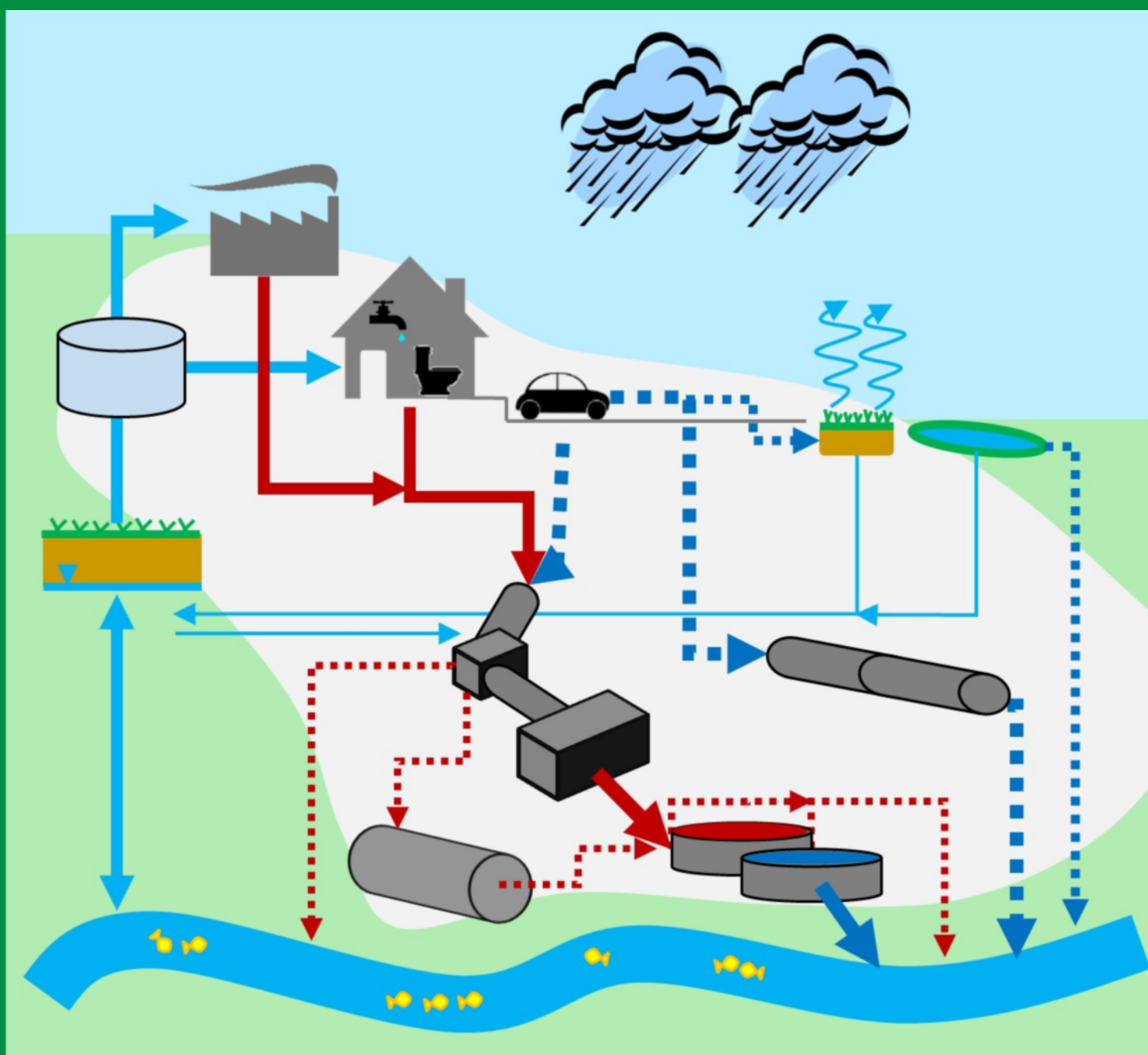


# Hvidbog om udledning af vand fra byer

Luca Vezzaro

Karsten Arnbjerg-Nielsen

Peter Steen Mikkelsen







# Hvidbog om udledning af vand fra byer

Luca Vezzano

Karsten Arnbjerg-Nielsen

Peter Steen Mikkelsen

27. august 2022

## **Hvidbog om udledning af vand fra byer**

Rapport (hvidbog)  
2022

Af

Luca Vezzano

Karsten Arnbjerg-Nielsen

Peter Steen Mikkelsen

Copyright: Hel eller delvis gengivelse af denne publikation er tilladt med kildeangivelse

Forside: Luca Vezzano, DTU Sustain

Udgivet af: DTU, Institut for Miljø- og Ressourceteknologi (DTU Sustain), Bygningstorvet,  
Bygning 115, 2800 Kgs. Lyngby  
[www.sustain.dtu.dk](http://www.sustain.dtu.dk)

# Forord

DANVA, Dansk Vand- og Spildevandsforening, har bedt DTU Sustain, Institut for Miljø- og Ressourceteknologi på Danmarks Tekniske Universitet, om at udarbejde en "Hvidbog om udledning af vand fra byer", der har til formål at skabe en fælles reference for offentlig debat omkring emnet. Resultatet er denne publikation.

Vi har forsøgt at gøre teksten faktuel – uden at bruge et svært tilgængeligt videnskabelig sprog - så de der deltager i den offentlige debat kan blive klogere på emnet. Tekniske forklaringer er placeret i faktabokse, der kan læses løsrevet fra den gennemgående tekst. Vi har undladt at angive referencer i teksten, for at øge læsevenligheden. I stedet har vi tilføjet et kapitel med referencer og datakilder, hvor den interesserede læser kan søge supplerende oplysninger og baggrundsinformation om væsentlige emner i hvidbogen. Direkte referencer er dog angivet ved figurer og tabeller, hvor vi har vurderet dette nødvendigt.

Udarbejdelsen er finansieret af DANVA, og DANVA har givet input til et udkast til rapporten, men DTU Sustain har haft fuld redigeringsret og er ansvarlige for indholdet.

Kgs. Lyngby, 27. august 2022

## *Forfatterne*

Luca Vezzano, Lektor

Karsten Arnbjerg-Nielsen, Professor

Peter Steen Mikkelsen, Professor



# Indhold

1.	Indledning og formål med hvidbogen.....	1
2.	Fremtidens udfordringer.....	3
3.	Hvorfor står vi i denne situation? .....	5
3.1	Kort historisk baggrund .....	5
3.2	Principper bag dimensionering af systemer til håndtering af regn og spildevand.....	7
3.3	Hovedtræk af vandets infrastruktur .....	8
3.4	By- og samfundsvækst, klimænderinger og udledninger - hvordan hænger det sammen? 14	
4.	Hvad der virkelig har betydning for miljøet .....	17
4.1	Hvad er spildevand og hvad er regnvand?.....	17
4.2	Regnbetingede udledninger – hvorfor er de så svære at håndtere? .....	24
4.3	Recipienteffekter i ferskvand og saltvand – herunder badevand.....	27
5.	Mulige løsninger.....	33
5.1	Teknologiske indgrebsmuligheder.....	33
5.2	Bedre datagrundlag.....	34
5.3	Regulering og helhedsplanlægning.....	35
6.	Sammenfatning .....	37
7.	Referencer og datakilder.....	38

## Liste over faktabokse

Faktaboks A. Hvordan ser et overløbsbygværk ud?.....	11
Faktaboks B. Bypass på rensningsanlæg. ....	12
Faktaboks C. Hvad er værst - udledning fra overløb eller udledning fra separate regnvandssystemer? .....	20
Faktaboks D. Hvordan kan variabiliteten i regnbetingede udledninger beskrives? .....	26
Faktaboks E. Hvorfor giver den samme liter spildevand forskellige miljøpåvirkninger? .....	30

## Liste over figurer

Figur 1. Simplificeret overblik over udledninger af vand fra byer med fælles og separat system .....	1
Figur 2. Skematisk oversigt over de vandstrømme, som foregår i moderne byer.....	9
Figur 3. Skematisk illustration af udledning fra urbane område til vandmiljøet i tørvejr. ....	9
Figur 4. Illustration af de tre hovedhensyn ifm. beslutninger relateret til regnvandshåndtering i byer.....	13
Figur 5. Udvikling af byområde omkring Odense (historiske kort). ....	15
Figur 6. Principmæssig illustration af klimænderingernes betydning for ekstremregn, der kan føre til oversvømmelser samt bypass fra rensningsanlæg og overløb fra fælles kloaksystemer og regnvandsbassiner. ....	16
Figur 7. Overblik over de største vandstrømme gennem kloaksystemerne (simplificeret fra Figur 2). ....	17
Figur 8. Grafisk fremstilling af forureningsindholdet i urensset spildevand, rensset spildevand, overløb fra fælles kloaksystemer og udledninger fra separate regnvandssystemer .....	19
Figur 9. Målte koncentrationer af miljøfarlige stoffer i overløb fra fællessystemer og udløb fra separate regnvandssystemer .....	21
Figur 10. Kort over urbane punktudledninger i Danmark. ....	22
Figur 11. Fordeling mellem udledninger (punktudledninger og andre diffuse udledninger) af kvælstof af fosfor fra landet til havet i 2020.....	22
Figur 12. Tidsmæssige og geografiske skalaer af forskellige negative effekter af regnbetingede udledninger.....	29
Figur 13. Simplificeret overblik over de forventelige negative effekter af udledninger fra de urbane vandsystemer på forskellige type naturlige recipienter.....	32

## Liste over tabeller

Tabel 1. Historiske faser i kloakkernes udvikling. ....	6
Tabel 2. Sammenligning mellem forureningsindholdet af husspildevand og regnvand. ....	18
Tabel 3. Typiske koncentrationer i urensset spildevand samt de fire punktudledninger fra byområder. ....	19
Tabel 4. Udledte volumener og stofmængder fra de 10 største udledningspunkter fra fællesystemer ....	23
Tabel 5. Effekter af regnebetingede udledninger på vandmiljøet. ....	28



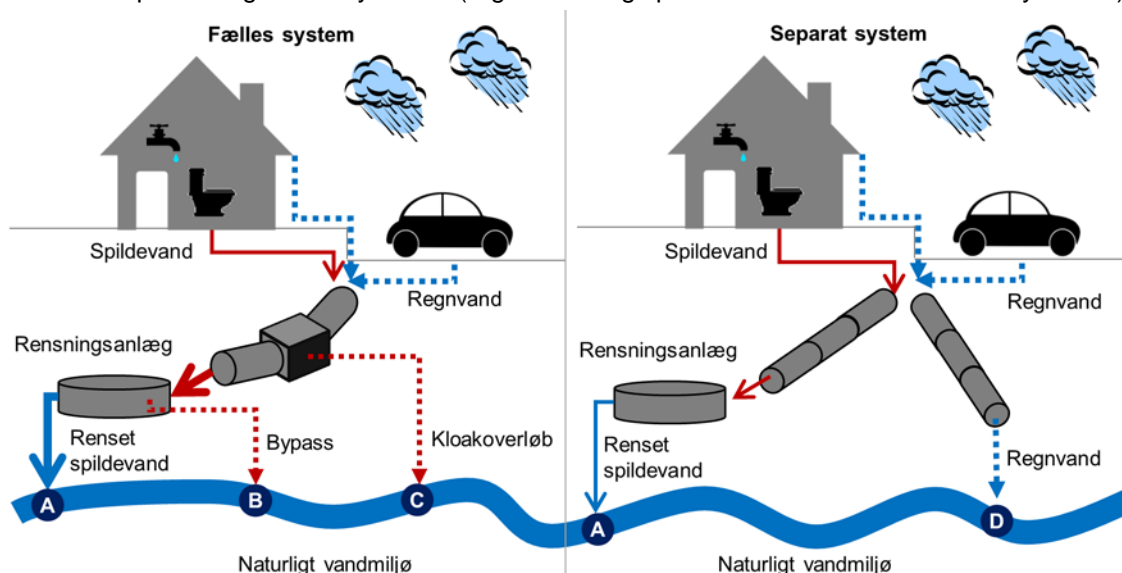
# 1. Indledning og formål med hvidbogen

Byernes liv er forbundet med vand. Mennesker forbruger vand i husholdninger – til at drikke og lave mad med, til rengøring, vask og bad, og i vores del af verden også til toiletskyl. Dette vand fjernes fra husholdningen for at holde hus og mennesker rene – og det brugte vand er nu beskidt og kaldes spildevand. Dertil kommer vandforbrug i industrien, hvilket fører til udledning af industrispildevand, og vandforbrug til mange andre formål som for eksempel bilvask, der også fører til udledning af beskidt vand.

Byerne forstyrrer det naturlige hydrologiske kredsløb. Fordampningen falder grundet mindre vegetation samt voksende befæstede overflader – bl.a. tage, fortove, parkeringsarealer, veje og pladser. Afstrømningen af regnvand stiger dermed og sker desuden hurtigere, hvilket fører til oversvømmelser og erosion. Afstrømmet regnvand er heller ikke rent, det kan indeholde forureningsstoffer fra luften, stoffer der frigives fra de befæstede overflader og byggematerialer, og stoffer der kommer fra trafikken eller andre aktiviteter i byerne. Så, når det regner, genererer byerne store mængder af forurenede regnvand, der skal håndteres.

Spildevand, regnvand og drænvand fra byerne bliver traditionelt afledt, dvs. transporteret væk fra bebyggede områder gennem kloakkerne (også kaldet afløbssystemer), i en lineær tankegang. Et meget væsentligt formål med kloakker er at sikre befolkningens sundhed, og adskillelsen af rent vand (i vandforsynings ledningsnet) fra beskidt vand (i kloakker) – også kaldet den "sanitære revolution" - er internationalt anerkendt som en af de vigtigste sundhedsmæssige milepæle siden 1840. Udledninger fra kloakker skaber dog en række negative påvirkninger, både for mennesker (f.eks. forringet badevandskvalitet) og miljøet (forurening med påvirkning af økosystemerne).

Som vist på Figur 1, så sker de væsentligste udledninger af vand fra byer i Danmark i dag i form af (A) rensede spildevand fra rensningsanlæg, (B) delvist rensede spildevand fra rensningsanlæg, når de overbelastes under kraftig regn og nogle rensetrin *bypasses*, (C) overløb under kraftig regn fra fælles kloaksystemer (spildevandet og regnvandet løber i samme kloaksystem), og (D) udløb fra separate regnvandssystemer (regnvandet og spildevandet løber i adskilte rørsystemer).



**Figur 1.** Simplificeret overblik over udledninger af vand fra byer med fælles (t.v.) og separat system (t.h.): (A) rensede spildevand, (B) bypass fra rensningsanlæg (delvist rensede), (C) overløb fra fællessystemer, og (D) udløb fra separate regnvandssystemer.

Disse fire typer udledninger er meget forskellige, både med hensyn til forureningsindhold og hvor ofte udledningerne optræder, og hvordan de påvirker miljøet. (B), (C) og (D) kaldes samlet for regnbetingede udledninger, fordi de kun forekommer når det regner. Mere herom i hvidbogens senere kapitler

Mennesker bosætter sig i stigende grad i byer. FN vurderer, at i 2050 vil 2/3 af menneskeheden bo i urbane områder. Klimaforandringerne medfører desuden hyppigere kraftige regnskyl, og sammen med generelt større byer vil dette give større udfordringer med afledning af regnvand fra byer. Desuden efterspørger befolkning grønnere, mere attraktive, og mere bæredygtigere byer. Alle disse faktorer sætter den eksisterende vandinfrastruktur under pres, og der efterspørges nye og mere effektive løsninger for at håndtere afledning af vand fra byer og for at minimere udledningerne og/eller deres negative konsekvenser.

Byens vandinfrastruktur er derfor under kraftig forandring. Spildevand i Danmark renses i kommunale rensningsanlæg og lokalt på virksomheder, men sådan har det ikke altid været. For 50 år siden blev det meste spildevand i Danmark slet ikke eller kun delvist renses, og på verdensplan er det stadig kun 80% af spildevandet, der renses. En Europæisk vision for fremtidens vandforsyning peger endvidere på en mere cirkulær tankegang, hvor 30% af Europas vandforsyning skal dækkes af alternative kilder, såsom regnvand eller vand der allerede har været brugt til forskellige formål. De første projekter af denne art er allerede i gang i Danmark.

Udledningen af vand fra byer trækker ofte overskrifter i medierne, både i Danmark og internationalt. Emnet kan være kontroversielt, grundet de mange forskelligartede interesser samt potentielt store økonomiske og miljømæssige konsekvenser, og diskussionen af årsager og mulige løsninger bliver hurtigt meget kompliceret og præget af misforståelser. Det handler om komplekse problematikker og en kompliceret, dyr og gammel infrastruktur, som både skal vedligeholdes, opgraderes og tilpasses for at håndtere nye og voksende udfordringer.

Formålet med denne "Hvidbog om udledning af vand fra byer" er at skabe en fælles reference for offentlig debat omkring emnet. Om det er lykkedes, må stå sin prøve baseret på læsernes erfaringer – forfatterne modtager gerne feedback. Og vi står gerne på mål for et overordnet synspunkt om, at diskussionen ikke er for eller imod kloakker, men derimod et spørgsmål om hvorvidt og hvordan vi kan opnå samme eller bedre sundhedstilstand og miljø, selv om vi fremover vælger andre løsninger end dem vi har valgt indtil nu.

## 2. Fremtidens udfordringer

Fortidens udfordringer var ret simple sammenlignet med dem vi står i nu. Kloakker skulle sikre menneskers sundhed i byer. Det skal de stadig! Der er en grund til, at FNs verdensmål har et særskilt mål om drikkevand og toiletaffald (verdensmål 6). I byer i Danmark håndteres toiletaffald gennem kloakker. Men som det fremgår af verdensmål 6 er det ikke længere nok at sikre, at kloakkerne virker over for mennesker i byer. Der er mange andre krav til vand, og kravene til vand skal afvejes i forhold til de øvrige 16 verdensmål. Så fremtidens udfordring er at finde balancen mellem på den ene side at sikre en billig og sikker måde at sikre sundhed for mennesker i byer - og på den anden side alle de andre udfordringer og dagsordener, som et moderne samfund har.

I mange lande er det svært at skaffe penge til investering og vedligeholdelse af kloakker. Sådan er det heldigvis ikke længere i Danmark. Alle kommuner har et selskab (et spildevandsforsyningselskab), der er ansvarligt for at kloakkerne vedligeholdes på forsvarlig vis. Til gengæld må disse selskaber kun lave ting, som på billigste måde håndterer det vand, som de er ansvarlige for. Det giver ikke meget rum til at håndtere alle de andre udfordringer.

De væsentligste udfordringer, som vi er opmærksomme på i Danmark er: (i) Reduktion af udledning af drivhusgasser, (ii) tilpasning til et ændret klima, (iii) cirkulær økonomi/grøn omstilling, (iv) miljøfremmede stoffer og mikroplastik, og (v) samfundets voksende forventninger. Hver af disse diskuteres kort nedenfor.

