



OVERLØB - Datadrevne løsninger til reduktion af miljøeffekter fra overløb MUDP-projekt

MUDP

Marts 2026

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Annette Brink-Kjær, Vandcenter Syd
Lasse Sørensen, Vandcenter Syd
Nena Kroghsbo, Vandcenter Syd
Michael R. Rasmussen, Aalborg Universitet
Ole Mark, Krüger A/S
Morten Borup, Krüger A/S
Mads Helle, Bionic Systems Solutions A/S
Sara Egemose, Syddansk Universitet
Lotte Reuss, Syddansk Universitet
Ane Loft Møllerup, Novafos
Herle Mo Madsen, Novafos
Malte Skovby Ahm, Aarhus Vand
Mathias Schandorff Arberg, Aarhus Vand
Carsten Fjorback, COWI
Maria Finke, COWI
Sophia Hernandez Rode-Festersen, COWI
Kristian Als Levisen, Aalborg Universitet/Dryp A/S
Frederiks Saksager, Aalborg Universitet
Peter Raaby, Dryp A/S
Peter Skovgaard Rasch, Dryp A/S

ISBN: 978-87-7564-088-1

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram

Projektet, som er beskrevet i denne rapport, er støttet af Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) under Miljøministeriet, der støtter udvikling, test og demonstration af miljøteknologi.

MUDP investerer i udvikling af fremtidens miljøteknologi til gavn for klima og miljø i Danmark og globalt, samtidig med at dansk vækst og beskæftigelse styrkes. Programmet understøtter dels den bredere miljødagsorden, herunder rent vand, ren luft og sikker kemi, men understøtter også regeringens målsætninger inden for klima, biodiversitet og cirkulær økonomi.

Det er MUDP's bestyrelse, som beslutter, hvilke projekter der skal modtage tilskud. Bestyrelsen betjenes af MUDP-sekretariatet i Miljøstyrelsen.

MUDP-sekretariatet i Miljøstyrelsen
Lerchesgade 35, 5000 Odense J Tlf. +45 72 54 40 00

Mail: ecoinnovation@mst.dk
[MUDP's hjemmeside](#)

Denne slutrapport er godkendt af MUDP, men det er alene rapportens forfatter/projektlederen, som er ansvarlige for indholdet. Rapporten må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Introduktion	6
1. Introduktion	7
Konklusioner	10
2. Målemetoder til afløbssystem og recipient	11
2.1 Betingelser for målinger	11
2.2 Erfaringer fra måleprogrammerne	12
3. Sammenligning af PULS-niveauer	14
3.1 Formål	14
3.2 Nye teknologier	14
3.3 Sammenligning af PULS 2 niveauer	15
3.4 Værdi af datavisualisering	16
4. Målinger af overløb	18
4.1 In-sewer Vs. In-stream fordele og ulemper	18
4.2 Softwaresensor	19
4.3 Emission bestemt ved softwaresensorer	19
5. Tiltag til reduktion	21
5.1 Formål med reduktioner	21
5.2 Erfaringer screening og ombygninger af overløbsbygværker	22
5.3 Sedimentationsforsøg	22
6. Samfundsøkonomiske beregninger	24
6.1 Samfundsøkonomi ved reduktion af overløb	24
7. Oplandsanalyser og Påvirkninger af recipienten	27
7.1 Oplandsanalyser som værktøj	27
7.2 Målinger af effekter	27
7.3 Miljømæssige vurderinger af tiltag til reduktion	28
7.4 Anbefalinger vedr. miljømæssige vurderinger	29
Leverancer	30
8. Arbejdspakke 1: Forberedelse	31
8.1 Indledning	31
8.2 Beskrivelse af cases	32
8.3 Instrumentering af målelokaliteter	40
8.4 Erfaringer med måleparametre og sensorer	49
9. Arbejdspakke 2: Datahåndtering og modellering	57
9.1 Datainfrastruktur	57
9.2 Visualisering af data	58

9.3	Alternative softwaresensorer	62
9.4	Målinger af stof in-sewer	67
9.5	Målinger af iltforhold til identifikation af effekter i vandløb	67
9.6	Anvendelse af temperatursensorer til detektion af udledninger	80
9.7	Softwaresensorer mængder	86
9.8	Bestemmelse af overløbs mængder med katalogmetoden	89
9.9	Softwaresensorer stof	93
9.10	Datadrevet modellering	103
9.11	Antenneforhold i overløbsbygværker	106
10.	Arbejdspakke 3: Demonstration af overløbsløsninger	109
10.1	Mål og strategi for reduktion af miljøeffekter af overløb	109
10.2	Screeningskoncept for reduktion af overløb	109
10.3	Realtidsmodellering og forecasting	109
10.4	Lokal rensning: sedimentationsforsøg	111
10.5	Reduktion af overløb - analyser af vand, kvalitet og styring	119
10.6	Sammenstilling af løsninger	122
11.	Arbejdspakke 4: Analyse og dokumentation af miljømæssige effekter	133
11.1	Gennemførte miljømæssige undersøgelser	133
11.2	Analyse og dokumentation af miljømæssige effekter	135
11.3	Vurdering af hvilke tiltag der giver den største miljømæssige effekt	145
11.4	Samfundsøkonomiske effekter	160
11.5	Effekter i forhold til verdensmål	178
12.	Arbejdspakke 5: Formidling og forretningsgørelse	187
12.1	Vidensdeling	187
12.2	Webinarer og podcasts - Åbent Bygværk	191

Introduktion

1. Introduktion

"OVERLØB – Datadrevne løsninger til reduktion af miljøeffekter fra overløb" (OVERLØB) er et Fyrtårnsprojekt støttet i 2020 af Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP), som administreres af Miljøstyrelsen.

OVERLØB har haft til formål at kvantificere de hydrauliske og stofmæssige effekter fra spildevandssystemers overløb til vandløb, søer og kystnære områder. Partnere på projektet har været: Vandcenter Syd, Novafos, Aarhus Vand, COWI A/S, Krüger A/S, Institut for Byggeri, By og Miljø, Aalborg Universitet, Biologisk Institut, Syddansk Universitet, Dryp A/S og BSS ApS.

Rapporten er opbygget i to sektioner: Konklusioner og Leverancer. Leverancer er alle leverancerne i projektet, struktureret i arbejdsplaner som hver repræsenterer forskellige faglige områder i projektet. Leverancerne fremstår dermed som dokumentation. Projektet har indsamlet og delt data på tværs af arbejdsplaner, og der er derfor flere leverancer, der anvender samme datasæt til forskellige analyser. Sektionen "Konklusioner" trækker hovedpointer fra de forskellige leverancer frem, og viser dermed et samlet overblik over projektet.

Vandområdeplanerne fremlægger et klart mål: de danske recipienter skal opnå "god tilstand". Det er derfor relevant at se på, hvad er årsagen til at recipienterne for nuværende ikke har god tilstand.

Når man ser på overløbs effekt på den enkelte recipient, er det vigtigt at tage både recipientens skala og -type i betragtning. Vandområdeplanerne fremlægger mål som summerer maksimale stofbelastninger i et større vandområde. På denne store skala med akkumulerede belastning, vægter overløb ikke væsentligt (kloakoverløb står for ca. 1-2 procent af den årlige kvælstofmængde og ca. 6-8 procent af den årlige fosformængde)¹. Men ser man på en mindre skala, på den enkelte recipient, så kan overløb i nogle tilfælde have en signifikant betydning for recipientens tilstand. Dette projekt eksemplificerer både vandløb og søer, hvor en større del af belastningen kommer fra overløb.

I andre tilfælde er det en anden type udledninger, punkt- eller diffuse, der har betydning for recipientens tilstand. I dette projekt ser vi både at separate regnvandsudløb og tilbagepumpning af rensat spildevand kan have indflydelse på recipientens tilstand. Derudover ser vi også tilfælde, hvor fortidens udledninger eller diffuse udledninger fra landbrug har betydning for recipientens tilstand.

Slutteligt eksemplificerer dette projekt flere oplande hvor de fysiske forhold i recipienten er meget betydende for tilstanden i recipienten. Naturlige vandløb er også robuste vandløb overfor regnbetingede udledninger.

I dette projekt er demonstreret at for den enkelte recipient er problematikkerne både specifikke og flerfoldige. Således er det ikke muligt alene ved at reducere overløb at opnå god tilstand i recipienterne. Da der er flere problematikker, skal også flere aktører på banen, både forsyningsselskaber, myndighederne, industri og landbrug.

I dette projekt er det tydeligt demonstreret, at man kan måle på overløb, både på mængder og stofmængder, og at målingerne kan foregå både i kloakken og i recipienten. Metodevalgene er mange, herunder stofparametre, sensorvalg, placering og beregningsmetoder. Men når problematikkerne er flerfoldige, er det vigtigt at måle ikke kun på overløbene, men også på recipientens tilstand, samt at se på hele oplandet til recipienten. Herved kan man identificere, hvor problemet er i forhold til recipientens tilstand.

¹ Kragestein, "Urenset spildevand løber ud i havet – men hvor stort er problemet? Altinget 2. juni 2020

Når problemerne, der forhindrer recipienterne i at opnå god tilstand, er identificeret, er det muligt at prioritere vores indsats – både de langsigtede, som fx udvidelse af fælleskloak og separatkloakering, og kortsigtede tiltag med formål at optimere på den eksisterende infrastruktur.

I OVERLØB har vi demonstreret, hvordan man i nogle tilfælde med mindre tiltag kan reducere overløbs påvirkninger af recipienten, enten ved reduktioner i udledte vandmængde eller udledte stofmængder. Ved at tage et overordnet blik på oplandet, er det muligt at identificere begrænsende faktorer og uudnyttet kapacitet i oplandet, og herefter hvor muligt optimere på det enkelte overløbsbygværk.

I dette projekt er det også undersøgt, hvorledes styring også på stofmængder, og herunder også realtidsstyring, kan bidrage til bedre udnyttelse af det eksisterende kloaksystem. Det har for de specifikke oplande i projektet ikke været en effekt af at implementere oplandsstyring, kun lokal styring. Men forsyningerne har udenfor dette projekt flere eksempler på at oplandsstyring og samstyring med renseanlæg kan reducere belastningen af recipienterne. I relation til optimering af det enkelte bygværk, er der i projektet illustreret både løsninger af lidt større omfang, som etablering af nye bygværker og udvidelsen af videreførende kapacitet, samt mindre løsninger ved hævnning af overløbskanter.

Slutteligt er der projektet demonstreret, at man nogle steder kan udnytte kloakken til fosforfældning og dermed reducere stofbelastningen af recipienten. Projektet demonstrerer dette implementeret i et opland i pilotskala, men med mulighed for at forbedre driften og effekten af et sådanne anlæg yderligere.

Det er ikke i alle oplande og ved alle overløbsbygværker muligt at optimere på de eksisterende anlæg, idet der er steder, hvor anlæggene fungerer tæt på optimalt og der ikke findes uudnyttet kapacitet. Der er således fortsat behov for de langsigtede tiltag for kloakken, som udvidelse af fælleskloakken og separatkloakering for, at forsyningernes udledninger ikke hindrer målopfyldelse.

Vi vil anbefale, at man i den offentlige og faglige diskurs er opmærksom på skala og type af recipient. Når man taler om vandområderne og tiltag for at opnå god tilstand er reduktion af overløb ikke betydende. Men når man taler om en mindre skala, om den enkelte recipient, er problemet flerfoldigt og derfor vigtigt at være opmærksom på recipientens type, vandløb, sø eller kystområde, samt oplandet til og dermed påvirkningen af recipienten. Denne problematik og skala og type tydeliggøres ved brug af de nuværende modeller til at vurdere samfundsøkonomi af eksempelvis reduktion af overløb. Med nuværende modeller er det ikke muligt at kvantificere og værdisætte forbedringerne i den enkelte recipient, kun forbedringer på vandområdeskala værdisættes.

Vi vil også anbefale bedre opgørelser af punktudledninger, både overløb og separate udløb. Der er en stor variation af overløbsbygværker og dermed gælder typetal og standardformler ikke for alle typer udløb. Ved at forbedre overløbsmålingen, og eksempelvis kende overløbskoncentrationer for det enkelte bygværk, vil man kunne lave mere præcise opgørelser af miljøpåvirkningen, og dermed prioritere indsatser til reduktion. Omkostningerne til at forbedre målinger af overløb varierer, og kan i nogle tilfælde kræve ombygninger. Det er derfor ikke nødvendigvis alle bygværker, som skal have alle type målinger, men der skal i stedet fokuseres på bygværker, som det forventes, som påvirker recipienten signifikant. For separate udløb særligt til vandløb er der en stor værdi i at måle ilt, da iltfattige forhold i regnvandsbassiner kan påvirke tilstanden i recipienten. Ved at kende regnvandsudløbs iltpåvirkning af recipienten giver det mulighed for at overveje tiltag som kan skabe bedre iltforhold i bassinerne.

Det er vigtigt at se recipienten ud fra en helhedsbetragtning, og dermed se på recipientens opland og effekten af udledningerne og eventuelle tiltag i recipienten. Målinger af overløbsmængder er derfor ikke altid nok; for at se på effekten i recipienten er det nødvendigt at foretage både vandkvalitets- og biologiske målinger.

Når der er flere problemer, så skal der også flere aktører på banen, for at vandområdeplanernes mål om god tilstand opnås. Vi anbefaler derfor et større samarbejde mellem myndigheder og udledere, herunder både forsyninger, landbrug og industri.

Konklusion

Fremhævede konklusioner fra projektet

2. Målemetoder til afløbssystem og recipient

Der blev installeret 156 sensorer på 91 målesteder til at måle vandstand, vandføring, temperatur og stofkoncentrationer. Billige ionselektive sensorer blev testet i vandløb for at overvåge ændringer i koncentrationer grundet overløb. Teknologien viste sig stabil i drift, selv i perioder med frost, men nøjagtigheden blev ikke evalueret grundet manglende kalibrering. Selvom projektet involverede omkostninger til sensorer og måleudstyr, gav det grundlag for bedre håndtering af overløb og potentiale for at reducere effekter i recipienterne gennem præcist målrettede tiltag.

2.1 Betingelser for målinger



FIGUR 1. Årsnedbør i projektperioden i de forskellige kommuner, hvor der har været sensorer.

I løbet af projektet er der blevet opsat mange sensorer og opsamlet mange data. En tidlig milepæl var, at måleprogrammerne skulle være igangsat inden sommerferien 2022, hvilket for størstedelen af målerne lykkedes.

I løbet af projektperioden har været opsat i alt 164 sensorer på 93 målesteder og dertil kommer også et antal kampagner foretaget med autosamlere i løbet af projektperioden. Fordelingen af målesteder og sensorer mellem de enkelte forsyninger kan ses af TABEL 1 nedenfor.

TABEL 1. Antal målesteder og sensorer opsat i projektperioden.

	Antal målesteder	Antal sensorer i perioden
Novafos	15	33
Aarhus Vand	67	78
Vandcenter Syd	11	51
I alt	93	164

Det har været afgørende for, at måleprogrammerne kunne komme i gang hurtigt, at forsyningerne har brugt de sensorer, leverandører og ressourcer, som allerede var bekendt med etablering af sensorer i området og hvor samarbejdet allerede var etableret. I Novafos var der begrænsede erfaringer med drift af vandkvalitetssensorer og brug af autosamlere i driftsorganisationen for afløbssystemet. Efter sparring med Vandcenter Syd kiggede man derfor mod driftsorganisationen for renseanlæggene, hvor man fandt de rette kompetencer til projektet. En erfaring fra projektet er således, at måling af vandkvalitet til en start godt kan udfordre den typiske organisering i hhv. afløbssystem og renseanlæg. Novafos har arbejdet på tværs af disse organisatoriske skel i projektet og har fået meget ud af den vidensdeling, der er kommet ud af dette; samt en organisation, der fremadrettet er godt rustet til at måle på vandkvalitetsparametre i vandløb og afløbssystemet.

2.2 Erfaringer fra måleprogrammerne

I projektet er testet mange forskellige typer sensorer og mange forskellige fabrikater. I afsnit 8.4 gennemgås de samlede erfaringer med de benyttede sensorer, mens her opridses blot de væsentligste erfaringer og konklusioner.

2.2.1 Brug af billige vandkvalitetssensorer

I vandløbene blev testet nogle forholdsvis billige ionselektive sensorer til måling af diverse vandkvalitetsparametre såsom natrium, calcium, fosfor, mm. Formålet med at teste disse sensorer var at undersøge, om disse billige sensorer kunne bruges til at monitorere ændringer i vandløbskoncentrationerne ud fra ønsket om en monitoreringsstrategi, hvor man måler overløb ud fra effekten af overløbet i vandløbet. En sådan strategi vil være interessant, hvis man kan finde egnede sensorer, som ikke er meget dyrere end de niveau-sensorer, der benyttes til at monitorere selve overløbet fra kloakken.

Sensorerne blev manuelt tilpasset ved at ledningen blev forlænget og de blev tilsluttet en Dryp-logger til opsamlingen af data til den fælles dataplatform for projektet.

Målerne sad installeret i mere end et år og viste sig overraskende driftsstabile selv over vinteren, hvor der var frost i længere perioder. De blev dog ikke kalibreret i løbet af projektet, hvorfor projektet ikke kan udtale sig om nøjagtigheden af målerne.

2.2.2 Brug af almindelige vandkvalitetssensorer

I et bygværk ved Vandcenter Syd har der været installeret turbiditetsmåler, hvor der også er lavet prøvetagning som har givet relationer mellem turbiditet og N, P og COD.

Der er opstillet Fagerbergs iltmålere samt ionselektive ammoniumsensorer, pH måler, konduktivitetsmålere samt kaliummålere til at følge forholdene i recipienten. Målerne er løbende kontrolleret med mobilt udstyr. Målingerne har vist sig at give en god indikation af både forekomst af overløb/regnvandsudløb samt effekten på vandløbet.

2.2.3 Stabile målinger af iltforhold

Projektet har identificeret en stabil ilt-måler (BOD) der, under de testede forhold, kun kræver et minimum af vedligehold, fra det New Zealandske firma D-Opto. Iltmålinger i recipienten har tydeligt vist at kunne identificere overløb både fra spildevands/fællessystemer og fra regnvejrssystemer. Der kan ikke umiddelbart i måleren skelnes mellem biologisk og kemisk

bidrag, men med placeringerne og timing kan man alligevel tydeligt adskille de to bidrag. Det biologisk aktive spildevand giver et dyk under overløbshændelser primært lokalt før fortynding, og den mere kraftige signatur fra iltfattigt/iltfrit vand fra regnvandsbassiner, der har stået fyldte i lang tid, specielt om sommeren med høj biologisk aktivitet i bassinerne.

2.2.4 Brug af solpaneler ved måling i vandløb

Til opsamling af data fra vandkvalitetsmålere i vandløb i Novafos' opland blev Dryp's loggere benyttet sammen med en række forskellige vandkvalitetsmålere i test. Disse er batteridrevne og levetiden er derfor afhængigt af, hvor ofte der sendes data til dataplatformen, og de tilknyttede sensorers forbrug. De Ion-selektive sensorer kræver en del strøm når der måles ofte, så for at sikre levetiden blev der tilføjet mindre 9W solceller, der genoplader i de lyse timer. Dette har virket upåklageligt, og batterierne er dagligt blevet fuldt gen-opladt, på nær i kortere perioder med lave temperaturer, sne på panelerne og kraftigt skydække i vinterperioderne, hvor batteriet dog stadig har overlevet.

2.2.5 Placering af niveaumålere til måling af overløb

Når man ønsker at placere en niveaumåler i et overløbsbygværk eller -brønd, er der ofte flere hensyn og begrænsninger man må forholde sig til f.eks. adgangsforhold, arbejdsmiljø og det fysiske anlæg.

I to af bygværkerne i Novafos målte man vandstande både opstrøms og nedstrøms overløbskanten. Det viste sig langt mere relevant end det var forventet. I det ene tilfælde gav den nedstrøms niveaumåling vigtig information om begrænsningen på den videreførende ledning og i det andet tilfælde muliggjorde den nedstrøms måling, at man også kunne identificere, at den nye overløbskant ikke fungerede efter hensigten. Novafos vil på baggrund af disse erfaringer fremadrettet overveje at opsætte supplerende målere på nedstrøms siden af et overløb, hvis forholdene er til det, da de ekstra omkostninger til dette vil være marginale sammenlignet med omkostningerne til at opsætte blot den ene måler.

Placeringen af niveaumåleren opstrøms overløbskanten er vigtig med henblik på at bestemme overløbsmængden ud fra en Qh-relation ved frit overløb. CFD-har vist at der typisk er ekstra stuvning, der hvor indløbssjatten rammer en mur. Her omdannes noget af hastighedshøjden til stuvningshøjde og denne placering bør derfor undgås. Dette diskuteres videre i afsnit 9.8.

2.2.6 Test af lav-energi radarer til niveaumåling

I forbindelse med ombygning i overløbsbygværker hos Vandcenter Syd er en ny type lav-energi radarer blevet testet ved siden af traditionelle radarer. Udover at de er ca. ti gange billigere, er fordelene ved disse radarer dels en levetid på fem år med minutmålinger, og dels at de trådløst forbinder til dataloggeren, hvilket åbner mulighed for at installere flere målepunkter i komplekse bygværker. Testen viste dels, at lav-energi radarerne er mere følsomme overfor metal og dels, at der grundet de korte måleperioder er behov for ekstra dataprocessering for at midle data i tid og udjævne bølger og turbulens.

2.2.7 Brug af kameraer til overvågning af overløb

På to af overløbslokationerne i Novafos' opland blev der opsat kameraer til overvågning af overløbene. Kameraerne blev aktiveret af en niveaumåler, så i tørvejr blev der blot taget et enkelt foto om dagen, men når vandstanden nærmere sig overløbskanten, begyndte kameraet af varme op, så eventuel kondens forsvandt, og så blev der taget et foto, når overløbet startede og når det sluttede. Under projektet var der dialog om muligheden for tage fotos hyppigere end blot ved start og slut. Teknisk er det muligt, men pga. af strømforbruget var det ikke ønskeligt, da løsningen var på batteri. Erfaringerne fra projektet er, at fotoer/videoer giver letforståelig viden om, hvordan vandet strømmer i bygværket under regn og når der sker overløb; hvor almindelige måledata som flow og niveauer kræver meget erfaring at fortolke. Kameraløsningen er derfor vældig interessant og vil også blive taget i betragtning fremover, men det kræver yderligere udvikling af løsningen, før den bliver rigtig attraktiv, da prisen fortsat er i den dyre ende ift. den givne tidsopløsning.

3. Sammenligning af PULS-niveauer

Der er sammenlignet forskellige PULS-indberetningsniveauer på usikkerhed og omkostninger. Niveau 4 (CFD-model baseret på softwaresensorer) og niveau 5 (flowmåling) viste som antaget lavest usikkerhed i målingerne, men varierer i omkostninger og kræver højere investeringsniveau. Driftsomkostninger er dog ikke nødvendigvis højere ved højere præcisionsniveauer.

Softwaresensorer viste sig velegnede til brug på overløbsbygværker med betydelig miljøpåvirkning, især hvor direkte flowmåling er vanskelig. Screeninger på niveau 1 kan hjælpe med at identificere bygværker, der kræver dybere overvågning. Ved kontinuerlig overvågning af overløb kan forsyninger hurtigere reagere på uplanlagte overløb, hvilket reducerer miljøbelastningen. Automatiseret dataindberetning til PULS kan lette arbejdet for forsyningerne.

3.1 Formål

Én af de vigtigste formål med måling af udledninger fra overløbsbygværker er at kunne vurdere, hvor meget kvælstof, fosfor og organisk stof, der aflastes fra overløb til nærrecipienten og senere til fjernrecipienten (indre danske farvande). Det muliggør mere præcise vurderinger af byernes belastning på vandmiljøet. Samtidigt vil det være muligt at sammenligne bygværker på en vandløbsstrækning og prioritere en evt. fremtidig afskæring af de bygværker, der påvirker hhv. vandløbet og fjernrecipienten mest.

Afhængigt af hvor sensorerne placeres, vil man kunne lave en massebalance for opstrøms opland. Der vil man monitere summen af alle overløb/udløb. Hvis der er ukendte udledninger, vil de også fremgå af målingerne,

Et andet vigtigt potentiale er kontinuert at kunne overvåge funktionen af overløbsbygværker, så der ikke opstår situationer, hvor der sker uplanlagt overløb i lange perioder uden, at det observeres og derefter stoppes. Det gøres ved at observere forhøjet værdier af spildevand i vandløbet, når det ikke regner. Her vil online sensorer også kunne sandsynliggøre hvor i systemet overløbet foregår. Man kan således ikke fuldstændig forhindre uplanlagte overløb, men man kan forkorte reaktionstiden og dermed reducere miljøbelastningen betragteligt.

En vigtig anvendelse vil være til automatisk at overvåge sine udledninger til PULS (PunktUdledningsSystem). Det vil forbedre indberetningskvaliteten hos både kommunen og forsyningerne. Ved at anvende mere avancerede metoder kan usikkerheden reduceres i indberetningen og det bliver derfor nemmere at træffe de rigtige beslutninger i forhold til udledninger til vandmiljøet.

