen af befæstede overflader.

Den hydrologiske reduktionsfaktor benyttes også til at redegøre for usikkerheden forbundet med regn-inputtet, der typisk måles som punktværdier, men benyttes over et større opland, hvor der kan være spatial variation. Ofte benyttes der i forsyningerne en fast standardværdi for hydrologisk reduktionsfaktor, når der udarbejdes hydrauliske ukalibrerede modeller. Thorndahl et. al. (2006) præsenterer danske litteraturværdier for hydrologisk reduktionsfaktor, der varierer i intervallet 0,6 til 0,9. I datateknisk anvisning for indberetning af regnbetingede overløbsmængder, benyttes en hydrologisk reduktionsfaktor på 0,8 til bestemmelse af arealenhedstal.

Analysen fra Thorndahl et. al. (2006), der undersøger sammenhængen mellem nedbørsmængde og afstrømningsmængde, viser at den lokale hydrologiske reduktionsfaktor for fire undersøgelsesområder ligger i intervallet 0,4 til 0,6. Artiklen påpeger, at anvendelse af de danske litteraturværdier kan introducere en stor overestimering af belastningen af afløbssystemet og dermed på overløbsmængden.

Usikkerheden forbundet med anvendelse af litteratur-værdier for hydrologisk reduktionsfaktor, kan nedbringes ved at anvende observationsdata fra afløbssystemet. Det anbefales derved at gennemføre den samme analyse som beskrevet i afsnit 3.1.2, hvor det på en lineær relation analyseres hvor stor en procentdel af nedbøren der i praksis strømmer til et specifikt målepunkt i afløbssystemet. Derudover kan den hydrologiske reduktionsfaktor anvendes som kalibreringsparameter i den hydrodynamiske model. Dog opnår denne kalibrering principielt det samme som analysen af den lineære relation.

3.1.5 Afstrømning fra ubefæstede områder

Afstrømning fra byens ubefæstede områder er ofte en ukendt faktor i forhold til den samlede overfladeafstrømning til afløbssystemet. Denne type afstrømning er mindre forudsigelig end afstrømning fra de befæstede overflader og forekommer som regel kun i begrænsede perioder. Der er altså tale om et særdeles ikke-lineært fænomen, som er udfordrende at indbygge i den nuværende modelleringspraksis. Derfor bør der i det konkrete opland foretages en vurdering af, hvorvidt de ubefæstede overflader i oplandet udgør en potentiel risiko for overfladeafstrømning. Nye feltstudier fra Lystrup nær Aarhus viser, at afstrømning i perioder kan forekomme på flere forskellige måder fra et større ubefæstet område (Nielsen et al., 2019a; Nielsen et al., 2019b). Generelt gav disse studier et indtryk af, at afstrømning fra den studerede ubefæstede overflade i højere grad var afgørende for bassiners kapacitet end den egentlige rørkapacitet. Der forelægger på nuværende tidspunkt ikke direkte evidens for, hvordan afstrømning fra ubefæstede områder bør inddrages. Igangværende studier undersøger dog emnet nærmere. Resultater fra disse studier forventes offentliggjort inden for de kommende år, hvorefter der potentielt kan være et bedre grundlag for at vurdere afstrømningen fra de ubefæstede områder.

3.1.6 Grundvandsindsivning og bidrag fra omfangs- og markdræn

Grundvandsindsivning og afstrømning fra omfangs- og markdræn forekommer i større eller mindre grad i stort set alle afløbssystemer ved at vand fra den omkringliggende jord siver ind igennem utætheder i rørsystemet eller i dræn. Den resulterende strømning i rørsystemet kan have betydning for afløbssystemets kapacitet, og derfor er det nødvendigt at give et så nøjagtigt estimat af disse bidrag som muligt.

Grundvandsindsivning og afstrømning fra omfangs- og markdræn minder som regel om hinanden og vil typisk udgøre et variabelt basisflow i rørsystemet. Det flow, der genereres fra indsivning kortlægges

typisk ved at studere hydrografen et sted i afløbssystemet. Dette kan enten være i form af punktmålinger af flow ude i afløbssystemet eller ved indløb til renseanlæg. Hydrografen inddeles i forskellige strømningskomponenter, hvilket typisk vil være nemmest under tørvejr, hvor indsvivning og spildevandstilstrømning er de primære strømningsbidrag for fællessystemer. For separate regnvandssystemer vil indsvivning og afstrømning fra omfangs- og markdræn ideelt set være de eneste bidrag.

For at opnå en præcis model bør der altid foretages analyser af strømningsbidragene, således at disse kan adskilles og inddrages i den hydrauliske analyse af rørsystemet.

3.1.7 Spildevandsbelastning i fællessystemer

I datateknisk anvisning for indberetning af overløbsmængder benyttes i dag et kombineret tørvejrflow, der indeholder spildevandsbelastning og indsvivning. Spildevandsbelastningen og indsvivningen kan med fordel opdeles, da spildevandsbelastningen kan estimeres med forholdsvis stor sikkerhed, mens indsvivningen er meget varierende afhængig af blandt andet afløbssystemets beskaffenhed og placering af grundvandspejl.

Spildevandsmængden bør estimeres på baggrund af analyse af rentvandsforbruget. Analyse af rentvandsforbruget er en simpel, men relativ sikker metode til at estimere spildevandsbelastningen, da de to er lineært afhængige. Det er derfor muligt at opstille en model for spildevandsbelastningen på ugebasis, der inddrager den tidlige variation.

Spildevandsbelastningen beregnes som den samlede vandproduktion fratrukket drikkevandsforsynings vandtab og vandforbrug der ikke ender i afløbssystemet. Dette kan eksempelvis være havevanding.

Vandtab bliver hvert år beregnet af drikkevandsforsyningerne på baggrund af den reelle rentvandproduktion og den solgte vandmængde, baseret på lokale målinger hos forbrugeren (DANVA, 2016). Dette resulterer i en beregnet spildevandsbelastning pr. PE i drikkevandsforsynings opland, der kan overføres til et konkret opland på baggrund af antallet af PE.

3.1.8 Beregning af opspædningsgrad af spildevand i overløbsvand

I den datatekniske anvisning for indberetning af overløbsmængder skelnes der i dag mellem typetal for stofkoncentrationer i spildevand, overvand (det vand i fællessystemet, der ikke er spildevand) og overløbsvand. Ved anvendelse af typetallet for overløbsvand introduceres en usikkerhed på estimatet af de udledte stofmængder, da der ikke tages højde for det enkelte oplands spildevandsproduktion. Stofkoncentrationen i overløbsvandet afhænger af i hvor stor grad overløbsvandet består af spildevand, hvorfor det er svært at estimere et typetal for overløbsvand. Også den fysiske udformning af og udstyr i overløbsbygværket samt bassin i tilknytning til overløbet kan have stor betydning for stofkoncentrationen i overløbsvandet. Det kan derfor nedbringe usikkerheden på estimatet af de udledte stofmængder at beregne en vægtet stofkoncentration i overløbsvandet på baggrund af typetallene for spildevand og overvand. Stofkoncentrationen kan eksempelvis beregnes på baggrund af følgende relation mellem stof i overløbsvand, overvand og spildevand (Miljøstyrelsen, 2000):

$$M_{total} = M_{spildevand} + M_{overvand} = \int C_{spildevand} Q_{spildevand}(t) dt + HMK_{overvand} V_{overvand}$$

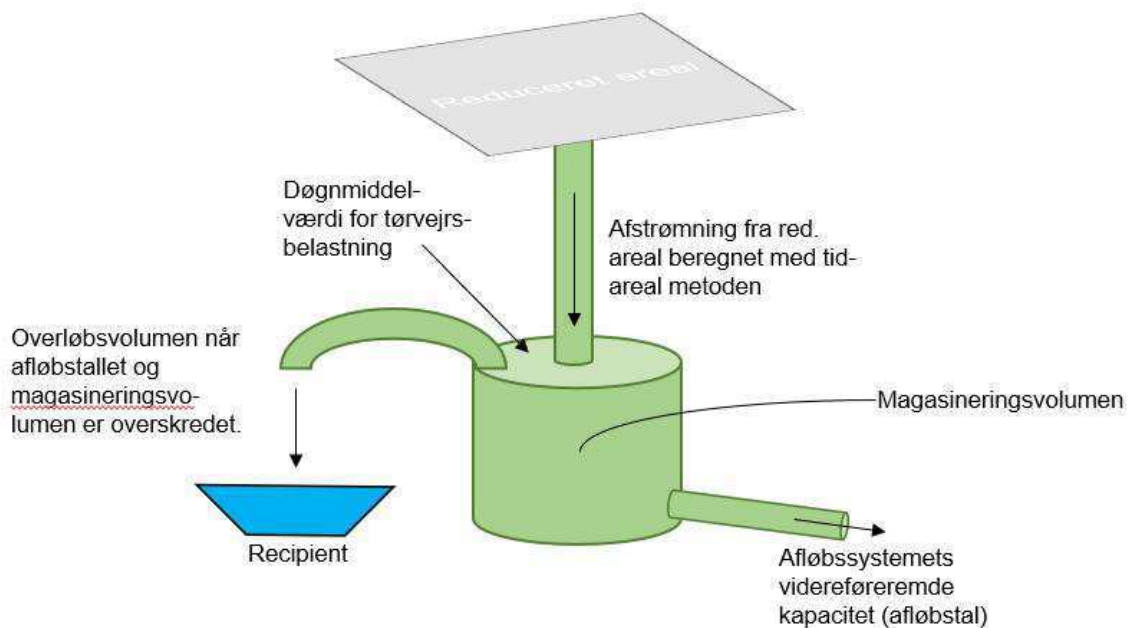
Hvor M_{total} er den udledte stofmængde for overløbsvandet, $M_{spildevand}$ er den udledte stofmængde i overløbsvandet udgjort af stof spildevand i overløbsvand, $M_{overvand}$ er den udledte stofmængde i overløbsvandet udgjort af stof overvand, $C_{spildevand}$ er stofkoncentrationen i spildevandet, $Q_{spildevand}$ er spildevandsflowet, t er tid, HMK er hændelsesmiddelkoncentrationen af stof i overvandet, og $V_{overvand}$ er andelen af overløbsvolumen udgjort af overvand.