- *Reduktion af udledning af drivhusgasser.* Spildevandet ledes typisk igennem beton- eller plastledninger og pumpes ofte væk fra lave områder. Især er brugen af beton en klimabelastning. Det er påvist, at man ved at lede især regnvand via blå-grønne løsninger (naturbaserede metoder) vil kunne mindske udledningerne af drivhusgasser væsentligt. Det kræver dog nye metoder til at planlægge systemer og finansiere dem. Så spildevandsforsyningselskaberne har svært ved at bygge dem.
- *Tilpasning til et ændret klima.* Både skybrud og stigende havvandstand sætter kloakkerne under pres. Samfundet forventer at oversvømmelser kun sker sjældent, men det kræver større og større kloakker. Det er en god investering for samfundet at lave denne investering i at begrænse oversvømmelser, fordi oversvømmelser påvirker samfund, mennesker og miljø direkte, men også fordi en oversvømmelse "koster" cirka 10% ekstra udledning af drivhusgasser i forhold til hvad det forventes at et hus bruger af drivhusgasser – hver eneste gang det oversvømmes. Men hvor meget, hvornår og hvordan skal tilpasningen ske? Det er langt fra sikkert at den bedste løsning altid er en underjordisk kloak.
- *Cirkulær økonomi/grøn omstilling.* Vand er mange steder en værdifuld og truet ressource. Skal vi virkelig bruge værdifuldt vand til at transportere forurening rundt i samfundet for til sidst at fortynde det i havet? Og hvis vi gør, skal vi så ikke genindvinde nogle af de væsentlige ressourcer inden udledningen? Blandt de væsentlige ressourcer som kan genindvindes er varmeenergi, bioenergi, biopolymerer, kulstof, kvælstof og fosfor – samt vandet selv.
- *Miljøfremmede stoffer og mikroplastik.* Både husspildevand og afstrømmet regnvand indeholder et væld af stoffer, som frigives forskellige steder i byerne, tilføres kloakken og udledes til miljøet, og hvis langtidseffekter både er kendte og ukendte. Kloaksystemer er praktiske – måske lidt for praktiske. Det er for nemt at glemme, at stofferne ikke forsvinder bare fordi de kommer i kloakken.

Rensningsanlæggene er ikke vidundermidler; selv om det lyder imponerende at mere end 90% af mange stoffer fjernes i rensningsanlæggene, så er der stadig udledninger, der er væsentlige.

- *Samfundets voksende forventninger.* Det kan være svært at huske, at mens man løser et samfundsmæssigt problem, så skabes samtidig nogle højere forventninger. I en undersøgelse af Usserød Å fra 1952 omtales f.eks., at vandløbet et sted har "*mange synlige urenheder*" (papir, fækalier m.m.), og et andet sted at en udledning "*til tider (kan) farve vandet mørkviolet eller blæksort*". Det førte til etablering af rensningsanlæg, der efter datidens forhold var avancerede. Siden er investeringerne fortsat. Nu sker en væsentlig del af udbygningerne af rør, bassiner og rensningsinfrastruktur ud fra hensyn til badevandskvalitet, altså for at undgå at byboerne bader i (deres egne) affaldsprodukter fortyndet i (hav)vand. Omkring 1990 var det en kæmpe nyhed, at man nu kunne bade i havnebassinerne i København og langs kysten tæt ved byen, det havde man ikke kunnet i mere end 100 år uden at blive alvorligt syg. Der var dog stadig en lille risiko for at blive syg, hvilket man accepterede. For 15 år siden var det en tilsvarende forbedring, at man løbende kunne beregne, hvornår denne risiko var størst, så man kunne varsle risikoen og eventuelt udstede badeforbud. Nu er det en stor nyhed, når man laver varslingen, fordi det bliver opfattet som en rettighed altid at kunne bade i vandet. Man må forvente tilsvarende ændringer i forventningerne til systemerne i fremtiden. Med et system, hvor hver enkelt del forventes at leve i 10-100 år, vil systemet altid synes lidt gammeldags. Men det er dyrt at starte helt forfra.

## 3. Hvorfor står vi i denne situation?

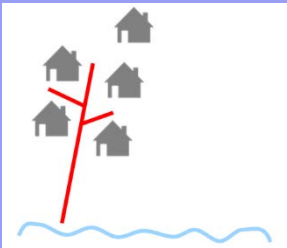
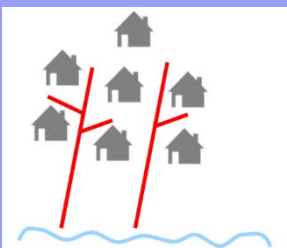

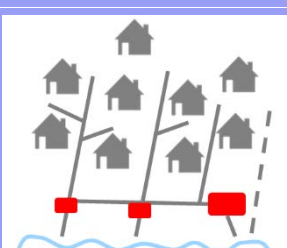

### 3.1 Kort historisk baggrund

For at forstå de eksisterende kloaksystemer, med deres nuværende problemer og udfordringer, er det vigtigt at kigge på deres historiske udvikling. Vandets infrastruktur er nemlig meget omfangsrig, hvilket har krævet kæmpe investeringer baseret på valg truffet for mange årtier siden, som stadig påvirker de nuværende systemer. I kloakkernes historie kan man adskille flere faser, hvor infrastrukturen skulle leve op til nye krav og stigende forventninger fra samfundet (se også Tabel 1):

- Beskyttelse af menneskers sundhed: De første moderne kloakker blev etableret i midten af det 19. århundrede med renholdelse af byområder for øje, dvs. man ønskede at fjerne køkkenaffald og andre uhumskheder fra rendestenene og senere humane affaldsprodukter (urin, fæces) for at fjerne kilderne til sygdomme og beskytte den lokale vandforsyning. Alt regnvandet, og efterhånden også spildevandet, efter vandforsyningen blev etableret, blev ledt i samme rør til nærmeste vandløb/sø/havn. Det førte til *fællessystemet*, hvor spildevand og regnvand løber i samme kloakrør. Fællessystemet er stadig udbredt i de fleste ældre byområder.
- De første simple rensningsanlæg blev bygget i den første halvdel af det 20. århundrede for at fjerne de store meget synlige og ildelugtende affaldsrester fra vandmiljøet. Denne udvikling blev drevet af en æstetisk drivkraft.
- Efter Anden Verdenskrig steg opmærksomheden på miljøproblemer, som i Danmark ledte til verdens første miljøministerium og den første lovgivning om beskyttelse af vandmiljø i starten af 1970'erne. I nye byudviklinger begyndte man at anvende separate kloaksystemer, hvor spildevandet og regnvandet løber i adskilte rørsystemer. I tidligere kloakerede områder blev der bygget store transportledninger, som afskar de små kloaksystemer fra at udlede direkte til det lokale vandmiljø, forbandt dem i større enheder og transporterede spildevandet til nybyggede rensningsanlæg. I denne processer blev der bygget kloak overløbsbygværker, som typisk blev placeret hvor de gamle udledningpunkter lå. Centrale spildevandsrensningsanlæg blev bygget for enden af transportledningerne for at beskytte vandmiljøet mod forurening, og de fokuserede i starten på fjernelse af organisk stof. I nogle tilfælde, og især i de efterfølgende årtier, blev der bygget decentrale kloakbassiner i fællessystemerne for at nedsætte hyppigheden af overløb samt de udledte vand- og forureningsmængder fra overløbsbygværkerne.
- I løbet af 1980erne og 1990erne blev der udviklet nye teknologier til fjernelse af næringsstoffer (kvælstof og fosfor - N og P). Med opgradering af danske rensningsanlæg og ny lovgivning (med introduktion af bl.a. en spildevandsafgift) blev der opnået en stor reduktion af udledningen af næringsstoffer med spildevand fra byer.
- Efter år 2000 steg behovet for at opnå bedre livskvalitet i byområder (med f.eks. badevand i indre byer), samt et årti senere også for at beskytte byer mod den stigende oversvømmelses risiko (klimatilpasning). Disse drivkræfter ledte til store investeringer i nye infrastrukturer baseret på både gamle og nye teknologier. Disse inkluderer store forsinkelsesbassiner for at undgå overløb fra fællessystemer, automatiske algoritmer til at styre fordelingen af vand i den eksisterende infrastruktur bedre (som led i digitaliseringen), kloakseparering hvor gamle fælleskloakker laves om til separate kloakker til spildevand og regnvand, bassiner i separate regnvandssystemer for at udjævne og rense regnvandsafstrømningen, og klimatilpasning på overfladen, hvor

løsningerne er synlige i bybilledet og går hånd i hånd med en vision om mere grønne byer. Dette har resulteret i involvering af andre fagfolk (landskabsarkitekter, byplanlæggere, osv.) end kun ingeniører, som havde været de eneste ansvarlige for planlægning og etablering af anlæg til håndtering af vand i de forgangne hundrede år.

**Tabel 1.** Historiske faser i kloakkernes udvikling.

Periode	Drivkraft	Tekniske løsninger	
Fra 1850	Menneskers sundhed	Kloakker (fælles)	
Omkring 1900	Menneskers sundhed Beskyttelse mod oversvømmelser	Kloakker (fælles)	
Fra 1950	Menneskers sundhed Beskyttelse mod oversvømmelser Æstetik	Kloakker (fælles og separate) Afskærende ledninger Simple rensningsanlæg	
Fra 1970	Menneskers sundhed Beskyttelse mod oversvømmelser Æstetik Beskyttelse af vandmiljøet	Kloakker (separate) Bassiner i fællessystemer Avancerede rensningsanlæg	
Efter 2000	Menneskers sundhed Beskyttelse mod oversvømmelser Æstetik Beskyttelse af vandmiljøet Badevand i byer Behov for vedligeholdelse Klimatilpasning Multifunktionelle værdier	Separering (fælles kloaksystemer bliver transformeret til separate) Regnvandsbassiner Regnvandshåndtering lokalt på overfladen, herunder grøn infrastruktur og naturbaserede metoder Digitalisering og smarte systemer (varsling/styring) Cirkulære vandssystemer	

Rød farve angiver hvad der er nyt i den pågældende periode. Stiplede linier angiver separate regnvandssystemer

- Samtidig blev renselanlæg gradvist videreudviklet til at blive "energi neutrale" eller endda "energi positive" (dvs. at de kan producere mere energi end der bliver brugt), og der er kommet fokus på også at gøre dem "klima neutrale" (bl.a. ved at mindske udledningen af lattergas til luften) inden 2030. Desuden er der senest kommet fokus på at genbruge de ressourcer, der findes i spildevandet (såsom næringsstoffer og varmeenergi), hvilket flugter med ambitionerne om at udvikle samfundet i retning af cirkulær økonomi, samt på sektorkobling hvor rensningsanlæg kobles som en dynamisk forbruger og producent af elektricitet til det fleksible elektricitetsnet baseret på udstrakt brug af bæredygtige, men fluktuerende energikilder som sol- og vindenergi.

### 3.2 Principper bag dimensionering af systemer til håndtering af regn og spildevand

Fælles kloaksystemer, rensningsanlæg i fællessystemer, separate regnvandssystemer, og løsninger til klimatilpasning på overfladen inkl. bl.a. anlæg til lokal afledning af regnvand og naturbaserede metoder dimensioneres altid med henblik på at deres kapacitet med mellemrum overskrides. Alt andet vil være alt for dyrt, men hvor højt sætter vi barren? Hyppigheden af overskridelser (antallet per år) – eller gentagelsesperioden (den tid der i gennemsnit går mellem overskridelser) fastsættes typisk på baggrund af økonomiske, miljømæssige og etiske principper, der generelt afspejler samfundets overordnede prioriteringer og undertiden særlige grupperes præferencer. De fastlægges nationalt eller internationalt enten juridisk eller baseret på faglig konsensus der fører til tradition, men de kan også variere fra sted til sted og over tid.

Oversvømmelse på terræn uden for arealer udlagt til dette formål i områder med fællessystemer tillades i Danmark hvert tiende år, mens det tillades hvert femte år i områder med separate regnvandssystemer. Forskellen skyldes, at oversvømmelse med opblandet spildevand naturligvis er mere uønsket end oversvømmelse alene med regnvand.

Rensningsanlæg i fællessystemer har ligesom rørsystemet en begrænset kapacitet og dimensioneres ofte til at kunne modtage et flow, der er flere gange større end flowet i tørvejr, så det ud over spildevand fra husholdninger og industri kan håndtere både drænvand, vand der utilsigtet tilføres kloakken (uvedkommende vand) og mindre regnskyl. Den *hydrauliske kapacitet* er det højeste flow, som den mekaniske (primære) del af et rensningsanlæg kan klare uden at blive oversvømmet, mens den *biologiske kapacitet* er det højeste flow, de biologiske (sekundære) rensetrin kan klare uden at processernes effektivitet bliver ødelagt. Der kan forekomme overløb internt på et rensningsanlæg, så delvist rensset spildevand udledes til miljøet - kaldet *bypass*.

Separate regnvandssystemer udleder regnvand hyppigt, næsten hver gang der regner, og der skal søges om udledningstilladelse hos kommunen for hvert nyt system, der etableres. I dag kræver myndighederne typisk, at separatsystemer udstyres med et regnvandsbassin, der ud over et forsinkelsesvolumen altid indeholder vand. Det udjævner og mindsker udledningen og rensset regnvandet delvist, så den direkte hydrauliske og miljømæssige påvirkning nedsættes, før regnvandet bliver udledt i det naturlige vandmiljø. Lige som for rensningsanlæg kan regnvands flowet blive større end regnvandsbassinets hydrauliske kapacitet, og delvis rensset regnvand kan derfor løbe over direkte til vandmiljøet. Dette tillades typisk at ske hvert femte år – samme krav som for oversvømmelse fra separat regnvandssystemer. Der findes dog stadig gamle regnvandsbassiner, der er tørre og som ikke er beregnede til at tilbageholde forurening men blot forsinker og udjævner udledningen, lige som der findes udledningpunkter uden regnvands bassiner eller andre rensforanstaltninger.

Kravene til overløb fra fællessystemer varierer meget. Der skal i princippet også søges om udledningstilladelse hos kommunen, men disse tilladelser eksisterer ikke altid og kan være meget forskellige, fordi systemerne ofte er mange årtier gamle, fordi flere forskellige fagpersoner både hos kommunen og forsyningsselskabet og deres rådgivere har været involveret over årene, og fordi de politiske prioriteringer har ændret sig løbende. I fællessystemer uden væsentlige bassinvolumener har 20 overløb om året ikke været ualmindeligt, mens 5 gange om året har været almindeligt når fokus ligger på at beskytte miljøkvaliteten af et lokalt vandløb, og kun 1 gang om året tillades for at beskytte lokalt badevand. Der er også eksempler på, at to kommuner adskilt af et vandløb tillader overløb til samme vandløb med forskellig hyppighed. Kravene til bypass fra rensningsanlæg i fællessystemer varierer også meget, og de går sjældent på en hyppighed men på en totaludledning af næringsstoffer per år.

Undertiden er udledninger fra overløb og bypass genstand for offentlighedens interesse. Som eksempel kan nævnes sagen om en planlagt udledning til kystvandet nord for København i 2020, der er blevet dækket intensivt af medierne. Her var der planlagt en mindre udledning af urensset spildevand i forbindelse med et større anlægsprojekt, hvor en hovedledning en periode ville blive lukket ned. Dette blev opfattet som uacceptabelt af lokale borgere og vinterbadere, men i mediefladen blev der sjældent skelnet mellem den bevidst udledning af spildevand i den konkrete sag (hvor man i første omgang ikke søgte efter alternative løsninger), og den mere ubevidste udledning der skyldes at systemernes kapacitet overskrides med mellemrum ifm. kraftig regn (hvilket afhænger af bl.a. systemernes størrelser, der tager årtier og meget store investeringer at ændre på). Som et internationalt eksempel kan fremhæves, at der i miljøteknik branchen tales om eksempler på, at ansatte i lokale forsyningsselskaber har modtaget personlige trusler fra borgere, der er utilfredse med lokale kloakoverløb.

### 3.3 Hovedtræk af vandets infrastruktur

Figur 2 viser en skematisk oversigt over de vandstrømme, som typisk foregår i moderne danske byer, og som fører til følgende former for punktudledninger fra byer til vandmiljøet:

- Udledninger af rensset spildevand fra rensningsanlæg (rensningsanlæg)
- Udledninger som bypass på rensningsanlæg (bypass)
- Udledninger fra overløbsbygværker i fællessystemer (overløb)
- Udledninger fra separate regnvandssystemer (separat regnvand)

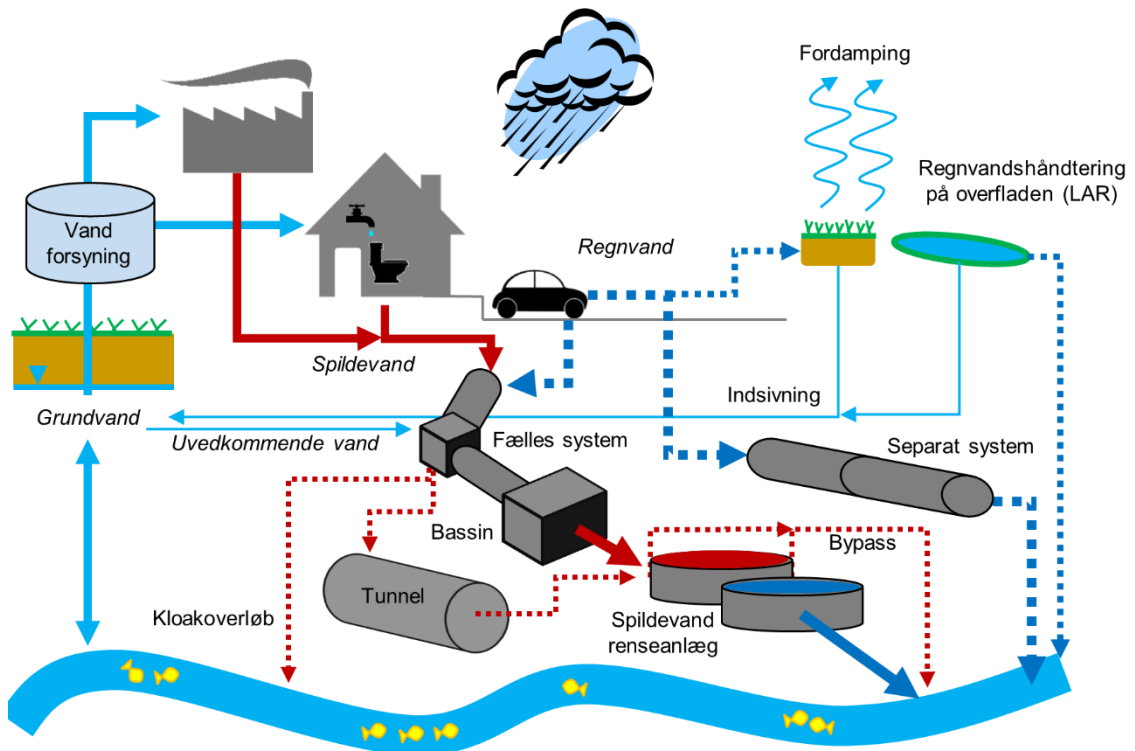
Figuren illustrerer to overordnede vandstrømme, der foregår i hhv. tørvejr (ubrudte pile: indvinding af grundvand – distribution til forbrugere – afledning som spildevand gennem kloaksystemet – rensning på rensningsanlæg - udledning til overfladevand) og i tørvejr (stiplede pile: regn på befæstede overflader – afledning og forsinkelse gennem separate og fælles kloaksystemer – opmagasinering i bassiner og tunneler - evt. rensning – udledninger (og overløb) til overfladevand).