3.2 Nye teknologier

I forbindelse dette projekt er der udviklet en række teknologier, der er demonstreret i projektet: Metoder til at bestemme overløbsmængder og stofkoncentrationer.

Den første metode er at bestemme emission af stof ved hjælp af sensorer i vandløb. Det gøres ved såkaldte softwaresensorer (beskrevet nærmere i afsnit "9.9 Softwaresensorer stof"). Princippet er at måle med stabile sensorer, der måler fx ammonium og ud fra dette korrelere med fx mængden af COD i vandet. Dette er demonstreret i det første eksempel på Thulevej hos Vandcenter Syd, se afsnit 4.2.

I det andet eksempel hos NovafoS er det undersøgt om usikkerheden på aflastede vandmængder reduceres ved at bruge et højere PULS niveau. Her testes niveau 0 til niveau 4, hvor niveau 5 (flowmålinger) er sammenligningsgrundlaget. Ved at bruge CFD modeller som en softwaresensor er det vist, at man kan komme meget tæt på hvad der er målt med flowmåler og at usikkerheden ved den metode er tæt ved, hvad man kan forvente til en niveau 4 metode.

3.3 Sammenligning af PULS 2 niveauer

PULS-indberetningen er et grundlag for at standardisere normal-årsindberetninger af overløb ved brug af seks beregningsniveauer. PULS-niveauerne beskriver seks metoder til at estimere overløbsmængden fra et overløb, se TABEL 2. Det er dog ikke entydigt, hvordan valg af vidensniveau påvirker normal-årsindberetningen for et givent overløb. I OVERLØB er alle vidensniveauer undtagen niveau 0 undersøgt for at estimere overløb fra et overløbsbassin på Fredtoftevej i Farum for en fire måneders målekampagne mellem september 2022 og februar 2023.

TABEL 2. PULS-niveauer til estimering af overløbsmængder.

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

Afvigelsen af estimeringen af overløbsmængder ved de forskellige niveauer kan ses nedenfor. Sammenligningen viser, at der er den største usikkerhed ved niveau 1 - en massebalance beregning, mens der er den mindste usikkerhed ved niveau 4 og niveau 5, hhv. en softwaresensor baseret på en CFD-model og en vandstandsmåler, og den direkte flowmåling af overløbsmængden. Dette følger gældende anvisninger til PULS indberetningerne.

Til sammenligning med usikkerheden ser vi på ressourceforbruget ved de forskellige PULS beregningsniveauer. Det skal bemærkes at nedenstående omkostninger er omkostningerne for dette specifikke bygværk, hvor der eksempelvis eksisterer en hydrodynamisk model og oplandsdata. Derudover er målerudgifterne her lejeudgifter.

Særligt omkostningerne til niveau 4 og 5 er store grundet den særlige ydelse det er at få lavet en CFD-modellering. Men derudover stiger forsyningens omkostninger til egne ressourcer også ved niveau 4 og 5, da komplekse målekampagner kræver tid at sætte op og løbende monitoring og tilretning.

Det anbefales derfor at bruge niveau 4 beregninger til de bygværker, hvor det ikke er muligt at lave gode flowmålinger grundet bygværksindretningen. Det er dog ikke muligt at lave niveau 4 og 5 beregninger i alle bygværker; nogle typer er særligt vanskelige, eksempelvis hvis der er rist i bygværket. Det skal også bemærkes, at selvom etableringsomkostningerne er større, så er driftsomkostningerne mindre, da de kun består i leje af en niveaumåler.

Der er også andre niveauer, der kan placeres mellem de beskrevne niveauer. F.eks. hvis man kobler en klassisk overløbsformel med en vandstandssensor. Dette svarer usikkerhedsmæssigt mere til et niveau 3-4. De modelbaserede niveauer (2 og 3) er grundlæggende massebalance beskrivelser, da den videreførende kapacitet bestemmer, hvor meget vand der aflastes. Selv om overløbsformlen bruges i modellen er den ikke afgørende for aflastnings-flowet eller akkumuleret volumen.

TABEL 3. Sammenligning mellem forskellige PULS niveauer på Fredtoftevej overløbsbygværk.

Indberetnings-niveau	Procentvis afvigelse fra flowmåling [%]	Etablerings-omkostninger [kr.]	Drifts-omkostninger [kr./år]	Tidsforbrug [kr./år]	Note
Niveau 0	-	-	-	-	-
Niveau 1	87.2	0 kr.	0 kr.	0 kr.	I dette tilfælde havde vi oplandsdata
Niveau 2	71.6	0 kr.	35.000 kr.	3.000 kr.	Konkretårs-beregning: ½ dag pr. bygværk
Niveau 3	-40.9	100.000 kr. (flow-, niveau- og regnmåler)	35.000 kr.	3.000 kr.	Etableringsomkostninger (flow-, niveau- og regnmålerkampagne) Konkretårs-beregning: 1 dag pr. bygværk
Niveau 4	-18.6 / 10.9	150.000 kr.	25.000 kr.	3.000 kr.	Etableringsomkostninger (niveaumåler, rengøring bygværk, scanning bygværk, CFD-beregning.) Drift (niveaumåler)
Niveau 5	-1.4	36.000 kr.	36.000 kr.	3.000 kr.	Etablering- og driftsomkostninger (flowmåler)

Samlet ud fra dette eksempel kan ses, at et højere niveau (mindre usikkerhed) ikke nødvendigvis medfører flere driftsomkostninger pr. år. Dette er på mange måder overraskende i forhold til, at det kræver mere teknologi, des højere vidensniveau der ønskes. Det må understreges, at hvis man investerer i denne type måling bør det baseres på om man vurderer, at overløbsbygværket påvirker signifikant i recipienten. Omvendt vil et lille bygværk med få årlige aflastninger til en robust recipient ikke være en velegnet kandidat til højere niveauer. En alternativ måde at vurdere ovenstående resultater vil være at gøre omkostningerne relative til aflastet antal m³/år. Det kunne gøres ved at screene overløbsværkerne med niveau 1 og derefter udpege relevante bygværker for nærmere analyse og monitoring.

3.4 Værdi af datavisualisering

Målinger i forbindelse med overløb vil uden tvivl være en standard fremgangsmåde i forbindelse med forvaltning af udledninger i fremtiden. Udover rapportering og eventuelle fremtidige bøder når udledningstilladelser ikke overholdes, som man ser det i UK, så reflekterer overløbs data hele oplandet på godt og ondt. I forhold til indberetningen af bygværkerne kan data bruges til at forbedre modellerne til niveau 3 i PULS. Ved at måle dynamisk på vandmængder og stofmængder kan man kalibrere modellerne på plads. En

væsentlig årsag til usikkerhed på enkelte bygværker er brugen af typetal til estimerings af stofbelastning.

Typetal er isoleret set meget velegnede hvis man skal arbejde med totaludledninger fra et stort vandløbsopland til det marine miljø. Det skyldes, at usikkerhederne fra et enkelt bygværk udlignes, når det kombineres med udledninger fra andre bygværker. Jo flere oplande og bygværker der bruges i beregningerne – jo mere præcis bliver middelværdien.

Når det kommer til den lokale påvirkning fra et enkelt bygværk på et sårbart vandløb, eller et lokalområde omkring et udløb, er en mere detaljeret stofpåvirkning nødvendig, og det kræver data. Som minimum en samtidig flow og stof-målekampagne, der dækker en række hændelser (f.eks. 20 eller mere), hvorefter man kan flytte stof-måleudstyret videre til andre bygværker, men typisk vil bibeholde vandstand eller flowmåling til volumen bestemmelse. Man vil med stof-måleperioden opnå et meget bedre lokalt koncentrationstal for det overløbsbygværk, der kan erstatte det generiske typetal fremadrettet.

Samkøring af data, ikke kun stof og volumen, men også nedbør og oplandsbeskrivelsen åbner desuden muligheder for at anvende tidsvarierende stofkoncentrationer. Projektet har flere steder målt store variationer i koncentrationer over tid, fra en first flush effekt til en kraftig fortynding når rørene er helt skyllet igennem.

Da metoderne beskrevet i projektet er baseret på batteridrevne og trådløse IoT enheder er man ikke afhængig af fast infrastruktur. I den sammenhæng hjælper en dataplatform - med metadata og adskillelse mellem punkter og udstyr - til at sikre fuldt udbytte af målingerne.

Flere overløbshændelser også i dette projekt er opstået som følge af uforudsete fejl eller komplikationer i driften af kloaksystemer. Skaden fra driftsforstyrrelser kan til tider undgås eller kraftigt minimeres med tidlig respons fra driften hvis årsagerne kan bestemmes. Som et eksempel i projektet blev der konstateret forhøjede ammoniumkoncentrationer i et vandløb i tørvejr, og via vandstande i oplandet og bassiner med overløb kunne årsagen hurtigt identificeres og forhindre utilsigtede udledninger af spildevand opstrøms målepunktet. Man får også et bedre "fingeraftryk" af normalsituationen i recipienten og kan sammenligne forskellige oplande efter størrelse og type. Ved at følge udviklingen via dataportalen er det nemmere at forstå, hvordan naturlige og påvirkede vandløb adskiller sig fra hinanden og samtidig visualisere hvordan landbrugsudledninger og by-udledninger varierer i vandløb.

De i projektet udviklede metoder er hovedsagelig baseret på en detaljeret måling med høj tidsopløsning, der er væsentlig i forhold til den hydrauliske dynamik i oplandet. I forvaltningsmæssig tilgang med fokus på de integrerede effekter i en recipient, ønskes ikke den fulde dynamik, men nogle integrerede og midlede påvirkninger. En dataportals evne til at kunne give den fulde tidslige og dynamiske transparens samtidig med de integrerede størrelser til indrapportering er vigtig og sikrer netop den brede anvendelse af data. Overløbsdata fra specielt niveau 4 og 5 kan således automatisk samles til afrapportering, forenkle indberetningen og samtidig skaffe dokumentation for hver tal.

Specielt nu hvor forsyningerne bliver ansvarlige for indberetninger kan man forestille sig, at nogle bygværker (fx de med flest udledninger) automatisk kan opføre udledningen af stofmængder. Sker der forbedringer/afskæring i forhold til denne type bygværker, vil værdierne automatisk og løbende blive opdateret. Selvom dette projekt har vist potentialet og demonstreret det i fuld skala, må det samtidig erkendes at det sjældent er muligt at overføre data uden en vis form for håndholdt aktivitet. Det er derfor en klar anbefaling, at de udviklede værktøjer bringes i anvendelse på udvalgte bygværker for at reducere usikkerheden og forbedre dokumentationen i forbindelse med overløb.

4. Målinger af overløb

Projektet har undersøgt både In-sewer og In-stream målinger af overløb; særligt er der udviklet metoder til at måle i recipienten for at undgå driftsmæssige ulemper ved målinger In-sewer, men også for at fokusere på effekten i recipienten frem for udledning- en. Projektet demonstrerede anvendelse af softwaresensorer til at overvåge emissioner fra overløbsbygværker og målte kvælstof, fosfor og organisk stof. Softwaresensorerne viste sig som en på- lidelig metode, med bl.a. 92% genfindning af ammonium i vandløb- et. Målinger gør det muligt at vurdere byers bidrag til forurening i nær- og fjernrecipienter, og metoden kan understøtte prioritering af reduktionstiltag på mest belastende overløbsbygværker.

4.1 In-sewer Vs. In-stream - fordele og ulemper

Det grundliggende princip ved overvågning af overløb med sensorer, at det er muligt at drive systemet med et minimum af drift. Praktiske erfaring med at placere sensorer inde i et spildevandssystem er, at sensorerne meget nemt kan blive slammet til af ristegods, papir og andre faste tråde og partikler således, at sensor ikke har direkte kontakt med spildevandet. I værste tilfælde kan der samle sig så meget, at der bliver så store hydrodynamiske kræfter under regnhændelser, at det mekanisk kan skade sensoren.



FIGUR 2. Dryp vandkvalitets-målestation i Bunds Å.

Dette kan til dels imødegås ved at måle nedstrøms overløbet. Her vil spildevandet være fortyndet og ikke indeholde så mange fiber/partikler, der kan reducere kvaliteten af målingen.

Det må også fremhæves, at det giver metodemæssigt mening at måle direkte i den recipient, der er påvirket. Da de målte parametre kan være naturligt forekommende i vandløbet, er det også nødvendigt at måle opstrøms overløbet. Dette udgør både en fordel og ulempe. For det første giver det mulighed for at interkalibrere sensorerne så udgangspunktet i tørvejr, giver samme måleværdi. Det er en nødvendighed for anvendelse af softwaresensor metoden for stof beskrevet i afsnit 9.1.1. Ulempen er at der i vandløb kan være dyr (f.eks. snegle) og planter der kan påvirke sensorerne. FIGUR 2 viser en vandløbsmålestation i Bunds Å der både måler vandstand og vandkvalitetsparametre. De ionselektive sensorer er placeret inde i et 70 mm PVC-rør, med et endestykke der vertikalt peger 45° nedstrøms. På den måde skabes et lavt tryk bagved, der hiver nyt vand ind til sensoren. Desuden forhindrer det aflejring af sediment i PVC-røret. Røret beskytter ligeledes sensorerne mod flydende træstykker, der kan falde ned i vandløbet. Røret er placeret således, at sensorerne permanent er under vand og dermed tørrer sensorernes membraner ikke ud. Målestationen placeres ved den ene side af vandløbet således, at der er nem adgang til udstyret og så der er mindst muligt grøde/affald der kan sætte sig rundt om stationen.

4.2 Softwaresensor

En softwaresensor er i dette projekt defineret som en matematisk relation mellem én eller flere parametre man er i stand til at måle, og én eller flere parametre der kan være svære at måle. Det kan fx skyldes, at der endnu ikke er pålidelige sensorer, der kan måle den parameter eller, at sådant måleudstyr er for kostbare eller svært at operere ude i naturen (pga. størrelse, strømforbrug, kemikalier, betjening osv.). Et eksempel er, at det er nemt at måle ammonium-koncentrationen med en ionselektiv-elektrode – men det er svært at måle mængden af total organisk stof (COD). Men hvis der er en nogenlunde fast sammenhæng mellem de to parametre, kan man nøjes med at måle den ene for at estimere den anden.

Et andet koncept i dette projekt er, at det ikke altid er nødvendigt at måle den absolutte koncentration, men i stedet bruge den relative koncentration. Hvis man igen tager en ionselektiv sensor som ammoniumsensoren, kan adgangsniveauet glide over tid, men hvis man tilføjer ammonium til vandet, vil den relative stigning i ammonium være væsentlig mere præcis og indirekte med softwaresensoren. Man trækker dermed den systematiske fejl fra to målinger. Har man to sensorer, der viser et forskelligt udgangsniveau, kan man antage at vandet har samme koncentration, når det passerer de to sensorer. Nu kan man inter-kalibrere dem med hinanden og en systematisk afvigelse er dermed fjernet.

Projekt har vist, at mængden af stof i vandløbet kan bestemmes direkte og indirekte med sensorer i vandet. Det er også vist, at det er muligt at måle med stabile og omkostnings-effektive sensorer og få viden om udledning af stof, der ellers ville koste mange gange mere, hvis det skulle bestemmes med prøvetagning og analyse.

4.3 Emission bestemt ved softwaresensorer

Et eksempel på hvordan man kan bruge softwaresensorer til bestemmelse af emissioner af organisk stof, kvælstof og fosfor er overløbsbygværket på Thulevej hos Vandcenter Syd.

TABEL 4. Aflastet stofmængde til Stavids Å over 27 hændelser i 2021.

	Middelværdi [kg]	Median [kg]	Spredning [kg]	Variabilitetskoefficient [%]
Kvælstof	52,8	51,8	8,7	16,5
Fosfor	9,5	9,3	1,6	17,1
COD	1007,3	990,0	180,2	17,9

Foruden en bestemmelse af de aflastede stofmængder, er det også muligt at skønne usikkerheden på dette estimat.

Usikkerheden på den enkelte hændelse i TABEL 4 stammer fra den spredning, der er fundet i en kombination af FIGUR 81 og FIGUR 82 i afsnit 9.9 side 103. Hvis man er interesseret i den gennemsnitlige usikkerhed over en længere periode (f.eks. et år) i Stavids Å, vil den være væsentlig mindre end angivet i TABEL 4, da man skal bruge regressionslinjerne til beregningen.

I gennemsnit blev 92% af ammoniummængderne målt i afløbssystemet genfundet ved målinger i vandløbet. Det understreger, at metoden med softwaresensorer er pålidelig til overvågning af overløb, men det kræver en vis mængde interkalibrering mellem målinger, og at det er absolut nødvendigt med en manuel målekampagne for at sikre, at man bestemmer det absolutte niveau fra hvert bygværk.

5. Tiltag til reduktion

Projektet fokuserede på reduktion af stof fra overløb frem for blot at reducere antallet af overløbshændelser. Ved at kombinere data og modellering kan lokale forhold tages i betragtning, hvilket hjælper med at målrette indsatsen mod specifikke overløb.

Ombygninger af overløbsbygværker resulterede i betydelig reduktion af overløbsmængder og -frekvenser.

Sedimentationsforsøg med jernklorid i rørsystemer viste, at eksisterende infrastruktur kan bruges til at binde opløst fosfor i partikler. Selvom metoden kræver yderligere tilpasning, er den lovende for overløb med høj fosforbelastning.

5.1 Formål med reduktioner

Gennem tiden er mange udledningstilladelser i Danmark givet på baggrund af beregnede antal overløb om året til en recipient. Det vil sige, at mange kloakoverløb til åer, søer og havet er i dag reguleret efter det gennemsnitlige antal overløb om året. Derfor har reduktion af overløb traditionelt set fokuseret på en reduktion af det årlige antal af overløbshændelser eller på en reduktion af vandmængderne som afledes. Det var relativt nyt da projektet startede med at se på de nye teknologiske muligheder for reduktion af aflastningerne i form af stofmængder og koncentrationer, og set i forhold til deres belastning på recipienten.

I dag arbejdes der for at der skal opnås "god tilstand" i de danske recipienter, og her spiller krav i Vandområdeplaner en vigtig rolle. Udledninger fra fælleskloak er input til Vandområdeplanerne hvor målet er, at alt målsat vand skal være i "god tilstand" i 2027, og hvor "god tilstand" måles på en række biologiske parametre, fx tilstedeværelsen af smådyr, bundplanter, bestemte typer af alger og fisk. Et par af målene som er specielt relevante for overløb er at:

- Reducere udledningen af næringsstoffer til de danske søer, fjorde og kyster
- Forbedre tilstanden i søerne ved at reducere udledningen af fosfor

Vandområdeplaner summerer mængderne af fx kvælstof og fosfor, og sammenholder med de belastninger, som er estimeret, at vandområdet maksimalt må udsættes for. Ser man på akkumulerede mængder som input til vandområdeplanerne, så vægter kloakoverløbene i Danmark ikke meget; over et år står overløb for ca. 1-2 procent af den årlige udledte kvælstofmængde og fosfor udgør cirka 6-8 procent².

Men kloakoverløb kan sagtens være et stort lokalt problem med konsekvenser for flora og fauna og potentiel sundhedsrisiko ved badning. Dette projekt arbejder på at forbedre data- og vidensgrundlaget for vand og stoftransport i overløbsvand gennem målinger og modellering således, at man kan reducere belastningen af en recipient for lige netop de lokale forhold, som måske er under pres. Det vil sige, at projektet arbejder med det enkelte overløbs effekt på recipienten, og har fokus på at kloakoverløb reduceres til et niveau, hvor deres vandmængder og forureningsindhold ikke volder skade på recipienten. Udvælgelsen af overløbsbygværker til ombygning er suppleret med analyser af recipientens biologiske og fysiske forhold, som

² Kragesteen, "Urenset spildevand løber ud i havet – men hvor stort er problemet? Altinget 2. juni 2020

undersøges før og efter ombygning, så effekten af reduceret overløb måske kan ses i recipienten, hvis tiden tillader at effekterne bliver store nok til at de kan kvalificeres.

5.2 Erfaringer med screeninger og ombygninger af overløbsbygværker

I projektet er der screenet en række overløbsbygværker for muligheder for mindre tiltag til reduktion.

Bygværkerne er i projektet også valgt ud fra lokaliteter, hvor målinger var mulige. De udvalgte bygværker i projektet er gennemgået med henblik på at reducere overløbsmængderne for at mindske påvirkningen af recipienten. Gennemgangen har ført til, at to bygværker er ombygget i Novafos, begge ved at hæve overløbskanten. To andre bygværker er ombygget hos Vandcenter Syd; her er der for det ene bygværk indført en ny rist og spjæld med styring, samt øget den videreførende kapacitet. For det andet bygværk er der sat et nyt bygværk med en højere kant. Reduktionerne ved de gennemførte ombygninger har for Novafos været omkring en halvering i overløbsmængder og -frekvens. For Vandcenter Syd har ombygningerne medført en reduktion i overløbsmængder og -frekvens samlet i oplandet, og ved det ene bygværk har det også medført en reduktion i udledte stofkoncentrationer.

Ombygningerne har også medført en række læringspunkter. Projektet ser en stor værdi i at scanne bygværkerne både inden ombygning, til brug i screeningen og projekteringen, men også efterfølgende som dokumentation.

Novafos har med udgangspunkt i erfaringerne fra dette projekt opstartet en systematisk gennemgang af overløbsbygværkerne i deres forsyningsområde. Formålet er at, hvor det er muligt, at reducere miljøpåvirkningen med mindre tiltag.

Valget af bygværker sker ved hjælp af lokalviden omkring mulige reduktionspotentialer, uudnyttet kapacitet, eller fordi recipienten har et behov. Således hentes der lokalviden både internt i forsyningen og fra kommunerne. Bygværkerne bliver gennemgået i projektgruppen og forskellige tiltag diskuteres: forøgelse af opstrøms og videreførende kapacitet, hævnung af kanter, ændringer i styringer eller reguleringer af bassiner. Konsekvenserne af det udvalgte tiltag gennemgås herefter. Herunder diskuteres stuvningsrisiko, indflydelse på opstrøms og nedstrøms systemer samt bygbarhed. Begrænsningerne i gennemførsel af tiltag omhandler særligt risici for stuvning for omkringliggende kældre, modelusikkerheder, bygbarhed, arbejdsmiljøhensyn og myndighedstilladelser. Men til trods for disse begrænsninger er der i Novafos flere overløbsbygværker, hvor der ved mindre tiltag opnås reduktioner på op til 50 % af overløbsmængderne.

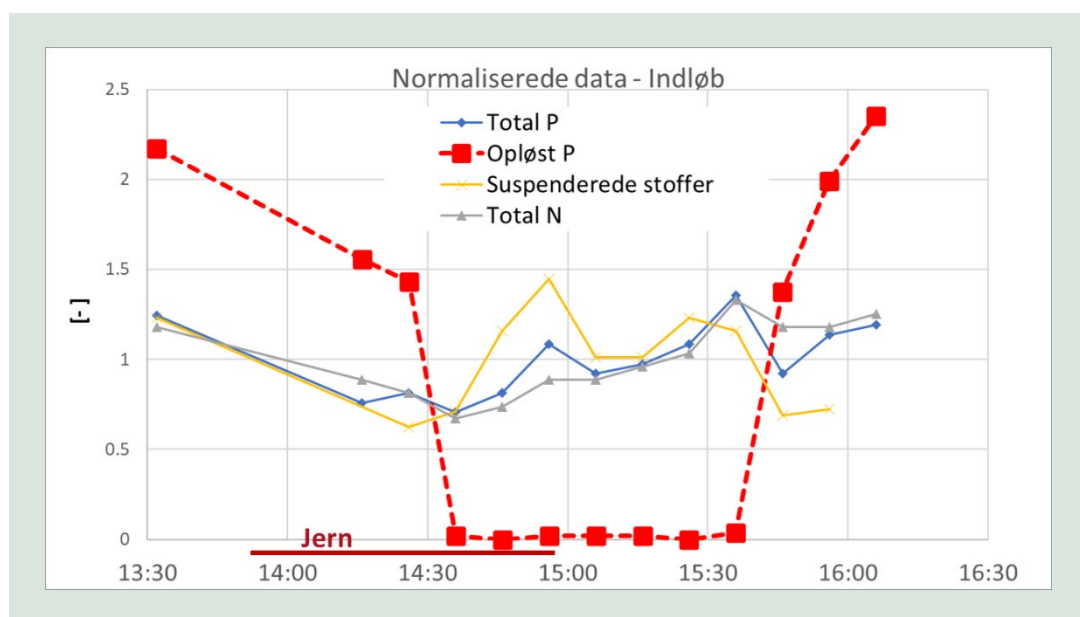
5.3 Sedimentationsforsøg

I projektet er der gennemført et fuldskalapilotforsøg med dosering af hjælpepestoffer i kloakken, for at reducere stofbelastningen fra det opblandede spildevand. Præmissen for forsøget var fortsat at bruge eksisterende infrastruktur i et afløbssystem. Hypotesen var, at man kan bruge afløbssystemet som reaktor til binde partikler og dermed gøre det mindre biotilgængeligt.