For samtlige vidensniveauer er det muligt enten ud fra modeller, målinger, oplandsanalyse, eller en kombination af disse, at vurdere den samlede massebalance for afløbssystemet, hvorfor det også er muligt at estimere hvor stor en fraktion af det udledte vand der er henholdsvis spildevand og overvand. Denne fraktionering kan benyttes til at bestemme en vægtet stofkoncentration i overløbsvandet på baggrund af fuld opblanding mellem spildevand og overvand. Da der i særlig høj grad vil eksistere målinger i niveau 3 til 5, bør der særligt under disse niveauer beregnes en lokal opspædningsgrad, mens der for niveau 1 og 2 fortsat kan anvendes typetal.

3.2 Niveau 1: Sempel massebalanceberegning

Niveau 1 er den simpleste metode at anvende til estimering af overløbsmængder. Metodens simplicitet betyder da også, at estimeringen af overløbsmængder, herunder stof og vandvolumen, behæftes med en væsentlig usikkerhed.

I metoden beregnes overløbsvolumen ved hjælp af en simpel massebalancebetragtning, som illustreres i en konceptuel model i Figur 9.



Figur 9. Den konceptuelle opsætning af modellen til beregning af overløbsvolumen i niveau 1. Modellen kan opsættes både i Mike Urban og regneark.

Ved anvendelse af metoden fastsættes et afløbstal som beskriver afløbssystemets videreførende kapacitet. Dernæst fastsættes et magasineringsvolumen, der beskriver den samlede magasineringskapacitet, som har indflydelse på det konkrete overløbsbygværk. Findes der ikke sparrebassiner i oplandet, er det kun rørsystemets magasineringskapacitet, der indgår i magasineringsvolumenet. Afstrømningen fra det reducerede areal til afløbssystemet (magasineringsvolumenet jf. Figur 9), beregnes med en lineær tid-arealmodel. Overskrides afløbсталlet og det definerede magasineringsvolumen, resulterer dette i et overløbsvolumen. Dette overløbsvolumen ganges med et enhedstal for de forskellige stoftyper og heraf fås et estimat over de udledte stofmængder. Findes der op- eller nedstrøms bygværker, der kan påvirke beregningen af overløb i det konkrete overløbsbygværk, bør der anvendes et højere modelniveau som eksempelvis niveau 2.

3.2.1 Metodens hidtidige anvendelse

I den datatekniske anvisning for indberetning af overløbsmængder beskrives metoden som værktøj til generering af tabeller med arealenhedstal for overløbsmængder.

Der er genereret én standardtabel der indeholder 16 arealenhedstal for overløbsmængder normaliseret i forhold til det befæstede areal, baseret på kombinationer af 4 afløbstal og 4 magasineringsvoluminer. Til beregning af arealenhedstallene er følgende forudsætninger anvendt:

- Initialtab på 0,6 mm
- Hydrologisk reduktionsfaktor på 0,8
- Spildevandsbelastning på 40 PE/ha og 250 l/PE/døgn (inkl. Indsivning)
- Lineær tid-areal-kurve med en koncentrationstid på 20 min
- Regnserie med årsnedbør på 650 mm

De nødvendige input til beregning af overløbsvolumen for et konkret opland er altså det befæstede areal, afløbstallet, magasineringskapaciteten samt årsnedbøren for det specifikke opland. Ved afløbstal og magasineringskapacitet, der ikke er repræsenteret af de 16 kombinationer, interpoleres der mellem de 4 værdier for afløbstal og de 4 værdier for magasineringsvolumen. Ved opslag i tabellen bestemmes arealenhedstallet for afløbssystemet, der herefter ganges med det befæstede areal og skales i forhold til den reelle årsnedbør i oplandet.

3.2.2 Forbedringspotentiale til nedbringelse af usikkerhed

Beregningen af overløbsvolumen på baggrund af vidensniveau 1 har i dag kun fire variable 1) det befæstet areal, 2) magasineringskapaciteten, 3) afløbstallet, og 4) årsnedbør. Magasineringskapaciteten og afløbstallet er yderligere begrænset til fire værdier for hver parameter (foruden ved interpolation). Som beskrevet i afsnit 3.1 bør også den hydrologiske reduktionsfaktor, spildevandsbelastning og indsivning bestemmes for det lokale opland, så usikkerhed på vandbalancen reduceres.

Overfladeafstrømningens koncentrationstid til bestemmelse af arealenhedstal sættes i den datatekniske anvisning (bilag 3) til 20 minutter. Thorndahl et. al. (2008) viser at koncentrationstiden er en af de parametre, der har indflydelse på hydrauliske modelleres evne til at beregne blandt andet overløbsvoluminer. Foruden regninputtet, er koncentrationstiden den eneste parameter, der påvirker dynamikken af den beregnede afstrømning. Koncentrationstiden bør derfor som minimum estimeres for det lokale opland på baggrund af oplandsstørrelsen.

Til estimering af overløbsmængde ved konkretår, baseres beregningen i dag på årsnedbøren for én af 9 regnserier. For at nedbringe usikkerheden i modelberegningen bør den lokale dynamik i nedbørsmønstret inddrages. Dette kræver at beregningerne baseres på en regnserie frem for årsnedbøren. Regnserien bør herudover repræsentere det lokale opland, som beskrevet i afsnit 3.1.1.

Ved brug af oplandsspecifikke værdier for hydrologisk reduktionsfaktor, spildevandsbelastning, indsivning og koncentrationstid, er det ikke længere muligt at opstille arealenhedstal i en matrix. Det er derfor nødvendigt at opstille en beregningsmodel (f.eks. i regneark), der på baggrund af de stationære modelinput og en regnserie, kan estimere overløbsmængden for det lokale opland. Dette er fortsat muligt uden dybdegående kendskab til afløbssystemets fysiske udformning, ved opstilling af en simpel reservoirmodel, eller en forsimplet model i eksempelvis Mike Urban med ét opland og ét bassin. Fremgangsmåden til opbygning af model og beregning af overløbsvolumen eksemplificeres i afsnit 3.2.3.

3.2.3 Beregningseksempel ved brug af reservoir model

Følgende beregning baseres udelukkende på de samme massebetragtninger som den nuværende niveau 1 beregning. Forskellen fra den nuværende beregningsmetode er, at regnseriens dynamik og de hydrologiske parametre her er oplandsspecifikke, frem for baseret på standardværdier.

En reservoirmodel bygger på simple massebalancebetragtninger, hvor massebalancen beregnes for et reservoir i hvert tidsskridt. I følgende eksempel opbygges modellen med et reservoir, der har et magasineringsvolumen, der svarer til afløbssystemets magasineringsskapacitet. I hvert tidsskridt bestemmes den tilførte vandmængde og den videreførte vandmængde, jf. konceptuel model på Figur 9. I hvert tidsskridt er proceduren for beregning af vandmængder som følger:

- 1) Bestemmelse af effektiv nedbørsmængde. Den effektive nedbørsmængde bestemmes på baggrund af regnserien, hvor de hydrologiske tab (initialtab og hydrologisk reduktionsfaktor) fratrækkes.
- 2) Bestemmelse af effektiv afstrømning. Den effektive afstrømning bestemmes på baggrund af tid-areal metoden, med den oplandsspecifikke koncentrationstid.
- 3) Bestemmelse af tilført vandmængde. Den tilførte vandmængde består af 2 komponenter; regnafstrømning og tørvejrflow (primært indsivning og spildevandsflow). Regnafstrømningen bestemmes som den effektive afstrømning gange det befæstede areal.
- 4) Bestemmelse af magasineret vandmængde (før afledt vandmængde fratrækkes). Den magasinerede vandmængde bestemmes som den opmagasinerede vandmængde i forrige tidsskridt + den tilførte vandmængde.
- 5) Bestemmelse af afledt vandmængde. Den afledte vandmængde består af to komponenter; den videreførte vandmængde og overløbsmængden. Den videreførende vandmængde beregnes som den magasinerede vandmængde fra punkt 4, medmindre denne overskrider den afskærende kapacitet. I tilfælde af dette er den videreførte vandmængde lig med den afskærende kapacitet. Overløbsmængden bestemmes som Den magasinerede vandmængde fra punkt 4, fratrukket den videreførte vandmængde og magasineringsskapaciteten (V). Resultater dette i en negativ værdi, er der ikke overløb og overløbsmængden er 0.
- 6) Bestemmelse af resulterende magasineret vandmængde. Den resulterende magasinerede vandmængde er den magasinerede vandmængde fra punkt 4 fratrukket den afledte vandmængde (videreført vandmængde og overløbsmængde) fra punkt 5.
- 7) Gentagelse af punkt 1-6 med den nye magasinerede vandmængde og tilført vandmængde fra nyt tidsskridt.

Sammenligning af resultater

Der er opbygget en reservoirmodel, på baggrund af ovenstående forudsætninger, for at vise forskellen på den estimerede overløbsmængde ved opslag i tabel og ved anvendelse af model. Modellen benyttes til at estimere arealenhedstal for et fiktivt opland baseret på regnserier fra både 2017 og 2018. Til beregningerne er følgende forudsætninger anvendt:

- Initialtab på 0,6 mm
- Hydrologisk reduktionsfaktor på 0,8
- Spildevandsbelastning på 40 PE/ha og 250 l/PE/døgn (inkl. Indsivning)
- Lineær tid-areal-kurve med en koncentrationstid på 20 min
- 2018 regnserie fra Sulsted med årsnedbør på 498 mm og 2017 regnserie fra Sulsted med årsnedbør på 792 mm.

Den eneste forskel på forudsætningerne til modellen og forudsætningerne benyttet til beregning af arealenhedstal i den datatekniske anvisning, er regnserierne.