Udledningen fra byer er forskellige i tørvejr og i regnvejr, som illustreret på Figur 3 for udledninger til et vandløb. I tørvejr modtager vandløbet naturlig afstrømning, vand fra diffuse kilder og rensset spildevand (der i sommerperioden kan udgøre en stor del af vandføringen). I regnvejr modtager vandløbet desuden udledninger fra det separate regnvandssystem, og – i tilfældet af mellem/store regn - overløb fra fællessystemet, bypass fra rensningsanlæg og overløb fra regnvandsbassiner. Vandforsyningen i Danmark er baseret på, at grundvand oppumpes og renses i et vandværk, hvorefter det udpumpes i et distributionsnet og leveres for at dække vandbehovet i husholdninger og industri. Herfra afledes spildevandet gennem et kloaksystem og tilføres et rensningsanlæg,

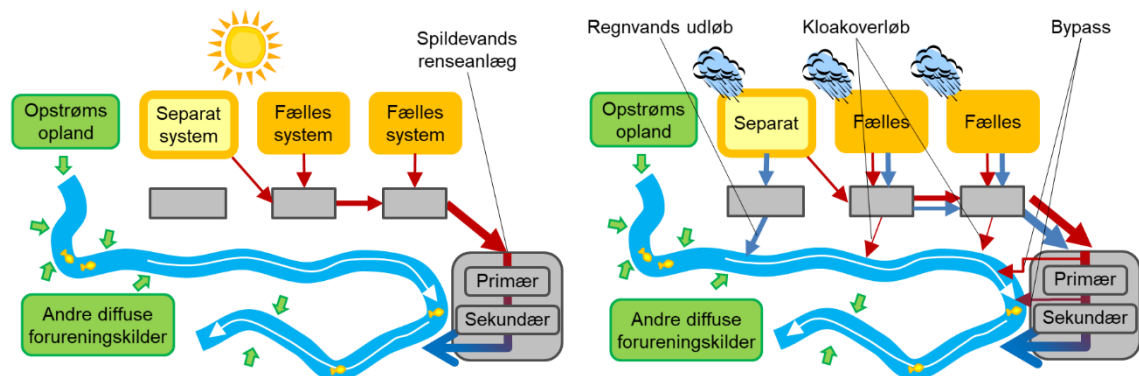


hvorfra det udledes til vandmiljøet – typisk gennem en udløbsledning, der fører det rensede spildevand flere km ud i den nærmeste recipient.

Når det regner på de befæstede overflader, afledes regnvandet gennem kloaksystemet. I fælles kloaksystemer opblandes regnvand med spildevand og tilføres rensningsanlægget. I separate kloaksystemer ledes regnvand til den nærmeste recipient, eventuelt efter forsinkelse og rensning i et bassin. I mange danske byer er bykernen udstyret med et fællessystem, mens forstadsområder etableret efter 1950'erne er udstyret med separatsystemer for spildevand (der bortleder spildevandet gennem det nedstrøms fællessystem) og for regnvand (der udledes direkte til vandmiljøet, evt. efter rensning i et bassin).



**Figur 2.** Skematisk oversigt over de vandstrømme, som foregår i moderne byer, med to overordnede strømme, der foregår i hhv. tørvejr (ubrudte pile) og i regnvejr (stiplede pile).



**Figur 3.** Skematisk illustration af udledning fra urbane områder til vandmiljøet i tørvejr (t.v.) og regnvejr (t.h.).

Utætte kloakledninger kan føre til indsvivning i kloakken (når grundvandet står højere end kloakledningen). Indsvivning er en del af det "uvedkommende vand", der også kan omfatte andre bidrag som ulovlige bygningsdræn og andre ulovlige tilslutninger. Uvedkommende vand er meget almindeligt i Danmark og kan på årsbasis udgøre lige så meget vand som spildevandet, hvilket betyder at rensningsanlægget skal rense dobbelt så meget, fortyndet, spildevand som ellers.

I normal drift strømmer spildevand, uvedkommende vand og regnvand (for små regn, også kaldet hverdagsregn) igennem fællessystemet. Men når regnen bliver kraftigere, overskrider kapaciteten af rørsystemet, hvilket kan føre til lokal oversvømmelse med opblandet spildevand, samt til *overløb* direkte til miljøet.

### 3.3.1 Formålet med overløbsbygværker – historisk og nu

Overløbsbygværker fungerer som sikkerhedsventiler i kloaksystemet (se Faktaboks A), man tillader bevidst overløb til vandmiljøet i udvalgte punkter for at undgå lokal oversvømmelse. Det historiske overblik fra afsnit 3.1 viser, hvordan overløb blev bygget i forbindelse med overgangen fra den første generation af kloaksystemer (hvor spildevand blev udledt til den nærmeste recipient) til mere miljøvenlige systemer (hvor spildevand fra forskellige områder blev afskåret fra udledning til vandmiljøet, samlet i transportledninger og afledt til et centralt spildevandsrensningsanlæg).

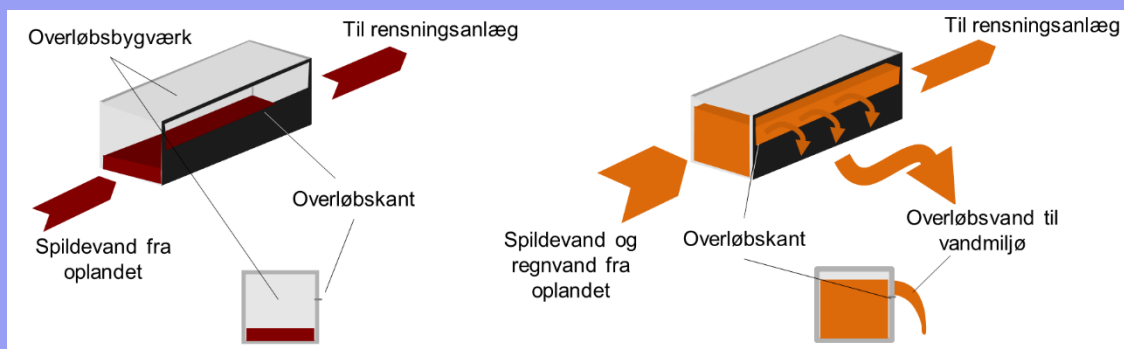
Størrelsen af transportledninger blev besluttet baseret på de daværende dimensionerings retningslinjer, hvor overløbsbygværker (somme tider kaldet overløb for nemheds skyld) fungerede som sikkerhedsventiler. Det gør de stadig. Uden overløbsbygværkerne ville rørene fylde op, og dette ville resultere i oversvømmelse af veje og kældre med en blanding af regnvand og spildevand. I retningslinjer anvendte man typisk en fortyndingsgrad, hvor transportledningen typisk skulle klare 4-5 gange tørvejs spildevandsflowet. Når flowet af spildevand og regnvand (samt drænvand og uvedkommende vand) overstiger hvad transportledningen kan håndtere, så bliver det overskydende vand ledt ud til vandmiljøet (typisk igennem de tidligere eksisterende udløb). Af denne grund finder man typisk overløb ved sammenslutning af kloakledninger til transportledninger, som typisk følger vandløb og leder spildevandet til et nedstrøms rensningsanlæg (som illustreret i Tabel 1 og Figur 3).

Mange af de nuværende overløbsbygværker er derfor minder fra denne historiske overgang, og nedlæggelse af overløbsbygværker kræver opbygning af nyere løsninger, som kan sikre et tilsvarende serviceniveau i forhold til beskyttelse af byer fra oversvømmelses risiko. En velkendt løsning er etablering af underjordiske bassiner, hvor vandet kan opmagasinere midlertidigt og sendes videre ned gennem systemet på et senere tidspunkt, hvor det er holdt op med at regne. På denne måde er mange overløbsbygværker over årene blevet nedlagt – en tendens som stadig foregår.

Et eksempel kommer fra Københavns Havn, hvor der i løbet af 1990'erne blev bygget bassiner og lukket overløb for at opnå badevandskvalitet i havnen, til gavn for byens indbyggere. En analyse af oversvømmelser fra d. 2. juli 2011 – skabt af det største skybrud nogensinde målt i København – viste dog, at de lukkede overløb forværede oversvømmelserne og bidrog til store skadesomkostninger. Løsningen blev at implementere en særlig nød-styring, hvor vand fra fællessystemer kan blive udledt til havnen i tilfælde af skybrud. Et eksempel på, at beskyttelsen af byens værdier i nogle tilfælde prioriteres over beskyttelse af badevand og miljø.

## Faktaboks A. Hvordan ser et overløbsbygværk ud?

Overløbsbygværker agerer som sikkerhedsventil af kloakkerne. I normal drift strømmer spildevand igennem bygværket uden problemer (venstre del af Figur A.1). Når kapacitet i den nedstrøms ledning er nået, stiger vandniveauet i bygværket indtil det når overløbskanten, og det overskydende vand (en blanding af spildevand, regnvand, drænvand og uvedkommende vand) strømmer over kanten og bliver udledt urensset til vandmiljøet (højre del af Figur A.1). For at øge den hydrauliske kapacitet af overløbsbygværket findes tekniske løsninger (f.eks. bøjeklap) som, sikrer at det opstrøms system ikke bliver overbelastet og dermed minimerer risikoen for at oversvømme opstrøms beliggende kældre og veje.

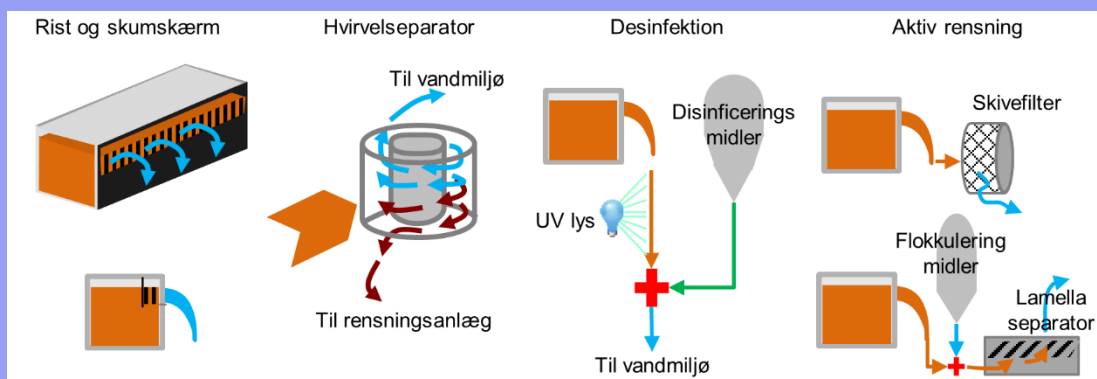


Figur A.1. Illustration af et overløbsbygværk i almindelig drift (t.v.) og under en overløbshændelse (t.h.).

Det basale overløbsbygværk illustreret i Figur A.1 kan blive opgraderet med adskillige løsninger (Figur A.2), som reducerer de negative påvirkninger af overløb på miljøet. Disse inkluderer:

- Riste og skumskærme, som fjerner de største objekter og flydende forurening og dermed primært reducerer den æstetiske forurening.
- Hvirvelseparatorer, som udnytter særlige hydrauliske forhold til at separere de tunge partikler. De fungerer over for forureningsstoffer, som er ikke opløste, f.eks. sand og grus.
- Desinficering, som dækker over forskellige teknologier såsom UV-lys og tilførsel af kemiske midler (f.eks. ozon eller brintoverilte). Disse løsninger mindsker sundhedsrisikoen skabt ved overløb.
- Aktive rensningsteknologier, såsom skivefiltre, tilførsel af flokkuleringsmidler og fjernelse af partikler med filtre og andre separatorer. Disse teknologier mindsker udledning af partikler (eller stoffer som kan danne fnug) og stoffer, der er bundet til partikler, såsom nogle metaller og organiske stoffer samt fosfor.

Alle disse løsninger kan blive kombineret, for samtidig at reducere flere påvirkninger (f.eks. kan man desinficere udløb fra en anden rensnings løsning). Der er nogle stoffer der dog kræver en yderligere rensning (f.eks. kvælstof, som er primært i opløst form).



Figur A.2. Eksempler på rensprocesser, der kan etableres i forbindelse med overløbsbygværker.

### 3.3.2 Rensningsanlæg, bypass og forsinkelsesbassiner

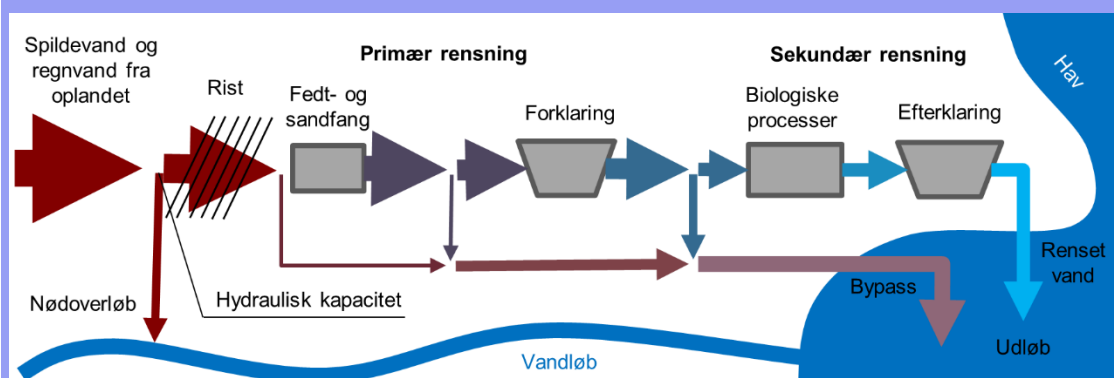
Rensningsanlæg er opbygget med flere rensetrin efter hinanden, og ligesom rørsystemet har disse rensetrin en begrænset kapacitet (se Faktaboks B). Når det enkelte rensetrins kapacitet overskrides, bypasses de efterfølgende rensetrin (dvs. vandet løber uden om), og delvist rensede spildevand udledes direkte til vandmiljøet – ofte gennem rensningsanlæggets udløbsledning, der fører vandet langt bort. Bypass har den vigtige funktion at beskytte rensningsanlæggets sårbare biologiske dele mod en overbelastning, der kan medføre dårligere rensning i meget lang tid, måske op til en måned. Bypass fungerer dermed i lighed med overløb som sikkerhedsventiler – man tillader bevidst bypass for at undgå overbelastning af de efterfølgende rensetrin. Men der er forskel på overløb og bypass – overløb foregår opstrøms i et kloaksystem, mens bypass forgår på rensningsanlægget, og overløbsvand er i almindelighed mere forurenede end bypass vand.

Forsinkelsesbassiner etableres i fællessystemer for at mindske antallet og størrelsen af overløb og bypass. I København ligger der f.eks. langs havnekajen meget store forsinkelsesbassiner, og investeringerne i disse bassiner er årsagen til, at det i 1990'erne blev muligt at bade i havnen. Tilsvarende ligger der i København store forsinkelsesbassiner i tilknytning til de store rensningsanlæg, for at udjævne tilstrømningen til rensningsanlæggene og minimere bypass. I forbindelse med store bassinanlæg er der typisk etableret mere eller mindre avancerede styringssystemer, så tømningen af bassinerne kan reguleres afhængigt af hvor kraftigt det regner, og hvor meget vandtilstrømning rensningsanlægget aktuelt kan klare.

#### Faktaboks B. Bypass på rensningsanlæg.

Spildevandsrensningssystemer er opbygget med flere på hinanden følgende rensetrin for at behandle en vis mængde spildevand, passende til befolkning og spildevandskilder (industrier og andre aktiviteter) i oplandet. Hvis der er et fælles system, skal anlægget også behandle regnvand, drænvand og uvedkommende vand.

Når kapaciteten af et rensetrin i anlægget bliver overskredet (ved mellemstore og store regnhændelser) bypasses de efterfølgende rensetrin, og det overskydende vand udledes til vandmiljøet. Afhængig af, før hvilket rensetrin bypass sker, kan det udledte vand have gennemgået en vis rensning. Når flowet f.eks. er lavere end den hydrauliske kapacitet men højere end den biologiske, så gennemgår vandet fysisk rensning, men ikke biologisk rensning. Et særligt fælde er nødoverløb, som sker når anlæggets højeste hydrauliske kapacitet bliver overskredet, og det overskydende vand ledes direkte til det nærmeste vandløb for at ikke oversvømme anlægget. Miljøpåvirkning af et nødoverløb ligner derfor kloakoverløbets.



Figur B. Illustration af rensetrin og vandstrømme i et rensningsanlæg placeret tæt på kysten, hvor bypass udledes i samme punkt som det rensede spildevand.

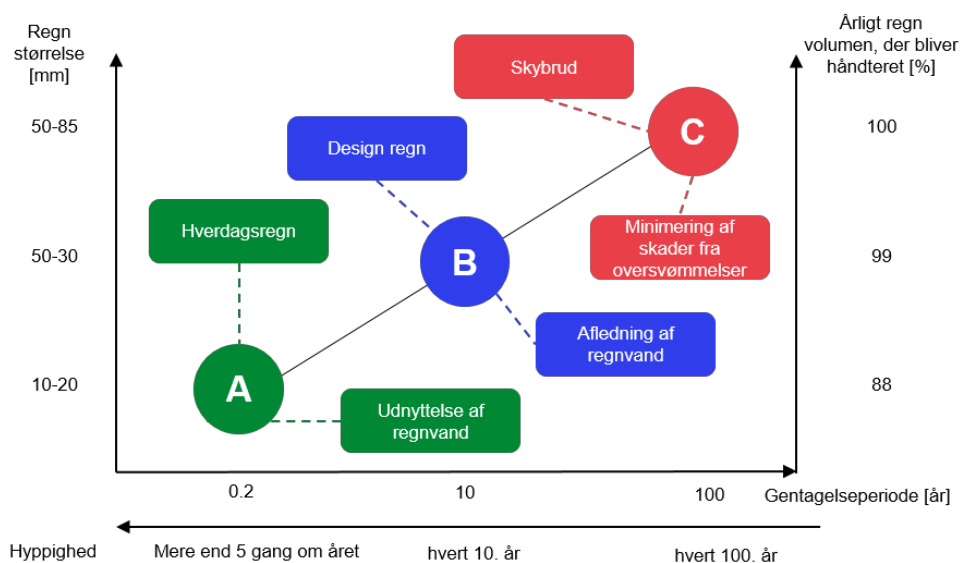
### 3.3.3 Kloaktunneler og klimatilpasning på overfladen

Alene i Danmark ligger der ca. 88.000 km offentlige kloakledninger – det svarer til mere end 2 gange rundt om jorden. Genanskaffelsesprisen for at lave det hele om er høj – måske svarende til ét års samlede skattebetalinger til kommunen. Det vil også være enormt dyrt og besværligt at lave hele kloaksystemet om, og derfor arbejdes der med flere forskellige strategier for at tilpasse byerne og deres kloaksystemer til fremtidens klima. Udover udvidelse af de eksisterende systemer – særligt forsinkelsesbassiner – og kloakseparering, arbejdes der med to vidt forskellige hovedtiltag, hhv. kloaktunneler og klimatilpasning på overfladen.

Der findes flere forskellige typer af kloaktunneller, overløbstunneller og regnvandstunneller. *Overløbstunneller* er beregnet til at modtage overløbsvand fra overløbsbygværker, når kapaciteten af fællessystemets (både ledningsnet og forsinkelsesbassiner) overskrides. De kan nedsætte både hyppigheden og størrelsen af overløb til miljøet samt mindske bypass på rensningsanlægget. Et eksempel i København er f.eks. Damhustunnellen (Damhusledningen), der er 3,4 km lang og har en diameter på 3 m. *Regnvandstunneller* har til formål at bortlede regnvand, når faldforhold eller mangel på plads på byens overflade forhindrer afledning gennem f.eks. skybrudsveje. Et eksempel i København på en *regnvandstunnel* er f.eks. Østerbrotunnellen, der er bygget til at aflede regnvand fra Skt. Kjelds kvarter på Østerbro.