Forsøget var et pilotforsøg og således har der været en del praktiske besværligheder og erfaringer. Særligt har det været komplekst, at forsøget er foregået manuelt, og således har der skulle stilles med et hold på minimum fire personer på plads til at starte både prøvetagning og doseringer i god tid inden overløb sker fra sedimentationsbassinet. Det anbefales derfor også, at skal der arbejdes videre med koncept fremadrettet automatiserer dosering og prøvetagning

I sidste halvdel af 2023 blev der lavet nogle vellykkede sedimentationsforsøg, hvor timing og instrumenter fungerede for både prøvetagning og dosering. Det kan således vises, at rørsystemet i sig selv fungerer fremragende som reaktor til opblanding og reaktioner med

jernklorid. FIGUR 3 viser hvorledes koncentrationen af opløst fosfor praktisk taget går i nul som konsekvens af den opstrøms dosering med jernklorid.



FIGUR 3. Normaliserede koncentrationer af holdholdsvis total fosfor, opløst fosfor, opløste stoffer og totalt kvælstof med dosering af jernklorid i tørvejr.

Når først fosfor er bragt fra opløst til partikulær form, er det muligt at fjerne det fra afløbssystemet. For at undersøge hvor meget fosfor og andet partikulær forurening, der fjernes ved udfældning i bassinet, er der i projektet målt koncentrationer i både indløbet og overløbet. Det viser i imidlertid at for den enkelte hændelse tilfører bassinet netto fosfor til vandet fra det løber ind i bassinet til det løber over. Dette kan kun forklares ved, at stof fra tidligere hændelser på bunden af bassinet bliver hvirvlet op af de kraftige strømninger under overløbshændelsen.

Der kan uddrages følgende konklusioner på sedimentationsforsøget:

1. Rørsystemet fungerer godt som reaktor. Med meget simpelt og robust udstyr kan man få bundet opløst fosfor i partikler.
2. Vi kan ikke ud fra dette forsøg konkludere om opsætningen fungerer til at fjerne fosfor ved sedimentation, pga. stoftilførsel fra tidligere hændelser.
3. Rengøring af online overløbsbassiner er meget vigtig. Hvis bassinet havde haft et automatisk skyllesystem, må vi formode at fosforindholdet i overløbsvandet ville være mindsket signifikant.

Sedimentation i overløbsvand har potentiale for flere typer af overløb, hvor der er behov for fosforreduktioner her og nu, og der er eksisterende infrastruktur der kan udnyttes; men også ved nyanlæg, hvor det kan ses som et alternativ at reducere overløbsvandmængder.

6. Samfundsøkonomiske beregninger

En samfundsøkonomisk analyse af ombygninger af overløbsbygværker viste både positive og negative økonomiske konsekvenser, afhængigt af omfanget af ombygning og reduktionen af kvælstof og fosfor i det enkelte opland. Nogle miljøgevinster som reduceret kvælstof og fosfor kan prissættes og inkluderes i samfundsøkonomiske analyser, men nogle gevinster kan ikke værdisættes, såsom rekreative værdier og forbedringer i vandløbsmiljøet, hvilket påvirker det samlede resultat.

Ombygning af overløbsbygværker kan give miljømæssige gevinster, men en helhedsorienteret vurdering af effekter som forbedret arbejdsmiljø og vandløbskvalitet bør inkluderes for at forstå de fulde konsekvenser. Resultaterne viser, at en helhedsorienteret tilgang, kan give indsigt i følgeeffekter af tidligere investeringer, hvilket er nyttigt for fremtidige projekter i vandsektoren.

6.1 Samfundsøkonomi ved reduktion af overløb

Der er gennemført en samfundsøkonomisk analyse af ombygninger af overløbsbygværker ved Novafos og Vandcenter Syd, som skal kortlægge og dokumentere om der er en positiv eller negativ samfundsøkonomisk konsekvens af indsatserne.

Resultatet bliver en opgørelse af den samfundsøkonomiske nettonutidsværdi, dvs. en opsummering af alle omkostninger og gevinster over projektets levetid målt i kroner, som følger Finansministeriets vejledning i samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger.

Nogle omkostninger og gevinster, som f.eks. anlægsomkostninger ved et projekt, er allerede i kroner, mens andre omkostninger og gevinster for samfundet som klima- eller miljøeffekter skal værdisættes, for at kunne indgå i den samlede vurdering.

De samfundsøkonomiske omkostninger ved anlægsprojekter som reducerer overløb, er primært udgifter til bygge- og anlægsarbejdet, udstyr samt vedligehold og drift, og det er kun meromkostningerne i forhold til de eksisterende anlæg indgå i den samfundsøkonomiske analyse. Herudover kommer samfundsomkostninger ved bygge- og anlægsarbejdet, som omfatter klimaaftrykket af byggematerialerne samt udledninger af drivhusgasser og luftforurening i byggeprocessen, f.eks. fra elforbrug og dieselforbrug til arbejdsmaskiner. Klimaeffekterne værdisættes med EU CO₂-kvoteprisen, mens luftforureningen målt i NO_x, SO_x og partikler værdisættes med sundhedsgenerne, som udledningerne medfører, ud fra en rapport fra Aarhus Universitet.

Gevinster der kan prissættes, er miljøeffekterne ved reducerede overløb er modelleret ud fra PULS-databasen og omfatter reduceret organisk stof (COD), kvælstof (N) og fosfor (P) i vandmiljøet. På nuværende tidspunkt findes grundlag for værdisætningen af kvælstof og fosfor. Andre miljøeffekter som ændringer i organisk stof eller Dansk Vandløbs Fauna Indeks kan for nuværende ikke værdisættes.

Ved brug af opsatte samfundsøkonomiske model, vil ombygningen af overløbsbygværket ved Lindevangsvej medfører en samfundsøkonomisk gevinst, da miljøgevinsten ved at fjerne fosforudledning til Birkerød sø overstiger omkostningerne til anlægs- og driftsarbejdet. Det skyldes, at alternativomkostningerne, som bruges til værdisætningen af fosforreduktionen, er meget høje.

Ombygningen af Annexgården medfører, ved brug af opsatte samfundsøkonomiske model, en samfundsøkonomisk omkostning, da miljøgevinsten af reduceret kvælstofudledning til Roskilde Fjord ikke opvejer omkostningerne til ombygningen.

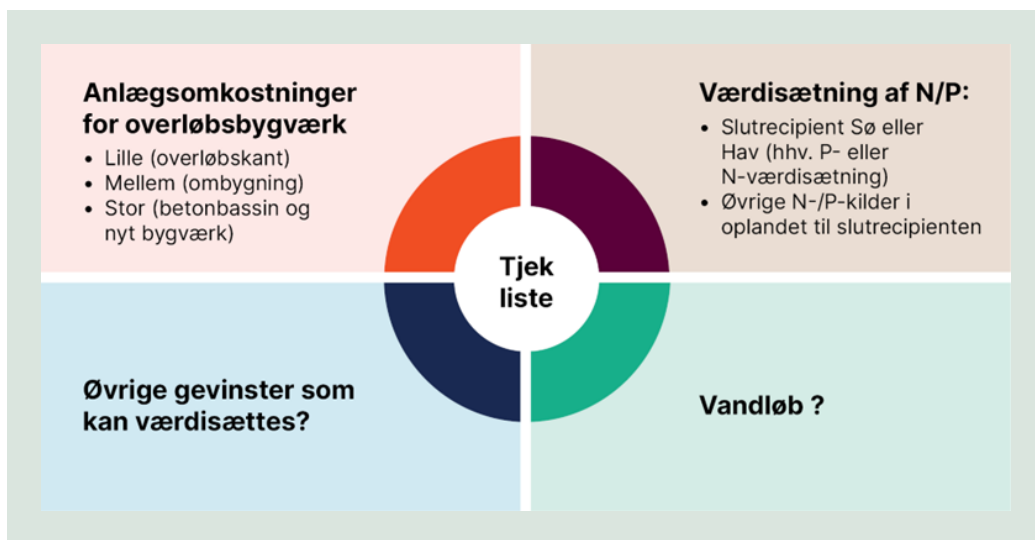
Vandcenter Syd's ombygningsprojekter leder, ved brug af opsatte samfundsøkonomiske model, til en større samfundsøkonomisk omkostning. Det skyldes forholdsvis store og dyre ombygninger, der tilsammen reducerer kvælstofudledningen til Stavids Å, men konsekvensen er en merudledning fra Nordvest Renseanlæg, som ligger nedstrøms i vandløbet. Samlet er der en nettoreduktion i slutrecipienten Odense Fjord som følge af ombygningerne.

De samfundsøkonomiske resultater skal tages med forbehold over for de antagelser og forudsætninger, som er lagt til grund for analysen. Resultaterne et konservativt skøn på de samfundsøkonomiske omkostninger, da der er være gevinster for samfundet, som ikke er værdisæt i analysen, f.eks. vandløbsmiljø og -kvalitet, rekreative værdier, arbejdsmiljø ved overløbsbygværket etc.

Der tegner sig dermed ikke et ensidigt og klart billede af den samfundsøkonomiske konsekvenser af de ombygninger af overløbsbygværkerne, som er behandlet i dette projekt. Af væsentlige faktorer for det samfundsøkonomiske resultat er det konkretet opland samt de værdisætninger af reduktionen af hhv. N og P for oplandet, som man fx konstaterede i Novafos. Ligeledes er omfanget af- og investeringen i ombygningen en meget væsentlig faktor for det samfundsøkonomiske resultat.

Forhold omkring konsekvenserne i det system som overløbsbygværket er en del af, er vigtige at medtage i en helhedsorienteret betragtning af de enkelte ombygninger. F.eks. om det har en negativ konsekvens for det bagvedlæggende afløbssystem, eller om man flytter udledninger andre steder hen i afløbssystemet, som man konstaterede i Odense.

Beslutning og realisering af reduktioner af miljøbelastningen fra overløbsbygværker, må bygge på et mere helhedsorienteret beslutningsgrundlag som vist i FIGUR 4.



FIGUR 4. Faktorer der bør tages i beregning og en helhedsorienteret vurdering i forbindelse med beslutninger og realiseringer af reduktioner af miljøbelastningen fra overløb.

Fokus i Giber Å oplandet har været anderledes end i de to andre oplande i projektet. Modsat de to andre oplande i projektet, hvor der er arbejdet med specifikke overløbsstrukturer er der i Giber Å oplandet arbejdet med hele den øvre halvdel af Giber Å og de forskellige typer af udløb til åen. Da investeringerne i centralisering og kloakseparation er foregået over flere årtier, ligger en detaljeret og konkret samfundsøkonomiske analyse for investeringer og gevinster i Giber Å uden for dette projekts rammer og mål. En mere omfattende analyse ville skulle til, for at lave en samfundsøkonomisk beregning. Ofte omtales Giber Å oplandet som "et løst problem", men som rapporten her viser, så har separering af kloaksystemet også nogle følgeeffekter på vandløbet. Det kan være viden at hente for hele vandsektoren ved at foretage en mere dybdegående retrospektiv analyse med fokus på læring og perspektiver til fremtidige investeringer i andre vandoplande.

Samlet kan der for den samfundsøkonomiske analyse konkluderes at:

- Renovering og ombygninger af overløbsbygværker kan have både positive og negative samfundsøkonomiske konsekvenser.
- Omkostninger ved renoveringsprojekter af overløb inkluderer anlægsomkostninger, driftsomkostninger og samfundsomkostninger som klimaaftryk og luftforurening.
- Miljøgevinster som reducerede udledninger af kvælstof og fosfor kan prissættes og dermed bidrage til de samfundsøkonomiske analyser. Denne prissætning er varierende og afhængig af det konkrete opland.
- Gevinster der ikke kunne prissættes og dermed ikke indgå i den samfundsøkonomiske beregning er f.eks. miljøeffekter i vandløbene, et evt. bedre arbejdsmiljø for driftsmedarbejderne etc.
- Analysen viser behovet for en helhedsorienteret tilgang, der tager hensyn til forskellige faktorer som vandløbsmiljø, rekreative værdier og arbejdsmiljø.
- Samfundsøkonomiske analyser af renoveringer af overløbsbygværker bør baseres på nøjagtige værdisætninger og realistiske antagelser for at opnå mere pålidelige resultater.

7. Oplandsanalyser og Påvirkninger af recipienten

GIS-baserede oplandsanalyser viste sig som et nyttigt værktøj til at vurdere overløbs indvirkning på recipienter. Analyserne hjalp med at identificere områder, hvor reduktion af overløb har størst effekt. Projektet bekræftede, at overløb kan have både akutte og akkumulerede effekter på vandmiljøet, afhængigt af oplandets øvrige påvirkninger. Sensorer brugt under overløb afslørede ændringer i fysiske parametre, som kan anvendes til økologisk vurdering. Reduktion af overløb via metoder som øget tilbageholdelse, magasineringskapacitet eller kloakseparering kan mindske miljøbelastning, men omkostninger og den lokale effekt på recipienten skal overvejes grundigt. Anvendelsen af Dansk Vandløbsfaunaindeks og diversitetsindeks viste, at biologiske forbedringer ikke altid er umiddelbare efter tiltag. Der kan gå flere år, før miljøforbedringer bliver biologisk synlige, hvilket har betydning for samfundsmæssige forventninger.

7.1 Oplandsanalyser som værktøj

Recipientens tilstand afhænger af den samlede påvirkning fra det totale opland både mht. stofudledninger, hydrauliske effekter og påvirkninger af de fysiske forhold. Udledninger fra overløb kan betyde meget eller lidt afhængigt af størrelsen af det øvrige opland og miljøpåvirkningerne fra det øvrige opland. Derfor er potentialet for eventuelle påvirkninger af recipienten undersøgt vha. GIS-baserede oplandsanalyser. Det kan konkluderes, at oplandsanalyser er et vigtigt og brugbart værktøj til at vurdere potentialet for effekter af overløb på recipienterne.

I dette projekt er der arbejdet med alt fra recipienter hvor overløbene betyder forholdsvis lidt i forhold den øvrige påvirkning fra resten af oplandet (f.eks. Stavids Å) og til recipienter som hovedsageligt modtager vand via overløb (f.eks. Birkerød Sø) og dermed vil en reduktion af overløbsmængderne have langt større betydning for den recipient, som i højere grad er påvirket af overløb.

Oplandsanalyserne kan udføres vha. tilgængelige kortlag over oplandets sammensætning samt erfaringstal for stofudledning og/eller vha. tal fra sammenlignelige oplande. Det betyder, at oplandsanalyserne som værktøj kan bruges til at sige noget om potentielle bidrag og effekter også selvom man ikke har konkrete målinger fra den pågældende recipient. Dette er testet her i projektet ved, at oplandsanalysen for Stavids Å er udført både med erfaringstal og med konkrete målinger fra vandløbet og med tilfredsstillende overensstemmelse, når man tager forskelle i nedbør mv. i betragtning.

7.2 Målinger af effekter

Det er vigtigt at skelne imellem akutte og akkumulerede effekter af udledninger – også fra overløb. De akutte effekter kan f.eks. være akut toksicitet eller iltfattige forhold pga. udledning af organisk stof. De akkumulerede effekter derimod kan være f.eks. være udledning af næringsstoffer, som sammen med alle de øvrige udledninger fra oplandet, bidrager til

eutrofiering eller det kan være udledning af miljøfremmede stoffer som over tid bidrager til påvirkning af dyrelivet eller som ophobes i fødekæden. De akutte effekter skal måles under eller lige efter overløbshændelsen mens de akkumulerede i høj grad også handler om at måle den generelle miljøtilstand i recipienten.

I dette projekt er der gjort begge dele. Resultaterne viser, at det er svært, men også, at det er muligt, f.eks. via sensormålinger i recipienten. I mange tilfælde sås det f.eks. i Stavids Å, at der kan måles ændringer i f.eks. temperatur eller ilt under overløb, men også under regnbetingede udledninger, hvor der ikke var overløb. Sensorværdierne kan anvendes til at vurdere om ændringerne har økologisk betydning ved sammenligning med de niveauer man typisk sammenligner med³. I 3 års målinger i Stavids Å viser som nævnt både betydende og ikke betydende ændringer både under overløb, men også under hændelser uden overløb. Det skyldes, at der er et meget stort øvrigt opland til den pågældende vandløbsstrækning, som påvirker langt mere. Det gælder både de fysiske parametre som temperatur og ilt, men også mht. målingerne af vandkvalitet er det svært at adskille effekter fra oplandets øvrige påvirkning. Betydningen kan dog have økologisk betydning i vandløb hvor en langt større andel af vand- og stoftransporten udgøres af overløb og her er kontinuerte målinger via sensorer en oplagt løsning til at vurdere effekterne og potentialet for reduktion ved diverse tiltag.

7.3 Miljømæssige vurderinger af tiltag til reduktion

Tiltag til reduktion af overløb som f.eks. forhøjelse af overløbskanten har umiddelbare og let målbare miljømæssige effekter. Det kan være en konkret reduktion i antallet af overløb eller i udløbsmængderne af både stof og vand, men det kan også være tiltag som er langt sværere at måle nemlig de biologiske effekter. I projektet er smådyrssammensætningen i form af Dansk Vandløbsfaunaindeks og diverse diversitetsindeks brugt som indikator til at vurdere de miljømæssige effekter af de gennemførte tiltag til reduktion. Resultaterne viser, at det er muligt at se forskelle i den biologiske kvalitet, når man sammenligner de undersøgte recipienter med den både målte og forventelige dårligste vandkvalitet med de recipienter, som forventeligt har en bedre og/eller god vandkvalitet både som følge af overløb, men også som følge af alle de øvrige påvirkninger fra det totale opland.

Derimod har det været langt sværere at vurdere de biologiske effekter af de gennemførte tiltag, da effekten ikke nødvendigvis slår igennem med det samme og vi har kun haft mulighed for at følge effekterne i 1-2 år efter at tiltagene er gennemført. Det kan f.eks. skyldes, at arterne skal genindvandre til området med forbedret vandkvalitet, at der er andre påvirkninger fra det øvrige opland som betyder, at de biologiske forhold ikke forbedres eller, at de fysiske forhold i recipienten også påvirker muligheden for forbedrede biologiske forhold. I recipienterne undersøgt i dette projekt ses der en stor betydning af de fysiske forhold. Derfor skal effekterne på biologien helst ses over en længere tidshorisont og i et samlet billede. Det ville være meget interessant og relevant at genbesøge de undersøgte recipienter igen om 5-10 år.

Reduktion af overløb kan ske via vidt forskellige tiltag såsom forhøjelse af overløbskanten og dermed øget tilbageholdelse i kloaksystemet, etablering af større magasineringsvolumen og dermed større bufferkapacitet eller separering af oplandet. I forhold til de miljømæssige forhold betyder de to første løsninger en reduktion af både de afledte spildevands- og regnvandsmængder til recipienten, hvor bygværket er placeret og dermed færre miljømæssige påvirkninger. Separering fjerner effekterne af spildevandet helt, men tilfører derimod al regnvandet til recipienten. Det kan kræve rensning og/eller forsinkelse inden udløb for at hindre miljømæssige effekter af regnvandet, men kan også bidrage til vandtilførsel vandløb som i urbane områder med fælleskloak kan mangle vandet, da det rensede spildevand ofte ikke ledes til samme recipient. I dette projekt har det ikke været muligt at sammenligne effekterne af forskellige typer af tiltag, da det gennemførte tiltag har været meget ens.

³ Se f.eks. Tabel 4.1 i [Retningslinjer for udarbejdelse af indsatsplaner – Vandplaner 2010-2015](#)

7.4 **Anbefalinger vedr. miljømæssige vurderinger**

På baggrund af projektets samlede erfaringer anbefales det ved fremtidige vurderinger af miljømæssige effekter af overløbshændelser at:

- udarbejde en GIS-baseret oplandsanalyse over vand- og stoftransport til den pågældende recipient og på den baggrund vurderer den bedste løsning ifht. tiltag for reduktion af overløb.
- anvende sensormålinger til at måle og vurdere ændringer i f.eks. ilt og temperatur under og efter overløb i forhold til den potentielt økologiske betydning.
- planlægge tiltag til reduktion af overløb samtidig med en screening af, hvad der i øvrigt kunne forbedre forholdene i recipienten – f.eks. forbedring af de fysiske forhold og/eller reduktion af øvrige udledninger.
- undersøge de biologiske forhold (gerne smådyrssammensætningen) før gennemførsel af tiltag og igen efter 5 år.

På det mere overordnede niveau anbefales der yderligere undersøgelser af biologiske effekter samt udvikling af værktøjer til vurderinger af udledningers effekter på de biologiske forhold. Det gælder ikke kun toksiske effekter og/eller effekter som medfører, at arterne forsvinder fra området, men også effekter som medfører f.eks. morfologiske effekter.

Leverancer

Oversigt over alle leverancer i projektet

8. Arbejdspakke 1: Forberedelse

8.1 Indledning

Målemetoderne i dette projekt har til formål at kvantificere de hydrauliske og stofmæssige effekter af regnbetingede udledninger. Kort opsummeret betyder det, at vi ønsker at kunne bestemme, hvor meget hvert udledningspunkt påvirker vandkvaliteten og i sidste ende den økologiske tilstand af vandløbet. Den overordnede ambition er at kunne vælge forbedringstiltag til opfyldelse af recipienttilstanden under hensyntagen til det samfundsøkonomiske perspektiv. Herunder, kontinuerligt overvåge og evaluere effekterne af tiltag samt kortlægge, data-drevet, hvad årsagerne er til recipientens tilstand.

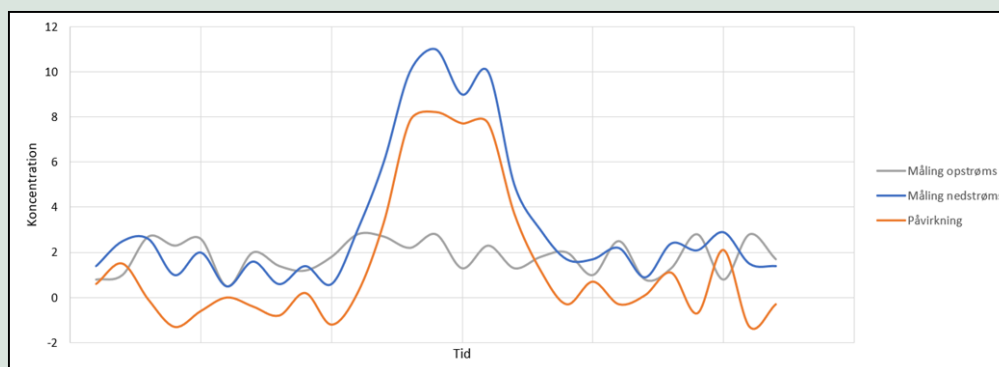
For at detektere, hvornår og fra hvilke kilder vandløbet er påvirket, er der etableret et distribueret måleprogram. Måleprogrammet udfylder tre behov:

1. Bestemmelse af hvor og hvornår der sker regnbetingede udledninger.
2. Bestemmelse af baggrundssituationen i vandløbet.
3. Kvantificere effekten af de regnbetingede udledninger i vandløbet.

1. Bestemmelse af hvor og hvornår der sker regnbetingede udledninger gøres via gængse metoder. Her måles vandstanden i udledningspunktet og denne kotesættes sammen med overløbskant eller udløbsledning. Dermed kan tidspunkt og varighed af udledningen bestemmes på baggrund af vandstanden. Desuden vil det for flere overløbsbygværker være muligt at opstille en Qh-relation og dermed estimere udledningsmængder og i enkelte bygværker måles overløbsvandføringen.

2. Baggrundssituationen i vandløbet bestemmes ved at etablere målestationer på udvalgte steder i vandløbet. Det er vigtigt at stationerne repræsenterer tilstanden de vigtigste steder i åen, blandt andet opstrøms og nedstrøms de største udledningspunkter. Målesteder i vandløbet til at vurdere effekten af en udledning, skal placeres et stykke nedstrøms herfra for at se den fulde effekt. Præcis hvor afhænger af mange forhold som fald, vandføring i den enkelte hændelse men et godt udgangspunkt er min. 500 m.

3. For at kvantificere effekten af de regnbetingede udledninger kan der måles både opstrøms og nedstrøms for et udledningspunkt og ændringen mellem de to stationer kan tilskrives udledningspunktet (illustreret på FIGUR 5). Alternativt kan der tages udgangspunkt i baggrundssituationen i åen inden regnhændelsen starter. Den ændring der måtte være under regnhændelsen kan derfor tilskrives de samlede udledninger opstrøms.



FIGUR 5. Påvirkning fra udledninger mellem to vandløbsstationer.

Ud over at kunne detektere, hvornår og fra hvilke kilder et vandløb er påvirket, er der i projektet også arbejdet med de forskellige indberetningsniveauer i PULS (PunktUdLedningsSystem) i relation til forskellige metoder til bestemmelse af overløbsmængder.

Det er bestemt, at der så vidt muligt anvendes online dataloggere. Dette gøres for kontinuerligt at kunne sikre at alle målinger er reelle og at kunne planlægge driften af sensorerne mest effektivt.