På Tabel 9 ses de estimerede overløbsmængder, beregnet på baggrund af retningslinjerne i *Datateknisk anvisning for indberetning af overløbsmængder* samt reservoirmodellen for regnserien fra 2018. Af Tabel 10 fremgår de estimerede overløbsmængderne beregnet på baggrund af regnserien fra 2017.

Til bestemmelse af overløbsmængder på baggrund af arealenhedstal i datateknisk anvisning for indberetning af overløbsmængder er der skaleret i forhold til årsnedbøren med en faktor 0,766 (498 mm / 650 mm) og 1,218 (792 mm/650 mm) for henholdsvis 2018 og 2017.

Tabel 9. Arealenhedstal beregnet på baggrund af tabel 2 i datateknisk anvisning for indberetning af overløbsmængder, skaleret i forhold til årsnedbør på 498 mm (til venstre) og arealenhedstal beregnet ved brug af reservoirmodel med regnserie med årsnedbør på 498 mm (til højre). Enhederne er m³/red. ha/år.

Afløbstal/Magasineringsvolumen	0 mm	2 mm	10 mm	25 mm
0,1 µm/s	2857 / 2262	1593 / 1066	406 / 132	92 / 0
0,3 µm/s	1846 / 1221	804 / 475	169 / 21	38 / 0
1,0 µm/s	697 / 294	237 / 475	77 / 0	15 / 0
2,0 µm/s	368 / 82	161 / 22	54 / 0	8 / 0

Tabel 10. Arealenhedstal beregnet på baggrund af tabel 2 i datateknisk anvisning for indberetning af overløbsmængder, skaleret i forhold til årsnedbør på 792 mm (til venstre) og arealenhedstal beregnet ved brug af reservoirmodel med regnserie med årsnedbør på 792 mm (til højre). Enhederne er m³/red. ha/år.

Afløbstal/Magasineringsvolumen	0 mm	2 mm	10 mm	25 mm
0,1 µm/s	4545 / 3974	2534 / 2225	645 / 610	146 / 0
0,3 µm/s	2936 / 2523	1276 / 1262	268 / 209	61 / 0
1,0 µm/s	1101 / 844	378 / 304	122 / 2	24 / 0
2,0 µm/s	585 / 264	256 / 57	85 / 0	12 / 0

Som det fremgår af Tabel 9 og Tabel 10 er der en stor forskel på de beregnede værdier ved de to metoder. Der er en generel overestimering af overløbsvolumenerne i forhold til resultatet af reservoirmodellen. Forskellen på disse værdier kan udelukkende tilskrives at effekten af dynamikken i regnserien inddrages i værdierne til højre i Tabel 9 og Tabel 10.

3.3 Niveau 2: Den ukalibrerede 1D hydrodynamiske model

Bestemmelse af overløb ved hjælp af 1D hydrodynamiske modeller benyttes også i dag ved indberetning af overløbsmængder til PULS. Typisk anvendes Mike Urban til at simulere overfladeafstrømningen til afløbssystemet. Fordelen ved at anvende denne model er, at modellens repræsentation af den fysiske virkelighed i afløbssystemet forbedres. Det gøres ved, at afløbssystemets struktur samt vandbidrag fra overfladevand, tilføres de rigtige steder i systemet. Dette er ikke tilfældet ved anvendelse af niveau 1. Ligeledes defineres de fysiske karakteristika for hvert enkelt overløb, herunder kronekote, kronebredde, bassinvolumener m.v.

En 1D hydrodynamisk model består som regel af en overflademodel og en rørmodel. Overflademodelen benyttes til at beregne de hydrologiske forhold vedr. overfladeafstrømning, mens rørmodellen beskriver strømningerne i afløbssystemet.

Overflademodel

Til forskel fra overfladeafstrømningen beregnet med niveau 1, opdeles oplandet i den 1D hydrodynamiske model i en række deloplande. Disse deloplande tilknyttes en knude i rørmodellen, hvor det afstrømmede vand tilføres. Derudover har deloplandene tilknyttede befæstelsesgrader samt en hydrologisk overflademodel og en række andre hydrologiske parametre beskrevet i afsnit 3.1.

Disse hydrologiske parametre anvendes i en afstrømningsmodel som eksempelvis en tid-areal-model. Tid-areal-modellen afhænger ligesom i niveau 1 af koncentrationstiden.

For at reducere usikkerheden på overflademodellen, bør de hydrologiske parametre bestemmes som beskrevet i afsnit 3.1. Alternativt kan parametrene tilpasses i en kalibrering af modellen. Dette vil resultere i at modellen kan klassificeres under niveau 3, som beskrevet i Tabel 1.

Rørmodel

For at kunne opbygge modellen er det nødvendigt at kende afløbssystemets strukturelle udformning med en god detaljeringsgrad. Dette indebærer viden om ledninger og knuders placeringer, tilslutninger, dimensioner og materialer. Herudover skal bassiner/bygværkers voluminer, placering og overløbskoter være kendte. Information om ovenstående bør i vid udstrækning kunne udledes af forsyninernes ledningsregistreringer.

3.4 Niveau 3: Den kalibrerede 1D-hydrodynamiske model

Der stilles i dag ikke krav til kalibrering eller på anden måde validering af de modeller, som opstilles i forbindelse med indberetning af overløbsmængder til PULS. Det medfører en relativt høj modelusikkerhed. Anvendelse af niveau 3 ved indberetning til PULS-databasen, skal ske med afsæt i en velkalibreret model. Den velkalibrerede model er et vidt begreb, som der ikke nødvendigvis er ét svar på, dog bør en række betingelser være opfyldt, hvis dette niveau anvendes til indberetning af overløbsvoluminer.

Grundlæggende indeholder den 1D-hydrodynamiske model i niveau 3 de samme overvejelser som beskrevet under niveau 2. Derefter følger den egentlig kalibrering. Det foreskrives ikke i nærværende rapport, hvordan kalibreringen skal gennemføres, da der findes mange forskellige måder at gribe det an på. Dog forudsætter den kalibrerede model, at der er foretaget målinger på overløbsbygværket, der som minimum kan bestemme start og slut tidspunktet for overløb og derved også antallet af overløb. Alene dette datagrundlag er tidligere blevet påvist som særdeles effektivt til at opnå en velkalibreret model (Rasmussen et al. 2008).

Kalibreringen forudsætter også, at der i de måledata, der ligger til grund for kalibreringen, indgår et vist antal overløbsregistreringer og som minimum fem klart adskillelige overløb. Endeligt skal det med modellen være muligt at opnå god overensstemmelse med de registrerede hændelser.

3.5 Niveau 4: Overløbsestimering baseret på softwaresensorer

Beregning af overløbsmængder ved hjælp af en softwaresensor kan anvendes til særligt komplicerede overløbsbygværker, hvor der årligt udledes store mængder overløbsvand. Softwaresensorer baseres grundlæggende på en kombination af fysiske målinger (sensoren) og en model (software). Det simpleste eksempel på en softwaresensor er en Q-h-relation, hvor vanddybden, h , måles ved hjælp af en vandstandsmåler og overløbsflowet, Q , bestemmes ved hjælp af en model for vandføringen, f.eks. en standard overløbsformel, der baseres på den målte vanddybde.

Problemet med standard overløbsformler er dog ofte, at disse ikke passer på afstrømningsdynamikken i komplicerede bygværker, der ofte udleder de største overløbsmængder. Derfor bør der foretages en kalibrering af det konkrete bygværk, der enten baseres på målinger af flow, eller som baseres på avanceret modelleringsteknik.

Ofte vil måling af f.eks. flow til kalibrering af en standard overløbsformel for et bygværk være særdeles tidskrævende og dyrt. Derfor kan det i denne sammenhæng være fordelagtigt at anvende avancerede modelleringsteknikker som CFD-modellering (computational fluid dynamics). I hydraulisk sam-

menhæng anvendes CFD-modeller til at modellere vandets strømning i et tredimensionelt rum. Modellen baseres på den eksakte fysiske udformning af bygværket. Det vil sige, at den fysiske bygværksstruktur opbygges i modellen.

CFD-modeller er blandt andet blevet benyttet i udviklingsprojektet AMOK (Bassø, L., Rasmussen, M., & Mikkelsen P. S., 2014) for at give et bedre estimat af overløbsmængderne ved indløbet til Viby Renseanlæg i Aarhus. CFD-modellen blev i studiet brugt til at udlede Q-h-relationen for overløbsbygværket, hvilket viste sig at kunne sænke usikkerheden på det beregnede overløbsflow betragteligt (Ahm et al., 2016), hvis dette blev sammenlignet med brugen af standardoverløbsformler. Yderligere kan denne metode anvendes, så instrumenteringen til måling af overløb kan gøres med relativt driftsbillige sensorer.

Det udføres løbende forsknings- og udviklingsprojekter, der undersøger hvordan softwaresensorer bedst muligt bringes i spil i de danske afløbssystemer. I øjeblikket indgår Aalborg Universitet i projektet OrEO, støttet af MUDP, hvor der arbejdes med at etablere en samlet løsning til måling i overløbsbygværker og bruge det i forbindelse med IoT-baserede målesystemer til at estimere overløbsmængden.

Der tages udgangspunkt i et batteridrevet lavenergisystem således at målingerne kan overføres automatisk til forsyningen uden at der skal etableres fast strøm eller kommunikationsforbindelse. En sådan IoT-måler kan måle vandspejlet i bygværket med 1 mm nøjagtighed og overføre signalet via en række lavenergi mobilnetværk som f.eks. SigFox og LoRaWan tilbage til forsyningen med en 1-2 minutters tidsopløsning og kan fungere 1-2 år mellem batteriskift.