Klimatilpasning på overfladen drejer sig i det væsentlige om regnvandshåndtering på overfladen. Ekspert fra mange forskellige professioner påvirker udformningen af løsninger, og beslutninger tages derfor ofte på grænsefladen mellem 3 overordnede hensyn (Figur 4):

- (A) Udnyttelse af regnvand som ressource med fokus på "hverdagsregn" der optræder flere gange årligt (på Figur 4 gange per år, sv.t. en gentagelsesperiode på 0,2 år).
- (B) Dimensionering af kloaksystemer og systemer til lokal afledning af regnvand, der har en begrænset kapacitet bestemt af den anvendte "design regn" (illustreret ved kravet til fællessystemer om højst at oversvømme hvert tiende år).
- (C) Håndtering af meget store vandmængder (skybrud) på terræn, der kan føre til skadevoldende oversvømmelser og optræder meget sjældent (på figuren illustreret ved en gentagelsesperiode på 100 år).



**Figur 4.** Illustration af de tre hovedhensyn ifm. beslutninger relateret til regnvandshåndtering i byer, jf. 3-punkt metoden til klimatilpasning. Figuren er inspireret af [7] og [8].

Løsningerne er mangeartede og baserer sig på en kombination af processerne forsinkelse, fordampning, nedsivning, transport (bortledning) og rensning. Mange af løsningerne går under fællesbetegnelsen Lokal Afledning af Regnvand (LAR), der består af f.eks. grønne tage, faskiner, regnbede, forsinkelselementer i veje m.m. Der indgår også nyfortolkninger af eksisterende infrastruktur, som f.eks. skybrudsveje, der skal bortlede regnvand.

I EU's strategier for klimatilpasning af byer går mange af løsningerne under fællesbetegnelsen *Nature Based Solutions* (NBS), i USA anvendes betegnelsen *Green Infrastructure* (GI) i stigende grad, og i Kina indgår alle disse mulige løsninger i et samlet koncept kaldet *Sponge Cities*.

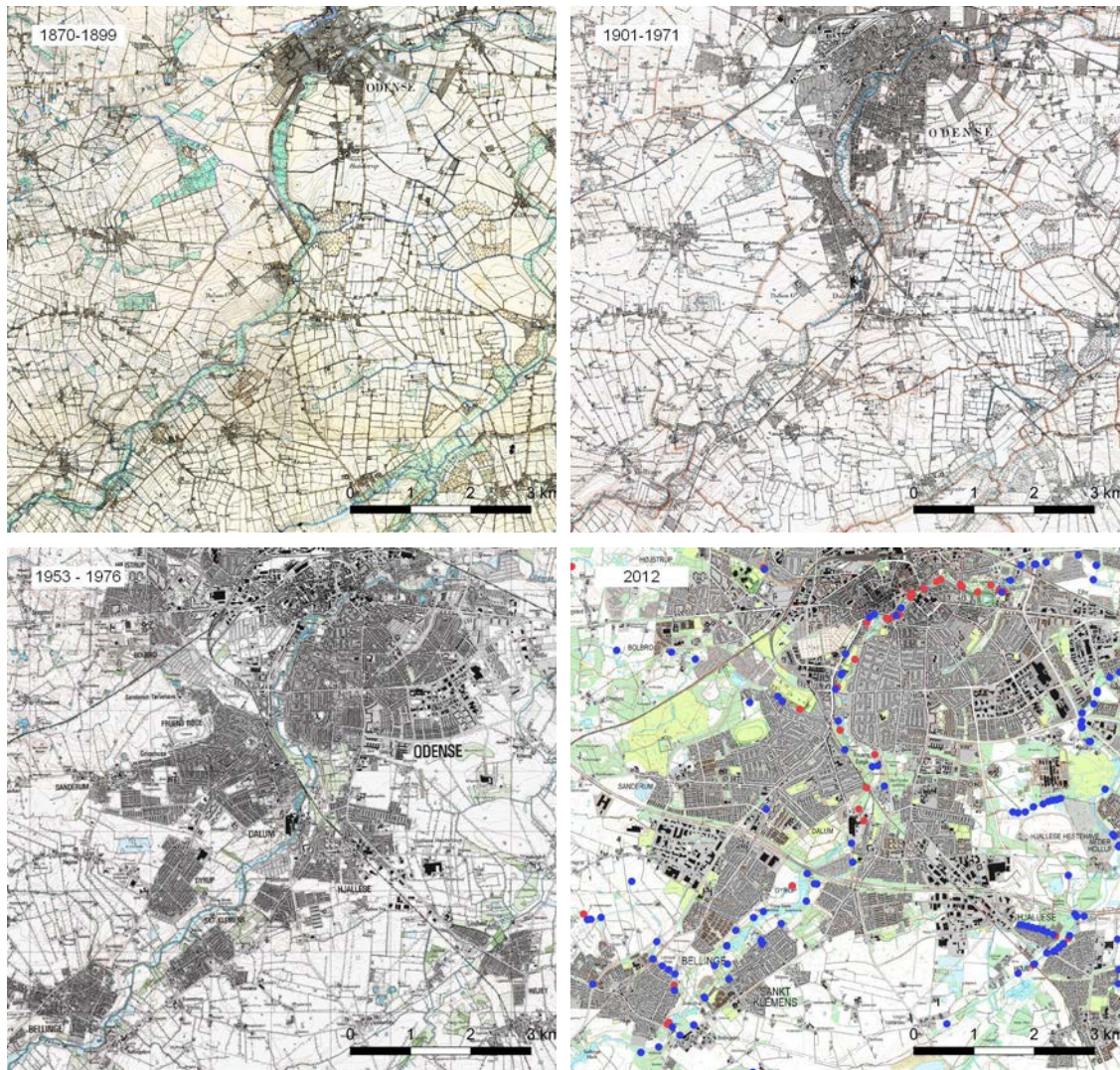
Overløbstunneller, regnvandstunneler, bassiner og rensningsanlæg, som de udføres i dag, er store anlæg baseret på en lineær tangegang om, at centrale anlæg, der betjener hele byen, er godt (effektivt). Modsat er mange af tiltagene ved klimatilpasning på overfladen decentrale eller lokale tiltag, tilpasset enkelte bydeles særpræg om muligheder. Den decentrale og cirkulære tankegang ligger f.eks. bag vandhåndteringen i bydelen Nye i Aarhus, hvor regnvand afledes til lokale søer, der også kan opmagasinere regnvand under ekstreme regnhændelser, og sammen med drænvand fra huse og veje renses inden det bruges til toiletskyl og vaskemaskiner. I mange tilfælde vil klimatilpasning for større bydele bero på en kombination af centrale og decentrale tiltag (hybridsystemer), under og over jorden i sammenhæng med eksisterende fælles- og separatsystemer, med henblik på både at mindske udfordringer med oversvømmelser og reducere udledninger af forurenede vand til miljøet samt at bidrage til en øget livskvalitet i byerne.

### **3.4 By- og samfundsvækst, klimaændringer og udledninger - hvordan hænger det sammen?**

Figur 5 viser udviklingen af byområdet omkring Odense i perioden fra 1870 til 2012. De befæstede arealer var i starten koncentreret omkring havnen ved Odense Fjord. Gradvist flyttede flere mennesker til byen, der blev anlagt fortove og lagt asfalt i stedet for brosten, og den øgede velstand førte til større huse og parkeringspladser. Dermed voksede byen og den blev mere tæt, og udbygningen tog for alvor fat fra ca. 1970 og fremad, så byen i dag dækker sydover langs Odense Å helt til Bellinge. Langs åen samt en række andre mindre vandløb ligger i dag en række udledningsspunkter – både overløbsbygværker og separate regnvandsudløb.

En tilsvarende udvikling er foregået i resten af Danmark – det samlede befæstede areal i Danmark er i løbet af 100 år næsten tredoblet, fra ca. 5% i 1915 til 14% i 2015, og befolkningstallet blev ca. fordoblet i samme periode. Der er i dag iflg. Miljøstyrelsen i Danmark i alt 701 udløbspunkter fra rensningsanlæg (heraf er 174 meget små private anlæg, og langt de største udledninger kommer fra anlæg i de store byer), 150 udløbspunkter fra industri (hvor kun 69 udleder forurening), 4.222 udløbspunkter fra overløb/bypass fra fællessystemer, og 16.219 udløbspunkter fra separate regnvandssystemer. De store rensningsanlæg ligger typisk ved kysten, mens regnbetingede udledninger foregår mere geografisk spredt.

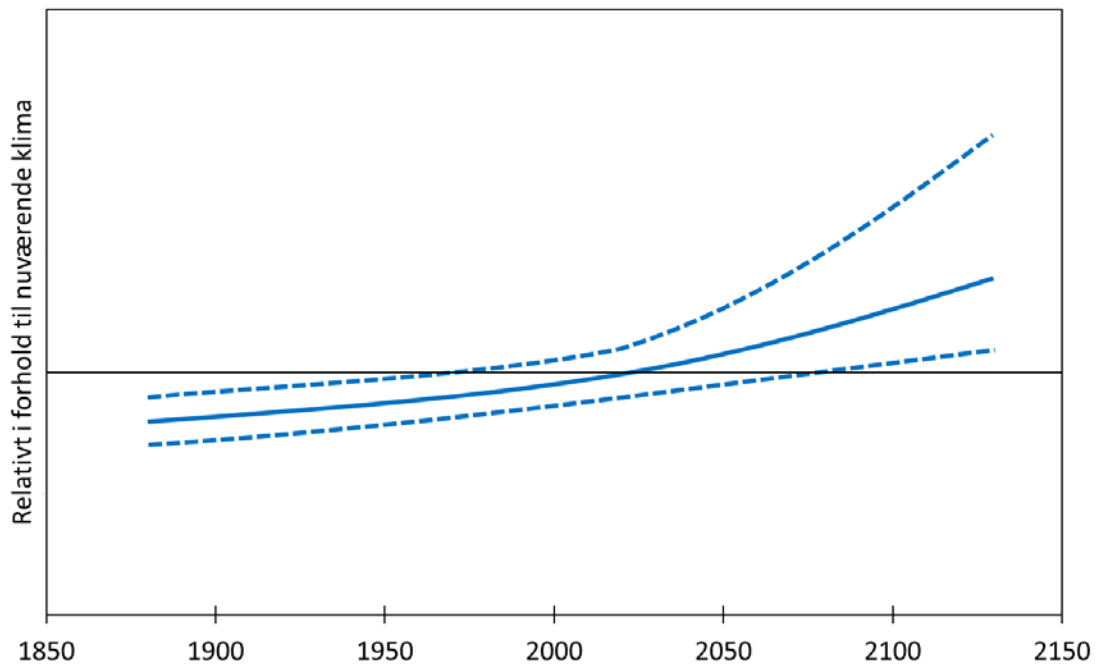
De store regnskyl, der giver anledning til overløb og bypass, har også ændret sig, men det kan ikke illustreres på en lige så simpel måde som kortene på Figur 5. Sammenhængen mellem regnhændelsers dybde (i mm) og gentagelsesperioden illustreret på Figur 4 gælder for et stationært klima, dvs. et klima der ikke ændrer sig i tid. I virkeligheden ved vi i dag godt, at klimaet ændrer sig, og at ændringerne påvirker hyppigheden af de kraftige regnskyl, se f.eks. det seneste *skrift* fra IDA's Spildevandskomité, der opsummerer både dansk og international forskning på området.



**Figur 5.** Udvikling af byområde omkring Odense (historiske kort) med angivelse på det nyeste kort af placeringen af de nuværende regnbetingede punktudledninger (røde punkter: overløbspunkter i fællessystemer, blå punkter: udledningpunkter i separatsystemer). Kilde: SDFE [26].

En 10-års hændelse i fremtiden er ikke det samme som en 10-års hændelse i det nuværende klima. Det betyder i princippet, at sammenhængen på Figur 4 forskubber sig opad. Figur 6 angiver kvalitativt størrelsen af ændringerne over tid, hvor det nuværende klima svarer til 2020. Klimafaktoren er forholdet mellem den forventede fremtidige og den nuværende regnhændelses størrelse, beregnet ved at sammenligne resultater af simuleringer med klimamodeller for det nutidige klima og forskellige fremtidige klimascenarier. Kurvebåndets opadgående hældning afspejler, at de kraftige regn generelt forventes at blive endnu kraftigere med tiden. Kurvebåndets bredde afspejler, at vi ikke på forhånd kan vide hvor hurtigt klimaet vil forandre sig, samt at der kan optræde fluktuationer i klimaet fra år til år også over årtier. Derfor er figuren konstrueret så den tager et gennemsnit over flere årtier for at vise den overordnede tendens. Samtidigt indebærer det, at man i nogle perioder vil opleve endog meget kraftige ændringer mens det i andre perioder vil synes som om klimaforandringerne stilner af. Den generelle tendens er der ikke tvivl om i den videnskabelige litteratur, ej heller at det vil gå hurtigere i fremtiden end hidtil.

## Historisk og forventet udvikling i ekstremregn Variationer under 30 år fjernet



**Figur 6.** Principmæssig illustration af klimaændringernes betydning for ekstremregn, der kan føre til oversvømmelser samt bypass fra rensningsanlæg og overløb fra fælles kloaksystemer og regnvandsbassiner. Som det fremgår af figuren er der over de sidste 140 år allerede sket tydelige ændringer, men disse ændringer må forventes at blive hurtigere i fremtiden.

Planlægningen af de første kloaksystemer i byernes midte kunne ikke tage højde for den befolkningstilvækst og byudvikling, der er forgået siden. De kunne heller ikke tage højde for, at kraftige regnskyl der fører til overløb fra fællessystemer og bypass på rensningsanlæg er blevet hyppigere og forventes at vokse i de kommende årtier. Samlet set betyder det, at de regnbetingede udledninger fra byer – samt oversvømmelserne i byer - kan forventes at vokse også i de kommende årtier, medmindre der sættes ind med effektive løsninger til klimatilpasning.



## 4. Hvad der virkelig har betydning for miljøet

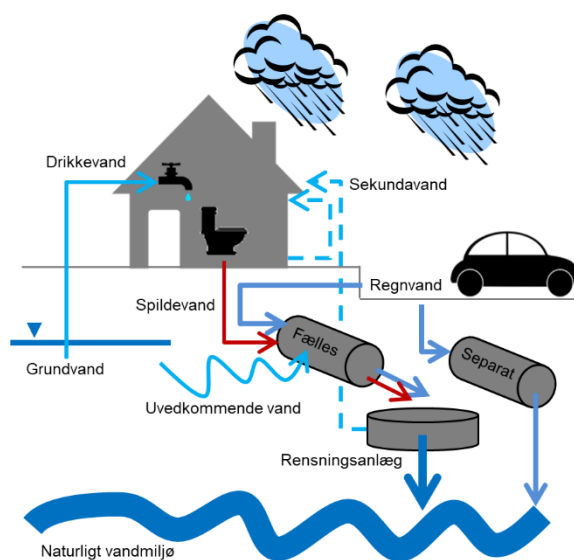
### 4.1 Hvad er spildevand og hvad er regnvand?

#### 4.1.1 Definitioner og forureningsniveau

Byens vandsystemer transporterer forskellige typer af vandstrømme (jf. afsnit 3.3), med forskellige renhed/forureningsgrad, hvilket er eksemplificeret i følgende vandstrømme (Figur 7, som simplificerer Figur 2):

- *Drikkevand* er vandstrømmen med den højeste renhed, som forsyner alle byens beboere og sikrer deres sundhed grundet det lave forureningsindhold.
- *Spildevand* genereres af menneskelige aktiviteter i byen (ved forbrug af drikkevand), og inkluderer både spildevand fra husholdninger (husspildevand) og fra erhvervsvirksomheder. Spildevand deles ofte op i "sort spildevand" (fra toiletter) og "gråt spildevand" (fra bad, køkken, vask samt øvrigt sanitært spildevand, der ikke er sort spildevand). Spildevand afledes fra byer for at sikre et sundt og sikkert miljø for mennesker.
- *Regnvand* (i lovgivning og bekendtgørelser også kaldet tag- og overfladevand) er regn, der afstrømmer fra tagarealer og andre helt eller delvist befæstede arealer såsom veje og parkeringsarealer. Det genereres ved regnhændelser og bliver afledt for at undgå oversvømmelser og sikre, at menneskelige aktiviteter kan foregå uden forstyrrelse fra vejret.
- *Drænvand* kan f.eks. komme fra bygningsdræn langs kældre og fundamenter, hvor der er givet tilladelse til afledning i kloaksystemet.
- *Uvedkommende vand* dækker over forskellige typer vand, der utilsigtet tilføres kloaksystemet. Det kan være f.eks. ulovlige tilslutninger af kølevand, men det mest almindelige er indsvivning af højtstående grundvand, der siver ind gennem revner i kloakken.

Figur 7 repræsenterer primært det traditionelle kloaksystem, med en lineær tankegang (fra forbrug til bortskaffelse af vand). Men fremtidens urbane vandsystemer vil formentlig udvikle sig i



**Figur 7.** Overblik over de største vandstrømme gennem kloaksystemerne (simplificeret fra Figur 2).

en mere cirkulær retning, med nye strømme (såkaldt "sekundavand") der vil dække forskellige behov. Det kan f.eks. være brug af regnvand eller gråt spildevand til vandklosetter, tøjvask, og andre behov som ikke kræver drikkevandskvalitet, brug af rensat spildevand til vanding af grønne områder, osv.).

Når man kigger på en liste over, hvilke forureningsstoffer der findes i spildevand og regnvand, så går mange af de samme stoffer igen (Tabel 2). Det er dog stor forskel blandt kilderne til forurening, som påvirker forureningsniveauet i de to vandtyper.

Tommelfingerreglen er, at spildevandsstrømmen er relativt stabil med små vandstrømme og volumener, men med høje

koncentrationer for næringsstoffer (kvælstof og fosfor – N og P) samt organisk stof (målt som biokemisk iltforbrug – BI<sub>5</sub>), mens regnvandsstrømmen er meget dynamisk med langt større vandstrømme og volumener, men med lavere koncentrationer.

I fælles kloakker bliver spildevand og regnvand blandet sammen, mens spildevand og regnvand transporteres hver for sig i separate kloaksystemer. Forureningsniveauet i kloakoverløb er afhængigt af blandingsforholdet mellem spildevand og regnvand, hvor stoffer med høje koncentrationer i husspildevand (N, P, BI<sub>5</sub>) typisk fortyndes af de større (og renere) volumener af regnvand. Dette kan dog være helt anderledes for andre stoffer, der tilføres regnvandet fra atmosfæren eller tilføres ved afstrømningen over de befæstede overflader.

Opblandingsgraden er afhængig af størrelsen af regnhændelserne og varierer derfor fra regn til regn, men alligevel benyttes såkaldte "typetal", der er gennemsnitstal besluttet af Miljøstyrelsen som bruges ved kommunernes årlige indberetning af forureningsudledninger fra regnbetingede udledninger.