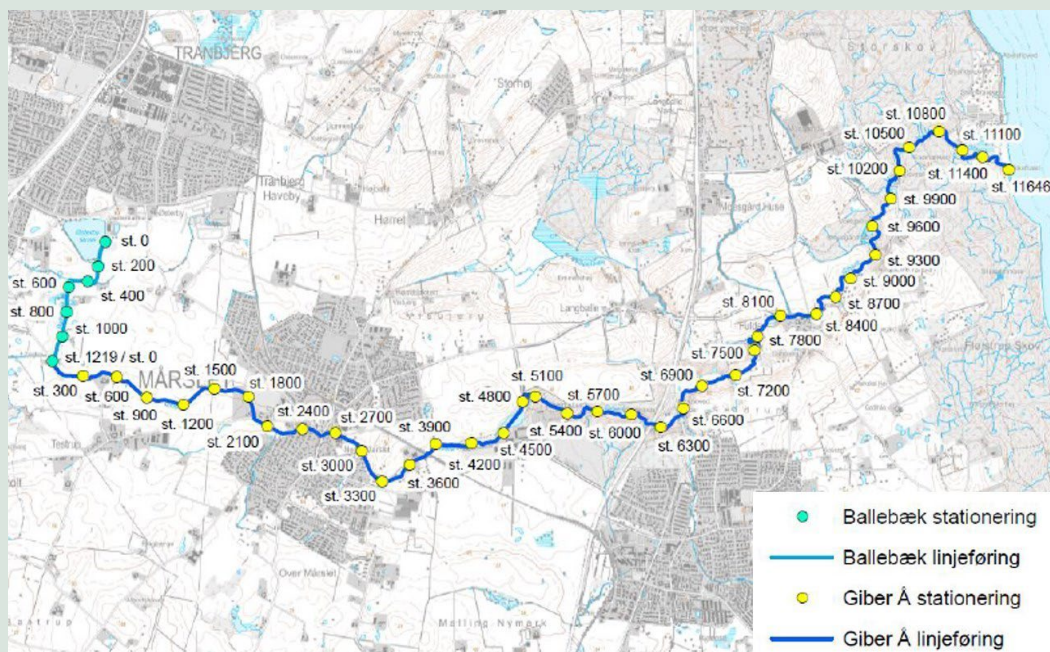
Forud for installationen er der lavet en screening af netværksteknologierne Sigfox, NB-IoT og LTE-Cat-M1. Screening har vist at Sigfox, NB-IoT og LTE-Cat-M1 kan benyttes over jorden (i vandløb), medens der i bygværker under jorden bør benyttes LTE-Cat-M1.

Ved valg af hardware er der lagt vægt på at benytte velkendte og anerkendte produkter til det grundlæggende måleprogram. Derudover er der lagt vægt på at sensorerne kræver mindst muligt vedligehold. Ved udvidelse af måleprogrammet er der anvendt mere eksperimentelle produkter der tester grænserne for pris og kvalitet. I de følgende afsnit beskrives de vandoplande, der er opsat målere i og med hvilket for, og der oplystes de sensorer, der er anvendt i projektet samt erfaringerne med disse.

8.2 Beskrivelse af cases

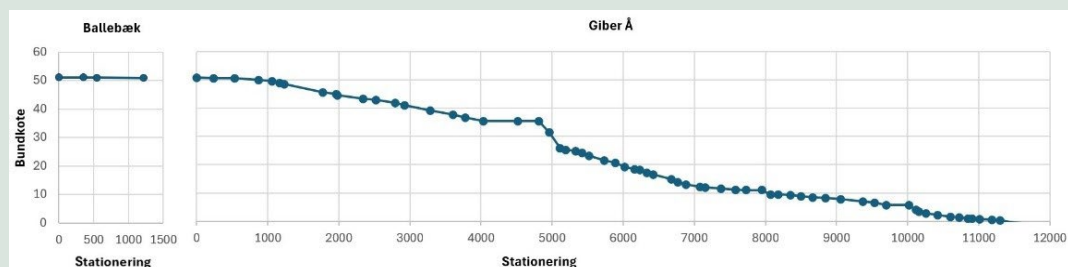
8.2.1 Giber Å

Aarhus Vand har over de seneste 15 år nedbragt deres udledninger fra overløb til recipienterne signifikant. Dette er blandt andet gjort for at sikre god økologisk tilstand i kommunens recipienter iht. vandrammedirektivet. På trods af Aarhus Vands målrettede indsatser er der desværre stadig udfordringer med at opnå god økologisk tilstand flere steder i Aarhus Kommune, heriblandt Giber Å. Derfor fokuserer Aarhus Vand i OVERLØB på Giber Å og opland.



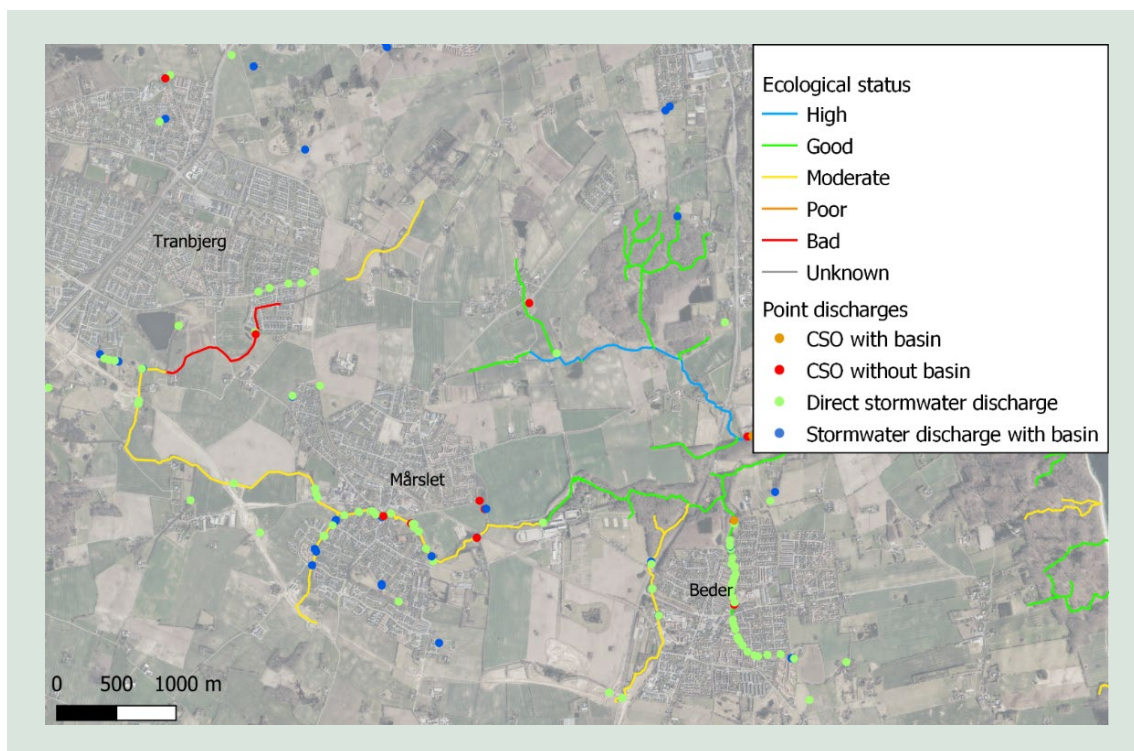
FIGUR 6. Stationeringskort Giber Å.

Giber Å er en af tre store vandløb i Aarhus Kommune. Åen har en længde på 12 kilometer, og udspringer, under navnet Ballebæk, fra Testrup Mose og Tranbjerg Sø syd for Tranbjerg. Herefter løber åen fra Tranbjerg gennem Mårslet by, og fortsætter forbi Vilhelmsborg og beder. Åen har til sidst sit udløb i Kattegat. Giber Å er et meget eftertragtet naturområde for både mennesker, såvel som fisk og fugle.



FIGUR 7. Bundkote i Ballebæk og Giber Å.

Som det fremgår på FIGUR 7, så har Ballebæk, samt de første 1200 meter af Giber Å meget ringe fald. Desuden er denne del af åen kanaliserede lige stræk uden særlig beskygning. Nedenfor station 1200 er åen mere ureguleret og de fysiske forhold er væsentligt bedre. Dette gælder både hydroforfologi, fald og beskygning.



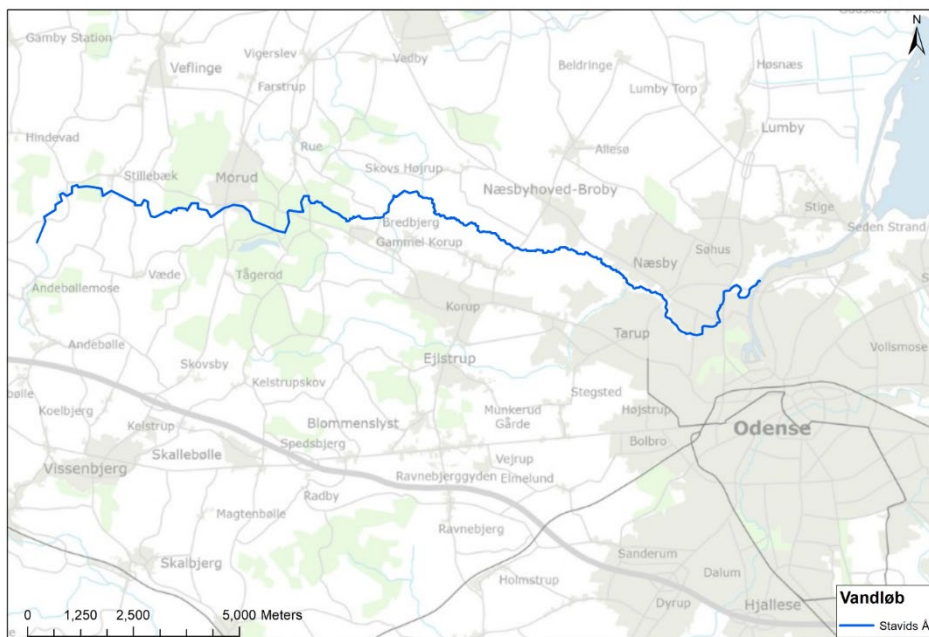
FIGUR 8. Punktudledninger og økologisk tilstand i den øverste del af Giber Å.

I oplandet til Giber Å er langt størstedelen af kloaksystemet adskilt i regn og spildevand. Dette fremgår også tydeligt på typen og mængden af udledningspunkter på FIGUR 8. Der er et mindre antal udledningspunkter fra spildevandssystemet. Størstedelen af udledningspunkterne i oplandet er fra regnvandssystemet, både igennem direkte regnvandsudløb og regnvandsbassiner. Selvom antallet af direkte udløb er størst, forventes det at vandmængderne fra regnvandsbassiner er større end fra direkte udløb. Der forekommer dog stadig et mindre antal regnbetingede overløb af opspædet spildevand til Giber Å, men de er i takt med separering faldet markant.

På grund af fortætning af oplandet, drikkevandsindvinding og nedlæggelsen af rensningsanlægget i Tranbjerg, har Giber Å i sommerperioden svært ved at opretholde en fornuftig vandføring naturligt. Derfor har kommunen stillet krav til Aarhus Vand om at tilbagepumpe rensset spildevand fra Viby renseanlæg, for at opretholde en minimumsvandføring på 100 L/s i Giber Å ved Tingbro. Det betyder at vandløbet i stores perioder af året fødes af rensset spildevand, der pumpes de 6 km og 70 højdemeter fra Viby Renseanlæg til udløbet ved Tranbjerg.

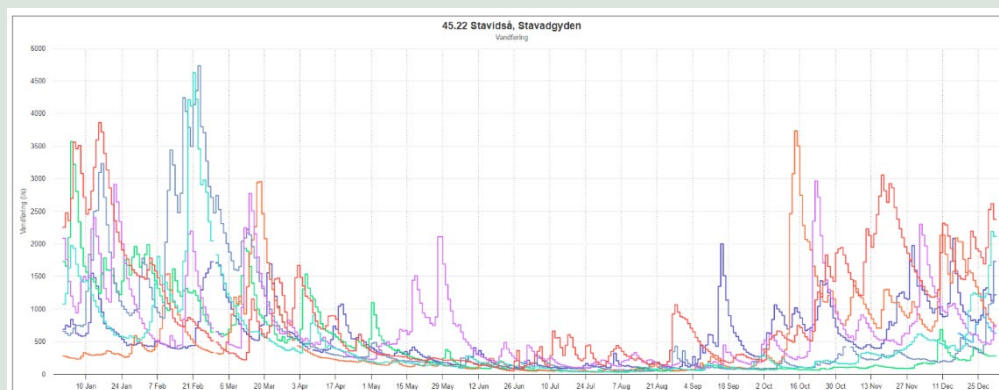
8.2.2 Stavids Å

Stavids å starter i Nordfyns Kommune og løber gennem forholdsvis tyndt befolkede områder inden den når, Odense Kommune hvor den hovedsagelig løber gennem boligområder og NordVest renseanlæg inden sit udløb i Odense kanal 26 km fra sit udspring. Oplandet er i størrelsesorden 130 km².



FIGUR 9. Stavids Å forløb, udspringet er i Andebølle Mose og udløbet i Odense kanal.

Vandføringen varierer fra meget lidt (< 100 l/s) om sommeren og op til 5 m³/s i vinterhalvåret. Figuren nedenfor viser vandføringen for de sidste 10 år på grænsen mellem Nordfyns og Odense kommuner.



FIGUR 10. Vandføring i Stavids Å de sidste 10 år.

Vandløbet er påvirket af tidevandet hovedsagelig blot stuvningsniveauet og ikke egentlig tilbageløb og af voldsom grødevækst – særligt i sensommeren.

Hvad angår tilstanden så er været der undersøgelser af makroinvertebrater inden projektets opstart og det har resulteret i DVFI værdier fra 4-6 i Odense Kommune indtil ca. 3 km før udløbet i kanalen. I Nordfyns kommune var værdierne 6-7. På overgangen mellem de to kommuner er det område som ofte oversvømmes om vinteren og det giver anledning til meget lave iltkoncentration.

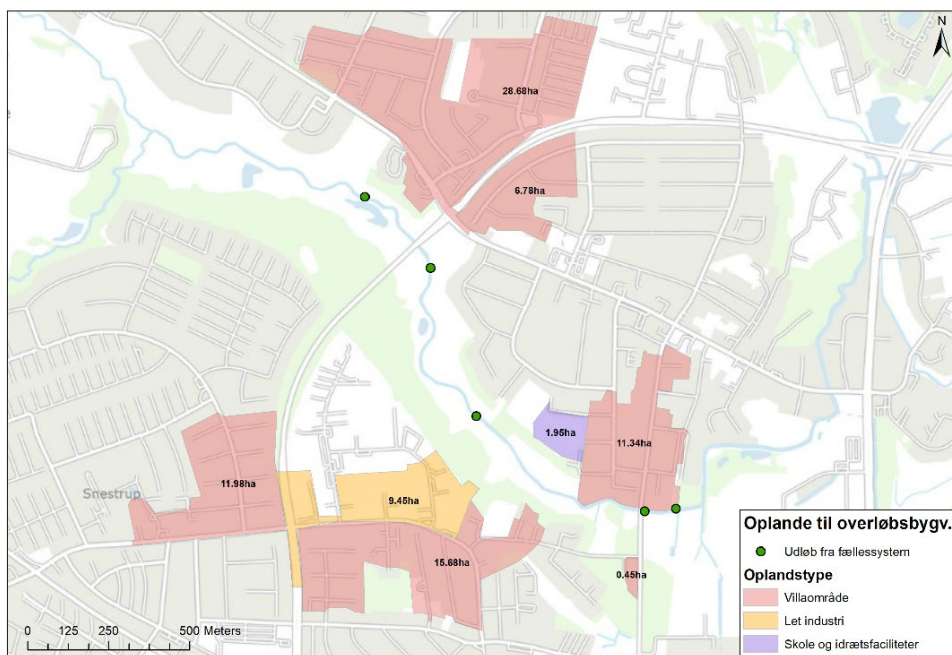
På strækningen i Odense Kommune er der et område hvor vandløbet er påvirket af flere regnbetingede udledninger og dette område er valg som case-område i projektet, se nedenstående figur.



FIGUR 11. Oversigt over udledninger i case-området. Blå er separate regnvandsudløb (uden rensning) og grøn er overløb fra fællessystemet.

På trods af at regnvandsudløbene naturligvis også giver en påvirkning, er det i dette projektområde valgt kun at se på overløb fra fællessystem. De separate regnvandsudløb kommer fra mindre områder. Området er valgt ud fra at der forventes at være mange og hyppige overløb, så vi får nogle data at arbejde med samt en forventning om at selv en mindre ombygning vil have en effekt på vandløbet.

Oplandene til de fælleskloakerede områder er typisk ældre systemer og ældre bygningsmasse, hovedsagelig bestående af villaområder, let industri, skole og idrætsfaciliteter.



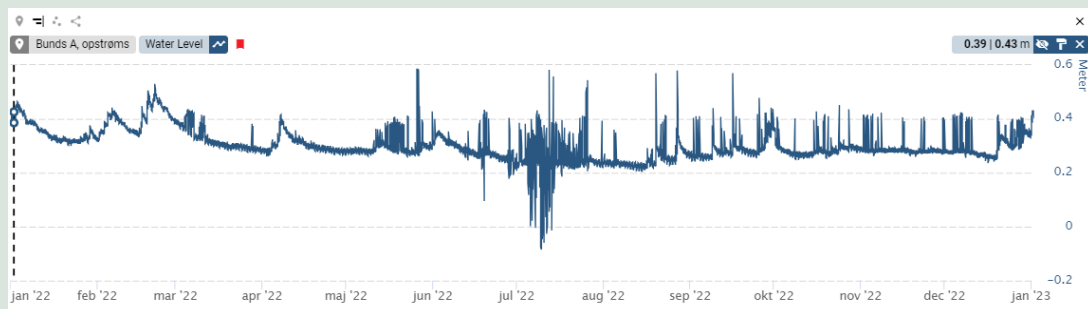
FIGUR 12. Oplande til de forskellige overløbsbygværker ved Stavs Å.

De 5 overløbsbygværker der indgår i det valgte område, har følgende karakteristika i forhold til måling:

4. Dalsvinget - Består af en 1,5 m ikke ret dyb brønd med overløbskant. Er ligget i rabatten ud til en stor vej, så vanskelig at sætte udstyr der fylder meget
5. Bogensevej – Består af en 1 m brønd hvor overløbet er en højtliggende ledning. Er beliggende midt i stærkt trafikeret vej og derfor kun muligt at sætte udstyr op i udløbsledning
6. Thulevej – Overløbsbygværk med 11 m lang overløbskant og et lille volumen (20 m³). Overløbet sker til regnvandsledning. Er placeret i skovbryn. Gode muligheder for at måle og bygge om. Ikke muligt at måle i den lange udløbsledning.
7. Skjoldborgvej – Består af en 1 m brønd hvor overløbet er en højtliggende ledning. Er beliggende i villakvarter. Begrænsede muligheder for at sætte udstyr i bygværket, men det kan sættes måler op i udløbsledning. Gode muligheder for ombygning.
8. Bøgeløkken – 1 m brønd med meget lav overløbskant, svær at måle i. Beliggende i villaområde.

8.2.3 Bunds Å

Bunds Å er et lille vandløb, der udspringer på grænsen mellem Værløse og Stenløse på Sjælland. Det er relativt upåvirket af udledninger fra afløbssystemet indtil Annexgården, hvor der er overløb fra fællessystemet til åen. Opstrøms for dette punkt er der to udledninger af separat regnvand. Vandløbet modtager vand fra Snarevad Grøft, som er kategoriseret som i ringe økologisk tilstand i vandområdeplanerne. Bunds Å selv er vurderet til at være i dårlig økologisk tilstand. Nedenfor i FIGUR 13 ses den målte vandstand i åen i år 2022.



FIGUR 13. Den målte vandstand i Bunds Å i 2022.

Bunds Å er udvalgt til case, fordi der sker relativt hyppige overløb fra fælleskloakken ved Annexgården, samtidig med at vandløbet ellers er relativt upåvirket af spildevand. Det er derfor sandsynligt, at en reduktion i overløb vil kunne ses på vandløbskvaliteten.

8.2.4 Kajerød Å og Sjælsø

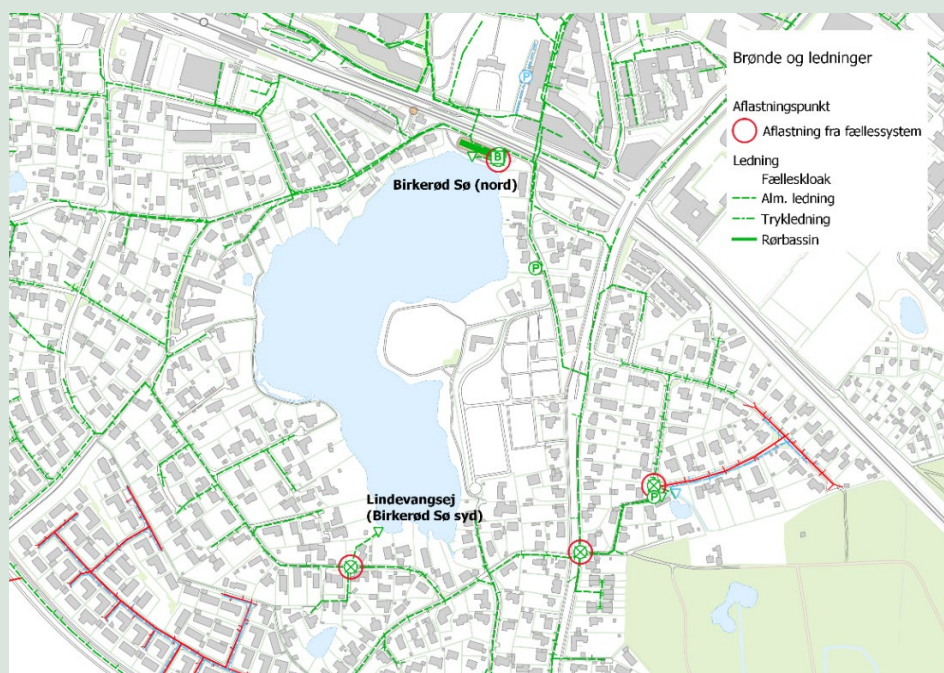
Kajerød Å ligger på grænsen mellem Allerød og Rudersdal kommune. Kajerød Å er ca. 2 km lang og udmunder i Sjælsø.

Både Kajerød Å og Sjælsø er stærkt påvirkede af overløb fra afløbssystemet.

Kajerød Å er i vandområdeplaner klassificeret med en ukendt tilstand, mens Sjælsø er vurderet til at være i dårlig økologisk tilstand.

8.2.4.1 Birkerød Sø

Birkerød Sø ligger i Rudersdal kommune og er påvirket af to overløb fra afløbssystemet; et i den sydlige og et i den nordlige ende af søen. Søen er i vandplanerne vurderet til Moderat økologisk tilstand. Der er ikke stor vandudskiftning i søen og søens kvalitet forventes derfor påvirket af overløbene og især den fosforpåvirkning, som disse medfører.



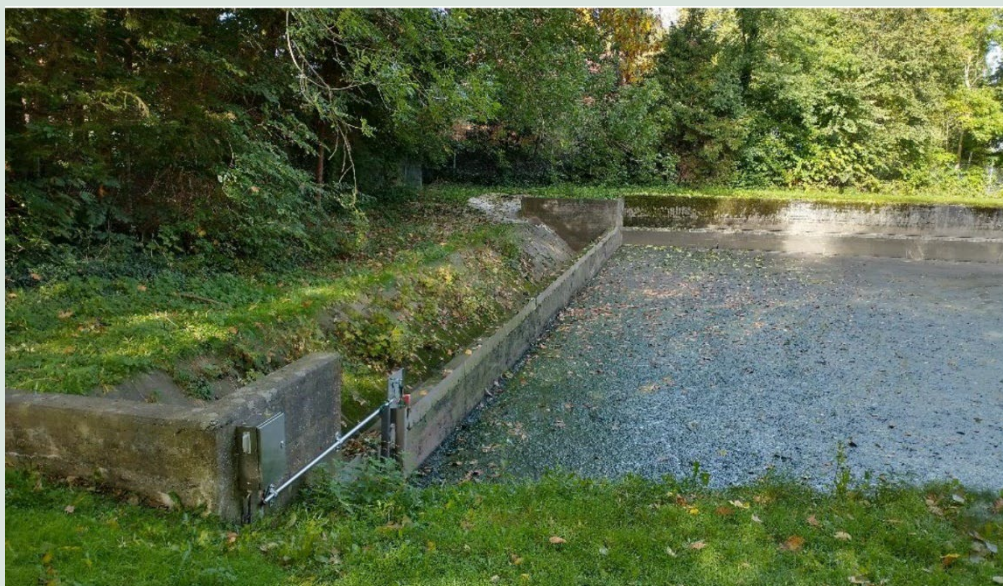
FIGUR 14. Placering af overløb til Birkerød Sø.