Projektet viser også at placering af sensoren i bygværket er afgørende for nøjagtigheden af overløbsmålingen. CFD-modeller gør det muligt at kompensere for en mindre optimal placering ved at bruge resultater, der er specifikke for det sted måleren er opsat. Systemet kan også automatisk finde ud af hvilken relativ kote overløbskanten ligger i ved at analysere adskillige hændelser. Herved kalibrerer måleren sig automatisk ind i forhold til overløbskantens placering. Alternativt kan der udføres en 3D laserscanning af bygværket for at få den nøjagtige geometri ind i modellen. Erfaringsmæssigt er tegninger fra ældre bygværker ikke opdateret eller helt i overensstemmelse med den faktiske udformning af bygværket.

Ved indberetning af overløbsmængder under niveau 4 skal overløbsmængden som minimum være bestemt ved hjælp af en udledt Q-h-relation baseret på CFD-modellering og kontinuerte niveaumålinger i overløbsbygværker, som strækker sig over hele indberetningsperioden uden væsentlige udfald.

3.6 Niveau 5: Måling af overløbsmængder

Der findes adskillige teknikker og måleteknologier, der kan anvendes til at estimere overløbsvoluminer på baggrund af målinger. Mange af disse er dokumenteret af DHI (2017) i beskrivelsen af *"Best practice til kortlægning samt reduktion af overløb fra fælleskloakerede afløbssystemer"*. Anvendelse af niveau 5 til overløbsbestemmelse kan som udgangspunkt foregå på mange forskellige måder, det påkræver dog, at overløbsmængderne kan estimeres på et grundlag, der har en tilsvarende eller lavere usikkerhed end den angivne i Tabel 1.

Grundlæggende bør målebaseret overløbsestimering opnå følgende to elementer:

1. bestemmelse af overløbsflowet målt enten direkte eller indirekte gennem en massebalanceopgørelse, og
2. måling af stofkoncentrationer i overløbsvandet i en afgrænset periode.

Ud over rapporten udarbejdet af DHI (2017), findes der også en ældre vejledning til måling af forureningskoncentrationer fra overløbsbygværker (Miljøstyrelsen, 1990). Ligeledes har Miljøstyrelsen af flere omgange vurderet forureningskoncentrationer i fællesvand (Miljøstyrelsen, 2006).

Anvendes dette niveau, bør det overvejes om måledata skal stilles fuldt til rådighed for Miljøstyrelsen. Miljøstyrelsen kan herved anvende disse data i deres løbende revidering af enhedstal for stofkoncentrationer.

3.7 Separate regnvandsudløb

Beregning af udledningen fra separate regnvandsudløb vurderes væsentligt mindre usikker end overløb fra fælleskloakerede afløbssystemet. Dette skyldes, at separate regnvandssystemer principielt leder 100% af nettonedbøren til afløbssystemets udløb. I dag beregnes udledningen på baggrund af nettonedbøren over oplandet, det vil sige nedbøren reduceret for hydrologiske tab, og det bidragende areal. Det vurderes, at denne metode er tilstrækkelig, med enkelte forbedringstiltag. Dette drejer sig konkret om anvendelse af regnserie og bestemmelse af oplandets bidragende areal til afstrømningen.

I dag anvendes der standardtidsserier for nedbørsinputtet. Ligeledes sker der også blot en faktorisering af nettonedbøren fra år til år, baseret på årsmiddelnedbøren af standardtidsserien. Det anbefales, at der generelt søges væk fra muligheden for brug af standardregnserier. I stedet bør der jævnfør afsnit 3.1.1 om regnserie, anvendes regnserie fra lokale eller alternativt repræsentative regnmålere. Den samlede årsmiddelnedbør for den lokale regnserie korrigeres for et initialtab, der svarer til antallet af hændelser multipliceret med initialtabet. Det samlede initialtab over året trækkes herefter fra årsmiddelnedbøren, hvilket resulterer i nettonedbøren, N .

Usikkerheden på estimatet af det bidragende areal, A , til afstrømningen kan også reduceres ved at gennemføre konkrete analyser af oplandet jævnfør afsnit 3.1.3 og 3.1.4 om bestemmelse af befæstelsesgrad og hydrologisk reduktionsfaktor. Når oplandet og nettonedbøren er bestemt baseret på lokale forhold, beregnes det udledte volumen, V , som $V = A \times N$.

4. Eksisterende data om stofkoncentrationer

Stofmængder i overløbsvand estimeres i dag på baggrund af typetal for stofkoncentrationer. Typetalene baseres på målinger fra NOVANA (Miljøstyrelsen, 1990). NOVANA er et nationalt overvågningsprogram, der indsamler data om naturen og vandmiljøets tilstand. Under NOVANA er der et delprogram for punktkilder, der indeholder vidensindsamling om udledninger fra regnbetingede udløb.

Resultater fra måleprogrammet blev behandlet af Miljøstyrelsen (1990) og dannede grundlag for typetalene for stofkoncentrationer i overvand og spildevand. Disse er senere blev revideret i Miljøstyrelsen (2000) på baggrund af nye målinger fra NOVANA programmet. Endeligt er typetallet for fosfor i 2019 blevet nedjusteret med afsæt i en analyse fra Danmarks Tekniske Universitet (Arildsen & Vezaro, 2019). De nyeste resultater fra NOVANA underbygger ligeledes denne nedjustering, da der er observeret lavere fosforniveauer end tidligere.

Det blev her konkluderet, at det kun var koncentrationen for COD det gav anledning til at revidere. Denne blev ændret fra 120 mg/l til 160 mg/l. De resterende typetal for overvand er dermed ikke opdateret siden. Siden seneste revidering af typetal, findes kun to nye rapporter vedrørende stofkoncentrationer. På baggrund af ovenstående vurderes det, at datagrundlaget er for spinkelt til at vurdere behovet for en justering af enhedstal for stofkoncentrationer.

I det følgende sammenlignes de nyeste tilgængelige data med ældre data dog for at anskueliggøre, om der er indikationer af, at der bør ske ændringer i fremtiden.

De nuværende typetal angivet i *Datateknisk anvisning for regnbetingede udløb* (bilag 3) fremgår her af Tabel 11.

Tabel 11. Typetal for stofkoncentrationer i overvand, spildevand, overløbsvand og separat overfladevand jævnfør den datatekniske anvisning for regnbetingede udløb vedlagt i bilag 3.

Komponent	Overvand (mg/l)	Spildevand (mg/l)	Overløbsvand (mg/l)	Separat overfladevand (mg/l)
BI ₅	25	160	30	6
COD	160	320	180	50
Tot-N	10	43	12	2
Tot-P	2,5	13	2,0	0,3

4.1 Gennemgang af NOVANA-data

I Tabel 12 gives en oversigt over de i dag eksisterende målekampanjer, der har lagt grundlaget for enhedstal for stofkoncentrationer i regnbetingede udledninger. Dataene fra målekampanjerne er løbende blevet afrapporteret og gengivet i flere rapporter udarbejdet af Miljøstyrelsen. Dog fremgår to nye, herunder Gug og Grønlandstorv, som ikke har indgået i den egentlige bestemmelse af typetal.

Tabel 12. Oversigt over målekampagner benyttet til databearbejdning i nærværende rapport.

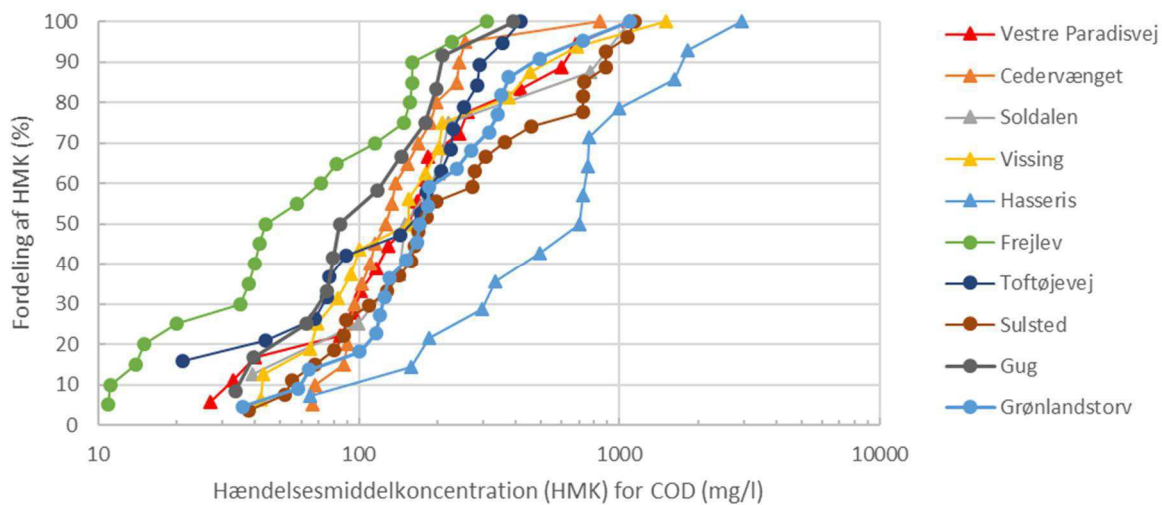
Målekampagne	Målekampagne afsluttet	Antal målte hændelsesmiddelkoncentrationer*	Målte parametre
Vestre paradisvej	1980	18	SS, P, N COD
Cedervænget	1980	20	SS, P, N, COD
Soldalen	1994	8	P, N, COD
Vissing	1995	16	SS, P, N, COD
Hasseris	1995	14	SS, P, N, COD
Frejlev	2000	20	SS, BI ₅ , P, N, COD
Toftøjevej	2003	19	SS, P, N, COD
Sulsted	2006	27	SS, BI ₅ , P, N, COD
Gug	2013	12	SS, P, N, COD
Grønlandstorv	2016	22	SS, BI ₅ , P, N, COD

*Alle parametre er ikke målt ved hver hændelse, tallet angiver det antal hændelser hvor der er målt mindst én parameter.