<b>Tabel 2. Sammenligning mellem forureningsindholdet af husspildevand og regnvand.</b>			
		<b>Husspildevand</b>	<b>Regnvand</b>
Hvilke forureningsstoffer kan man finde i det (eksempler)?		Næringsstoffer (kvælstof, fosfor) Organiske stof Tungmetaller Aromatiske kulbrinter Pesticider Medicinrester, hormonforstyrrende stoffer Mikroplastik	
Hvor kommer forurening fra?		Humane affaldsprodukter (urin, fæces) Opvaskemidler, rengøringsmidler, produkter til personlig pleje	Luftforurening (atmosfærisk deposition) Byggematerialer (tage, asfalt, autoværn, lygtepæle, facademaling) Menneskelige aktiviteter (trafik, havearbejde, henkastet affald, osv.)
Hvor bliver det genereret?		Huse, bygninger	Befæstede overflader på tværs af byen (tage, veje, parkeringspladser, osv.)
Hvornår bliver det genereret		Altid (med daglige variationer)	Når det regner
Hvor foruren er det?	N, P, BI <sub>5</sub>	Høje koncentrationer <sup>a</sup>	Lave koncentrationer <sup>a</sup>
	Miljøfremmede stoffer	Lave koncentrationer <sup>b</sup>	Høje koncentrationer <sup>b</sup>
Hvor store volumener skal vi håndtere?		Små volumener	Store volumener

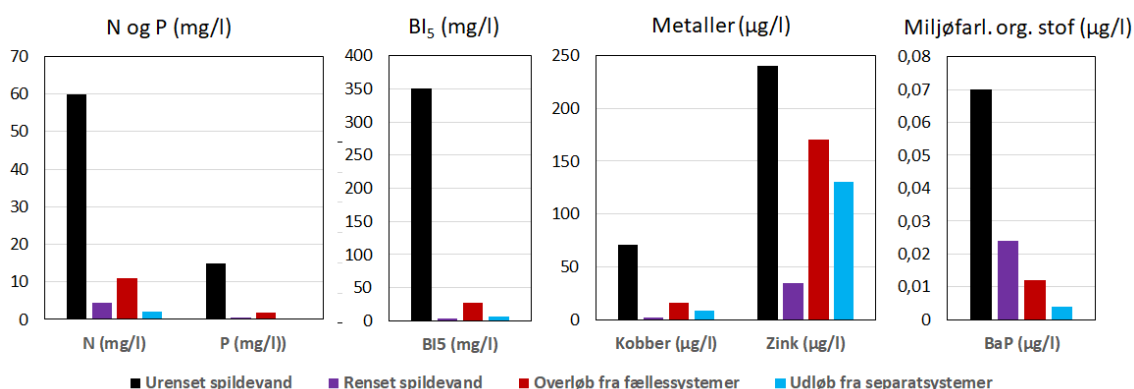
<sup>a</sup> typisk i størrelsesorden af milligram/liter; <sup>b</sup> typisk i størrelsesorden af mikrogram/liter

**Tabel 3.** Typiske koncentrationer i urensset spildevand samt de fire punktudledninger fra byområder.

	Enhed	Spildevand (indløb til rensningsanlæg)	Renset spildevand	Bypass fra rensningsanlæg	Overløb fra fællessystemer	Udløb fra separat systemer
Kvælstof (N)	mg/l	60 <sup>a</sup>	4.4 <sup>b</sup>	Lavere end overløb <sup>c</sup>	10-12 <sup>d,e</sup>	2 <sup>d,e</sup>
Fosfor (P)	mg/l	15 <sup>a</sup>	0.42 <sup>b</sup>	Lavere end overløb <sup>c</sup>	1.8-2.0 <sup>d,e</sup>	0.3 <sup>d,e</sup>
Biokemisk iltforbrug (BI <sub>5</sub> )	mg/l	350 <sup>a</sup>	2.99 <sup>b</sup>	Lavere end overløb <sup>c</sup>	25-30 <sup>d,e</sup>	6 <sup>d,e</sup>
Kobber (Cu)	µg/l	71 <sup>d</sup>	2.6 <sup>d</sup>	Lavere end overløb <sup>c</sup>	16 <sup>d</sup>	9 <sup>d</sup>
Zink (Zn)	µg/l	240 <sup>d</sup>	35 <sup>d</sup>	Lavere end overløb <sup>c</sup>	170 <sup>d</sup>	130 <sup>d</sup>
Benzo[a]pyrene (BaP)	µg/l	0.070 <sup>d</sup>	0.024 <sup>d</sup>	Lavere end overløb <sup>c</sup>	0.012 <sup>d</sup>	0.004 <sup>d</sup>

<sup>a</sup> Værdier fra dansk lærebog i spildevandsrensning (middel belastning spildevand) [19]. <sup>b</sup> Median værdier beregnet fra PULS database [20]. <sup>c</sup> Afhængigt af hvor i rensningsprocessen bypass sker, så er forureningsindholdet lavere end i normalt overløbsvand fra fællessystemer (jf. Faktaboks B). <sup>d</sup> Typetal (nøgletal) beregnet af Miljøstyrelsen baseret på målinger fra NOVANA måleprogram [21][22][23]. <sup>e</sup> Typetal der anvendes i forbindelse kommunernes indberetning af regnbetingede udledninger [23].

Tabel 3 viser typiske koncentrationsniveauer for nogle forureningsstoffer i hhv. spildevand, rensset spildevand, bypass fra rensningsanlæg, overløb fra fællessystemer og regnvand fra separat-systemer, og Figur 8 illustrerer hovedtræk heraf grafisk. Spildevandsrensingsanlæggene reducerer forureningsindholdet i spildevand betydeligt og helt ned til koncentrationsniveauer, der er sammenlignelige med eller lavere end forureningsindholdet i regnbetingede udledninger. Med hensyn til N, P og BI<sub>5</sub>, så har overløb fra fællessystemer et væsentligt lavere (5-13 gange) indhold end urensset spildevand, og dette gælder endnu mere tydeligt for udløb fra separatsystemer (30-60 gange). For metaller er dette ikke lige så udtalt, her er indholdet kun en smule lavere.



**Figur 8.** Grafisk fremstilling af forureningsindholdet i urensset spildevand, rensset spildevand, overløb fra fælles kloaksystemer og udledninger fra separate regnvandssystemer. Baseret på tal fra Tabel 3.

### Faktaboks C. Hvad er værst - udledning fra overløb eller udledning fra separate regnvandssystemer?

Kloakseparering gennemføres ofte for undgå kloakoverløb. Men sikrer separering, at vandmiljøet ikke bliver påvirket af regnbetingede udledninger? Svaret er – som det ofte forekommer – at det kommer an på de specifikke systemer og lokale forhold. Man skal dog huske, at:

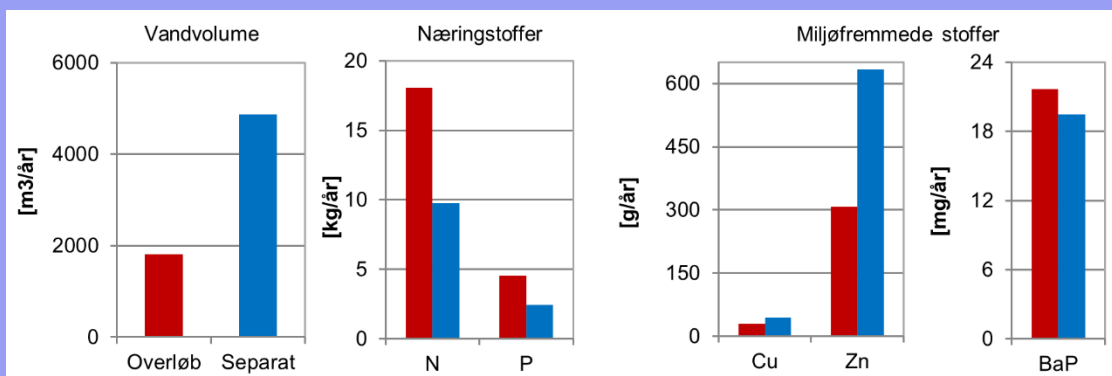
- Mens regnvandet i et fællessystem bliver transporteret til et spildevandsrensningsanlæg, bliver regnvandet i et separatsystem typisk udledt direkte til vandmiljøet. Det resulterer i en øget og hyppigere udledning af vand til vandmiljøet. Hvis kloakoverløb kun udleder ved mellemstore regnhændelser (typisk 5-10 gang om året), så udleder separatsystemerne hver gang der regner.
- Mens næringsstofkoncentrationer i regnvand typisk er lavere end i overløbsvand, så er det udledte vandvolumen større, hvilket i nogle tilfælde resulterer i en øget samlet udledt stofmængde. Dette forværres for stoffer, hvis kilder påvirker regnvand men ikke spildevand, så koncentrationerne i regnvand er højere end i spildevand (f.eks. tungmetaller fra trafik og korrosion af byggematerialer).
- Hvis regnvand ikke bliver rensset, kan separering derfor resultere i en øget udledning til vandmiljøet.

Det er derfor nødvendigt at gennemføre en specifik undersøgelse, hvor lokale forhold (f.eks. forureningskilder i oplandet, overløbshyppighed, osv.) tages i betragtning, for at vurdere fordele og ulemper ved kloakseparering.

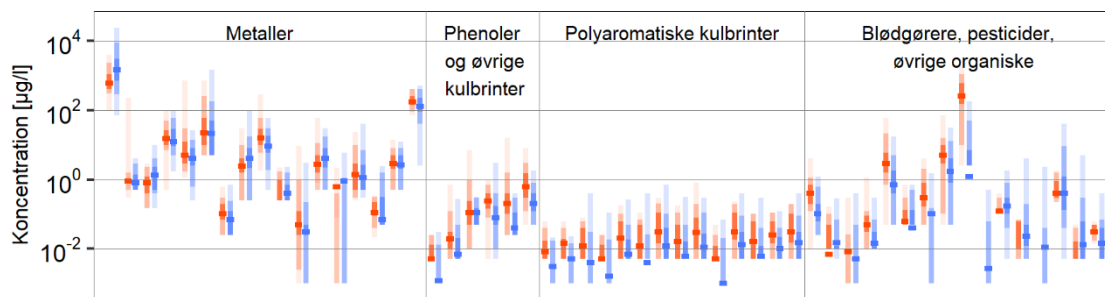
Figuren nedenfor viser et eksempel for et hypotetisk opland (1 ha=10.000 m<sup>2</sup>), hvor gennemsnitlige værdier og typetal [21][23] er blevet brugt til at lave et groft estimat af udledningen til vandmiljøet af forskellige stoffer. I dette hypotetiske eksempel bliver oplandet separeret, hvorved overløb bliver fjernet og regnvand bliver udledt uden rensning. Eksemplet viser at:

- Det udledte vandvolumen stiger som følge af separering.
- Udledningen af næringsstoffer (kvælstof – N, og fosfor – P), bliver næsten halveret som følge af separering.
- Udledningen af miljøfremmede stoffer, som typisk stammer fra kilder der er spredt over byområder (metaltage, trafik, osv.), stiger voldsomt ved separering (kobber – Cu, zink – Zn) eller bliver næsten uændret (Benzo[a]pyren – BaP)

I dette hypotetiske og simplificerede eksempel er det derfor en god idé at overveje andre løsninger end "bare" separering. F.eks. kan man overveje rensning af overløbsvand (hvis man vil undgå separering, med de relaterede store investering i nye rør), rensning af regnvand eller kildekontrol (se senere) af forureningsstofferne i regnvand.



Figur C. Udledning til vandløbet for et hypotetisk opland (1 ha) med enten fælleskloakker og overløb (brun) eller separate kloakker (blå), beregnet som vandvolumen, mængde af næringsstoffer (N og P) og miljøfremmede stoffer (Cu, Zn, BaP) per år.



**Figur 9.** Målte koncentrationer af miljøfarlige stoffer i overløb fra fællessystemer (rød farve) og udløb fra separate regnvandssystemer (blå farve). Beregnede typetal, og 50% hhv. 90% målte intervaller for enkeltstoffer (anonymiseret) inden for forskellige stofgrupper. Data fra [21].

Tallene i Tabel 3 er typiske gennemsnitstal, der for overløb og regnvand dækker over store variationer fra regnhændelse til regnhændelse. Disse variationer finder man typisk for miljøfremmede stoffer, hvor der endvidere også kan forekomme variationer fra sted til sted, eftersom kilderne til miljøfremmede stoffer kan variere meget afhængigt af oplandets karakter. Figur 9 viser et eksempel på disse variationer målt i både overløb fra fællessystemer og udløb fra separat systemer.

Et af de mest benyttede tiltag til at reducere overløb fra fællessystemer er at gennemføre kloakseparering. Herved nedsættes udledningen af både N og P, men den lokalt udledte vandmængde forøges, og det betyder at den lokalt udledte mængde af nogle forureningsstoffer også forøges eller kun reduceres ganske lidt. Dette er vist ved en eksempelberegning i Faktaboks C for metallerne kobber og zink (hvor udledningen forøges kraftigt) og det miljøfarlige stof Benzo(a)pyren (hvor udledningen kun reduceres ganske lidt).

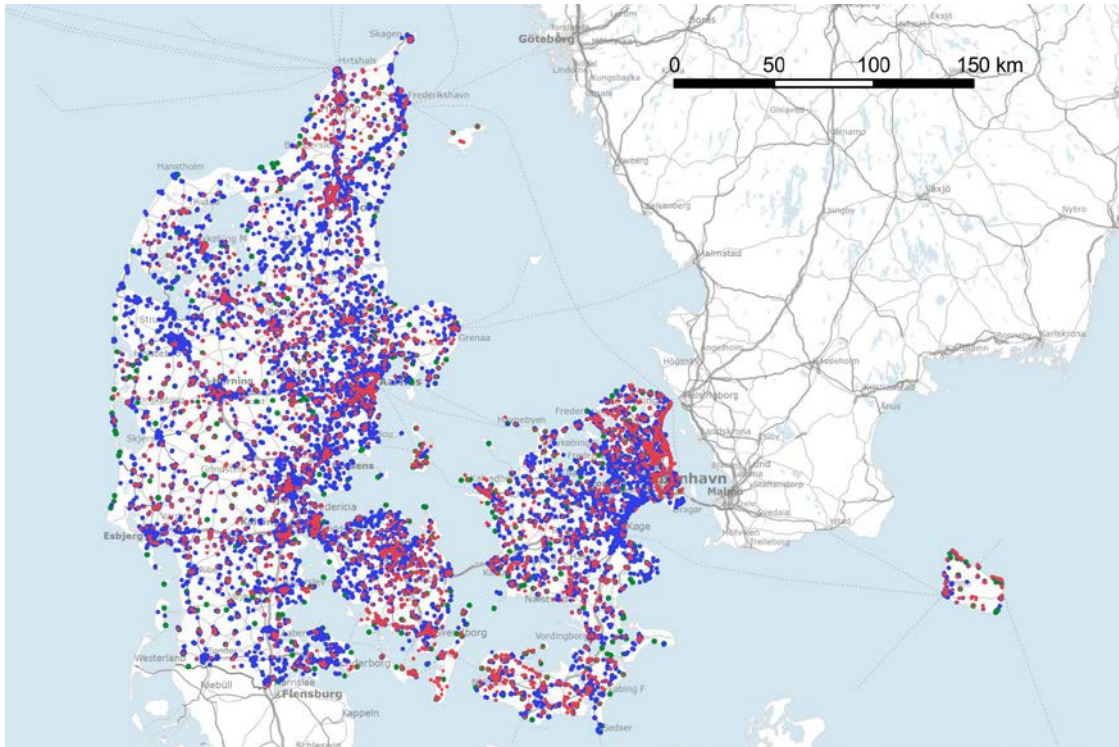
#### 4.1.2 Udledninger til (vand)miljøet

Vandet fra byområder ender i vandmiljøet gennem punktudledninger (se afsnit 3.3), og desuden er vandmiljøet påvirket af diffuse udledninger:

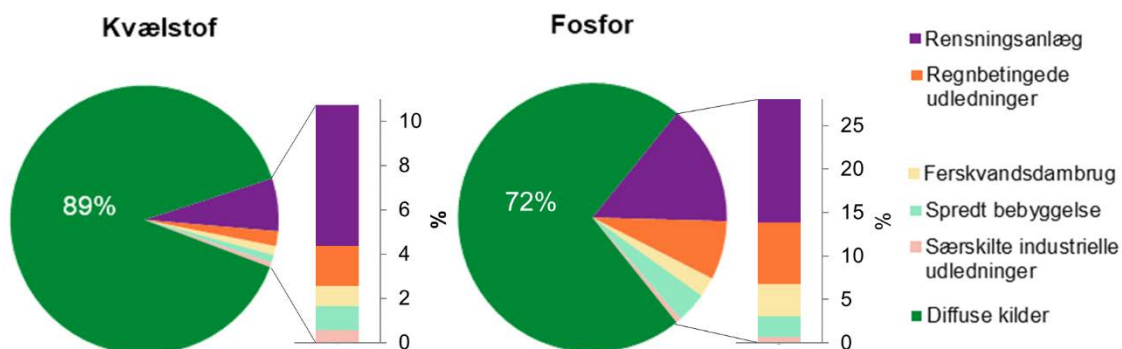
- Urbane *punktudledninger* består af udløb fra rensningsanlæg, særskilte industrielle udledninger, og regnbetingede udledninger<sup>1</sup>. Sidstnævnte inkluderer kloakoverløb, bypass fra rensningsanlæg og udløb fra separate regnvandssystemer.
- *Diffuse udledninger* består af afstrømning fra forurenede grunde, landbrugsområder, og fra naturbaserede løsninger, som anvendes til klimatilpasning i byområder og medvirker til øget infiltration af regnvand, der senere kan ende i ferskvandsmiljøet.

Alle punktudledninger i Danmark er registreret (Figur 10), og Miljøstyrelsen frigiver årligt en rapport om udledninger af kvælstof (N), fosfor (P), og organisk stof (målt som biokemisk iltforbrug - BI<sub>5</sub>). Rapporten kaldes populært for "punktkilder rapporten", selvom det er punktudledninger der er tale om. Vi har i denne hvidbog valgt at holde fast ved betegnelsen punktudledninger – dels fordi rapporten fokuserer på udledninger, men også fordi kilderne til forurening jo sjældent er placeret netop ved udledningens punkt til vandmiljøet, men forskellige steder rundt omkring i byen, hvor forureningen dannes (f.eks. et toilet) eller frigives (f.eks. fra tagmateriale) og tilføres til kloaksystemet.

<sup>1</sup> Andre punktudledninger, som typisk ikke findes i urbane områder, er spredt bebyggelse og ferskvandsdambrug



**Figur 10.** Kort over urbane punktudledninger i Danmark: Rensningsanlæg (grøn), udløb fra separate regnvandssystemer (blå), samt både kloakoverløb og bypass fra rensningsanlæg (rød). Data fra Miljøstyrelsens database (PULS) [20]. Baggrundskort fra Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering.



**Figur 11.** Fordeling mellem udledninger (punktudledninger og andre diffuse udledninger) af kvælstof og fosfor fra landet til havet i 2020 (beregnet på baggrund af data fra NOVANA programmet [11][25]).

Rapporten er baseret på data indrapporteret af forsyningselskaber (rensningsselskaber), kommuner (regnbetingede udledninger, ferskvandsdambrug), og virksomheder (industrielle udledninger). Figur 11 viser bidraget af både diffuse udledninger og de forskellige punktudledninger til Danmarks samlede udledning af kvælstof og fosfor til vandmiljøet i 2020. De diffuse udledninger er langt de største (89% for N og 72% for P), mens udledninger fra rensningsanlæg og regnbetingede udledninger er de største af punktudledningerne. Punktudledningerne udgør omkring 11% for N og 29% for P af den samlede årlige udledning. De urbane punktudledninger udgør 8% for N og 21% for P, og heraf spiller rensningsanlæggene den største rolle (6% for N, og 13% for P), fulgt af separate regnvandssystemer (1% for N, 3,5% for P), overløb fra fællessystemer (0,6% for N, 2,8% for P), og bypass fra rensningsanlæg (0,2% for N, 0,8% for P).