8.2.5 Beskrivelse af bygværker til vurdering af indberetningsniveauerne i PULS

8.2.5.1 Fredtofteparken

Fredtofteparken er et bassin i Furesø, med overløb til Farum Sø. Bassinet har en meget lang overløbskant og det er derfor en ganske usikker bestemmelse man får af overløbsmængderne, når de estimeres ud fra én niveaumåler i bassinet. Ved meget lange overløbskanter er der flere usikkerheder, som har betydning for resultatet:

9. En lille hældning på overløbskanten kan medføre, at overløbet ikke forekommer over hele overløbskanten på én gang.
10. Bassinets udformning og hvordan det fyldes, kan gøre, at der opstår forskellige trykhøjder i bassinet under fyldningen, som medfører at overløbet ikke forekommer over hele overløbskanten på én gang
11. En lille fejl i opsætningen af måleren kan medføre en stor fejl i beregningen af overløbsmængderne, da overløbsmængderne er en funktion af længden på overløbskanten. Ved meget lange kanter vil der være stor forskel på det beregnede overløbsflow ved hhv. 1 cm og 3 cm overløbshøjde.



FIGUR 15. Overløbskanten fra bassinet i Fredtofteparken.

Når bassinet løber over, løber det til en åben overløbsrende, hvorfra det løber i en udløbsledning til Farum Sø.

Fredtofteparken er en interessant case ift. at udforske de forskellige niveauer i PULS-indberetningen og hvordan man eventuelt kan benytte CFD-modellering, til at identificere den bedst placering af en niveaumåler og bestemme dens tilhørende Qh-relation til bestemmelse af overløbsflowet.

8.2.5.2 Lindevangsvej

Overløbet i Lindevangsvej indgår også i afsnit 8.2.4.1 om Birkerød Sø, da dette overløb forekommer til den sydlige del af søen. Til projektstart skete der overløb til søen cirka seks gange om året.

Idet søen forventes relativt påvirket af overløb og kun er vurderet til at have Moderat Økologisk tilstand, er der potentiale for, at søens tilstand kan forbedres, hvis mængden af overløb til søen reduceres.



FIGUR 16. Bygværket i Lindevangsvej før ombygning.

Lindevangsvej er et gammelt bygværk, der ved inspektionen en overløbskant, der bestod af svinerygsplanker, der dog kun dækkede halvdelen af bygværkets bredde, hvorfor overløbet skete ved en meget lav vandstand i bygværket.

Lindevangsvej blev således valgt som case både i relation til ombygning med reduktion af overløb for øje, såvel som en case mht. bestemmelse af usikkerhederne ved de forskellige PULS-niveauer.

8.3 Instrumentering af målelokaliteter

8.3.1 Aarhus Vand – Giber Å

I Giber Å blev der i starten af projektet etableret otte stationer der havde til formål at detektere og kvantificere udledningen fra de vigtigste overløbsbygværker og regnvandsbassiner i oplandet.

Desuden blev der syv steder i Giber Å placeret vandkvalitetsmålestationer til at registrere ændringer i vandkvaliteten før og efter et udledningspunkt. Derudover blev der placeret yderligere tre vandstandssensorer til at følge den hydrauliske belastning gennem Mårslet. I hovedgrøften, som er et sideløb til Giber Å, har der været et særligt fokus på temperaturen i åen og påvirkningen fra regnvandsbassiner. Derfor har der været etableret otte temperaturmålestationer, som har kørt hele 2022, men er nedtaget november 2022.

I andet kvartal af 2023 er måleprogrammet i Giber Å blevet udvidet med 20 målestationer i vandløb og 24 målestationer ved udløbspunkter. Der måles primært på temperaturen af vandet. Enkelte stationer er dog etableret med ilt og vandstandssensor.

Formålet med udvidelsen af måleprogrammet er at få en bedre forståelse for temperaturpåvirkningen fra direkte regnvandsudløb. Derudover bidrager udvidelsen også til den generelle datadækning.



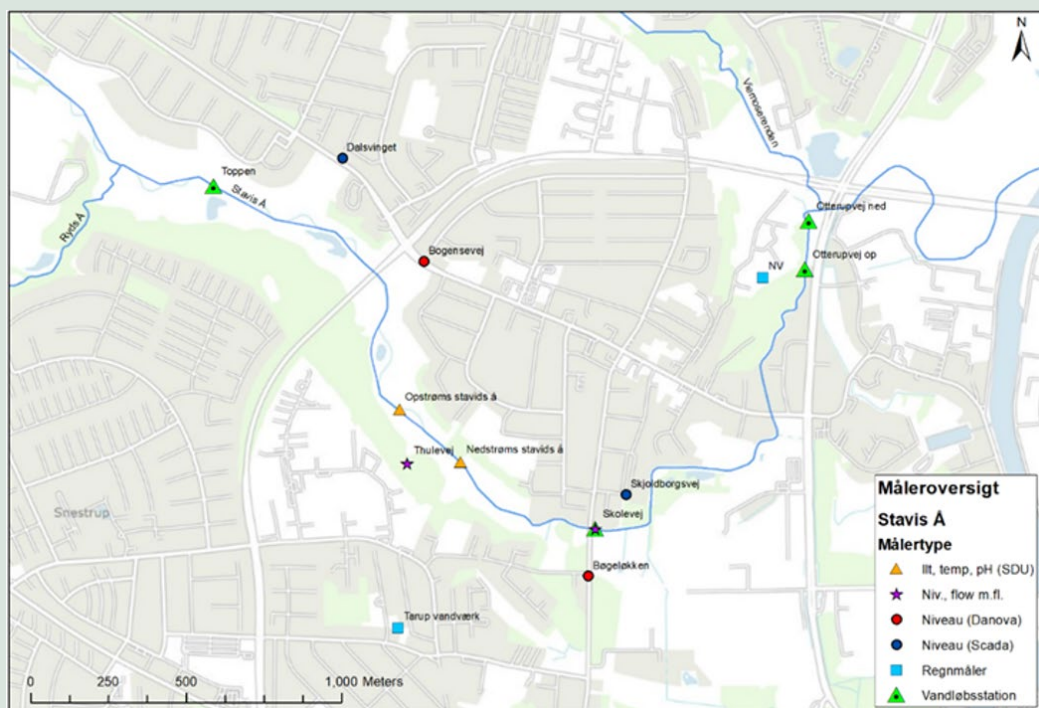
FIGUR 17. Målelokaliteter ved Giber Å.

Der er i alt etableret 67 målestationer i Giber Å og udløbspunkter, som er strategisk placeret for at overvåge miljøpåvirkningen. Ved flere af disse målestationer er der gennemført forsøg med forskellige typer sensorer for at vurdere deres kvalitet og driftssikkerhed under forskellige forhold. Den samlede målekampagne, giver en omfattende indsigt i, hvordan regnbetingede udledninger påvirker recipienten. Dette omfatter både overløb fra kloaksystemet, direkte udledninger af regnvand og udløb fra regnvandsbassiner.

8.3.2 Vandcenter Syd – Stavids Å

Nedenfor ses en oversigt over de stationer der har indgået i projektet. Å-stationer i projektområde: Ilt, temperatur, pH, ammonium, kalium, ledningsevne og vandstand samt vandføring for den nedstrøms station Skolevej. Op/nedstrøms Stavids å: Ilt, temperatur og vanddybde.

Overløbsbygværker vandstandsmåler og for: Skjoldborgvej – også vandføring i overløbet; Thulevej – også vandføring i tilløb og videreførende, turbiditet og udtagning af prøver af overløbsvand. Desuden er bygværket blevet 3D scannet.



FIGUR 18. Målelokaliteter ved Stavids Å.

8.3.3 Novafos – Bunds Å

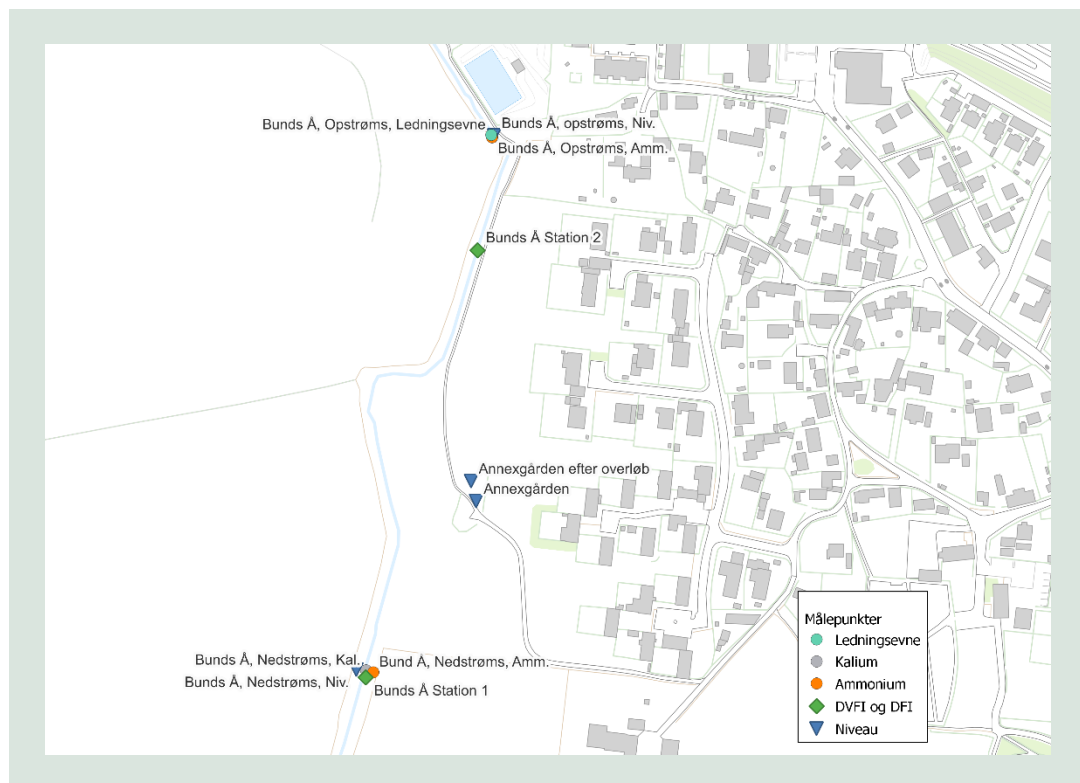
Ved Bunds Å måles på et overløb med niveaumålinger. Der måles både i bassinet, dvs. opstrøms overløbskanten, og i udløbsrenden, dvs. på nedstrøms side af overløbskanten.



FIGUR 19. Dryp niveaumålere opstrøms og nedstrøms overløbskanten.

Der er nærliggende SVK-regnmålere i hhv. Ganløse (stationsnr. 5596), Værløse (stationsnr. 5602) og Målev (stationsnr. 5600).

Derudover har der været opsat niveaumålere i vandløbet samt to vandkvalitetsstationer, hvor der begge steder er blevet målt for to forskellige parametre. Nedstrøms er der blevet målt på ammonium og kalium, mens der opstrøms er målt på ammonium og ledningsevnen. Opstrøms ammoniumssensor var dog ude af funktion i en længere periode, da den hjemmelavede lodning af ledningen på sensoren gik i stykker. Målerne placeringer kan ses af FIGUR 20.



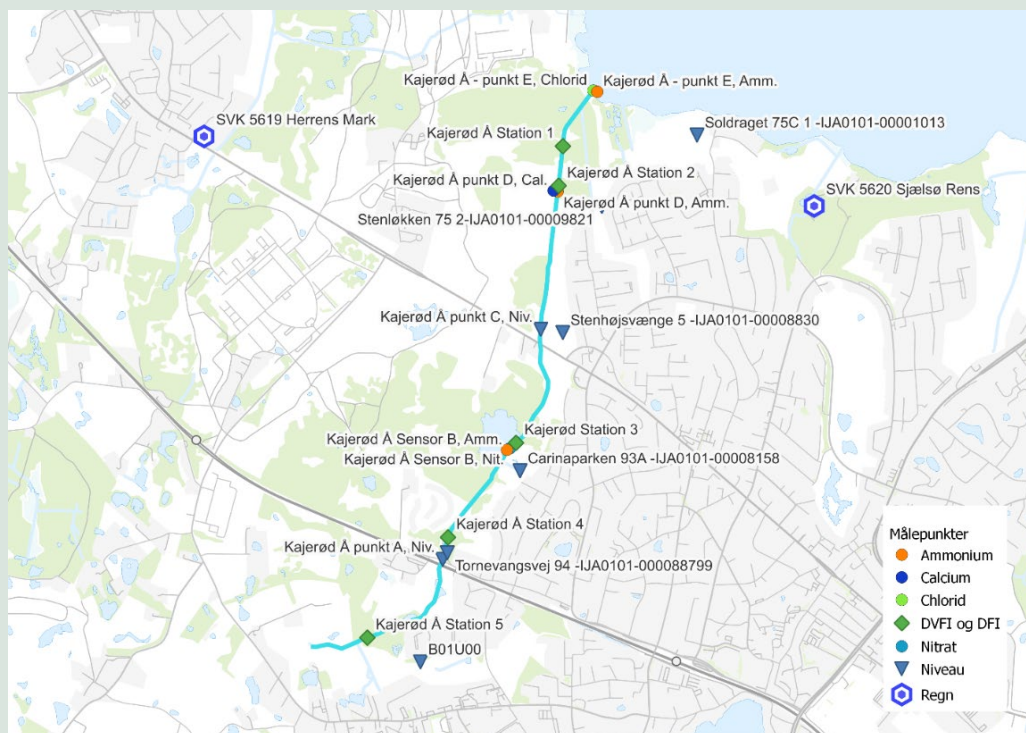
FIGUR 20. Sensorer i Bunds Å og overløbsbygværket Annexgården.

8.3.4 Novafos - Kajerød Å

Kajerød case-område omfatter hele systemet frem til Sjælsø Renseanlæg. Det betyder at de 2 overløb, der ikke går til Kajerød Å, men løber ud til Sjælsø ved hhv. Soldraget pumpestation og Sjælsø RA, er inkluderet.

I området findes to SVK-regnmålere hhv. Herrens Mark (5619) og Sjælsø Renseanlæg (5620). Udenfor kortet FIGUR 21 er desuden SVK regnmåleren på Stavnsholt renseanlæg (5610) og en Danova regnmåler, der stod lige syd for case-området.

Novafos har i starten af 2022 opsat målere i Kajerød Å. Der blev målt vandstand i alle 5 overløb langs åen. Derudover blev opsat vandstandsmålere i selve vandløbet og etableret fire målestationer, hvor der blev målt forskellige parametre ift. vandkvalitet (kalium, klorid, ammonium og nitrat). Fordelingen af målere ses på FIGUR 21 nedenfor.



FIGUR 21. Målere i oplande til Kajerød Å.

8.3.5 Novafos – Fredtofteparken

Fredtofteparken har været medtaget med fokus på PULS-niveauer og bestemmelsen af usikkerheden på bestemmelserne af overløbsmængderne ved forskellige metoder til bestemmelse af disse.

Fokus har været på at få en god måling af overløbsflowet og dermed overløbsmængderne. I bassinet blev sat en niveaumåler, hvortil der blev knyttet et kamera, der tog billeder, når vandstanden steg til lidt under overløbskanten og ellers blot én gang i døgnet. Derudover blev der installeret en flowmåler i udløbsledningen og til at begynde med var der ligeledes installeret en flowmåler i hvad der lignede et indløb fra et dræn- eller separat regnvandssystem, der er koblet direkte på overløbsrenden.

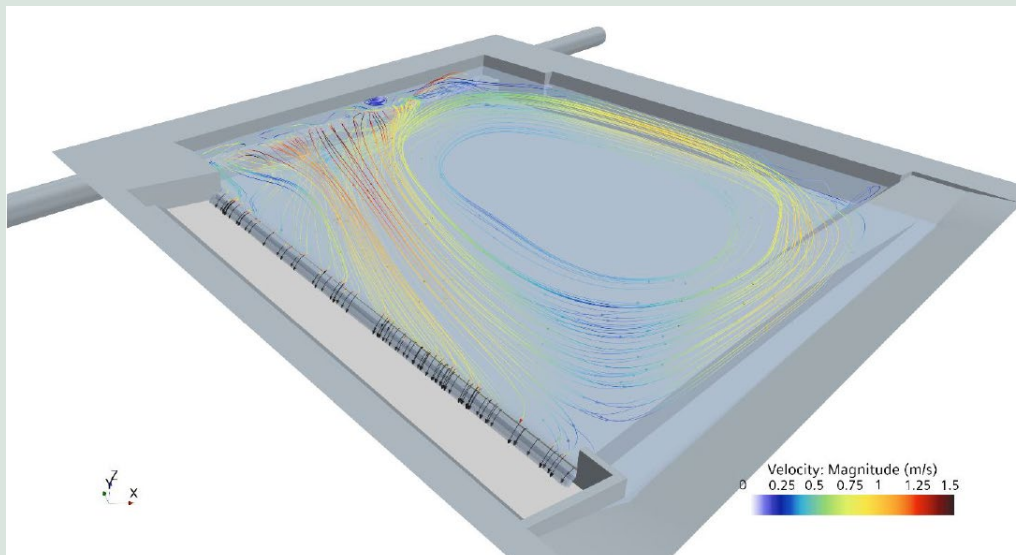


FIGUR 22. Målerplaceringer på Fredtofteparken.

Efter en kortere periode hvor tilstrømningen til overløbsrenden fra indløbet blev vurderet under regn, blev det konstateret, at tilstrømningen var så minimal, at det ikke havde signifikant betydning for vurderingen overløbsmængderne, hvorfor flowmåleren på indløbet blev taget ned. Langt størstedelen af måleperioden har der derfor udelukkende siddet en flowmåler på udløbet, en niveaumåler i bassinet og et kamera.

Det viste sig nødvendigt at tilpasse målestedet for flowmåleren i udløbsledningen, da der opstod for meget turbulens under overløb, hvilket medførte meget støj på målingen, da måleren ikke kunne placeret tilstrækkeligt langt inde i ledningen til at undgå dette. I stedet blev det håndteret ved at sætte et bræt på udløbsledningen cirka 10 cm over bunden, så der fortsat var frit udløb ved de ganske små flows, men ved lidt større flows skulle det stuve lidt op, før det kunne løbe ud. Dette førte til mere strømmende bevægelse over måleren og dermed mindre støj.

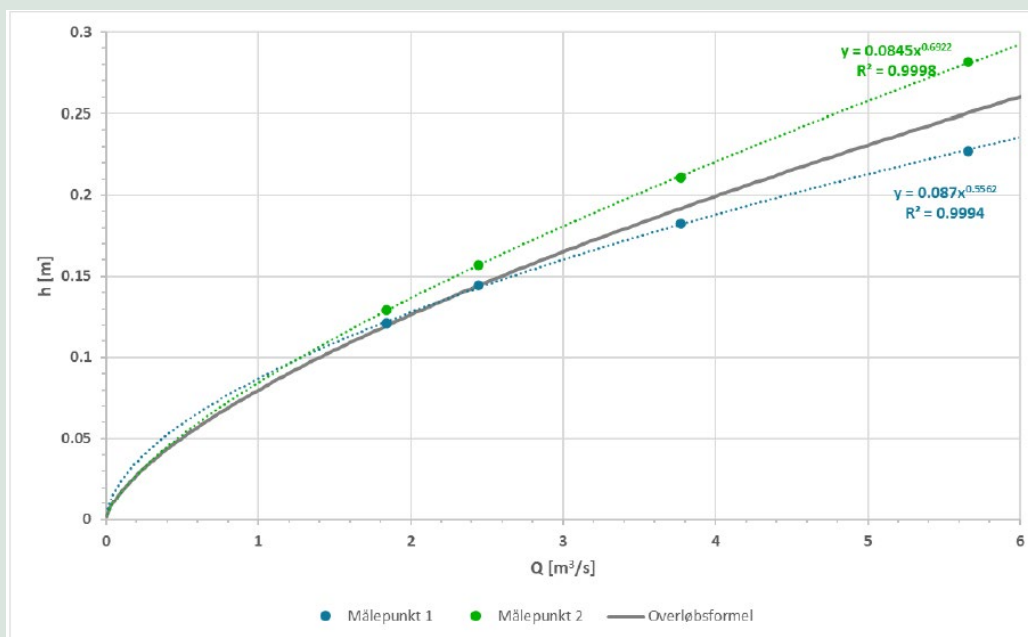
Ud over opsætningen af målere blev Fredtofteparken også 3D-scannet, hvilket dannede baggrund for en CFD-modellering af bygværket.



Figur 3-2 Strømningslinjer for scenarie 1 med en overløbsmængde på 5,66 m³/s.

FIGUR 23. Figur fra rapport om CFD-simuleringen af Fredtofteparken.

CFD-simuleringen viste, at der under meget store overløb opstår en forskel i vandspejlskoten langs overløbskanten, og det er derfor ikke uden betydning, hvor en niveaumåler sidder, hvis den skal benyttes til at beregne overløbsvandføringen.



FIGUR 24. QH-relationer for Fredtofteparken fra CFD-simulering sammenlignet med standard QH-kurve.

I dette konkrete tilfælde viste beregninger, at placeringen af niveaumåleren kan betyde at overløbsvandføringen og dermed overløbsmængderne beregnes næsten en tredjedel større.

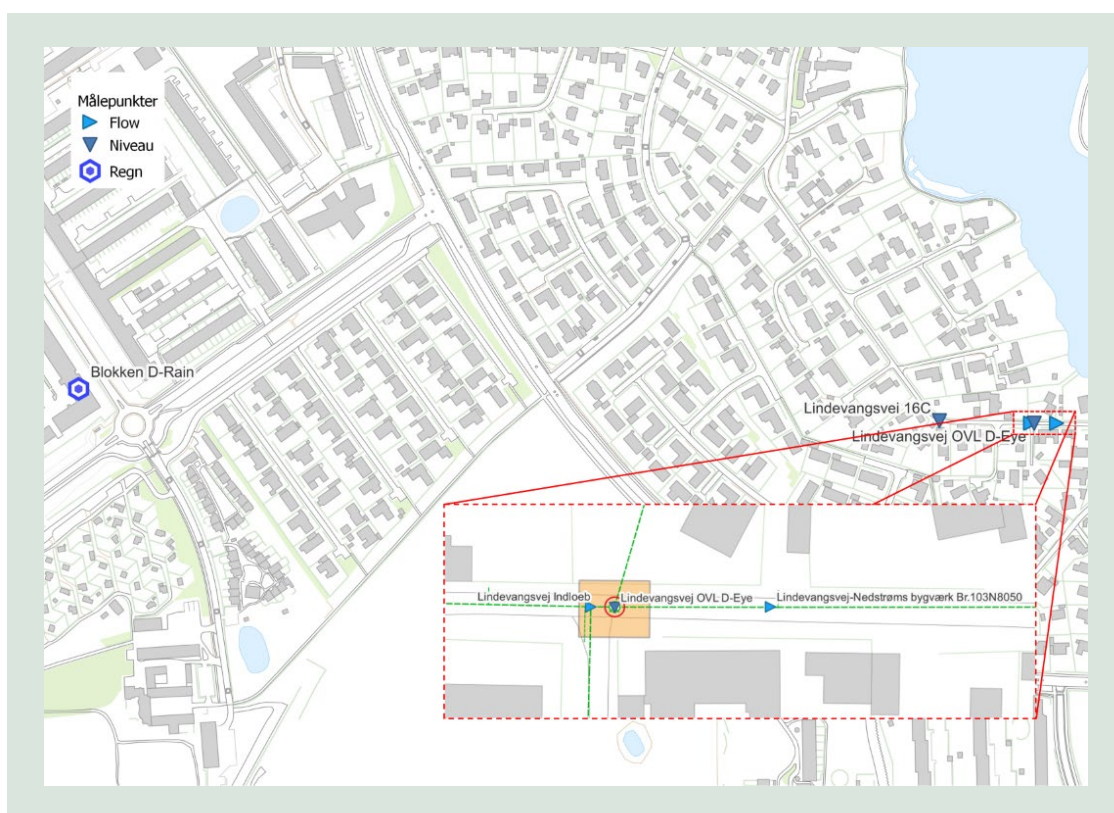
Sammenlignet med en standardformel for overløb vist simuleringen, at en standard QH-relation for overløbet lå lige midt imellem de to kurver fra CFD-simuleringen, hvilket kan ses FIGUR 24.

8.3.6 Novafos – Lindevangsvej

Ved Lindevangsvej har fokus været på at kunne bestemme vandbalancen; hvor meget løber til overløbsbygværket, hvor meget løber væk og hvor meget løber over. Der blev derfor opsat flowmålere både på tilløbet til og udløbet fra bygværket og overløbsmængderne blev bestemt ud fra differencen. Det var ikke muligt at opsætte en flowmåler på selve udløbsledningen fra overløbet.