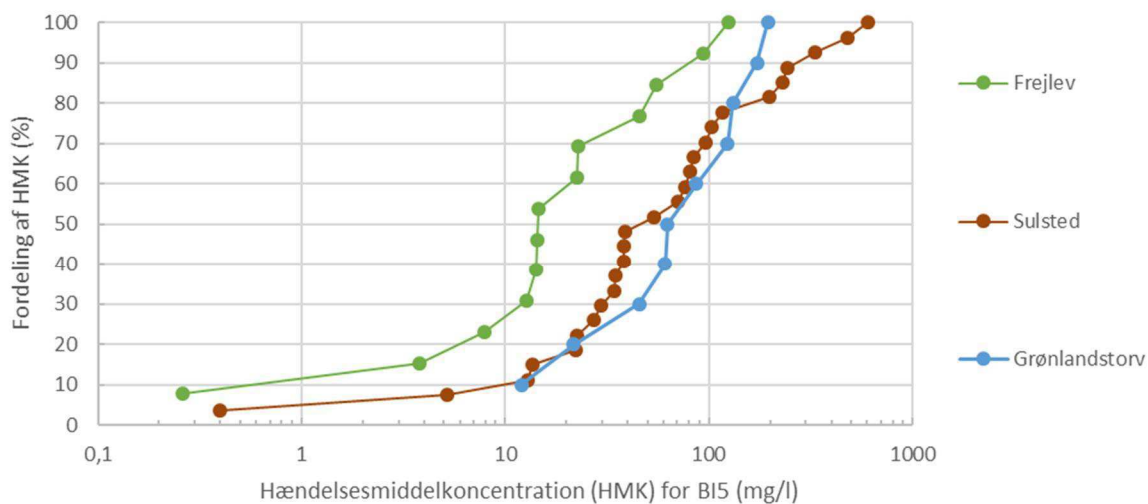
De nuværende typetal bygger på databehandling foretaget i Miljøstyrelsen (2000). Der er senere blevet dannet et større datagrundlag der er bearbejdet i Miljøstyrelsen (2002) og Miljøstyrelsen (2006). De to nyeste undersøgelser har konkluderet, at de nye målinger ikke kunne retfærdiggøre en ændring af typetallene, da datagrundlaget ikke er blevet væsentlig større, eller at de nye data har været i overensstemmelse med eksisterende typetal. Dette vurderes fortsat at være tilfældet.

Siden 2006 er to nye overvågningskampagner gennemført (Gug og Grønlandstorv). Resultaterne herfra sammenstilles i det følgende med tidligere resultater. I NOVANA programmet har der været fokus på at opdele afstrømningerne af vand og stof i tørvejsafstrømningen og bidraget fra regnafstrømningens processer. Sidstnævnte er i Danmark betegnet som overvand med tilhørende overvandskoncentrationer. Overvandskoncentrationerne udgøres af den øgede stofafstrømning der finder sted på grund af regnafstrømning, hvor der f.eks. sker resuspension af stoffer på de befæstede overflader samt i afløbssystemet.

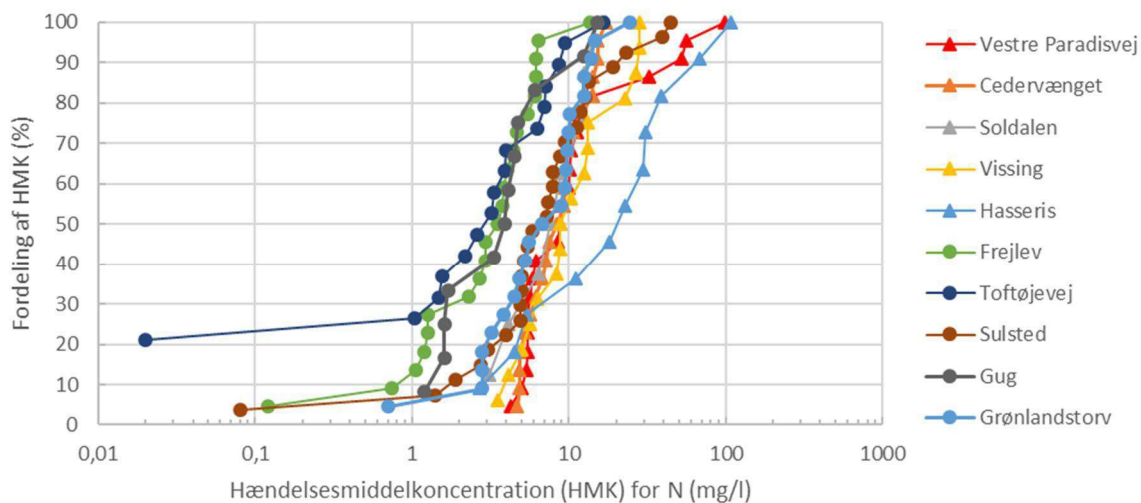
Overvandskoncentrationerne beregnes på baggrund af den målte stofkoncentration i det opspædede spildevand fratrukket tørvejsbelastningen, der estimeres på baggrund af en tørvejsmodel (Miljøstyrelsen, 1990). I NOVANA rapportererne er der fokus på de beregnede overvandskoncentrationer, og derfor vil følgende sammenligning mellem nye og gamle data også tage udgangspunkt i overvandskoncentrationerne. Hændelsesmiddelkoncentrationer for COD, BI₅, N og P i overvand fra målekampagnerne i Tabel 12 fremgår af Figur 10 til Figur 13.



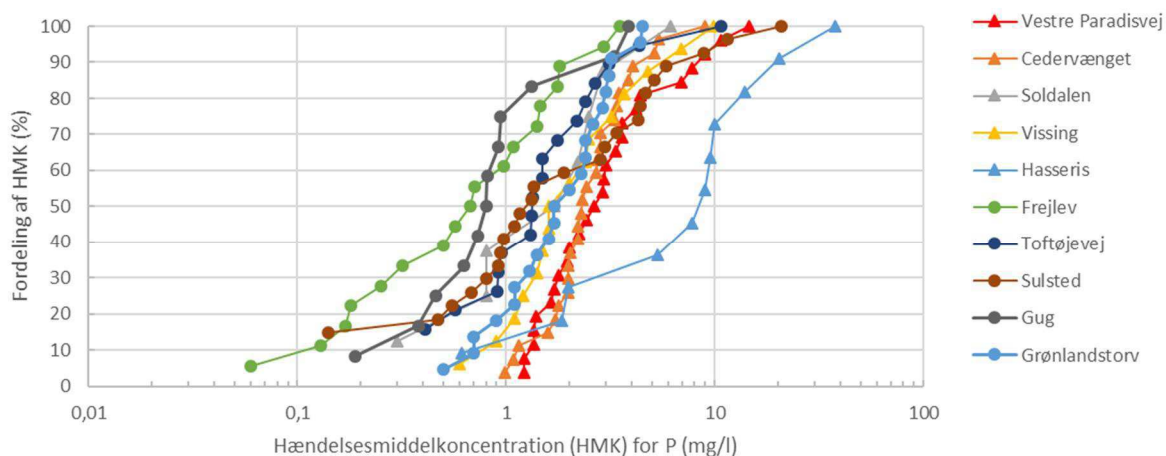
Figur 10. Sandsynlighedsfordeling for hændelsesmiddelkoncentrationer (HMK) af COD i overvand for målekampagnerne beskrevet i Tabel 12.



Figur 11. Sandsynlighedsfordeling for hændelsesmiddelkoncentrationer (HMK) af BI₅ i overvand for målekampagnerne beskrevet i Tabel 12.



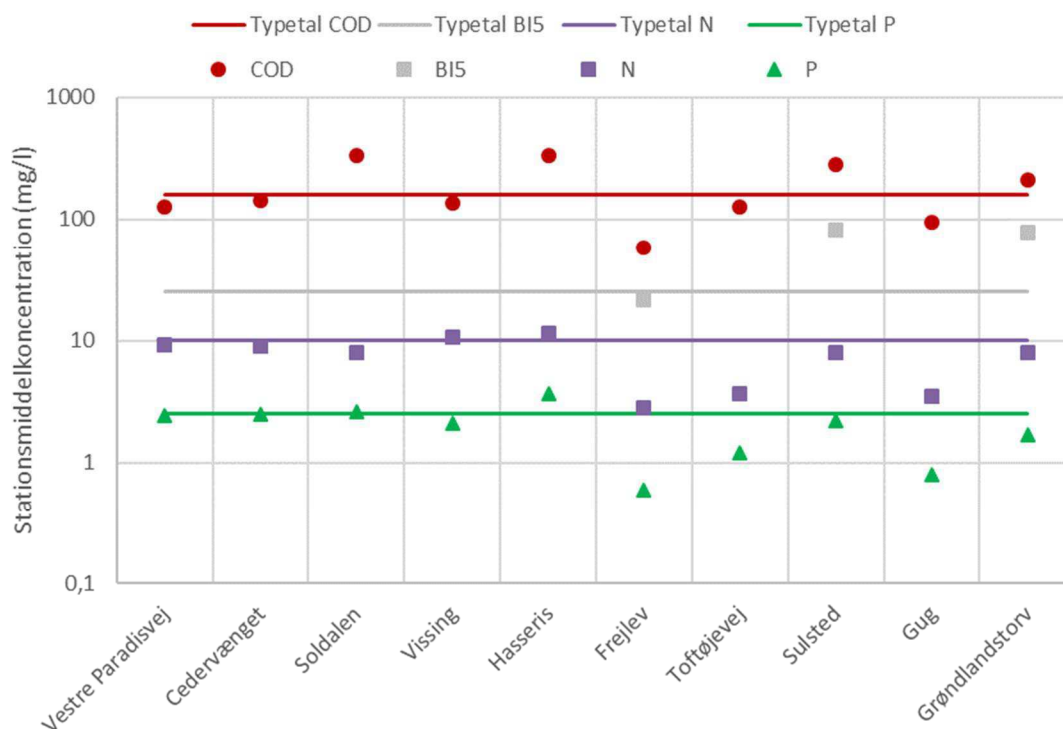
Figur 12. Sandsynlighedsfordeling for hændelsesmiddelkoncentrationer (HMK) af N i overvand for målekampagnerne beskrevet i Tabel 12.