**Tabel 4.** Udledte volumener og stofmængder fra de 10 største udledningspunkter fra fællesystemer (data fra 2020 [20]). Værdierne viser procentdelen over den samlede stofmængde fra fællesystemer.

	Type udledning	Vandmængde	Udledte NPO stoffer		
			BI-5	Total-N	Total-P
De 10 største udledningspunkter	Bypass	6.9%	13%	10%	10%
	Kloakoverløb	3.2%	2.9%	3.2%	3.0%
	Bypass	2.5%	11%	7.0%	5.3%
	Kloakoverløb	2.1%	1.5%	1.7%	1.8%
	Bypass	1.8%	1.7%	1.8%	1.7%
	Kloakoverløb	1.8%	1.0%	1.1%	1.6%
	Bypass	1.4%	1.2%	1.3%	1.2%
	Kloakoverløb	1.3%	0.9%	1.0%	1.0%
	Bypass	1.0%	0.9%	1.0%	0.9%
	Bypass	0.8%	0.7%	0.8%	0.8%
Hele DK	Alle bypass	37%	31%	25%	22%
		(12,634,567 m <sup>3</sup> )	(352 ton)	(102 ton)	(16.0 ton)
	Samlet fra fællesystemer	100%	100%	100%	100%
		(34,188,986 m <sup>3</sup> )	(1133 ton)	(411 ton)	(72.1 ton)

I Miljøstyrelsens registrering af punktudledninger bliver bypass registreret i samme kategori som kloakoverløb. Bypass er dog større og hyppigere end kloakoverløb, og de spiller en vigtig rolle i den årlige opgørelse af udledning fra regnebetingede udledninger. Tabel 4 viser data fra 2020, hvor 6 af de 10 største udledninger registreret som kloakoverløb faktisk er bypass. I alt er bypass ansvarlig for 22-31% af stofmængderne af N, P og BI<sub>5</sub> udledt fra fællesystemer i regnvejr.

#### 4.1.3 Kildekontrol og rensning

Der er to strategier til at mindske udledning af forurening fra det urbane vandsystem til vandmiljøet: kildekontrol og rensning ved udledningspunktet.

*Kildekontrol* stiler efter at undgå dannelsen/frigivelsen af forurening eller efter at fjerne forureningen så tæt ved kilden som muligt. Disse indgreb omfatter substitution af skadelige materialer (f.eks. forbud imod at bruge kobbertage for at undgå forurening af regnvand) eller begrænsninger (f.eks. reduktion i fosfor-indholdet i rengøringsmidler, som over årene har bidraget til en markant reduktion af fosforudledningen fra danske spildevandsrensningsanlæg). Kildekontrol dækker også kampagner målrettet forbrugere/borgerne for at minimere deres bidrag til forurening (f.eks. kampagner mod henkast af affald, eller bilvask, samt incitamenter til brug af mere miljøvenlige produkter). Undertiden bruges begrebet kildekontrol også om indgreb, som minimerer vandstrømmen (f.eks. kan grønne tage, regnbede og faskiner reducere volumen af regnvand, som ender i afløbssystemet).

*Rensning* stiler efter at fjerne forurening fra vandstrømme før de ender i vandmiljøet. Derfor foregår rensningen typisk ved udledningspunktet. Fjernelse af forurening foregår ved brug af forskellige processer:

- *Fysiske processer:* Er typisk baseret på processer såsom filtrering og bundfældning, som fjerner partikler (sandkorn, mikroplastik, osv.) og stoffer, som er bundet til partikler (f.eks.

aromatiske kulbrinter). Disse processer anvendes ved rensning af både spildevand og regnvand.

- *Biologiske processer*: Udnytter bakteriernes naturlige evner til at fjerne/nedbryde stoffer fra vandstrømme. Det mest velkendte eksempel på anvendelse af biologiske processer er til fjernelse af organisk stof og næringsstoffer (kvælstof, fosfor) fra spildevand. Bakterier kan også fjerne en række andre stoffer, så længe bakterierne har optimale forhold for deres vækst. Derfor anvendes biologiske processer bredt til rensning af spildevand (hvis stabile produktion sikrer en konstant forsyning af næring til bakterierne), mens de sjældent anvendes til rensning af vand fra regnbetingede udledninger (hvis uregelmæssige natur udfordrer bakteriernes vækst og overlevelse).
- *Fysiske-kemiske processer*: Anvendes til fjernelse af opløste stoffer, som typisk er svære at fjerne med biologiske processer. De indbefatter adsorption til særlige materialer/filtre (f.eks. aktivt kul, jord), flokkulering (hvor opløste stoffer danner fnug, eller bliver opfanget i dem, og bagefter kan fjernes ved fysiske processer), kemisk oxidation og fotokatalyse.

I forbindelse med klimatilpasning på overfladen installeres f.eks. LAR eller NBS anlæg på tværs af byområder. Disse anlæg kan, selvom de i Danmark primært bygges til håndtering af store regnvandsmængder, også bidrage til fjernelse af forurening. Afhængig af perspektivet kan disse anlæg betegnes som kildekontrol, fordi de kan forhindre at forurening ender i kloak vandstrømmen (f.eks. ved at undgå at forurening fra vejvand ender i et separat kloaksystem), men de kan også betegnes som rensning spredt over hele byen (når de er små, f.eks. vejbede) eller endda som central rensning (f.eks. beplantede vådområder etableret ved et udledningspunkt).

## 4.2 Regnbetingede udledninger – hvorfor er de så svære at håndtere?

### 4.2.1 Tidsdynamik

Det er vigtigt at forstå forskellen i tidsdynamik mellem generering af spildevand og regnvand for at forstå forskellen mellem mulighederne for regulering og håndtering af de forskellige punktudledninger.

Som nævnt i afsnit 4.1.1, så er kilder til spildevand relativt konstante over tid, da menneskelige aktiviteter gruppevis er ganske konstante eller følger et tilbagevendende mønster. F.eks. følger husspildevand et dagligt mønster med højere produktion om morgenen/formiddagen (når byens indbyggere vågner op, går på toilettet og vasker op) og om aftenen (ved hjemkomst efter skole/arbejde og når der laves aftensmad). Disse mønstre resulterer i forudsigelige mønstre, som er nemme at monitorere og behandle. F.eks. bliver monitorering af spildevandsrensningsanlæg udført med 24-timers samlede vandprøver. Det bliver også nemt at definere miljøkrav til udledningerne (baseret på f.eks. koncentrationskrav). Drænvand og udvekkende vand kan spille en rolle ved fortynding af spildevand, med lavere koncentrationer i kloakvandet i perioder når indsivningen er størst (typisk om vinteren, når grundvandsspejlet står højt).

Billedet er markant anderledes med regnvand, hvor vandstrømmen dannes af regn som er uforudsigelig, med store variationer både fra regnhændelse til regnhændelse og i løbet af den enkelte hændelse (Faktaboks D). Ydermere har flere forureningskilder et dynamisk mønster. F.eks. kan forurenede partikler fra trafik (fra dæk, bremse, osv.) akkumuleres i løbet af tørvejr og danne et stort lager af stoffer, som bliver vasket af i begyndelsen af en regnhændelse, hvorfor koncentrationerne kan være store i starten og blive mindre og mindre i løbet af regnhændelsen.



Sedimenter kan akkumuleres i bunden af kloakker under tørvejr, og de kan blive hvirvlet op når vandstrømmen stiger under mellemstore eller store regn. Pesticider til ukrudtsbekæmpelse bliver kun anvendt i bestemte perioder relateret til planternes vækstsæson om foråret/sommeren, lige som næringsstoffer fra faldne blade typisk kun frigives om efteråret. Alle disse faktorer resulterer i en høj variabilitet i forureningsniveauet af regnbetingede udledninger, og de skaber udfordringer både i forhold til monitoring og rensning af regnbetingede udledninger:

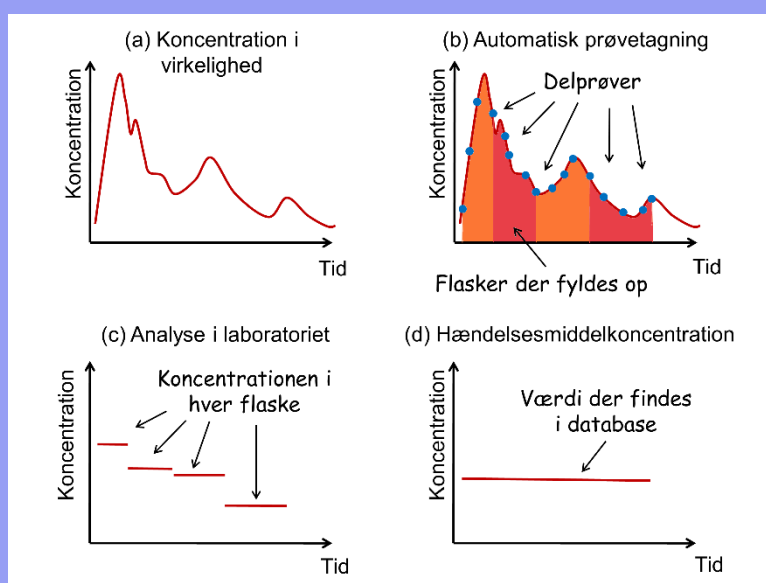
- Udfordringer i definitionen af, hvad skal monitoreres: Hvad er definition af en hændelse, dvs. hvornår skal man starte og slutte med at måle? Hvor mange prøver skal man tage? Hvor mange hændelser skal man måle?
- Logistiske udfordringer ved indsamling af data: For at måle regnbetingede udledninger skal man helst vide i forvejen, hvor og hvor meget det kommer til at regne i et bestemt område. Desuden skal man have fysisk adgang til målestedet, der kan være behov for strøm, og måleudstyret skal kunne sikres mod tyveri og hærværk.
- Juridiske udfordringer ved fastlæggelse af krav: Hvordan dokumenterer man, at regnbetingede udledninger ikke påvirker vandmiljøet negativt, når forureningsniveau ændrer sig så meget fra regn til regn?
- Udfordringer i projektering af rensningsanlæg: Hvor stort skal et rensningsanlæg være, når vandstrøm og volumen samt forureningsniveauet af vandet, der skal renses, varierer så meget? Kan vi acceptere, at noget af vandet udledes urensset, fordi det ellers vil blive alt for dyrt?

#### 4.2.2 Geografiske variationer

Forureningsindholdet i husspildevand er relativt homogent fra sted til sted, da den kemiske sammensætning af toiletaffald, husholdningsprodukter (opvaskemidler, rengøringsmidler) og medicin benyttet i hjemmet er relativt ensartet, især når man kigger på byens skala. Derfor findes ikke store geografiske variationer i forureningsniveauet af husspildevand. Der kan dog være forskel mellem lande, f.eks. i forbrug af særlige medicintyper, eller forskelle i bidraget fra erhvervsvirksomheder (f.eks. restauranter eller fødevarerindustrier) i bestemte områder. Drænvand (uvedkommende vand) kan spille en rolle i fortynding af spildevand, med lavere koncentrationer i områder, hvor indsivningen af grundvand i kloakker er størst.

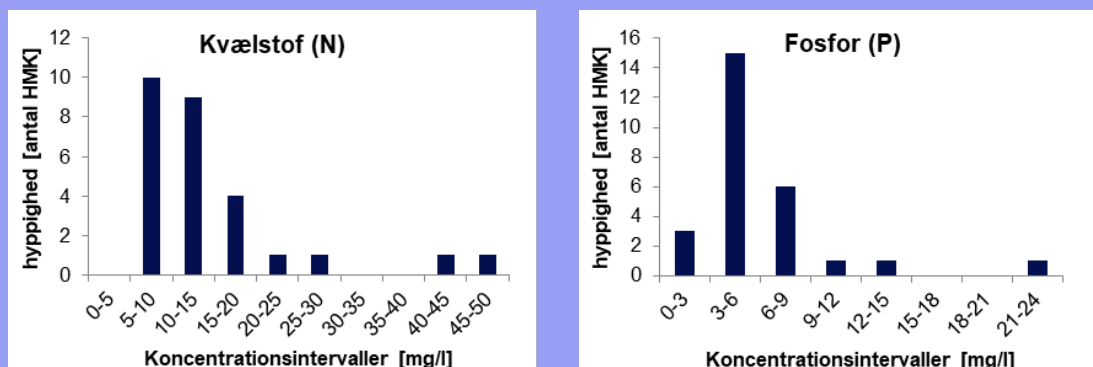
## Faktaboks D. Hvordan kan variabiliteten i regnbetingede udledninger beskrives?

Forureningsniveauet i regnbetingede udledninger er stærkt påvirket af regn (se Figur D.1 nedenfor). Variationer i regnens intensitet, dybde og varighed reflekteres i variationer i koncentrationer ved udledningspunktet (a). Når man måler vandkvalitet af regnbetingede udledninger, så prøver man at fange denne variabilitet, men der er store logistiske udfordringer. Typisk anvendes automatiske prøvetagere (b), der fylder et fast antal flasker med vand (delprøver). Når hændelsen er slut, bliver flaskerne sendt til et laboratorium for kemiske analyser af vandet. Antallet af disse flasker er begrænset, og derfor får man et "pixeleret" billede af koncentrationernes variation i løbet af hændelsen (c). Man udregner bagefter et vægtet gennemsnit af koncentrationerne i alle disse flasker (d), som kaldes for HændelsesMiddelKoncentrationer (HMK). Nogle gange bruger man en enkelt stor flaske, hvor man samler prøver for hele hændelsen. Når man ser på resultater fra tidligere målekampanjer og databaser om vandkvaliteten af regnbetingede udledninger, så finder man i bedste fald HMK-værdier, dvs. man kan ikke se dynamikken af koncentrationer i mange af de tilgængelige dataset. I værste fald finder man blot målte enkeltværdier baseret på stikprøver, som det kan være vanskeligt at bruge til ret meget.

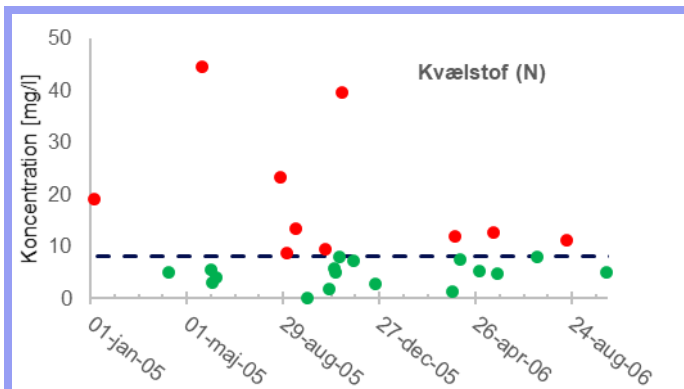


D.1. Illustration af de forskellige faser i monitoring af regnbetingede udledninger, hvor de reelle koncentrationer bliver omregnet til en hændelsesmiddelkoncentration (HMK).

I lange monitoringskampanjer måler man flere hændelser, og man får derfor flere HMK-værdier (se Figur D.2 nedenfor). Erfaring fra målekampanjer i hele verden har vist, at HMK følger en såkaldt statistisk log-normal fordeling. Det betyder, at HMK naturligt varierer fra hændelse til hændelse, og det kræver derfor mange målinger at få en sikker vurdering af intervallerne af koncentrationer, som man kan forvente ved et bestemt udledningsspunkt.



Figur D.2. Fordeling af 27 HMK-værdier for kvælstof (N) og fosfor (P), fra monitoring af overløb i Sulsted [24].



Figur D.3. HMK-værdier for kvælstof (N) fra monitoring af overløb i Sulsted [24] (de samme 27 værdier som i Figur D.2 ovenfor). Den stiplede linje viser det gældende koncentrationskrav til rensningsanlæg fra Spildevandsbekendtgørelsen.

En konsekvens af den høje tidsvariabilitet er, at det ikke er meningsfuldt at stille koncentrationskrav til regnbetingede udledninger, hvilket er illustreret i Figur D.3 for de samme 27 hændelser som i Figur D.2. 17 hændelser overholder kravet på 8 mg N/liter, mens andre 10 ikke overholder kravet. Udledningskoncentrationerne har en naturlig variabilitet, og overskridelserne er tilfældige. Det er derfor mere meningsfuldt at bruge en fleksibel tilgang, hvor man ikke ser på, om grænsen er overskredet (for det bliver den på et tidspunkt), men på hvor ofte overskridelserne sker.

Forureningsniveauet af regnvandsafstrømning er afhængigt af en række forskellige kilder, som er spredt på tværs af byerne. Koncentrationer af tungmetaller i tagvand er f.eks. afhængige af, om der findes metaltage og metal tagrender i området. Tilstedeværelse af pesticider og biocider er afhængig af, hvilken type maling eller plastik materiale, der er blevet anvendt i bygninger, og om der er benyttet bekæmpelsesmidler. Kvalitet af vejvand er anderledes, når det kommer fra en villavej med lav trafik, end når det kommer fra en motorvej med tung trafik, med forskelle mellem strækninger hvor køretøjer accelerer/bremser og hvor kørslen er konstant. Akkumulering af sedimenter i kloakrør og deres muligheder for at hvirvle op afhænger af rørens hældning, diameter, vedligeholdelsesstand, osv. Alle disse faktorer kan resultere i, at forureningsniveauet i udledningpunkter, som ligger geografisk tæt på hinanden, kan være meget forskellige. Det medfører, at forureningen kan variere meget fra sted til sted, og at monitoring og rensning for hvert regnbetingede udledningpunkt derfor bør defineres baseret på de (kendte) forureningskilder, der findes eller som kan forventes i det pågældende område.

### 4.3 Recipienteffekter i ferskvand og saltvand – herunder badevand

#### 4.3.1 Akutte og kroniske effekter

De negative effekter, som regnbetingede udledninger kan medføre i vandmiljøet, er opsummeret i Tabel 5. Disse effekter har forskellige tidsskalaer, som også påvirker samfundets og myndigheders opmærksomhed:

- *Akutte effekter* optræder i kort tid (minutter, timer, få dage) efter udledningen er sket, og de er ofte synlige. De kan f.eks. resultere i døde fisk, i æstetisk forurening, i lukket badevand pga. sundhedsrisiko eller i synlige effekter som kan tiltrække opmærksomhed fra både borgerne og medierne. Størrelsen af akutte effekter er typisk forbundet med de udledte koncentrationer af forureningsstoffer (jo højere koncentrationer, jo større effekt).
- *Akkumulerende (eller kroniske) effekter* foregår over lang tid (måneder, år) efter udledningen, og er den samlede konsekvens af en lang række udledninger, der hver især kan være små eller have lave koncentrationer. Det kan derfor være sværere at etablere en årsags-virkning sammenhæng for akkumulerende end for akutte effekter.