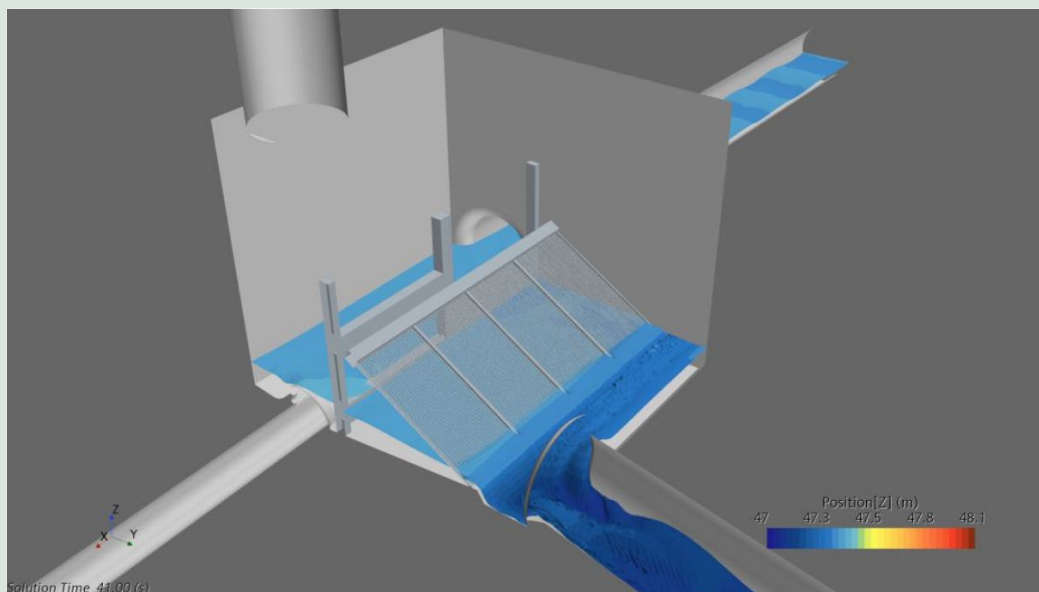
Derudover blev niveauet i bygværket målt og der blev opsat et kamera, der tog fotos, når der skete overløb og ellers én gang i døgnet. Til at starte med blev der målt med to forskellige leverandørers niveaumålere i bygværket, men efter opbygningen blev den ene niveaumåler flyttet opstrøms bygværket, så eventuel opstuvning i afløbssystemet kunne monitoreres.

Ud over målerne i og ved selve bygværket, blev også opsat en regnmåler vest for lokationen.



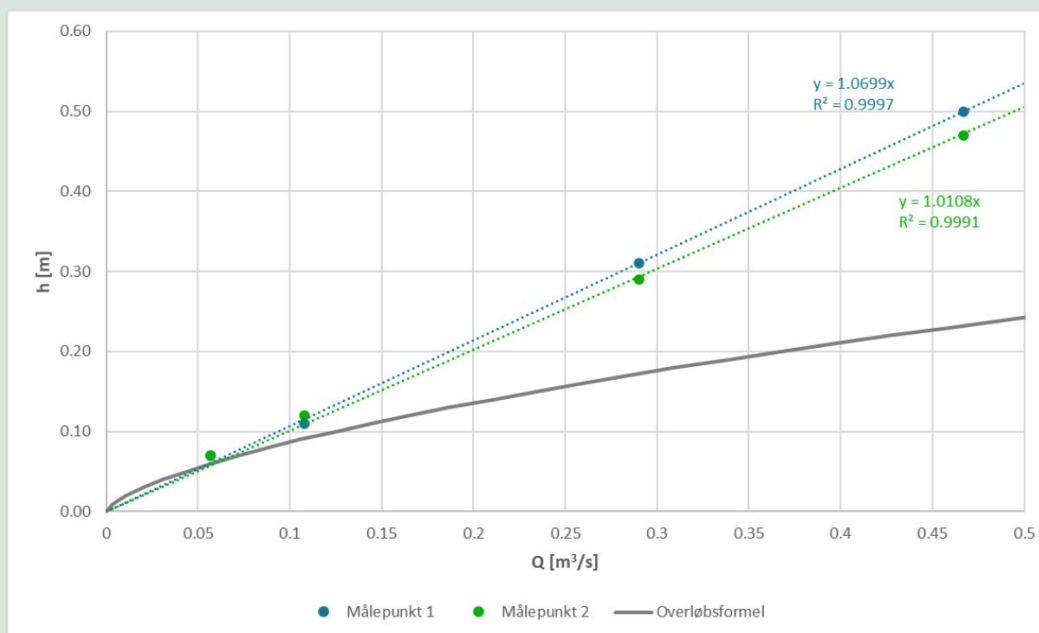
FIGUR 25. Målere ved Lindevangsvej.

Ud over opsætningen af målere blev Lindevangsvej også 3D-scannet, hvilket dannede baggrund for en CFD-modellering af bygværket.



FIGUR 26. Figur fra rapport om CFD-simulering ved Lindevangsvej.

Resultaterne fra CFD-modelleringen blev sammenlignet med en standard overløbsformel, hvilket kan ses i FIGUR 27.



FIGUR 27. QH-relationer for Lindevangsvej baseret på CFD-simuleringer og en standard overløbsformel.

Sammenligningen viste, at i dette bygværk er det bestemt ikke uden betydning, om man benytter en standard overløbsformel eller man laver en CFD-modellering.

8.4 Erfaringer med måleparametre og sensorer

8.4.1 Vandmængder

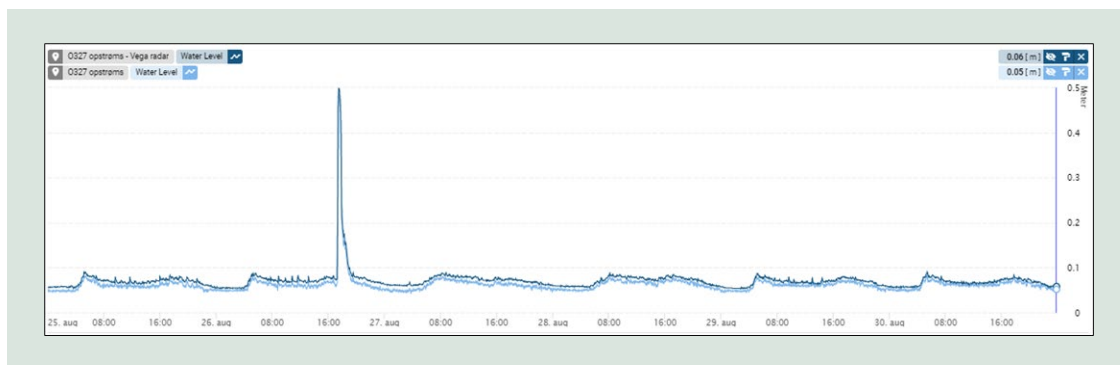
8.4.1.1 Maxbotix MaxSonar - Vandstand (ultral lyd)

Maxbotix MaxSonar er en prisbillig ultral ydsbaseret vandstandssensor. Den er blevet testet igennem flere år og har vist sig at være hårdfør og mindst lige så præcis som anerkendte vandstandssensorer. Sensoren tåler blandt andet at være neddykket i vand, store mængder spindelvæv og svovlbrinte. Strømforbruget er tilmed minimalt. En udfordring ved at måle vandstand med ultral yd er dog at der kan opstå kondens på sensorhovedet i vinterhalvåret, hvilket kan give en stor andel af fejlmålinger. Desuden skal man være opmærksom på at sensoren ikke opsættes i direkte sollys, da opvarmningen kan give en fejlagtig temperaturkorrektur af lydets hastighed i luft.

8.4.1.2 Vega VEGAPULS C 21 - Vandstand (radar)

Vega VEGAPULS C 21 er en anerkendt og velafprøvet radarbaseret vandstandsmåler. Den installeres typisk på fast strømforsyning ved pumpestationer, bassiner og renseanlæg. Radar har en væsentlig fordel i at være uafhængig af lufttemperatur og relativt upåvirket af kondens på sensorhovedet.

I dette projekt er radaren testet på en trådløs Dryp-datalogger. Vandstandsmålinger fra både Maxbotix og Vega fremgår af FIGUR 28.



FIGUR 28. Sammenligning mellem Vega Radar (mørk blå) og Maxbotix ultral yd (lys blå).

På FIGUR 28 fremgår det, at der er god overensstemmelse mellem vandstandsmålinger foretaget med ultral yd på Maxbotixsensoren og radar med Vegasensoren.

Det har dog vist sig ikke at være muligt at opnå en fornuftig batteridrevet drift af radaren fra Vega, fordi strømforbruget er for højt. Selvom sensorens strømsparetilstand er blevet aktiveret, kan der kun forventes en batterilevetid på omkring 14 dage. Til sammenligning vil en Maxbotix ultral ydssensor kunne holde batteri i +1 år med samme målefrekvens.

8.4.1.3 Keller Series 36XiW-CTD / Keller Series 36XiW - Vandstand (tryk) og ledningsevne

Keller Series 36XiW tryksensor er en højkvalitets tryksensor, der er designet til at måle trykket i flydende medier med høj præcision og nøjagtighed. Denne tryksensor har en række forskellige anvendelser, herunder i industrielle applikationer, proceskontrol og miljøovervågning. CTD-versionen af sensoren har desuden indbygget sensorer til måling af den elektriske ledningsevne og temperatur.

Sensoren har i projektet vist sig at være yderst pålidelig og strømbesparende. Dette har stort set elimineret driften på denne type af målestationer.

8.4.1.4 OTT PLS-C / OTT PLS - Vandstand (tryk) og ledningsevne

OTT PLS tryksensor er endnu en højkvalitets tryksensor, der er bredt anvendt til at måle vandtryk i mange forskellige miljøer og applikationer. PLS-C-versionen er desuden udstyret med en integreret temperatur- og ledningsevnesensor.

OTT PLS har i projektet været yderst pålidelighed og nøjagtig.

OTT PLS-C versionen er ligeledes pålidelig og nøjagtig, men har vist sig at have et noget højere strømforbrug end andre tryksensorer med indbygget ledningsevnesensorer på markedet. Dette skyldes at sensoren, ifølge manualen, konstant skal være tændt, også mellem målinger. Dette dræner batteriet og gør at stationer med denne type sensor ofte skal have skiftet batteri i vinterhalvåret, hvor en solcelle ikke er tilstrækkelig til at drive sensoren.

8.4.1.5 Danova radar – vandstand

Radar måling af vandstanden og data uploadet til Danovas hjemmeside med en opløsning på 2 min. Batteriet har kunnet holde i 6-8 måneder. Data er pålidelige.

8.4.1.6 Nivo flow (Danova)

Der har været målte vandføring flere steder og det har generelt givet god værdi. Lidt udfordringer med at måle overløb hvor hele sensoren skal være under vand svarende til ca. 5 cm vand for at give korrekte data. Batteritid op til 2 år.

8.4.1.7 Doppler - vandføring i vandløb

Måler vandføring i vandløbet, men det har været nødvendigt efterfølgende at korrigere data efter manuelle vandhastighedsmålinger. Der har været en del udfordringer med grøde mm. Målerne har været koblet til permanent strøm og kommunikation.

8.4.2 Vandkvalitet

8.4.2.1 D-opto - Optisk iltensor til måling af opløst ilt

D-opto fra Zebratech (i New Zealand) er en robust iltensor designet til målinger af opløst ilt og temperatur i barske marine vandmiljøer, samt floder, vandløb og søer. Sensoren er modstandsdygtig overfor korrosion og andre miljøpåvirkninger, og er designet til at have minimal on-site vedligeholdelse og service, herunder med et meget langt kalibreringsinterval. Alt med henblik på at sikre en lang levetid og høj ydeevne.

Det meget lange kalibreringsinterval og store stabilitet i målinger var væsentligt for valget af D-opto sensoren. Tidligere erfaringer har vist, at drifts- og vedligeholdelsesudgifter til vandkvalitetssensoren ofte overstiger indkøbs- og etableringsomkostningerne signifikant. Det er derfor meget vigtigt at have drifts- og vedligeholdelsesprocesserne med i overvejelserne ved valg af sensorer. Under normale driftsforhold er henfaldet af de fluorescerende egenskaber på det optiske vindue, som opstår som følge af excitationbølgelængden under en målecyklus, meget langsom for D-opto sensoren. Der opstår typisk først en lille markbær offset i målinger efter hvad der svarer til 500 timers kontinuerlig eksponering. Ved den anvendte konfiguration i Giber Å oplandet (én måling hvert 10. minut (5 sekunders eksponering) vil D-opto sensoren kræve en kalibrering efter 6 års drift. For god ordensskyld er sensorerne blevet kontrolleret årligt med en ilt-mættet vandopløsning. Disse kontrolmålinger har indtil videre ikke vist behov for kalibrering.

Sensoren er importeret fra New Zealand, da det ikke har været muligt at finde en importør i Europa. Prisen er sammenlignelig med andre optiske iltensoren på det europæiske marked. De klare fordele ved D-opto sensoren er, at den kræver væsentligt mindre vedligehold og er væsentlig mere robust end alternativerne. De praktiske erfaringer i Aarhus bekræfter dette. Derudover er D-opto sensoren meget energieffektiv og benytter en åbne kommunikationsprotokoller (SDI-12).

Erfaringerne i projektet at vist at sensoren lever op til producentens garantier. Målestationerne monteret med D-Opto sensorer har været vedligeholdelsesfrie og med et meget beskedent batteriforbrug. De eneste oplevede driftsudfordringer er relateret til, at enkelte målestationer (pælen) har 'fanget' større grene, som har ført til opbygning af sediments, så der ikke har været et frit flow omkring sensorhovedet. Dette har dog været nemt at se i målingerne, da iltmålinger typisk gå mod nul-målinger. Erfaringerne viser, at der burde kunne opsættes en automatisk detektion af disse udfordringer. Endvidere anbefales det, at målestationerne tilses i sæsoner, hvor der er højt flow og høj vandstand, da det er disse situationer, hvor transporten af grene og sediment er størst

8.4.2.2 FDO 70X IQ - Iltmåling

Optisk Iltmåler fungerer udmærket, men kræver noget vedligehold på målesteder med stillestående vand eller hvor det samler sig blade, grene mm. Målerne har været brugt en del år i Vandcenter Syd og erfaringerne med målerne er at de giver pålidelige resultater.

8.4.2.3 IoTsensors - Temperatur

IoTensors ApS leverer prisbillige sensorer designet til masseudrulning i byens infrastruktur. Deres hovedfokus er affaldscontainere, men har også brugt deres hardware platform til at udvikle andre prisbillige sensorer. F.eks. temperatursensorer.

I starten af dette projekt blev der indkøbt flere temperatursensorer til måling af vandtemperaturen i hovedgrøften (ved beder) i Giber Å oplandet. Sensoren består af en lille online dataloger og en standard temperaturføler på et kabel (formentlig en DS18B20). Dataene fra IoTensors temperatursensorer er integreret fra en API snitflade til Dryps dataplatform.

Sensorerne har leveret data af god kvalitet i en udvalgt del af projektperioden. Datatransmissionen begyndte dog at blive udfordrende efter ca. 6 måneders kontinuerlig drift. Det blev derfor valgt at stoppe med brugen af denne sensortype.

8.4.2.4 Dragino LSN50v2-d22 og LSN50v2-d23 - Temperatur

Dragino er kinesisk virksomhed som designer og producere billigt og pålideligt IoT udstyr. Deres forretningskoncept er bygget op omkring hurtigt, effektivt og billigt produktion baseret på åben hardware og firmware design. Siden firmaets start (i 2010) har de opbygget et stort community og blevet en "go-to" partner for at sætte nye IoT koncepter i produktion. Resultatet heraf er, at de producerer hardware til meget konkurrencedygtige priser, hvor firmware nemt kan modificeres til eget behov på baggrund af den yderst komplette dokumentation.

Der er i projektet anvendt to modeller af temperatursensorerne fra Dragino. Den ene med to temperaturfølere (LSN50v2-d22) og den anden med tre temperaturfølere (LSN50v2-d23). Den første med to følere er anvendt som vandløbsstationer, hvor den føler måler vandtemperaturen, og den anden måler lufttemperaturen. Den anden model med tre følere er anvendt som "udløbsstationer", hvor den tredje føler er placeret inde i udløbsrøret med henblik på at måle eventuelle temperaturforskelle mellem udløb og vandløb, når udløbene er aktive. Selve temperaturfølerne lader til at være af samme type som sensorerne fra IoTensors (DS18B20). Dog på længere kabler, hvilket kan gøre det nemmere at placere følerne, hvor det ønskes.

Dragino sensorerne er LoRaWAN baseret. OpenWave ApS har hjulpet med at anvende Helium netværket, som er et åbent community baseret LoRaWAN netværk. Dataene fra Dragino sensorerne er integreret til Dryps platform via en LoRaWAN netværksserver, som er stillet til rådighed af OpenWave.

Sensorerne har leveret data af god kvalitet fra de blev opsat i 2023. Dog har der været enkelte sensorer, som er gået til pga. oversvømmelse eller at målestationen (pælen) er blevet skyllet væk. På baggrund af erfaringer fra andre lignede temperatursensorer og de potentielt barske forhold i vandløbene blev det valgt at øge robustheden ved at beskytte kabelføring og følerhoveder, som tilføjer ekstra forsegling (flydepakning).

8.4.2.5 SonsoLyt 700 IQ – pH-måler

Måleren kræver løbende kalibrering. I praksis har vi kun kunnet opnå en præcision på ca. 0,1.

8.4.2.6 Wasys pH-måler

Måleren har været afprøvet, men var ikke tilstrækkelig nøjagtig og blev derfor fravalgt. Batteritid ca. 3 måneder.

8.4.2.7 Varion 700 IQ ammoniumsensor

Måleren har været benyttet i vandløb gennem en årrække af Vandcenter Syd. Det kræver lidt drift at få gode data ud af den. Vores erfaring er at værdier under 0,5 mg/l i praksis ikke kan måles fordi det kræver så mange justeringer at kalibreringen ofte ikke kan fastholdes. I forbindelse med projektet har måleren også været benyttet i overløb, men med ringe resultat, da det altid skal være i vand og kloggede til, drev mm.

8.4.2.8 Vernier sensor systemet

I Novafos blev nogle relativt billige ionselektive sensorer fra Vernier testet som softwaresensorer ift. Overløbs påvirkning af vandkvaliteten i recipienterne. Fordelen ved at måle i f.eks. vandløbet i stedet for overløbsbygværket er, at der ikke er så meget materiale, der vi sætte sig rundt om sensoren og dermed forhindre måling. Den anden praktiske fordel er at sensorhovedet kan holdes permanent under vand og dermed forhindre en udtørring af membranen. Da projektet er et udviklingsprojekt, blev det bestemt at bruge så kosteffektive sensorer som muligt for at kunne vurdere så mange potentielle måle parametre som muligt. Valget faldt på Vernier sensor systemet, selvom det ikke er designet til langvarig udendørs installation. Ved at lave mindre modifikationer kunne sensorerne bruges til screening af forskellige måleparametre og de virkede i over ét års kontinuerlig drift. Desuden er sensorerne designet til at kunne forbindes med en mikroprocessor direkte og dermed sænke omkostningerne på hver målestation. Prisen for en sådan sensor vil derfor ligge under 4.000 kr.

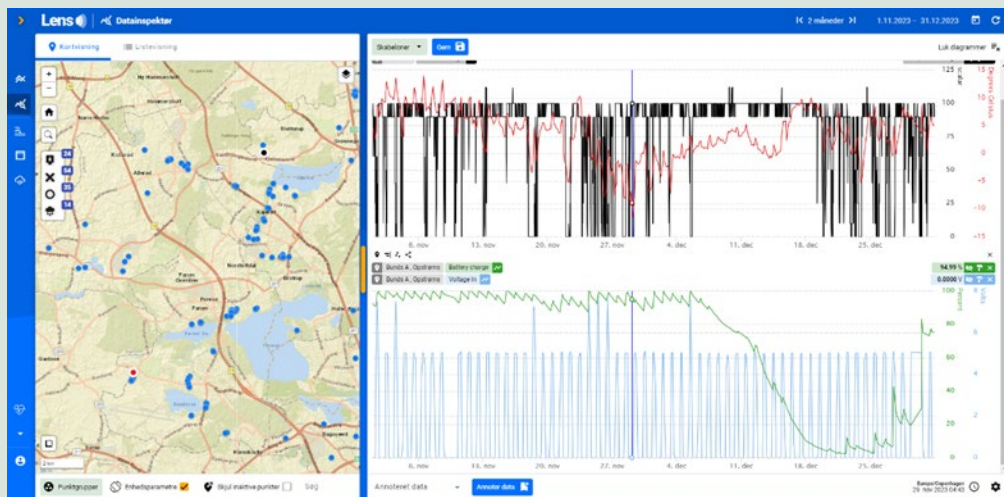


FIGUR 29. Ammonium ion selektiv sensor – Vernier.com.

Der blev målt flg. parametre: Ammonium, Nitrat, Klorid, Kalium, Calcium og ledningsevne. Generelt viste alle sensorer, at de kunne detektere ændring forårsaget af overløb. Samlet blev det dog fundet at Ammonium var den bedste sensor pga. dens respons til ændringer i NH_4 . Ulempen med Ammonium er at den har det med at glide i forhold til det absolutte niveau. Det ville normalt kræve en hyppig recalibrering og dermed betydelig flere driftsomkostninger. Men som beskrevet i afsnit 9.9 om softwaresensorer er det de relative ændringer, der er de vigtigste og derfor kan man leve med at niveauet ikke er helt stabilt. Dette gælder ikke kun disse kosteffektive sensorer der udviser denne adfærd – det gælder også for sensorer der koster 5-10 gange så meget.

Hver sensor er forbundet med en mikroprocessor som laver udgangssignalet om til en digital SDI-12 protokol. Herved kan Dryp's IoT boks måle sensor signalet og sende det videre til portalen.

Da sensorerne drives gennem SDI-12 bruger de ikke strøm mellem målingerne. Derved holdes det samlede energiforbrug nede. Målerne har siddet i recipienterne og er blevet drevet på genopladelige batterier suppleret med solceller, hvilket har virket ganske godt, idet batterierne har været nærmest konstant fuldt opladet, selv i perioder med manglende sol pga. grøde og sne. Målerne har generelt været stabile ift. driften, selv under vinterens frostvejr der dog har været tæt på at aflade batteriet helt som det ses herunder.



FIGUR 30. Batteri afladning i November/December 2023 hvor en langvarig overskyet periode i sammenhæng med en meget kold periode, hvor der nok har ligget sne på solpanelet, har bragt batteri spændingen næsten til 0. Batterier kommer sig dog hurtigt så snart der er lys på panelet igen.

Selvom batteriet skulle blive yderligere presset og være uden strøm i en længere periode vil det medføre tab af data. Dog vil dataloggeren selv vågne op når der igen er indstråling.

Der har været nogen drift på sensorer grundet begroning og alder på de ionselektive sensorer, men umiddelbart ikke mere end der var antaget fra start. Fokus er i projektet på ændringer i værdier fremfor de absolutte værdier. Da der kun er blevet set på ændringer i stofkoncentrationerne, er målere ikke blevet kalibreret ind løbende, hvorfor det ikke er muligt at udtale sig om målerens absolutte nøjagtighed.



FIGUR 31. Målestation med solcellepanel og vandkvalitetsmåler samt niveaumåler.

8.4.2.9 Visotub 700 IQ turbiditet

Måleren har været afprøvet i et overløb og der er fundet god overensstemmelse med prøvetagningen.

8.4.2.10 TetraCon 7000IQ – Ledningsevne

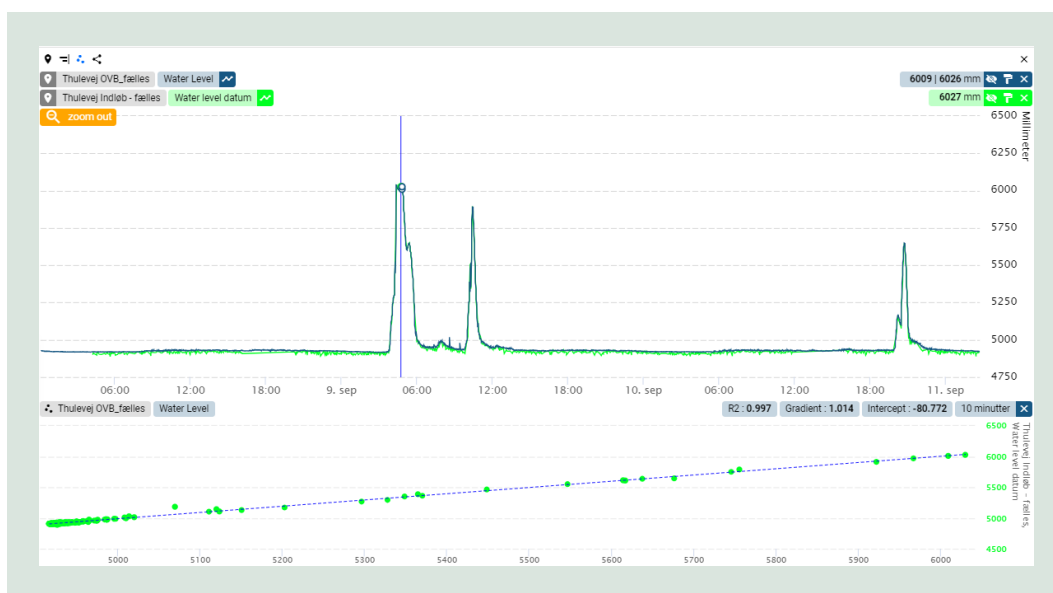
Måleren er benyttet i vandløbet og har været problemfri. Ledningsevнемåler er benyttet i vandløb til at detektere overløb. De har vist pålidelige resultater.