Figur 13. Sandsynlighedsfordeling for hændelsesmiddelkoncentrationer (HMK) af P i overvand for målekampagnerne beskrevet i Tabel 12.

Det fremgår af Figur 10 til Figur 13, at de nye målinger fra Gug og Grønlandstov fortrinsvis følger nogenlunde samme fordeling som tidligere målinger. Gug ligger generelt i den lave ende af fordelingerne, mens Grønlandstov ligger omkring middel. Der er to tydelige yderpunkter i form af Frejlev til den lave side og Hasseris til den høje side. I Miljøstyrelsen (2000) diskuteres de høje værdier for Hasseris, og er derfor heller ikke inkluderet i beregningerne for typetal.

De nuværende typetal sammenlignes på Figur 14 med de målte stationsmiddelkoncentrationer.



Figur 14. Stationsmiddelkoncentrationer og typetal for overvand for målinger foretaget i målekampagnerne præsenteret i Tabel 12.

Figur 14 viser, at stationsmiddelkoncentrationerne for de to nye oplande, Gug og Grønlandstov, begge ligger under typetallene for N og P. Den tidlige udvikling i koncentrationerne i N og P indikerer, at der generelt har været en reduktion af N og P i overvand, hvilket kan give anledning til at nærmere undersøge med henblik på at revidere typetallene.

Der er kun målt BI₅ for 3 oplande, og det fremgår at koncentrationerne for to af disse oplande er ca. 4 gange større end typetallet. Det kan med fordel derfor også i fremtidige undersøgelser kortlægges, hvorvidt typetallet for BI₅ skal opdateres.

4.2 Usikkerhed ved anvendelse af typetal

Ved anvendelse af typetal for stofkoncentrationer introduceres en række usikkerheder til estimeringen af udledte stofmængder. Usikkerhederne bunder i lokale stedlige og tidlige forhold, som ikke kan inkluderes i typetal. Disse usikkerheder kan introduceres på baggrund af forskelle i selvrensningsevnen, den lokale spildevandsbelastning og afløbssystemets dynamik. Sidstnævnte har en indvirkning på den tidlige stoffbelastning inden for en hændelse, hvor first-flush er et kendt fænomen.

4.2.1 Stedlige variationer i stofkoncentrationer

Selvrensningsevnen indvirkning på stoffbelastningen kommer til udtryk i målingerne på Figur 10. Her fremgår det, at der er stor forskel på de målte stofkoncentrationer i Frejlev og Hasseris. Afløbssystemet i Frejlev har et stort fald med god selvrensning (Miljøstyrelsen, 2006), mens afløbssystemet i Hasseris har kendte problemer med sedimentation (Miljøstyrelsen, 2000).

Ud over selvrensningsevnen er der lokale variationer i spildevandsbelastningen i et opland. Dette vil resultere i en usikkerhed på typetallene for overløbsvand, der ikke er fraktioneret i forhold til overløbs- og spildevandsfraktionerne. Årsagen til at typetallene for overløbsvand i dag er fraktioneret i spildevand og overvand, er for netop at kunne differentiere stofkoncentrationen i overløbsvandet på baggrund af spildevandsbelastningen i området. På denne måde kan der beregnes en vægtet overløbskoncentration på baggrund af fordelingen mellem overvand og spildevand, hvilket resulterer i en lavere usikkerhed, end ved anvendelse af typetal for overløbsvand, der er afhængig af spildevandsbelastningen.

For at opnå den bedste bestemmelse af stofkoncentrationer i overløbsvand, bør denne beregnes på baggrund af forholdet mellem spildevandsbelastningen og regnvandsafstrømning i et område. Herved opnås en lokal vægtning af spildevandsandelen i overløbsvandet.

4.2.2 Tidslige variationer i stofkoncentrationer i overløbsvand

De tidslige variationer for stofkoncentrationer i overløbsvand forekommer mellem hændelser og inden for en enkelt hændelse. Variationerne inden for de enkelte hændelser kan tilskrives first-flush fænomenet, hvor koncentrationen falder i løbet af en hændelse grundet den forøgede vandførings selvrensningseffekt.

Tidslige variationer mellem hændelser er sværere at forklare. En af årsagerne til variationerne kan være længden af tørvejrperioden op til en regnhændelse. Ved længere tørvejrperioder op til en regnhændelse, er det sandsynligt at der bliver sedimenteret større mængder stof i afløbssystemet, som bliver resuspenderet under den næste regnhændelse (Miljøstyrelsen, 2000).

For at reducere usikkerheden på stofkoncentrationerne forårsaget af tidslige variationer, kan der opstilles en model for stofkoncentrationen afhængig af forudgående tørvejrperiode. Der kan ligeledes opstilles en model for faldende stofkoncentrationer under en hændelse.

4.2.3 Usikkerhed ved anvendelse af typetal for stofkoncentrationer

Til at estimere usikkerheden forbundet med anvendelse af typetal for stofkoncentrationer, undersøges den statistiske spredning for hændelsesmiddelkoncentrationerne samt stationsmiddelkoncentrationerne.

Usikkerhederne på de målte koncentrationer kvantificeres ved at beregne variationskoefficienten for en population. Variationskoefficienten er defineret som spredningen på observationerne over observationernes middelværdi. Derved bestemmes en variationskoefficient for hvert stof for hver målestation. Den gennemsnitlige variationskoefficient for COD, N og P er bestemt til henholdsvis 0,95, 0,82 og 1,0. Der kan altså generelt forventes en usikkerhed på hændelsesmiddelkoncentrationer på mellem 80 % og 100 %.

Usikkerheden for BI₅ er ikke undersøgt grundet det sparsomme datagrundlag.

Da indberetningerne af overløbsmængder sker på årsbasis, er det ikke hensigtsmæssigt at indregne usikkerheden på hændelsesniveau. Det undersøges derfor, i hvilken størrelsesorden usikkerheden på stationsmiddelkoncentrationerne mellem målestationerne er. Ligesom for hændelsesmiddelkoncentrationerne bestemmes variationskoefficienten for stationsmiddelkoncentrationerne.

Tabel 13. Oversigt over middelværdi, standardafvigelse og variationskoefficient for COD, P og N baseret på observerede stationsmiddelkoncentrationer i overvand.

Stof	Middelværdi	Standardafvigelse	Variationskoefficient
COD	184	94	0,51
P	1,98	0,86	0,45
N	7,41	2,88	0,39

På baggrund af analysen og de beregnede variationskoefficienter i Tabel 13, forventes usikkerheden på stationsmiddelkoncentrationerne at ligge i intervallet 40-50 %. Det vurderes at usikkerheden på stationsmiddelkoncentrationerne er mere repræsentativ til bestemmelse af usikkerheder på estimerede overløbsmængder, da disse estimeres på årsbasis, og derfor ikke indeholder information om stofmængder for enkelthændelser.

Det er væsentligt i forhold til at reducere den vægtede usikkerhed til et niveau under 50 %, at usikkerheden på stofkoncentrationer alene kan opnå denne usikkerhed. Det bør derfor vurderes, hvorvidt der kan foretages prøvetagning lokalt ved enkelte af de største overløbsbygværker i Danmark, eller om der skal iværksættes målekampagner af anden art.

5. Casestudier

5.1 Casestudie 1: Kategorisering af overløbsbygværker på baggrund af PULS-data

Følgende casestudie undersøger nuværende status for overløbsbygværkerne, på baggrund af de registrerede data i PULS for normalår. Studiet har til formål at belyse hvilket forbedringspotentiale de nuværende indberetninger har. Studiet forsøger ydermere manuelt at opstille en fordelingsnøgle for andelen af bygværker i hver af de 5 kategorier, med henblik på at reducere den vægtede usikkerhed på alle indberetninger til under 50 %. Casestudie 1 tager ikke højde for de økonomiske omkostninger, brugen af de forskellige vidensniveauer medfører. Derimod præsenterer casestudiet blot en manuel tilgang til fordelingen af overløbsbygværkerne på de forskellige vidensniveauer således at der opnås en beregningsusikkerhed på 50 %. I kapitel 2 findes der derimod en omkostningseffektiv fordeling af overløbsbygværker, der både tager højde for at beregningsusikkerhed skal være 50 % og samtidig være så billig at opnå som muligt.

5.1.1 Analyse af normalårsdata registreret i PULS

Indberettede normalårsdata fra 2018 er analyseret med henblik på at vurdere den samlede usikkerhed for alle indberettede data. Den samlede usikkerhed på indberettede data beregnes som den volumenvægtede usikkerhed, ud fra værdierne i Tabel 14. Da det i dag kun er muligt at angive om der er benyttet niveau 1 eller 2 (tidligere niveau 3) til beregning af overløbsmængder, er det ikke muligt at opnå en usikkerhed under 100 %. Der kan dog være tilfælde, hvor enkelte overløbsbygværker anvender andre metoder til bestemmelse af overløbsmængder, som ikke er nævnt under metoderne i niveau 1 og 2. Dette tages der ikke højde for i nærværende casestudie, da overløbsbygværker i dag kun er opgjort under de to niveauer. Til analysen er der benyttet normalårsindberetninger fra 4287 overløbsbygværker i fællessystemer.

Tabel 14. Usikkerheder for hvert vidensniveau samt de i dag tilknyttede overløbsvoluminer og overløbsbygværker på de enkelte vidensniveauer.

	Usikkerhed	Overløbsmængder (mio. m ³ / år)	Antal overløbsbyg- værker
Niveau 0	-	-	203
Niveau 1	135 %	11,5	1577
Niveau 2	100 %	30,5	2710
Niveau 3	55 %	0	0
Niveau 4	45 %	0	0
Niveau 5	30 %	0	0

På baggrund af ovenstående er den samlede volumenvægtede usikkerhed for indberetningerne fra 2018 beregnet til 110 % ved hjælp af de usikkerhedsniveauer der er fastsat i denne rapport. Det fremgår at ca. 25 % af den samlede overløbsmængde og ca. 33 % af bygværkerne beregnes med niveau

1. Dette indikerer at der i dag er flere mindre overløbsbygværker der benytter det laveste vidensniveau. For at belyse hvordan de enkelte indberetninger kategoriseres ud fra overløbsmængde opstilles kategoriseringsmatricen fra Figur 3 for normalårsdata indberettet til PULS, fordelingen fremgår af Figur 15.