**Table 5. Effekter af regnebetingede udledninger på vandmiljøet [18].**

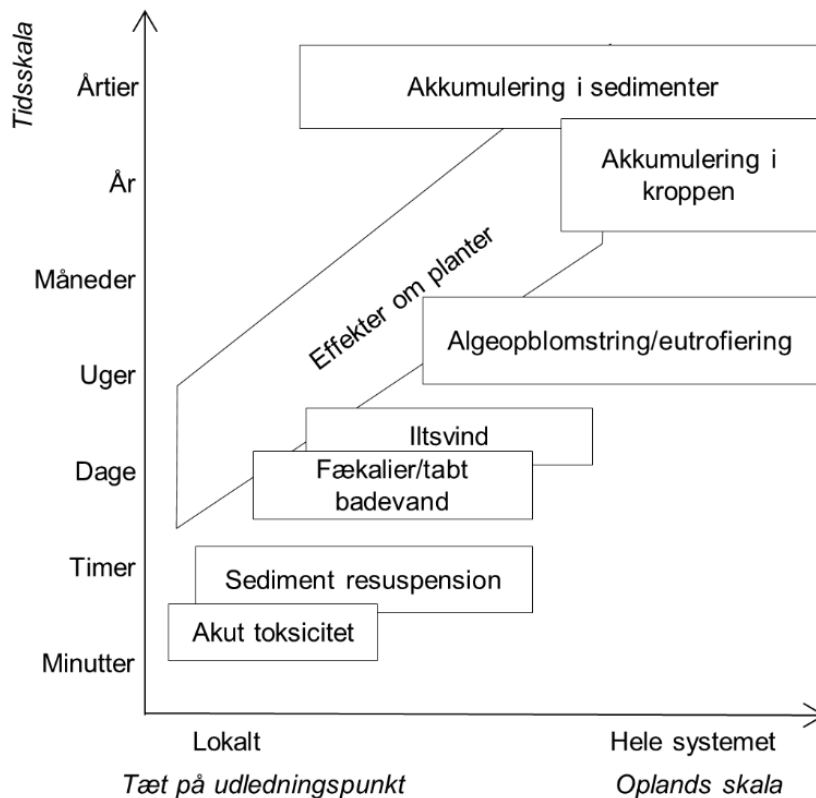
Effekt	Underinddeling	Forurenings-påvirkning
Fysiske ændringer	Oversvømmelse i byer og på landet Erosion Aflejring af sedimenter	Akut (kort tidsskala)
Æstetisk forurening	Hygiejnebind, kondomer, m.v. Sedimenter på brinker og strande	
Hygiejnisk forurening	Sygdomme hos mennesker Sygdomme hos dyr	
Fysisk-kemiske forhold i vandløb	Iltsvind i vandløb Høje koncentrationer af ammoniak	
Eutrofiering	Organisk stof Næringsstoffer (kvælstof, fosfor)	Akkumulerende (lang tidsskala)
Ændringer i økologisk status over lang tidsskala	-	
Giftige og/eller miljøfremmede stoffer	Giftighed (akut og kronisk) Nedbrydelighed Bioakkumulerbarhed	Akut og/eller akkumulerende

Nogle stoffer (såsom miljøfremmede stoffer) kan medføre både akutte og kroniske effekter.

Udledninger fra overløb (blanding af spildevand og regnvand) har typisk højere koncentrationer af stoffer forbundet med menneskelige affaldsprodukter, såsom organisk stof (som skaber iltsvind), ammoniak (fiskedød), og fækalier (sundhedsrisiko). Omvendt kan udledninger fra regnvandssystemer have højere koncentrationer af miljøfremmede stoffer som f.eks. nogle metaller og polyaromatiske kulbrinter, og kan resultere i større udledte stofmængder (jf. eksemplet i Faktaboks C).

Figur 12 viser, hvordan kloakoverløb og separate regnvandsudløb kan føre til en lang række effekter i miljøet, herunder både fysiske, kemiske og økologiske påvirkninger, samt hvordan effekterne kan optræde hurtigt eller langsomt samt tæt ved eller langt fra udledningspunktet. Akutte effekter foregår typisk tæt ved et udledningspunkt, når stofferne ikke bliver transporteret langt, før de bliver nedbrudt, og de foregår også over korte tidsintervaller. Det betyder, at det i princippet er muligt at forbinde effekterne med et specifikt udledningspunkt, når f.eks. overløb giver anledning til iltsvind (døde fisk) og tabt badevand kort efter en mellemstor regnhændelse. I virkeligheden kan det dog være svært at etablere klare årsagssammenhænge mellem udledninger og miljøpåvirkninger, da miljøet ofte påvirkes af overløb og regnvandsudløb fra flere udledningspunkter (se f.eks. Figur 5), og fordi helt andre typer af forureningsudledninger også kan påvirke miljøkvaliteten.

Næringsstofferne (kvælstof, fosfor) bliver transporteret langt væk fra udledningspunktet, og deres negative effekter kan opleves i store vandområder (søer, fjorde, havmiljø), hvor der samles bidraget fra forskellige forureningskilder (f.eks. diffuse kilder).



**Figur 12.** Tidsmæssige og geografiske skalaer af forskellige negative effekter af regnbetingede udledninger. Inspireret af [15].

Miljøfarlige stoffer kan blive udledt i relativt høje koncentrationer og skabe akutte effekter, men de udledes oftest i lave koncentrationer. Dermed kan de skabe akkumulerende (kroniske) effekter både tæt ved et udledningspunkt (hvis stoffet f.eks. bliver akkumuleret i sedimenter, hvilket sker for polyaromatiske kulbrinter) og over lange afstande (hvis stoffet bliver transporteret nedstrøms, som f.eks. for PFAS).

#### 4.3.2 Forskellige effekter i forskellige recipienter

Påvirkning af regnbetingede udledninger på vandmiljøet er afhængig af følsomheden, eller robustheden af det lokale vandmiljø. Den samme koncentration eller stofmængde kan have forskellige effekter, afhængigt af om udledningen sker til et lille vandløb med lav fortynding, et stort vandløb med høj fortynding, eller til åbent hav. For akutte effekter er netop fortyndingen afgørende for effekten. Nogle af udledningernes negative effekter (som iltsvind – Faktaboks E) kan også variere afhængigt af tidspunktet og sæsonen.

For kroniske effekter spiller transportfænomener også en rolle, for de bestemmer f.eks. hvor forureningsstoffer bliver aflejret og akkumuleret i sedimenter. Næringsstoffer som skaber eutrofiering (kvælstof, fosfor) har en større betydning for søer og fjorde end for vandløb.

Derfor skal en miljøvurdering ifm. udledningstilladelser ikke kun fokusere på størrelsen af udledningen; egenskaber ved det lokale vandmiljø skal også tages i betragtning. Dvs. det er ikke nok at se på, hvor meget der bliver udledt – der skal også kigges på hvor og hvornår udledningen sker, og hvad den består af).

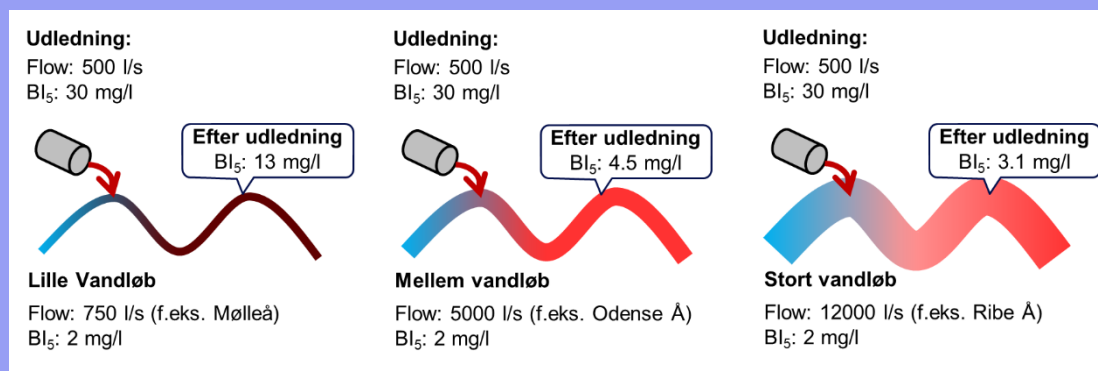
## Faktaboks E. Hvorfor giver den samme liter spildevand forskellige miljøpåvirkninger?

Udledninger fra byer håndteres typisk af spildevandsselskaber, som skal søge om udledningstilladelser. I denne proces fokuserer man typisk på vurdering af volumen (hvor meget vand der bliver udledt) og stofmængder/koncentrationer (hvor meget forurening der bliver udledt).

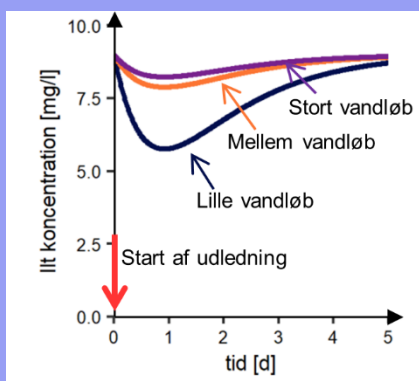
Effekten af disse udledninger er dog afhængig af tidlige og geografiske faktorer, dvs. hvor og hvornår udledningen sker. Nedenfor kommer nogle eksempler på udledning af organisk stof, som kan give iltvind problemer i vandløb.

### Størrelsen af recipienten

Fortynding er en vigtig proces, når man kigger på akutte, korttidspåvirkninger (såsom iltvind). Jo større flowet i vandløbet er, jo mindre er risikoen for, at udledninger påvirker vandløbets kemiske status. Figur E.1 viser eksempler på, hvad koncentrationen af organisk stof (målt som  $BI_5$ ) bliver nedstrøms for et udledningspunkt i vandløb med forskellige vandføringer.



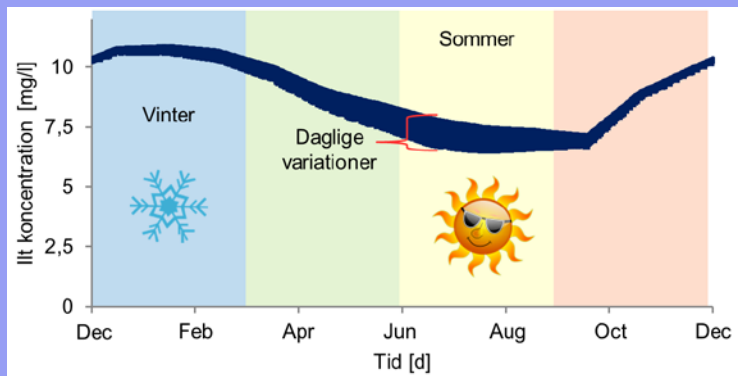
Figur E.1. Eksempler på, hvordan en identisk udledning af organisk stof (målt som  $BI_5$ ) bliver fortyndet i vandløb med forskellige størrelse.



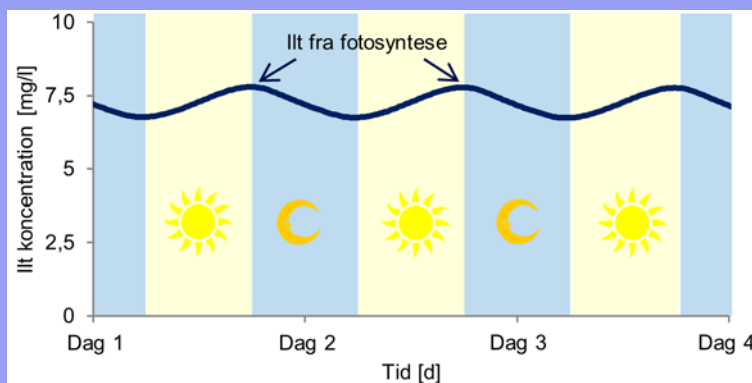
Figur E.2. Illustration af det forventede iltvind som følge af en identisk udledning af iltforbrugende organisk stof i vandløb af forskellige størrelser.

### Udledningens tidspunkt

En anden betydende faktor er tidspunktet for udledning. Årstiden påvirker både vandføringen, vandtemperaturen og dermed iltniveauet i vandløb. For eksempel er basisvandføringen højere om vinteren, dvs. en udledning om sommeren vil føre til en mindre fortynding og en højere risiko for akutte negative effekter. På en lignende måde stiger risikoen for iltvind om sommeren. Jo varmere vandet er, jo lavere er det naturlige iltniveau, da iltmætningen varierer over året, som illustreret på Figur E.3. Et overløb om sommeren vil derfor have større risiko for at skabe iltvind. Ilten i et vandløb stammer fra atmosfæren, men den produceres også af alger igennem fotosyntese.



Figur E.3. Skematisk illustration af de årlige variationer af iltniveau i et vandløb.



Figur E.4. Skematisk illustration af de daglige variationer af iltniveau i et vandløb.

Man kan derfor observere daglige variationer i iltniveau, som følger fotosyntesen (Figur E.4). Iltkoncentrationen er højere ved slutningen af dagen og lavere midt om natten (når der er ikke fotosyntese). Algernes produktion er højere om sommeren, og derfor er de daglige variationer større om sommeren end om vinteren. En identisk udledning af organisk stof har således en større påvirkning på vandløbet om sommeren end om vinteren, samt om natten end om dagen.

### 4.3.3 Hvad betyder byernes udledninger for vandmiljøet?

Som beskrevet i de tidligere afsnit er der forskel mellem punktudledninger fra byer. Der kan skelnes mellem de konstante udledninger fra rensningsanlæg, der er lette at monitorere, og de uregelmæssige regnbetingede udledninger (bypass, overløb, regnvandsudløb). De sidstnævnte er karakteriseret af en høj tidslig og geografisk variabilitet, både i størrelsen af de udledte vandmængder, i forureningsindholdet og i de negative effekter på vandmiljøet. Det er derfor svært at drage generelle konklusioner om de generelle miljøpåvirkninger fra punktudledninger, som kan være meget stedsspecifikke.

Det er dog nogle generelle overvejelser:

- For N og P udgør punktudledningerne hhv. 11% og 28% af de totale udledninger på årsbasis, og heraf kommer 8% og 21% fra byernes udledninger. Rensningsanlæg udleder de største stofmængder fra byer på årlig basis (6% for N og 13% for P), mens de regnbetingede udledninger står for en mindre men dog betydelig del (knap 2% for N og godt 7% for P), der endda kan forventes at stige som funktion af de forventede klimaforandringer.
- Regnbetingede udledninger kan påvirke den gode kemiske status af vandmiljøet med lokale korttidsoverskridelser af miljøkvalitetskrav (som typisk er indført for metaller og miljøfarlige organiske stoffer). Når man ser på den lange bane (flere år), så skal man ikke fokusere på om en overskridelse kommer til at ske (for, statistisk set kommer det til at ske på et tidspunkt), men på hvor ofte grænsen bliver overskrevet.

- Lokale påvirkninger af vandmiljøet - skabt af iltsvind samt kronisk og akut toksicitet fra metaller og miljøfarlige organiske stoffer der bevirker forringet økologisk tilstand, og tabt badevandskvalitet kan opstå i små vandløb, og disse påvirkninger skal derfor vurderes lokalt (Figur 13).
- Miljøpåvirkningen af de urbane punktudledninger er derfor afhængig af, hvor følsom recipienten er. Et lille overløb ved et sensitivt vandløb kan have større negative akutte effekter end et stort overløb ved havet, hvor fortynding vil mindske både de akutte og kroniske effekter.

	Vandkvalitet				Sundhed	Æstetik	
	Iltsvind	Eutrofering	Sedimenter	Toksicitet	Fækalier	Klarhed	Flydende affald
Lille vandløb							
Stejl	●	●	●	●	●	●	●
Flad	●	●	●	●	●	●	●
Vandløb							
Estuarie (vandløbsmunding/fjord)	●	●	●	●	●	●	●
Sø							
Lav	●	●	●	●	●	●	●
Dyb	●	●	●	●	●	●	●
	● Mindst sandsygt		● Sandsygt			● Mere sandsygt	

**Figur 13.** Simplificeret overblik over de forventelige negative effekter af udledninger fra de urbane vandssystemer på forskellige typer naturlige recipienter. Inspireret af [15].



## 5. Mulige løsninger

Diskussionen af årsager til udledning af vand fra byer og mulige løsninger er kompleks. Den handler om en kompliceret, dyr og gammel infrastruktur, som både skal vedligeholdes, opgraderes og tilpasses for at håndtere nye og voksende udfordringer, der omfatter (i) reduktion af udledning af drivhusgasser, (ii) tilpasning til et ændret klima, (iii) cirkulær økonomi/grøn omstilling, (iv) miljøfremmede stoffer og mikroplastik, og (v) samfundets voksende forventninger. Nedenfor gennemgås kort nogle mulige løsninger med hensyn til teknologiske indgrebsmuligheder, et forbedret datagrundlag, samt regulering og helhedsplanlægning.

### 5.1 Teknologiske indgrebsmuligheder

Udledninger fra byområder kan mindskes med indsatser i flere forskellige kategorier, der dækker både over velafprøvede løsninger og over teknologier, der endnu er på udviklingsstadiet:

- *Rensning ved udledningspunkt* (end-of-pipe) fokuserer primært på at fjerne forureningsstoffer, før vandstrømmen bliver udledt i miljøet. Spildevandsrensningsanlæg er et typisk eksempel, hvor spildevand fra store områder bliver samlet og renses et enkelt sted, og hvor kloakbassiner og –tunneler etableres for at undgå overløb og sikre at så meget vand som muligt sendes til rensningsanlægget. I mange år har der været en tydelig tendens til centralisering og større anlæg for at optimere driften og genanvendelse af ressourcer (næringsstoffer, energi, osv.). Omstilling til cirkulære vandsystemer kan dog udfordre denne tendens, hvor decentrale løsninger kan blive til et alternativ eller en supplerende løsning til end-of-pipe rensning.
- *Decentral rensning ved udledningspunkt*. Der findes en lang række rensningsteknologier til både kloakoverløb og separate regnvandsudledninger, både højteknologiske, kompakte anlæg (såsom anlæg med flokkulering og avanceret sedimentering, adsorptions filtre der kan installeres i kloakbrønde, osv.) og anlæg baseret på naturlige processer (såsom sedimentering og filtrering i våde bassiner og beplantede filtre). I de fleste tilfælde kombineres rensningen med bassiner, der kan forsinke og udjævne afstrømningen, så rensningen kan foregå så stabilt som muligt).
- *Cirkulære vandsystemer*, med fokus på vandbesparelser og bredere genbrug af vand og sekundavand (jf. afsnit 4.1.1) samt ressourcerne heri, vil bidrage til at minimere udledninger til vandmiljøet og sikre den ønskede vandkvalitet tæt på forbrugeren (*water fit for purpose*). Særligt de regnbetingede udledninger kan reduceres ved at opsamle og rense regnvand med henblik på genbrug på karré- eller kvarterniveau – hvilket indgår i mange tiltage til klimatilpasning på overfladen.
- *Kloakseparering* (ombygning af fælles kloakker til separate kloakker) ses ofte som en effektiv løsning til reduktion af overløb, fordi den sikrer at regnvand ikke bliver forurenede med spildevand og fjerner årsagen til overløb. For nogle stoffer – særligt metaller og organiske miljøfarlige stoffer - kan separering kan dog forårsage en stigende udledning (afsnit 4.1.1 og Faktaboks C).
- *Kildekontrol* er rettet mod forureningskilder (se afsnit 4.1.3) og har været anvendt bredt for at mindske tilførsel af forurenende stoffer til spildevand – f.eks. indsatser målrettet industrier, såsom *renere teknologi*, hvilket også omfatter tanker om cirkularitet, og nedbringelse af fosforindholdet i rengøringsmidler. Kilderne til forurening i regnvandsafstrømning er mere diffuse og kræver ofte brede reguleringsmæssige tiltag – et eksempel på et gennemført tiltag er f.eks. forbud mod brug af pesticider på offentlige

arealer. Andre tiltag, der ikke endnu har været gennemført, er f.eks. forbud mod anvendelse af bestemte kemikalier i byggematerialer, mod brug af Zn og Cu i tagmaterialer, eller mod forurenende aktiviteter såsom bilvask på veje.