8.4.2.11 Vernier Lydstyrkemåling - Lyd

Der er brugt en Vernier Lydstyrkemåling, der integrerer over 2-3 sekunder for at beregne den gennemsnitlige lydstyrke og den angiver styrken i dB. Den er ikke beregnet til et meget vådt miljø, men har fungeret godt i de test, der er lavet.

8.4.2.12 Lav-energi radarer med bluetooth forbindelse

Svenske Acconeer har udviklet en radar der måler meget hurtigt og dermed med lavt energiforbrug, i et format der kan bruges til rigtig mange applikationer og dermed udkommer i et styktal der får prisen helt i bund. Den giver fornuftige målinger også i brønde og spildevandssystemer, men for at være helt sammenlignelig med traditionelle radarer udvikles de sidste detaljer fortsat her i slutningen af projektet. I den endelige version vil det være overkommeligt at opsætte niveaumålere flersteder i bygværker, og samtidig have en indikation af overflade strøm retning og hastighed.



FIGUR 32. Sammenligning mellem traditionel radar og batteridrevet lav-energi radar under test hos Vandcenter Syd på Thulevej overløbsbygværk.

8.4.2.13 Kameraer

Enkelte steder er Danovas kameraer til at dokumentere overløbshændelser testet. Kameraerne kan sidde nede i kloakken og er udstyret med en varmeenhed, som sørger for at linsen ikke dugger til, når der skal tages billeder. Kameraet kan aktiveres af f.eks. en niveausensor, så det tager hyppigere billeder, når vandstanden nærmer sig overløbet og under et overløb.

Kameraerne har været værdifulde til at se hvad der reelt foregår i bygværket under et overløb, såvel i starten af et overløb, som når den fulde kapacitet af et bassin eller en ledning er nået. Det har givet værdifuld viden, som har kunne overføres til en bedre forståelse af de målte vandstande.

Erfaringerne fra projektet er, at det er relativt batterikrævende at have et kamera tilføjet målepunktet, hvis man ønsker at kunne decideret overvåge overløbet med regelmæssige fotos i løbet af overløbshændelserne. Desuden er der stadig rum for forbedring ift. timingen af fotos, da det tager ca. 8 sekunder for varmelegemet at sikre mod kondens. Der er derfor en forsinkelse fra aktiveringen til at billedet tages, som man skal tage med i overvejelserne om aktiveringen.

Det er en fornuftig teknologi, som man bør overveje, hvis man er i tvivl om, hvordan bygværket opfører sig under regn. Det er dog fortsat relativt dyrt at opsætte kameraer, så det bør kun være et aktiv tilvalg, hvor det vurderes relevant, og ikke bruges som standard.

9. Arbejdspakke 2: Datahåndtering og modellering

9.1 Datainfrastruktur

Den fælles dataportal blev etableret i starten af projektet og har været brugt igennem hele projektet. Alle data har således været tilgængelige både en dataportal hvor data kan findes og visualiseres, og samtidig har der været adgang via API for integration i egne programmer. Den tekniske tilgængelighed har været suppleret af automatiske datakvalitetssikring af data på flere niveauer.

Udfordringerne i projektet har været at data governance ikke har været klart aftalt fra start når det kommer til de medfølgende metadata og de spørgsmål der opstår når data anvendes til flere forskellige formål på tværs af organisationer. Specielt 3. parts data har ikke klart haft et ansvar.

Enhver anvendelse af data til nye formål medfølges typisk af nye krav og forventninger, fra drift, over hydraulisk analyse og årsagssammenhæng, til numerisk modellering og afrapportering.

I forhold til kvalitetssikring er den interne kvalitetskontrol, både de automatiske og de manuelle annoteringer/korrektioner, i projektet blevet udvidet til at kunne fungere på alle data uanset kilde. Det har dog stadig krævet en konfiguration af tolerancer for mængden af data, standard afvigelser (og manglende afvigelser), tærskler for overløb og alarmer, osv. I det følgende betragtes disse data som meta-data der både kan omhandle punkter, dvs. de fysiske rammer, og de enkelte sensors tolerance.

9.1.1 Meta-data og den løbende opdatering

I takt med at overløbsbygværker bliver tilpasset og ombygget, samt at der bliver målt flere hændelser, bliver det i stigende grad større behov for at kunne sammenholde situationen før og efter. Herunder er det væsentligt at de som fortolker og renser data er fuldt informerede om hensigter og historik. Den indsigt har ført til at håndteringen af meta-data og specielt meta-data historik er blevet væsentligt udvidet i domænemodellen og dermed slår igennem i både API og platformen.

Specifikt er der arbejdet med punktdatahistorik når en sensor bliver flyttet for at forbedre måle kvalitet eller når det er nye generationer af hardware der bliver anvendt til at måle den samme parameter som fx vandstand. Der ønskes ultimativt en kontinuerlig tidsserie der ikke er afhængig af om det er en radar, tryksensor eller ultralyds-sensor der anvendt. I det tilfælde er det højde af sensoren over overfladen og relativt til koten der ændrer sig.

Derudover er det nu muligt at forbedre end indmåling, og huske historikken, så den slår igennem historisk – eller kun i en given periode. Det giver en større fleksibilitet i den initiale opsætning hvor man potentielt blot ønsker at få en hurtigt og prisbillig indikation – i forhold til at man senere beslutter at der er behov for noget mere nøjagtigt og derfor gør mere ud af indmåling.

Det har også vist sig i projektet at deling af observationer og hydrauliske indsigter på tværs af punkter – i punktgrupper har være stærkt efterspurgt. Igen er der opstået et behov for at kunne kommentere på indsigter og have en dialog omkring de specifikke målinger og grupper af målinger på tværs af datakilder og ejere.

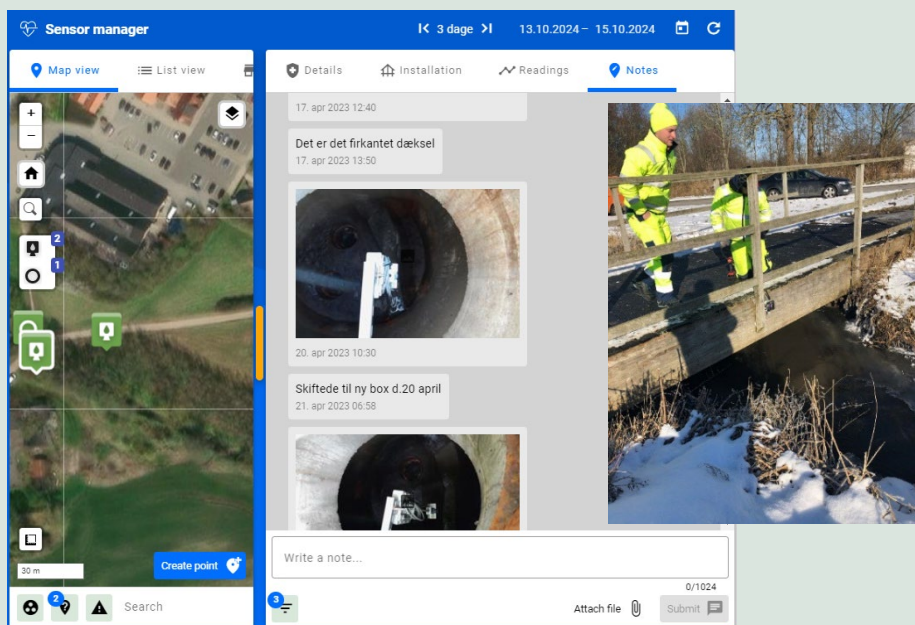
Komplekse bygværker eller bygværker hvor det af forskellige grunde kan være svært at måle har generelt været et problem i forhold til software sensorer, som jo reagerer på støjede målinger. Det manuelle check er derfor efterspurgt på både den direkte måling og på de afledte beregninger. Til det brug er der indført et "ok" flag der kan sættes på perioder på enkelte punkter. Dette kan nu implementeres sammen med en rutinemæssig gennemgang af data således at endelige data fremstår klar til videre anvendelse og potentielt indrapportering til PULS og lignende.

9.2 Visualisering af data

Det at det er hurtigt og intuitivt at kunne arbejde med data på tværs af de målte parametre og kunne sammenstille data fra flere punkter og fra mange datakilder og DMP, SVK, DMI, Radar, osv. har været et krav og en forventning fra start i projektet. De fleste deltagere har i løbet af projektet i større eller mindre grad brugt platformen, og i flere tilfælde sammen med deres rådgivere. I løbet af projektet er der blevet arbejdet videre med flere aspekter af platformen og specielt med fokus på overløbsmodulet, og de hydrauliske sammenhænge der ligger bag ved det enkelte overløbspunkt.

9.2.1 Oprettelse af datadeling af visualisering

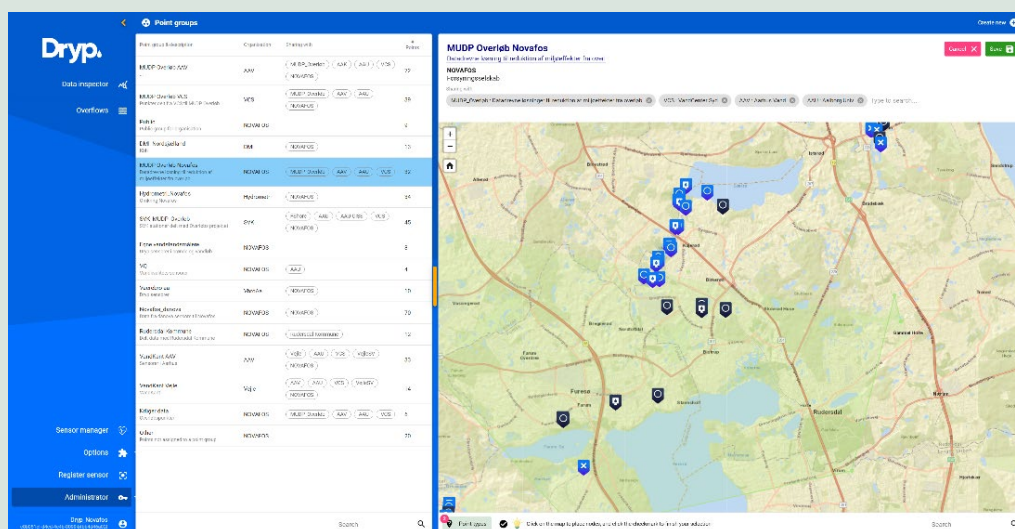
I forbindelse med aktiviteterne i Arbejdspakke 1 er der opstillet sensorer i en række oplande og overløbsbygværker, se kapitel "8 Arbejdspakke 1: Forberedelse". På billedet nedenfor ses opstilling af ultralyds målere i Giber Å's opland af Aarhus Vand. Disse sensorer kobler automatisk på en skyløsning, der er udviklet til at opsamle, kvalitetskontrollere og visualisere data fra recipienter og overløb. Sammen med andre metadata og punktnoter er der adgang til billeder, video og tegninger fra de enkelte installationer der typisk viser sig at være relevante når data skal deles.



FIGUR 33. Adgang til billeder fra installationen og metadata direkte fra tidsserierne med mulighed for at kommentere.

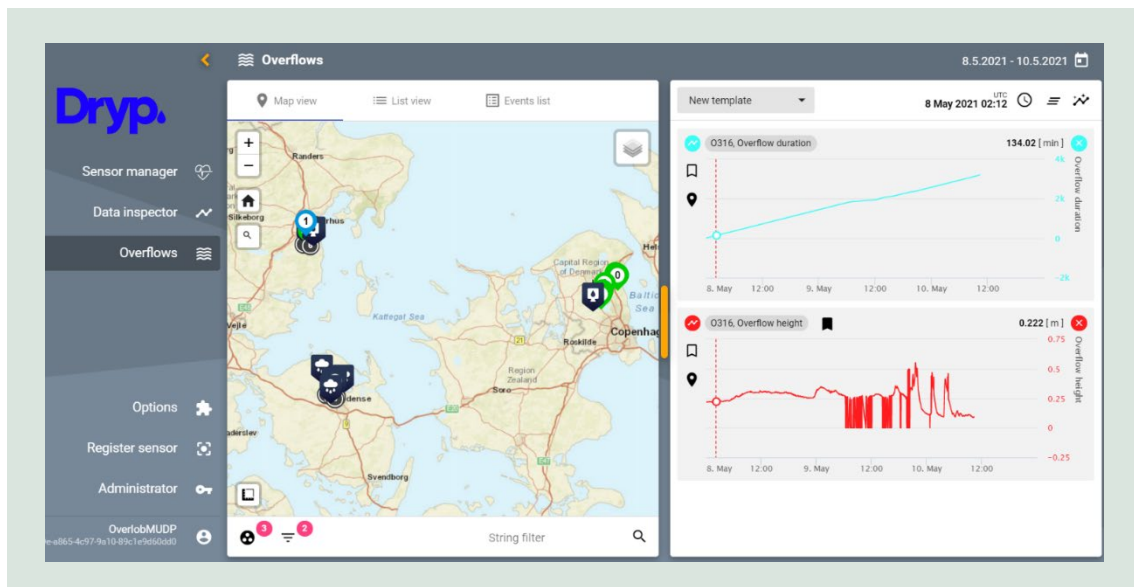
Der er udviklet en funktionalitet i portalen, der muliggør at partnerne i projektet kan dele data fra målestationerne i realtid. Dette kan gøres af brugerne selv direkte, uden at der behøves særskilt opsætning fra Dryp. Dette forsimples og smidiggør dataudvekslingen i projektet. Brugere har i stigende grad taget værktøjet i brug og også delt data med partnere udenfor projektet i stigende grad.

Herunder vises et eksempel på deling af stationer med udvalgte partnere.



FIGUR 34. Funktionalitet til deling af udvalgte data gennem oprettelse af brugergrupper.

På denne måde er der oprettet en fælles database over de data der opsamles gennem projektet. Data kan enten eksporteres eller tilgås gennem API kald (Application Programming Interface). Det muliggør både en efterfølgende analyse af data, men også realtidsstyrings potentiale. Disse ting kan opbygges i Dryp portalen eller implementeres i 3. part software.



FIGUR 35. Fælles visualisering og udveksling af data mellem Aarhus Vand, VCS og Novafos.

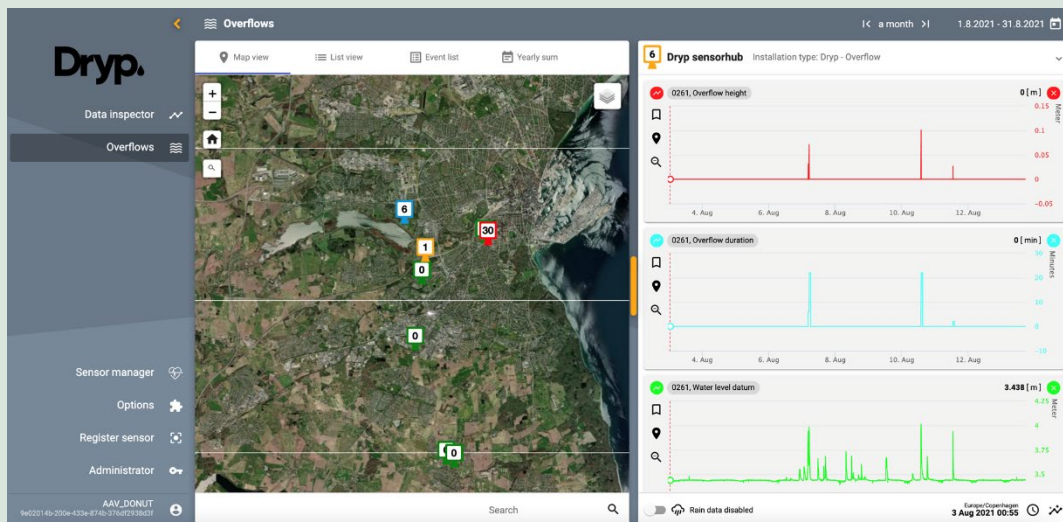
Det ses på FIGUR 35 at de tre deltagende forsyningers data nu kan vises på den fælles portal. Udover de dedikerede Dryp sensorer kan portalen også inkludere data fra forsyningernes eksisterende SRO-system eller fra 3. part sensorer. Specifikt er der også åbnet for import af offline stofmålere anvendt af universiteterne, samt for DVFI og DFI.

Alle data der kan tilgås i portalen kan på tilsvarende vis hentes via REST API ved anvendelse af samme login og password – ligesom det på de enkelte plots er muligt at hente det tilsvarende API kald til anvendelse programmatisk.

9.2.2 Overløbs-applikation

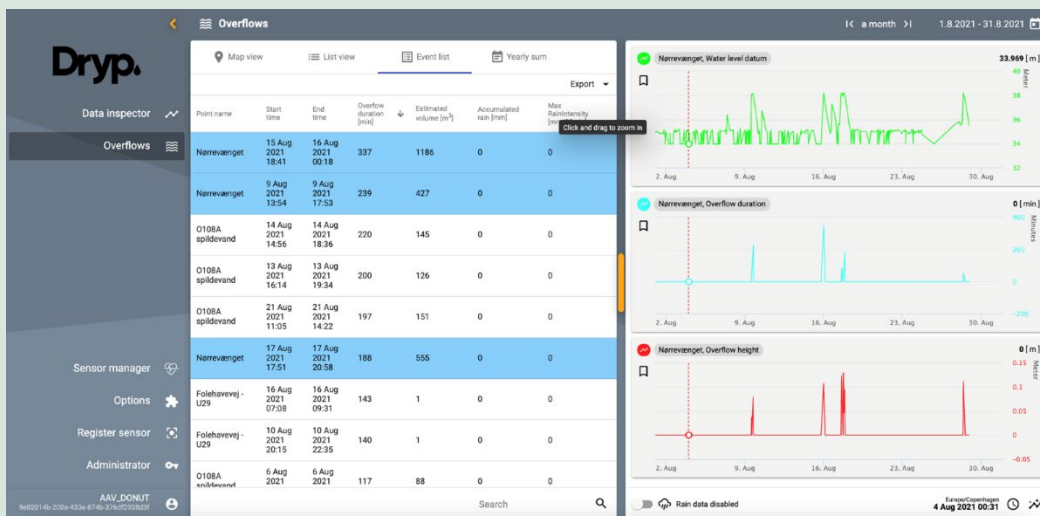
Specifikt til projektet OVERLØB er der udviklet en første version af et fokuseret interface til overløb. Overløbsmodulet vil løbende blive opdateret og tilpasset forsyningernes behov, således at det kan blive et værktøj både til daglige overblik, i en planlægningssammenhæng, og potentielt også til afrapportering.

Det daglige overblik tænkes brugt i forbindelse med hændelsen i går eller i nat, så man umiddelbart kan danne sig et overblik over hvor meget nedbør der har været i de enkelte oplande til de enkelte overløb, og se på sammenhængen mellem nedbør, vandstand og overløb, et eksempel er vist i figuren herunder.



FIGUR 36. Overløbsapplikationen for en given periode med dels overblik over alle overløbene med angivelse af antal overløb, og mulighed for at se på tidsserierne for de enkelte punkter.

Et overblik der opdateres løbende, giver mulighed for at agere og kommunikere hurtigere og på sigt kan det være et værktøj der støtter driften af afløbssystemet i de løbende beslutninger der skal tages.



FIGUR 37. Liste over de enkelte hændelser på flere punkter, der gør det muligt at sammenligne på tværs af regn intensiteter og varigheder.

I planlægningssammenhæng er fokus på at opsummere flere hændelser på tværs af punkter, og regnhændelser af varierende styrker (som i figuren herover), så det kan være et værktøj til at prioritere indsatserne både i afdækning af de faktiske belastninger og til fremtidige tiltag. Der er derfor tilføjet forskellige statistiske opsummering på måneds- og årsbasis, så brugeren kan sammenligne med udgangspunkt i tidligere hændelser og karakteristikkene for måneden og året sammenlignet med normalerne.

Overløbsapplikationen vil blive opdateret løbende i løbet af projektet. Hvis det viser sig brugbart hos de forskellige projektparter, er målet at få et samlet overblik over alle overløbspunkter der potentielt vil kunne bruges til indberetninger til PULS 2.

9.3 Alternative softwaresensorer

Begrebet softwaresensorer anvendes i projektet bredt til også at dække andre afledte variable i real-tid, enten via en beregning "on-the-fly" eller via et simpelt tabelopslag.

I flere bygværker er der som en del af projektet lavet CFD beregninger hvorfra der kan udledes forhold mellem vandstand og overløbs flow. Resultaterne herfra kan sammenlignes med overløbsformler med forskellige parametre, ligesom de naturligvis kan kontrolleres mod faktiske volumener og flow.

CFD-beregninger er nu implementeret som Q-h (flow som funktion af vandstands) relationer der gives via en mere eller mindre kompleks kurve. De enkelte vandstande interpoleres så ind på kurven lineært og flowet repræsenteres.

Én af de udfordringer der er ved at måle i et overløbsbygværk, er at man ofte er nødt til at måle i ét punkt og antage at den måling kan bruges i hele bygværket. Som eksempel kan nævnes at man måler vandstanden før overløbskanten. I en række situationer kan det være at der kun er overløb over en del af overløbskanten. Vandstandsmålingen er i de situationer ikke en pålidelig sensor til at bestemme overløbets start eller omfang.

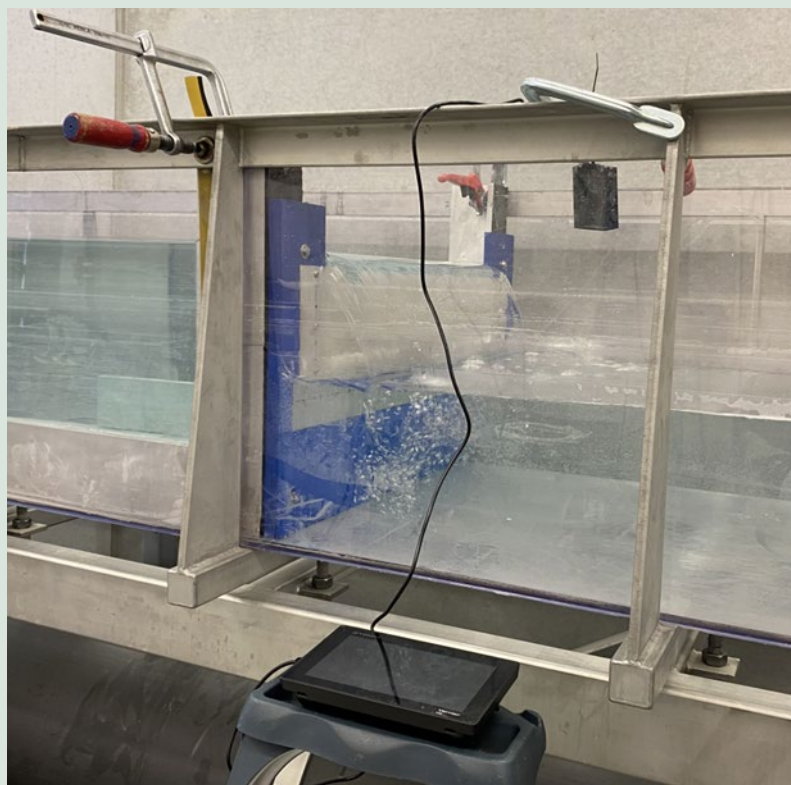
Derfor er der arbejdet med et sensorprincip, der indirekte måler på hele bygværket: Lyden fra overløbsvandet. Når der er overløb, vil vandet enten plaske ned på beton bunden eller ned i stående vand i overløbsledningen. Begge dele fremkalder lyd der enten stammer fra de trykbølger der opstår ved kollisionen af vand og beton eller ved de luftbobler der trækkes ned i vandet og frigives/springer senere. Antagelsen er at der vil være en sammenhæng mellem lydniveauet over overløb og at det vil være simpelt at bestemme overløbsstart og slut. Endeligt kan en mikrofon placeres mere frit og væk fra vandet, så der er bedre drift og mindre vedligeholdelse ved målingen.

Før ideen testes i et virkeligt overløbsbygværk bliver det først undersøgt i laboratoriet. Her kan fænomenerne studeres under kontrollerede forhold og en principiel vurdering af målekonceptets brugbarhed vurderes inden fuldskala test.



FIGUR 38. Forsøgssopstilling i hydraulisk rende på AAU.

I strømningssrenden recirkuleres vandet fra den ene til den anden ende, således at den fremstår som en "uendelig" kanal. FIGUR 38 viser overløbskanten placeret 2/3 nedstrøms indløbet. De sorte faskine materiale står oven på udløbet og beskytter mod at pumpen laver en "tornado" der suger luft ind i pumpen. Overløbet bruges både til at måle lydstyrken (i dB) og til at bestemme flowet vha. en overløbsformel.