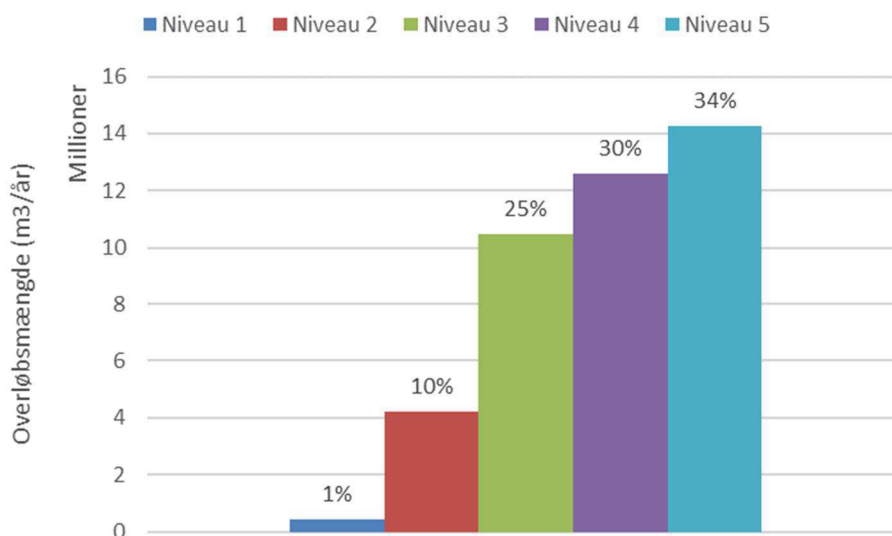
Det fremgår af Figur 15, at størstedelen af den samlede overløbsmængde bliver udledt fra få bygværker. Der er altså en række bygværker, der udleder store mængder. Dette er værd at tage med i overvejelserne omkring hvilke vidensniveauer, der skal benyttes for de enkelte bygværker, da det i højere grad vil sænke den samlede usikkerhed, ved at sænke usikkerheden på de bygværker der ligger i kategori 5 for overløbsmængder (dvs. en årlig udledning på $>100.000 \text{ m}^3 / \text{år}$).

		Overløbsmængder ($\text{m}^3 / \text{år}$)				
		<100	100-1.000	1.000-10.000	10.000-100.000	>100.000
Vandselskabets vidensniveau	Niveau 0	O: 203				
	Niveau 1	O: 314 V: 0,01	O: 373 V: 0,17	O: 647 V: 2,43	O: 233 V: 5,94	O: 10 V: 2,94
	Niveau 2	O: 836 V: 0,01	O: 594 V: 0,27	O: 878 V: 3,49	O: 366 V: 9,42	O: 36 V: 17,28
	Niveau 3					
	Niveau 4					
	Niveau 5					

Figur 15. Kategorisering af bygværker ud fra indberettede normalårsdata. På figuren angiver O og V henholdsvis antallet af overløbsbygværker og overløbsvolumenet (mio. m^3) i de enkelte kategorier. Antal bygværker i niveau 0 er ikke fordelt på overløbsmængde, da der for disse ikke er foretaget indberetninger.

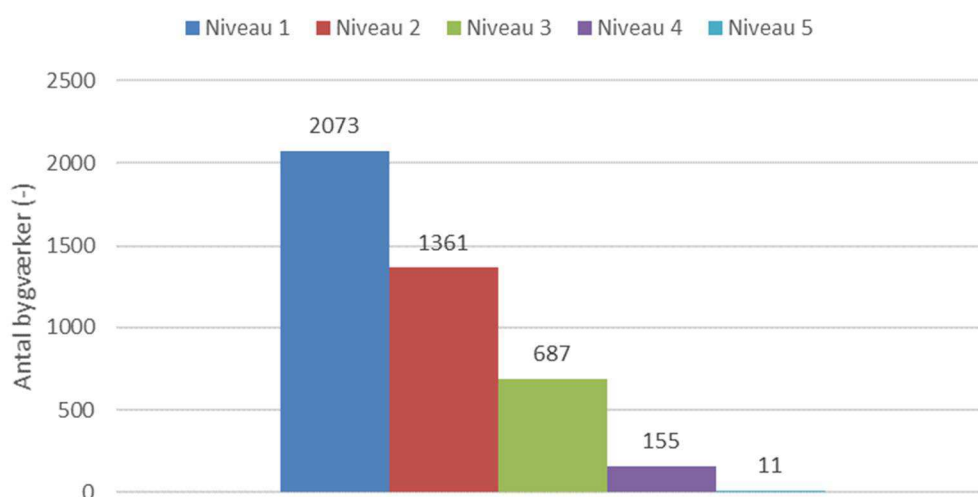
5.1.2 Fordelingsnøgle til vidensniveauer

For at vurdere ressourceforbruget forbundet med at reducere usikkerheden til under 50 % opstilles en fordelingsnøgle mellem hvor stor en andel af overløbsmængderne der skal beregnes med hvert vidensniveau. Dette er gjort gennem en iterativ proces, hvor den procentuelle fordeling af overløbsmængder mellem vidensniveauerne er tilpasset. Hvis der tages udgangspunkt i normalårsindberetningerne, kan fordelingen se ud som på Figur 16, der resulterer i en samlet usikkerhed på 49 %.



Figur 16. Forslag til fordeling af beregnede overløbsmængder på vidensniveauer. Overløbsmængderne er baseret på det samlede indberettede overløbsvolumen til PULS for 2018.

Som det fremgår af Figur 16 kræver det, at langt størstedelen af det samlede overløbsvolumen beregnes med de tre nye niveauer (niveau 3, 4 og 5) for at kunne sænke usikkerheden til under 50 %. Som det fremgår af Figur 2, der viser fordelingen af overløbsbygværker på baggrund af overløbsvolumener, og Figur 15, der viser fordelingen på kategorier, er der nogle få bygværker, der bidrager med store overløbsmængder. Det er derfor hensigtsmæssigt at benytte de metoder med mindst usikkerhed til at bestemme overløbsmængderne fra disse bygværker. Figur 17 viser fordelingen af antal bygværker i hvert vidensniveau. De bygværker der udleder mest, placeres i niveau 5, indtil overløbsvolumenet baseret på fordelingen i Figur 16 er opnået. Herefter fortsættes til vidensniveau 4, igen tages de bygværker, der årligt udleder det største volumen foruden de, der er placeret i niveau 5. Der fortsættes med samme procedure for de øvrige niveauer.



Figur 17. Forslag til fordeling af overløbsbygværker inden for de fem vidensniveauer. Antallet af overløbsbygværker i hvert vidensniveau er baseret på, at bygværkerne fordeles ud efter størst overløbsmængde.

Figur 17 viser, at størstedelen af bygværkerne stadig kan placeres i de to simpleste vidensniveauer, så længe de bygværker der udleder de største mængder, placeres i de højere niveauer. Der er i

fordelingen på Figur 17 ikke taget højde for bygværkernes nuværende vidensniveau. For at opnå fordelingen af bygværker efter Figur 17, skal bygværkerne ændre vidensniveau efter fordelingerne i Tabel 15.

Tabel 15. Fordeling af bygværker i vidensniveau på i forhold til nuværende vidensniveau. Fremtidigt vidensniveau er bestemt på baggrund af bygværkets overløbsmængde jf. Figur 17.

		Nuværende vidensniveau	
		1	2
Fremtidigt vidensniveau	1	666	1407
	2	588	773
	3	263	424
	4	57	98
	5	3	8

Tabel 15 viser at 1439 bygværker ikke skal ændre vidensniveau, mens 1407 bygværker skal skifte fra vidensniveau 2 til 1. Dette vil ikke i praksis ikke være hensigtsmæssigt, hvorfor disse bygværker ikke bør skifte vidensniveau, men forblive i deres nuværende niveau. Det samlede antal bygværker der skal stige i vidensniveau, er derfor 1441.

Fordelingen af bygværker og overløbsvolumen i kategoriseringsmatricen ses i Figur 18 for normalårs-data.

		Overløbsmængder (m ³ / år)				
		<100	100-1.000	1.000-10.000	10.000-100.000	>100.000
Vandselskabets vidensniveau	Niveau 0	O: 203				
	Niveau 1	O: 1150 V: 0,02	O: 923 V: 0,40			
	Niveau 2		O: 44 V: 0,04	O: 1317 V: 4,15		
	Niveau 3			O: 208 V: 1,77	O: 479 V: 8,71	
	Niveau 4				O: 120 V: 6,65	O: 35 V: 5,91
	Niveau 5					O: 11 V: 14,31

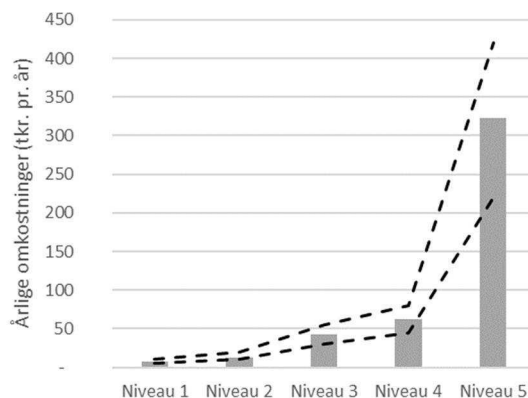
Figur 18. Kategorisering af bygværker på baggrund af normalårs-indberetninger og fordelingsnøgle. På figuren angiver O og V henholdsvis antallet af overløbsbygværker og overløbsvolumenet (mio. m³) i de enkelte kategorier.