- *Optimering af den eksisterende infrastruktur.* De eksisterende kloaksystemer blev bygget baseret på simple statistiske antagelser, men de har udviklet sig i mange retninger og består i dag af et mix af mange forskellige teknologier - f.eks. både rør, bassiner, pumper, og i stigende grad sensorer til brug af styring af pumper. De opererer desuden i en dynamisk verden, hvor f.eks. regnen varierer meget både i tid og sted. Digitale løsninger kan hjælpe til optimering af den eksisterende infrastruktur med relativt lavere investering (f.eks. kan aktiv styring af kloakkerne minimere overløb, med en effekt svarende til et dyrere bassin).

## 5.2 Bedre datagrundlag

De data, der ligger bag opgørelserne af regnbetingede udledninger (overløb, bypass og separate regnvandsudløb) er generelt usikre. Det skyldes dels, at vandvolumenerne fra de fleste af de mange tusinde udledningspunkter er beregnede, endda på forskellige måder, og dels at koncentrationerne der benyttes til at beregne stofmængder – de såkaldte *typetal* – er anslået på baggrund af målinger fra et begrænset antal lokaliteter og ikke afspejler variationer fra sted til sted (der særligt for metaller og organiske miljøfarlige stoffer kan være store). Flere forskellige tiltag kan potentielt forbedre dette:

- *Indsats over for de store overløb/bypass:* Der er allerede sat gang i forbedring for de store overløb/bypass, der typisk ligger i de store byer tæt ved søer eller kysten - primært i form af øget brug af målinger. Det giver mening, når man udelukkende fokuserer på næringsstoffer (N og P), fordi det hér er den samlede forureningsmængde der har betydning og søer/fjorde/bugter og kystvande der påvirkes. Overløb og bypass udgør dog kun en mindre del af de totale udledninger af N og P i Danmark (<1% for N, <4% for P).
- *Definitioner og incitament for at reducere overløb:* Offentligheden ser ud til at øge kravene i disse år til udledninger af vand fra byer, særligt i forhold til æstetik og badevandskvalitet. Problemstillinger omkring overløb fra fællessystemer tiltrækker sig politisk opmærksomhed både i Danmark og EU. Blandt andet diskuteres (i) den store usikkerhed mht. hyppigheden af overløb, (ii) en manglende klar definition af skadevoldende overløb (varighed, mængde, m.m.), og (iii) en mangel på økonomiske incitament til at reducere kloakoverløb, hvilket hindrer incitamentsdrevet regulering og sammenligning både inden for hovedvandoplande og på tværs af lande.
- *Indsats over for kemiske stoffer ifm. kloakseparering:* Der er mange andre stoffer i både overløb/bypass og separate regnvandsudledninger end N og P. Den kemiske og økologiske recipientkvalitet i danske vandløb/søer/fjorde lever desuden generelt ikke op til målsætningerne (de få steder hvor der er målt), og der er ikke overblik/konsensus om, hvilke kilder til kemisk forurening, der er mest betydningsfulde. Der er derfor behov for en kortlægningssindsats med udgangspunkt i hydrologiske vandoplande, så de væsentligste lokale kilder til bl.a. metaller og organiske miljøfarlige stoffer kan blive identificeret, og de mest omkostningseffektive tiltag kan iværksættes. For nye separate regnvandsudledninger ifm. kloakseparering kan tiltag omfatte både rensning og kildekontrol.
- *Digitalisering og integration på tværs af sektoren* kan forbedre overvågningen af regnbetingede udledninger. Der er behov for at udvikle bedre og mere prisbillig måleteknologi til overløb, bypass og separate regnvandsudløb – særligt kombinationen af online sensorer (næringsstoffer og partikler), passiv prøvetagning (kemiske stoffer) og

realtids modelberegninger (herunder maskinlæring) til at integrere de forskellige signaler i digitale tvillinger er lovende. Men der er også behov for at udnytte eksisterende datakilder bedre - f.eks. kan vandforbrug målt med smarte vandmålere give præcis information om spildevandsflow i hele kloaksystemet, og regnmåling med radar kombineret med modeller kan forbedre beregningen af regnvands-flow, -overløb og -udløb. Desuden ligger der et potentiale i at inddrage nye dataprodukter om fordelingen af befæstede overflader og potentielle forureningskilder i vandoplande baseret på satellitdata.

### 5.3 Regulering og helhedsplanlægning

Det er almindeligt anerkendt, at vandforvaltning og infrastruktur til håndtering af vand understøtter al økonomisk vækst på tværs af sektorer, i lighed med infrastruktur til f.eks. energi og transport. Samtidig forvaltes vand fragmenteret inden for forskellige sektorer, hvilket der er behov for at gøre op med. Herunder anføres nogle eksempler på udfordringer med regulering og helhedsplanlægning i relation til vandplanlægning og specifikt hvidbogens fokus på regnbetingede udledninger.

- *Helhedsorienteret planlægning:* Der er en række tiltag, der peger på, at den eksisterende regulering er for opdelt i forskellige sektorer. Blandt de helt store tiltag er FN's verdensmål frem mod 2030, IPCC's rapport om klimatilpasninger udgivet i 2022, samt principperne bag Integreret Vandressourceforvaltning. Alle disse initiativer fordrer en grundlæggende anden tilgang til vandplanlægning end den, der praktiseres i dag. Ifølge disse principper skal vandplanlægningen foregå i et tæt samspil ikke blot inden for hele vandoplandet, men også i samspil med f.eks. Planloven, som regulerer arealanvendelsen, samt reguleringen af den terrestriske natur og biodiversitet via f.eks. Habitatdirektivet.
- *Centralisering vs. decentralisering:* Et væsentligt element i helhedsplanlægningen er at tage hul på diskussionerne omkring graden af centralisering. Som nævnt flere gange har centralisering været en meget stærk tendens i flere årtier, og inden for rammerne af den nuværende regulering vil centraliseringen fortsætte. Men krav om helhedsorienteret planlægning vil stille krav om f.eks. resiliente systemer og byer samt bæredygtighed for såvel natur og miljø som for samfundet, hvilket ikke nødvendigvis tilgodeses ved en fortsat centralisering.
- *Vandkvantitet og -kvalitet i ét harmoniseret regelsæt:* Mange af de teknologiske indgrebsmuligheder over for regnbetingede udledninger har til formål på én gang at håndtere problemstillinger relateret til både oversvømmelse og forureningsudledning, men den gældende regulering forholder sig til én problemstilling ad gangen. Vandrammedirektivet og Byspildevandsdirektivet er fra en tid (2000 og 1991), hvor oversvømmelser og voksende regnbetingede udledninger ikke var opfattet som en udfordring der skulle håndteres. Denne erkendelse kom først senere. Oversvømmelsesdirektivet er fra 2007, og de store regnskyl der skaber oversvømmelser og dermed "overskrifter" kom først fra omkring 2010. Den manglende harmonisering har hidtil resulteret i, at der i meget ringe grad tænkes på tværs ved implementeringen af de to direktiver, og det kan give konkrete udfordringer lokalt.
- *Vandoplads perspektiv:* Udledningstilladelser gives i dag for enkeltpunkter. Det er anlægsejeren (typisk et forsyningselskab, Vejdirektoratet el.lign.) der skal søge dem, og den lokale myndighed (kommunen) der skal give dem - baseret på helhedsvurderinger der ikke må involvere væsentlig forringelse af miljøtilstanden, medmindre der er

væsentlige samfundsinteresser på spil. Men problemstillingen med regnbetingede udledninger indgår ikke i den vandoplandsbaserede vandplanlægning med tilknyttede Vandråd (ud over grove betragtninger udelukkende for næringsstoffer). Det betyder, at den lokale miljøsagsbehandler har et meget dårligt grundlag for at give udledningstilladelser f.eks. ifm. separatkloakering, hvor udledningen af nogle metaller og organiske miljøfarlige stoffer som omtalt i denne hvidbog kan blive forøget.

- *Klare regler for renseteknologier og kildekontrol:* Miljømyndigheden kan i dag stille krav om rensning ift. Best Available Technologies (BAT). Der dog hersker dog stor forvirring om, hvad BAT er, og der er stor mangel på dokumentation for forskellige teknologiers effektivitet over for de mange forskellige stoffer, som interesserer myndigheder. Miljømyndigheden har i dag ikke mulighed for at stille krav om kildekontrol, og de relevante mekanismer i Vandrammedirektivet benyttes ikke i dansk praksis vedr. forurening i regnbetingede udledninger. Dette skyldes formentlig, at mens det er ledningsejeren, der skal søge om udledningstilladelsen, så er ledningsejeren ikke ansvarlig for forureningskilden og kan dermed ikke pålægges krav om at reducere denne.
- *Skræddersyet regulering om regnbetingede udledninger:* Regnbetingede udledninger er karakteriseret af et højt tidslig og spatial variabilitet, og regelsæt som normalt anvendes til regulering af rensningsanlæg (som har mere konstante og ensartede udledninger) kan ikke håndtere dem. Der er behov for en mere fleksibel regulering, der anerkender variabiliteten og tænker i bl.a. frekvens og intervaller i stedet for faste koncentrationskrav.

## 6. Sammenfatning

Som det fremgår af denne hvidbog, består den tekniske infrastruktur til håndtering af vand i byer af meget komplicerede systemer, der har udviklet sig gennem de seneste mere end 100 år baseret på lokale forhold og teknologiske fremskridt i takt med samfundets udvikling. Langt de fleste mennesker har gavn af denne infrastruktur, herunder kloakkerne, fordi den er med til at sikre folkesundheden, men kloakkerne medfører også udledninger af forurenede vand, hvilket kan føre til negative påvirkninger af både miljø og sundhed.

Udledning af vand fra byer trækker i stigende grad overskrifter i medierne både i Danmark og internationalt. Emnet kan være kontroversielt, grundet de mange forskelligartede interesser samt potentielt store økonomiske og miljømæssige konsekvenser, og diskussionen af årsager og mulige løsninger bliver hurtigt meget kompliceret og præget af misforståelser. Fordi infrastrukturen er "ude af øje" (begravet under jorden) har den i årtier desuden været "ude af sind" for de fleste. Formålet med denne hvidbog er derfor at skabe en fælles reference for offentlig debat omkring emnet.

Udledningerne sker som punktudledninger fra byernes kloaksystemer, i form af rensede spildevand fra rensningsanlæg og – når det regner – i form af bypass på rensningsanlæg, overløb fra fælles kloaksystemer, og udledninger fra separate regnvandssystemer. Særligt udledningerne under regn forventes at vokse i de kommende årtier på grund af byvækst og hyppigere, kraftige regnskyl, medmindre der sættes ind med effektive løsninger til klimatilpasning. Der sker også andre punktudledninger til miljøet, herunder udledninger fra spredt bebyggelse, fra ferskvandsdambrug og fra industri, men disse udledninger har ikke haft fokus i arbejdet med hvidbogen.

I hvidbogen opregnes kort fremtidens væsentligste udfordringer for kloaksystemerne, hvis løsning kræver at vi først forstår, hvorfor vi står i den nuværende situation. Udfordringerne omfatter reduktion af udledning af drivhusgasser, tilpasning til et ændret klima, cirkulær økonomi/grøn omstilling, miljøfremmede stoffer og mikroplastik, og samfundets voksende forventninger. Dernæst gennemgås den historiske baggrund, de bagvedliggende principper for dimensionering af systemer til håndtering af regn og spildevand, hovedtrækkene af vandets infrastruktur (herunder formålet med overløbsbygværker, med rensningsanlæg, bypass og forsinkelsesbassiner, og med kloaktunneler og klimatilpasning på byernes overflader), og hvordan udledningerne hænger sammen med by- og samfundsvækst samt klimaændringer. Herefter redegøres for hvad der virkelig har betydning for miljøet – herunder forureningsindholdet i spildevand og regnvand, hvorfor udledningerne under regn er så vanskelige at håndtere, og hvor komplekse potentielle miljøpåvirkninger, der er tale om. Til slut gennemgås kort nogle fremtidige løsningsmuligheder, omfattende både teknologiske indgrebsmuligheder, et forbedret datagrundlag, samt regulering og helhedsplanlægning. Hvidbogen afsluttes med et kort oprids af indholdet, som forhåbentlig vil gøre det muligt for læsere til at deltage i debatten på et mere informeret grundlag.

## 7. Referencer og datakilder

### Kapitel 1 – Indledning og formålet med hvidbogen

- [1] Ferriman, A. (2007): BMJ readers choose the “sanitary revolution” as greatest medical advance since 1840. *British Medical Journal*, **334**, <https://doi.org/10.1136/bmj.39097.611806.DB>.
- [2] United Nations World Water Assessment Programme (2017): UN World Water Development Report 2017 – Wastewater: The Untapped Resource, 198 pp.
- [3] Water Europe (2017): Water Europe Water Vision 2030. The Value of Water – Multiple Waters for Multiple Purposes and Users, 2<sup>nd</sup> Printing. Water Europe, Brussels, 32 pp.

### Kapitel 2 – Fremtidens udfordringer

- [4] Hennequin T, Dong Y, Arnbjerg-Nielsen K, Sørup HJD. 2019. Life Cycle Assessment (LCA) of a typical European single-family residence and its flood related repairs. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1334-1344.
- [5] Spildevandskomiteen. 1955. Biologisk undersøgelse af Sjælsø, Usseø og Nivå samt Farum Sø 1952. Spildevandskomiteen, Ingeniørforeningen i Danmark, København.

### Kapitel 3 – Hvorfor står vi i denne situation?

- [6] Foreningen af Rådgivende Ingeniører. 2008. State of the Nation. Foreningen af Rådgivende Ingeniører, København. Downloaded 04 juni 2022 fra [https://www.frinet.dk/media/2517/state\\_of\\_the\\_nation\\_2008.pdf](https://www.frinet.dk/media/2517/state_of_the_nation_2008.pdf)
- [7] Fratini, C., Geldof, G.D., Kluck, J., Mikkelsen, P.S. (2012): Three Points Approach (3PA) for urban flood risk management: a tool to support climate change adaptation through transdisciplinarity and multifunctionality. *Urban Water Journal*, **9**(5), 317-331, <http://dx.doi.org/10.1080/1573062X.2012.668913>.
- [8] Sørup, H.J.D., Lerer, S.M., Arnbjerg-Nielsen, K., Mikkelsen, P.S., Rygaard, M. (2016): Efficiency of stormwater control measures for combined sewer retrofitting under varying rain domains: Quantifying the Three Points Approach (3PA). *Environmental Science & Policy*, **63**, 19-26. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2016.05.010>.
- [9] Jensen, D.M.J., Thomsen, A.T.H, Larsen, T., Egemose, S., Mikkelsen, P.S. (2020): From EU directives to local stormwater discharge permits: a study of regulatory uncertainty and practice gaps in Denmark. *Sustainability*, **12**, 6317. <https://doi.org/10.3390/su12166317>.
- [10] Schriver, A.Ø.C. (2020): Danmarks befolkningsudvikling 1769-2015. <https://danmarkshistorien.dk>, besøgt 29. maj 2022.
- [11] Miljøstyrelsen (2021b): Punktkilder 2020, NOVANA-punktkilder. Miljøstyrelsen, ISBN: 978-87-7038-368-4.
- [12] Gregersen, I.B., Madsen, H., Linde, J.J., Arnbjerg-Nielsen, K. (2014): Opdaterede klimafaktorer og dimensionsgivende regnintensiteter. Spildevandskomiteen, Skrift nr. 30.
- [13] Gregersen IB, Madsen M, Rosbjerg D, Arnbjerg-Nielsen K. 2015. Long term variations of extreme rainfall in Denmark and Southern Sweden. *Climate Dynamics*, **44**, 11-12, 3155-3169. DOI: 10.1007/s00382-014-2276-4.
- [14] Gregersen IB, Sørup HJD, Madsen H, Rosbjerg D, Mikkelsen PS, and Arnbjerg-Nielsen K. 2013. Assessing future climatic changes of rainfall extremes at small spatio-temporal scales. *Climatic Change*, **118**, 3-4, 783-797. DOI 10.1007/s10584-012-0669-0.

## Kapitel 4 – Hvad der virkelig har betydning for miljøet

- [15] House, M., Ellis, J., Herricks, E.E., Hvidtved-Jacobsen, T., Seager, J., Lijklema, L., Aalderink, H., Clifforde, I.T., 1993. Urban drainage - impacts on receiving water quality. *Water Sci. Technol.* 27, 117–158.
- [16] Nielsen, K.T.N., Heggdal, Ø., Rasmussen, M.R. (2020): PULS-indberetning af overløb – udarbejdelse af grundlag for standardiseret indberetning af overløb. Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen, Forsyningssekretariatet.
- [17] Vezzano, L., Brudler, S., McKnight, U.S., Rasmussen, J.J., Mikkelsen, P.S., Arnbjerg-Nielsen, K. (2018) Operationelle udlederkrav for regnbetingede overløb fra fællessystemer til vandløb, DTU Miljø, Danmarks Tekniske Universitet.
- [18] Vezzano, L.; Arildsen, A.L.; Johansen, N.B.; Arnbjerg-Nielsen, K.; Mikkelsen, P.S. (2019) Uncertainty analysis of model-based calculations of wet-weather discharges from point sources. Kgs. Lyngby, DTU Environment, Technical University of Denmark (DTU).

## Datakilder

- [19] Henze, M., Comeau, Y. (2008) Wastewater concentrations. Chapter 3 in M. Henze, M. C. M. van Loosdrecht, G. Ekama, and D. Brdjanovic (eds.), *Biological Wastewater Treatment - Principles, Modeling, Design*. London, UK, IWA Publishing.
- [20] Danmarks Miljøportals (2022). Spildevand og badevand – PULS database. <https://arealinformation.miljoportal.dk> (sidst tilgået 2022/06/03)
- [21] Kjær, K. B., Rasmussen, D. (2022) Typetal for miljøfarlige forurenende stoffer i regnbetingede udledninger På baggrund af data fra det nationale overvågningsprogram. Miljøstyrelsen. ISBN: 978-87-7038-386-
- [22] Kjølholt, J., Froskov, L. S., Arnbjerg-Nielsen, K., Holm, A. G. (2021) Nøgletal for miljøfarlige forurenende stoffer i spildevand fra renseanlæg - Opdatering på baggrund af data fra det nationale overvågningsprogram for punktkilder 1998-2019, ISBN: 978-87-7038-287-8
- [23] Miljøstyrelsen (2021a) Datateknisk anvisning for regnbetingede udløb (RBU)
- [24] Nordjyllands Amt (2006) Afrapportering af det intensive måleprogram for de regnbetingede udløb 2004-2006 – Sulsted oplandet
- [25] Thodsen, H., Tornbjerg, H., Rolighed, J., Baattrup-Pedersen, A., Larsen, S.E., Ovesen, N.B., Blicher-Mathiesen, G. Kjeldgaard, A. 2021. Vandløb 2020. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 82 s. - Videnskabelig rapport nr. 473. <http://dce2.au.dk/pub/SR473.pdf>.
- [26] Data fra Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering. Høje Målebordsblade, Lave Målebordsblade, Topo4cm (1983-197T), Topo4cm (1980\_2001), DTK25 – Danmarks Topografiske Kortværk 1:25.0000.

Institut for Miljø- og Ressourceteknologi

Bygningstorvet  
Bygning 115  
2800 Kongens Lyngby  
Tlf. 45251600

[sustain.dtu.dk](http://sustain.dtu.dk)