5.2 Casestudie 2: Vurdering af udgifter baseret på modelniveau

På baggrund af de beskrevne metoder anvendt under de enkelte niveauer, gives der i dette afsnit et prisoverslag på de årlige omkostninger, der forventes at være forbundet med at beregne overløbsmængderne. Prisoverslagene gives på baggrund af EnviDans erfaring med det nødvendige timeforbrug til at løse lignende opgaver. I forbindelse med fastlæggelsen af disse omkostninger, vil nogle omkost-

ninger være engangsudgifter og andre vil være løbende omkostninger over en årrække. Derfor vurderes de årlige omkostninger i dette casestudie som de gennemsnitlige omkostninger over en periode på 10 år.

Alle priser er 2019-niveau og er baseret på brancheerfaring. Priserne angives yderligere i et usikkerhedsspænd på cirka $\pm 30\%$ af den estimerede gennemsnitspris. På Figur 19 ses overslaget på de gennemsnitlige årlige omkostninger for de enkelte niveauer.



Figur 19. Forventede gennemsnitlige årlige omkostninger ved brug af de forskellige vidensniveauer. Stiplede linjer angiver usikkerhedsspænd på cirka $\pm 30\%$.

Niveau 1 - Simpel massebalanceberegning

Beregning af overløbsmængder ved hjælp af niveau 1 forventes at foregå ved hjælp af et på forhånd defineret og automatisk regneark. Beregningen foretages af den ansvarlige for indberetningen af overløb. Det vurderes, at der årligt skal afsættes i gennemsnit en dags arbejde til beregning, oplandsopgørelse og indberetning per overløbsbygværk. Dette resulterer i en årlig omkostning, der forventes at variere fra 5-10 tkr. pr. år.

Niveau 2 - Ukalibreret 1D hydrodynamisk model

Ved anvendelse af og indberetning ved hjælp af niveau 2 beregnes overløbsmængderne ved hjælp af en 1D hydrodynamisk model. Som regel vil dette være en Mike Urban model. I det følgende prisoverslag antages det, at der ikke findes en eksisterende model for det område, der skal laves en opgørelse over overløbsmængder for. Overslaget er en vurdering af, hvor mange timer det tager at opsætte en model for det enkelte overløbsbygværk fra bunden. På baggrund af timetallet angivet i Tabel 16 forventes det, at omkostningerne ved brug af niveau 2 vil variere mellem 10-20 tkr. pr. år.

Tabel 16. Forventede omkostninger i forbindelse med opsætningen af en ukalibreret Mike Urban model for ét bygværk.

Opgave	Engangs- omkostninger (tkr.)	Løbende for- brug (tkr. pr. år)
Oplandskarakterisering	5	
Udtræk af ledningsdatabase og opsætning i Mike Urban	8	
Bygværksbeskrivelse	8	
Opsætning af randbetingelser	8	
Beregning og validering af model	16	
Afreportering	5	
Årlig beregning og indberetning		8

Total årlig omkostning på 13 tkr. pr. år for 10-års periode

Niveau 3 - Kalibreret 1D hydrodynamisk model

Brugen af niveau 3 nødvendiggør i praksis de samme opgaver som vist for niveau 2. Dog skal der i niveau 3 også afsættes ressourcer til måleudstyr samt kalibrering af den opsatte model. Prisoverslaget antager en engangsomkostning til en målekampagne. Denne omkostning kan dog variere væsentligt afhængigt af bygværket og kvaliteten af de indsamlede data. En sådan kalibreret model forventes at koste 30 - 55 tkr. pr. år.

Tabel 17. Forventede omkostninger i forbindelse med opsætningen af en kalibreret Mike Urban model for ét bygværk.

Opgave	Engangs- omkostninger (tkr.)	Løbende for- brug (tkr. pr. år)
<i>Målekampagne, 1 år</i>		
Regnmåling	12	
Niveaumåling i bygværk	42	
Flowmåling i ind eller udløb fra bygværk	84	
Databehandling (8 timer pr. måned)	96	
<i>Modelopsætning og kalibrering</i>		
Oplandskarakterisering	5	
Udtræk af ledningsdatabase og opsætning i Mike Urban	8	
Bygværksbeskrivelse	8	
Opsætning af randbetingelser	8	
Beregning og validering af model	16	
Kalibrering	50	
Afreportering	10	
Årlig beregning og indberetning		8

Total årlig omkostning på 42 tkr. pr. år for 10-års periode

Niveau 4 - Software-sensor

Prisoverslaget på at etablere en software-sensor baseres på to hovedopgaver. Den ene er løbende niveaumåling i bygværket, mens den anden er opsætningen af en CFD-model for bygværket. Jævnfør prisoverslaget i Tabel 18, forventes de årlige omkostninger at ligge fra 45 - 80 tkr. pr. år.

Tabel 18. Forventede omkostninger i forbindelse med opsætningen af en CFD-model og løbende drift for ét bygværk.

Opgave	Engangs- omkostninger (tkr.)	Løbende for- brug (tkr. pr. år)
Løbende niveaumåling i overløbs- bygværk		42
Opsætning af CFD-model	160	
3D scanning af bygværk	40	

Total årlig omkostning på 62 tkr. pr. år for 10-års periode

Niveau 5 - Målebaseret overløbsestimering

Prisoverslaget for niveau 5 tager udgangspunkt i et relativt simpelt måleprogram med bestemmelse af flow i ind- og udløb fra bygværket, niveaumåling i bygværket og regnmåling i oplandet. Måleprogrammet vil med stor sandsynlighed variere betydeligt alt afhængigt af det enkelte bygværk. På baggrund af overslaget i Tabel 19 forventes de årlige omkostninger at variere fra 220-420 tkr. pr. år.

Tabel 19. Forventede omkostninger i forbindelse med opsætningen af et måleprogram og løbende drift for ét bygværk. Omkostninger til måling af stof er angivet med udgangspunkt i, at forsyningerne selv kan analysere de kemiske prøver.

Opgave	Engangs- omkostninger (tkr.)	Løbende for- brug (tkr. pr. år)
Regnmåling		12
Niveaumåling i overløbsbygværk		42
Flowmåling i indløb til bygværk		84
Flowmåling i udløb fra bygværk		84
Databehandling		96
1-års målekampagne på stof	50	

Total årlig omkostning på 323 tkr. pr. år

EnviDan

EnviDan

6. Referenceliste

- Ahm, M., Thorndahl, S., Nielsen, J. E., & Rasmussen, M. R. (2016). Estimation of combined sewer overflow discharge: a software sensor approach based on local water level measurements. *Water Science and Technology*, 74(11), 2683-2696.
- Arildsen, A. L., & Vezzaro, L. (2019). Revurdering af person ækvivalent for fosfor - Opgørelse af fosforindholdet i dansk husholdningsspildevand i årene fra 1990 til 2017. Kgs. Lyngby: Danmarks Tekniske Universitet (DTU).
- Bassø, L., Rasmussen, M., & Mikkelsen P. S. (2014). AMOK - er det bare sund fornuft? - Avanceret online Måling af Overløbskvalitet. EVA: *Erfaringsudveksling i vandmiljøteknikken*, <http://www.eva-net.dk/eva-blad-nr-04-december-2014/>.
- Bell, S. (1999). Measurement good practice guide: a beginner's guide to uncertainty of measurement. National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, UK.
- DANVA (2016). Vand i tal 2016. <http://www.e-pages.dk/danva/196/html5/>.
- DANVA (2018). Vand i tal 2018. https://www.danva.dk/media/5002/2018_vand-i-tal.pdf
- DANVA (2019). Vand i tal 2019. https://www.danva.dk/media/6199/2019_vand-i-tal.pdf
- DHI (2017). Best practice til kortlægning samt reduktion af overløb fra fælleskloakerede afløbssystemer, <https://mst.dk/media/146094/best-practice-kortlaegning.pdf>
- Hazewinkel, Michiel, ed. (2001) [1994], "Law of large numbers", *Encyclopedia of Mathematics*, Springer Science+Business Media B.V. / Kluwer Academic Publishers, ISBN 978-1-55608-010-4
- Nielsen, K. T., Moldrup, P., Thorndahl, S., Nielsen, J. E., Uggerby, M., & Rasmussen, M. R. (2019a). Field-Scale Monitoring of Urban Green Area Rainfall-Runoff Processes. *Journal of Hydrologic Engineering*, 24(8), 04019022.
- Nielsen, K. T., Moldrup, P., Thorndahl, S., Nielsen, J. E., Duus, L. B., Rasmussen, S. H., ... & Rasmussen, M. R. (2019b). Automated rainfall simulator for variable rainfall on urban green areas. *Hydrological Processes*.
- Miljøstyrelsen (1990). Bestemmelse af belastning fra regnvandsbetingede udløb. Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen, nr. 4.
- Miljøstyrelsen (2000). Stofkoncentrationer i regnbetingede udledninger fra fællessystemer. Miljøprojekt nr. 532.
- Miljøstyrelsen (2002). Bearbejdning af målinger af regnbetingede udledninger af Npo og miljøfremmede stoffer fra fællessystemer i forbindelse med NOVA 2003. Miljøprojekt nr. 701.
- Miljøstyrelsen (2006). Måling af forureningsindhold i regnbetingede udledninger. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 10.
- Rasmussen, M. R., Thorndahl, S., & Schaarup-Jensen, K. (2008). A low cost calibration method for urban drainage models. In 11th International Conference on Urban Drainage.

Thorndahl, S., Johansen, C. & Schaarup-Jensen, K. (2006). Assessment of runoff contributing catchment areas in rainfall runoff modelling. *Water Sci Technol*, Vol. 54, s. 49-56. DOI: 10.2166/wst.2006.621

Thorndahl, S., Beven, K.J., Jensen, J.B. & Schaarup-Jensen, K. (2008). Event based uncertainty assessment in urban drainage modelling, applying the GLUE methodology. *Journal of Hydrology*, Vol. 357, s. 421-437. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2008.05.027