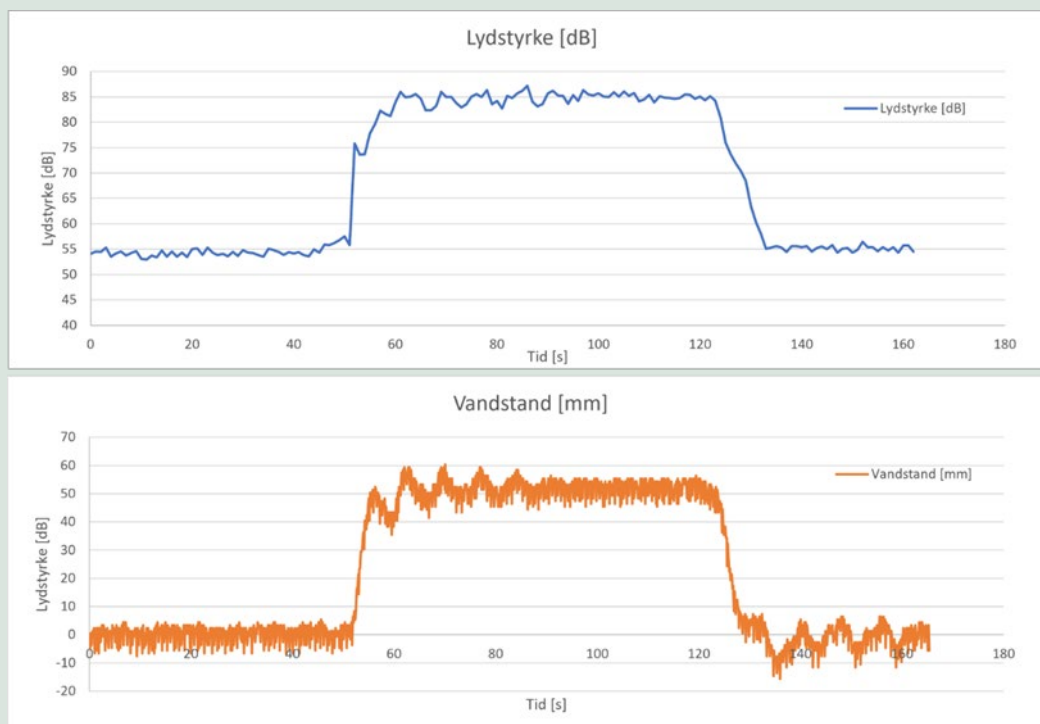
FIGUR 39. Forsøgsopstilling med overløb. Den sorte kasse indeholder lydstyrkemåleren.

Som det kan ses af FIGUR 39 løber vandet over og ned i vandet på den nedstrøms side. Det kan også ses at der medtages luft ned i vandet. Lydstyrkemåleren er en Vernier lydniveau måler (SLS-BTA). Den er forbundet med en Labquest 3 opsamlingsenhed der måler med 1 Hz.

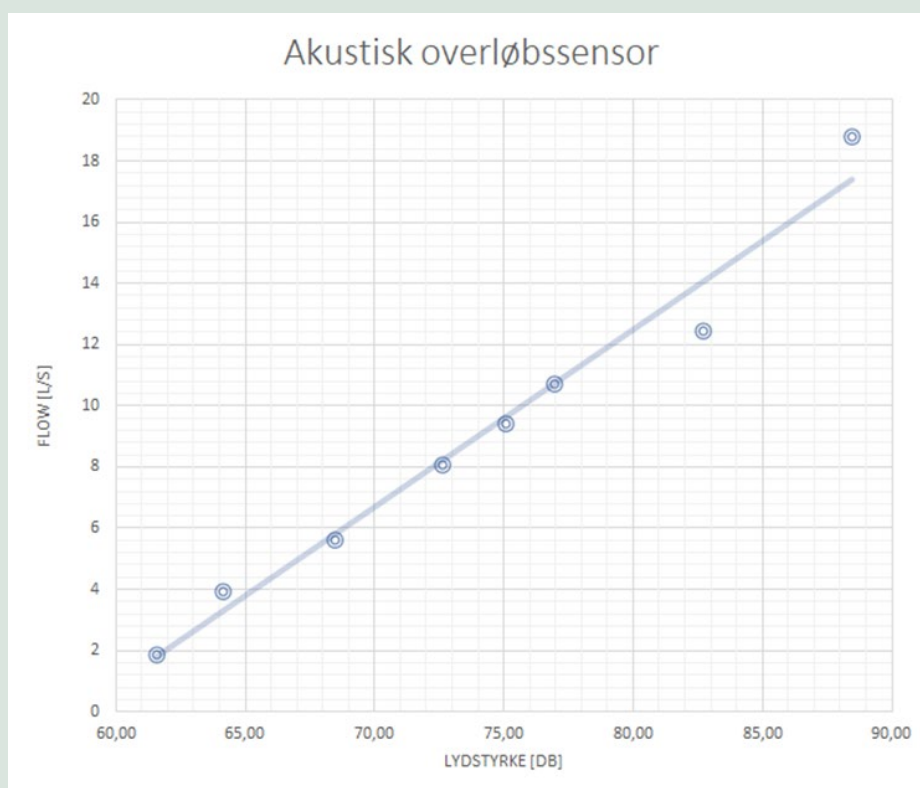
Den første mulige anvendelse af lyd måleren er til at bestemme om der har været overløb og hvornår det startede og sluttede. Her kan en vandstandsmåler være vanskelig at fortolke, da den måske ikke er placeret ideelt eller fordi overløbet ikke forekommer langs hele overløbskanten fra hændelsens start. I dette forsøg måles både lydstyrken og vandspejles højde foran overløbskanten.

Det kan ses at når pumpe flowet forøges sker der nogle bølger som refleksion som giver anledning til fluktuationer i vandstand, overløbsvandføring og lydstyrke. Dette kan genfindes i lydstyrken, som i dette tilfælde stiger med 30 dB. Softwaresensoren kan derfor bruges til at bestemme start og slut af hændelsen. Hvor det er meget klart på vandstandsmålingen hvornår hændelsen starter er det ud fra samme signal mere usikkert hvornår det slutter,

En mere avanceret anvendelse er at forsøge at bestemme flowet over overløbskanten. Her skal der først laves en kalibreringskurve mellem flow og lydstyrke. Dernæst laves der en simuleret overløbshændelse og det bliver sammenlignet med estimatet ud fra det skarpkantet overløb. Der blev justeret på flowet i renden ved 8 forskellige værdier og lydstyrken blev midlet over 30 sekunder.



FIGUR 40. Lydstyrken målt ved overløb samt vandstand opstrøms overløbskant.

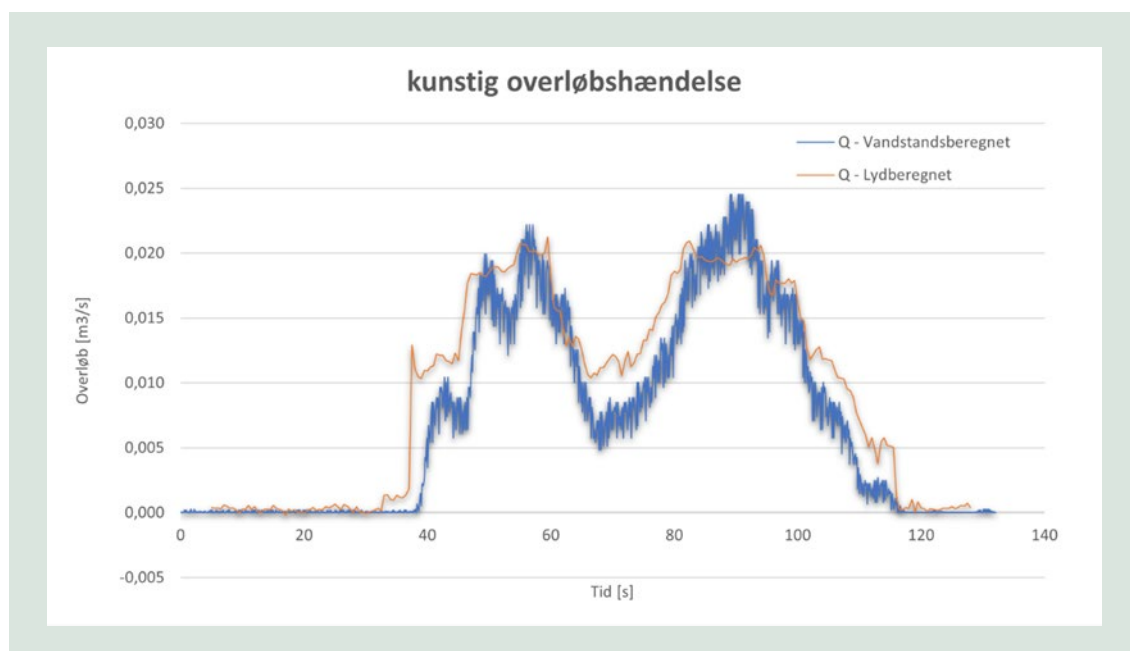


FIGUR 41. Flow som funktion af lydstyrken målt ved overløb.

Det ses af FIGUR 41 – noget overraskende – at der er en næsten lineær sammenhæng mellem lydstyrke og flow. Det skal bemærkes, at det ikke betyder at det altid vil være således og at man kan måle det samme i et overløbsbygværk. Men det beviser at ideen kan være levedygtig. Strålen er i alle kombinationer fuldt ventileret og dette er opnået ved at lave en kontraheret overløbskant.

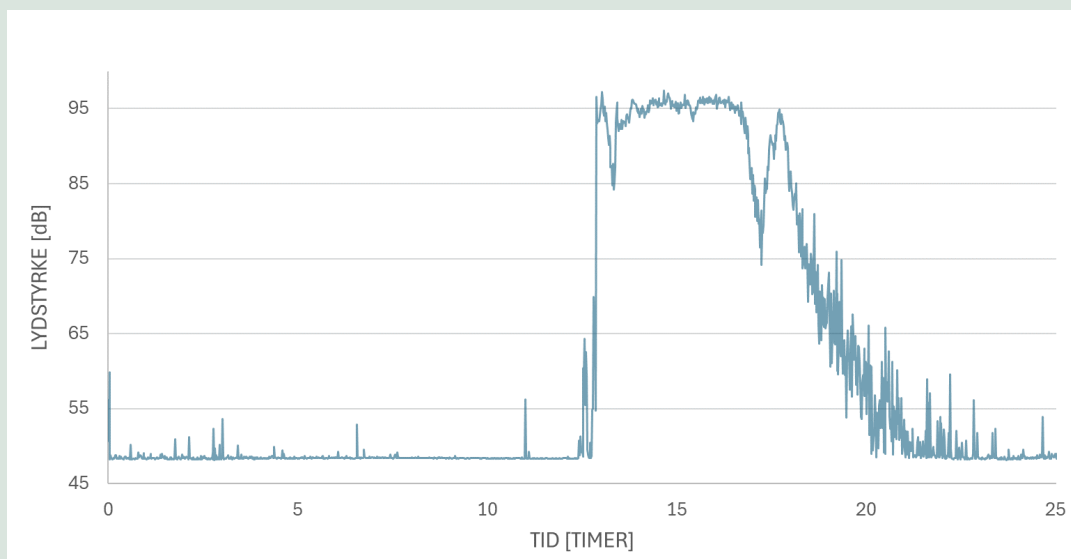
Som en illustration af potentialet er der lavet en kunstig hændelse i strømningsrenden, hvor flowet er varieret op og ned for at efterligne en varierende overløbshændelse. Der sammenlignes mellem flow beregnet ud fra en overløbsformel og flow beregnet ud fra lyd. Der skal laves yderlige forsøg for at validere dette med et mere robust forsøgs set up.

De foreløbige resultater virker lovende for at kunne lave en simpel softwaresensor ud fra lydstyrken.



FIGUR 42. Estimeret flow over overløbskanten ud fra hhv. vanddybden og lydniveauet.

Konceptet blev også testet i et regnvandsbygværk i Aalborg for at se om lydmålingen kunne bruges til at bestemme start- og stop tidspunkterne for udløbet. Forsøget blev udført på et forsøgsbassin nær Sdr. Tanders.



FIGUR 43. Måling af lydniveau i Sdr. Tranders regnvandsudløb.

Det kan ud fra FIGUR 43 ses at hændelsen starter meget skarpt og afslutter mere gradvist efterhånden som vandet løber af oplandet. Det kan ikke afvises at den forsinkede afstrømning også kan skyldes afstrømning fra ubefæstede arealer, da oplandet er forholdsvis stejlt. Det kan ses at hændelsen varer ca. 9 timer indtil at man er tilbage til startniveauet.

Baggrunds niveauet er omkring 48 dB med små Spikes som skyldes trafik nær bygværket (muligvis kørsel over dæksler - der transmitteres gennem rørene). De maksimale værdier når i nærheden af 95 dB som må siges at være særdeles larmende med mulighed for høreskade hvis man befinder sig i bygværket over længere tid.

9.4 Målinger af stof in-sewer

I forbindelse med projektet udtages prøver til analyse for forureningsparametre i vandet. Der er sat en prøveudtager op ved overløbsbygværk Thulevej. Prøvetagningen blev udført som tidsproportionale puljede prøver.

Signalet til at suge vand op i prøvetagningsglasset gives når vandstanden er 2 cm under overløbskanten. Der suges 50 ml i løbet af ca. 20 sek. Så længe vandstanden er over den givne kote gives signal til sug hvert 5. min.

Vandet suges op i en 10 l beholder der står i et køleskab. Når beholderen er fyldt skiftes automatisk til næste beholder. Der er i alt 4 beholdere. Vi løb ikke tør for plads i beholderne. Prøverne er blevet analyseret på Vandcenter Syds eget laboratorie.

Der er ialt analyseret 138 prøver.

9.5 Målinger af iltforhold til identifikation af effekter i vandløb

Fokus i Giber Å oplandet har været anderledes end i de to andre oplande i projektet. Modsat de to andre oplande i projektet, hvor der er arbejdet med specifikke overløbsstrukturer er der i Giber Å oplandet arbejdet med hele den øvre halvdel af Giber Å og de forskellige typer af udløb til åen. Giber Å oplandet er nærmere beskrevet i afsnit 8.2, herunder placeringer af målere.

Instrumentering af Giber Å oplandet med ilt-sensorer i projektet var primært motiveret af 1) et ønske om at undersøge, om det var muligt at måle den dynamiske respons i recipienten fra udledninger fra de tekniske vandsystemer samt 2) et ønske om kunne gøre dette via 'omkostningseffektive' målestationer med minimale drifts- og vedligeholdelsesomkostninger.

Det underliggende koncept for instrumentering i Giber Å oplandet er, at udledningerne skulle ses fra recipientens perspektiv, og fokus har derfor været at måle responsen i recipienten via gode indikatorer for vandkvalitet i relation til den økologisk tilstand. Ilt er i denne sammenhæng en god måleparameter, hvor der er sket signifikante fremskridt inden for måleteknikken over det seneste årti, som burde gøre det muligt at etablere 'omkostningseffektive' målestationer med minimale drifts- og vedligeholdelsesomkostninger.

Hvis recipientens respons fra regnbetingede overløb af opspædet spildevand skal vurderes er det også nødvendigt at se på de andre regnbetingede udløb, da responsen og effekten i vandløbet med høj sandsynlighed vil være den akkumulerede effekt af alle udledninger opstrøms det pågældende målepunkt. I instrumenteringen af Giber Å oplandet har der derfor både været fokus på overløb, nødoverløb, regnvandsbassiner og direkte regnvandsudledninger.

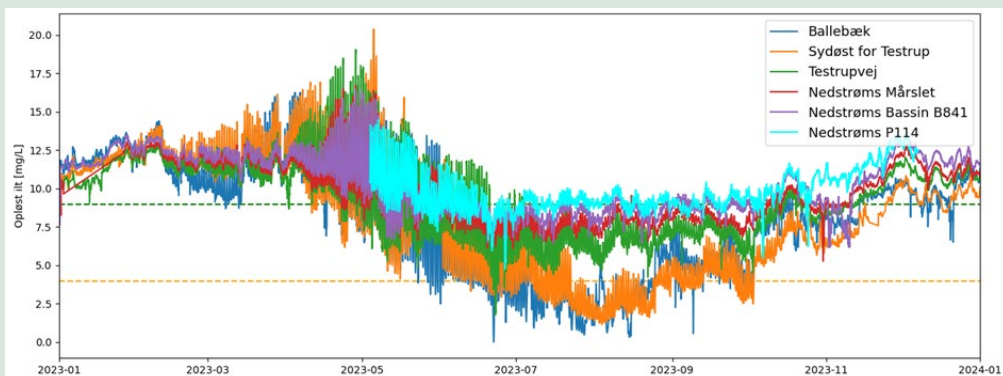
Der er anvendt 10 stk. D-opto sensorer til etablering af iltmålestationer i projektet. Derudover er der benyttet data fra tre eksisterende måleindsatser fra Aarhus Vand og Aarhus Kommune til kontinuerlig overvågning af iltkoncentrationen. Baggrunden for valget af D-opto sensoren er nærmere beskrevet i afsnit 8.4.2.1.

Det er valgt at begrænse placeringen af målestationerne for ilt til den øverste halvdel af vandløbet. Den nederste sensor (Nedstrøms P114) er placeret umiddelbart før tilløbet fra Langballe Bæk til Giber Å (nedstrøms Beder by og pumpestation). Derved er strækningen med den primære bebyggelse i Giber Å oplandet dækket ind af målestationerne. Den fysiske tilstand af Giber Å er god ved denne station, og giver god mulighed for geniltning efter en eventuel påvirkning. Ved denne nedstrøms grænse for fokusområdet har det generelle iltniveau varieret mellem 7 og 15 mg/l opløst ilt.

De eneste signifikante registrerede hændelser ved iltensoren Nedstrøms P114, hvor ilt-niveauet er faldet kraftigt (4-5 mg/l) i kortere perioder (6-12 timer) er den 26/6-2023, 7/10-2023 og 25/10-2023. Det bemærkelsesværdige ved disse hændelser er, at de nærmeste opstrøms ilt-sensorer ikke har registreret lignede kraftige fald i ilt koncentrationer. Hændelserne den 26/6 og 25/10 sker i forbindelse med nedbør, mens den 7/10 sker er under tørvejr. Det har ikke været muligt at forklare disse tre ilt-påvirkningshændelser nærmere på baggrund af de indsamlede data eller data fra de tekniske vandsystemer. Disse tre påvirkninger forventes derfor at være forårsaget af andre udledninger til Giber Å eller ikke-moniterede udledningspunkter fra de tekniske vandsystemer.

Målingerne viser, at der er en god geniltning inden målestationen Nedstrøms P114, hvilket stemmer godt overens med, at den økologiske tilstand af Giber Å vurderes som god eller høj i denne del og nedstrøms. Sensorplaceringen anses derfor som en fin nedstrøms grænse for fokusområdet og projektets undersøgelser.

FIGUR 44 viser alle målinger i 2023 fra de seks ilt-sensorer, som var installeret i henholdsvis Ballebæk og Giber Å i denne periode. Målingerne viser typiske og forventelige variationer for et vandløb. Iltkoncentrationerne er højst i vinter- og forårmånederne, og lavest i sommermånederne. Generelt ses det, at iltkoncentrationen stiger jo længere nedstrøms målestationen er i Giber Å. I sommermånederne er der en tydelig forskel mellem de to sensorer, som er placeret i den øvre del af vandløbet med et mere 'kanaliseret profil' og lav hældning (Ballebæk og Sydøst for Testrup), og de fire sensorer, der er placeret i den del af vandløbet, som har et mere 'naturligt profil' med større hældning.



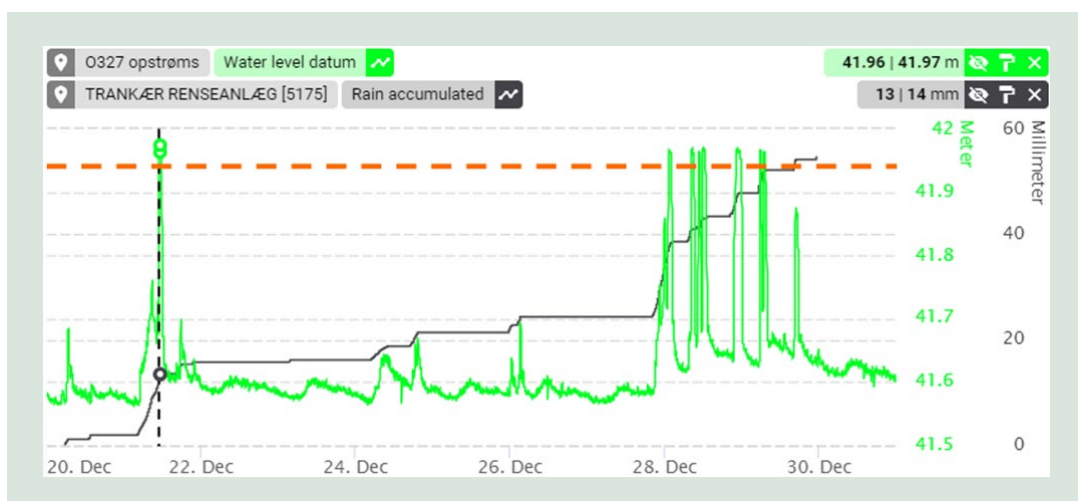
FIGUR 44. Målte iltkoncentrationer i Ballebæk og Giber Å ved seks målestationer i perioden fra 1/1-2023 til 31/12-2023. Den grønne stiplede linje markerer den optimale iltniveau grænse for Ørred (over 9 ppm (9 mg/l)), og den orange stiplede linje viser den kritiske grænse for de fleste fiskearter (4 ppm (4 mg/l)).

Det indsamlede datasæt er stort, komplekst og meget rigt på potentielle indsigter. Det er ikke muligt at afspejle datasættet og de mulige indsigter der kan drages fra datasættet til sit fulde i denne rapport. Der er derfor valgt nogle gode repræsentative eksempler ud for de forskellige udledningstyper nævnt tidligere.

9.5.1 Overløb

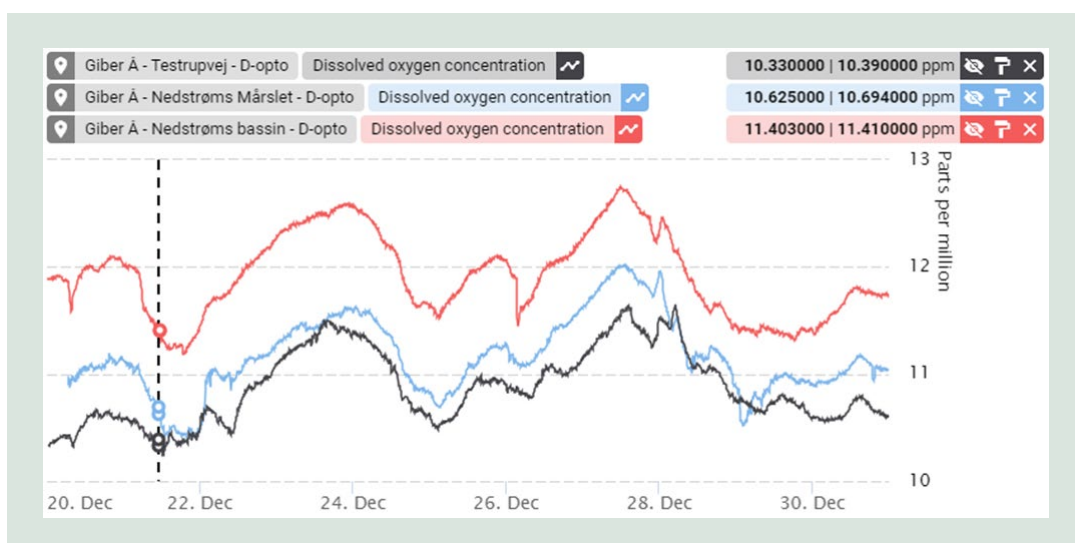
I dette afsnit gives der eksempler fra forskellige tidspunkterne af året, hvor der er regnbetingede overløb, og dermed også direkte regnvandsudleder og udledninger fra regnvandsbassiner. Målestationerne er placeret sådan, at det skulle være muligt (datamæssigt) at isolere kraftige påvirkninger fra overløb O327 umiddelbart nedstrøms dets udløb til Giber Å. Hvis sådan en påvirkning finder sted, burde det kunne ses i målingerne, og der skulle kunne ses tydelig forskel mellem regnhændelser med og uden overløb fra O327.

Det første eksempel er en periode på ti dage i slutningen af december 2023. I denne periode var der fem regnbetingede overløb, samt fem regnhændelser, som ikke gav anledning til overløb. FIGUR 45 viser vandstanden i overløbsbygværket og den akkumulerede nedbørsmåling fra nærmeste SVK regnmåler (nr. 5175, Trankær) fra den 20/12-2023 til og med den 31/12-2023.



FIGUR 45. Vandstand i overløb O327 (Mårslet) og akkumuleret nedbør (55 mm) i perioden 20/12 til 31/12-2023.

FIGUR 46 viser de målte koncentrationer af opløst ilt i Giber Å nedstrøms overløbsbygværk O327 i samme tidsperiode, som vist på FIGUR 3. Målestationen "Giber Å – Testrupvej" er ca. 600 meter opstrøms O327, målestationen, "Giber Å – Nedstrøms Mårslet" er ca. 150 meter nedstrøms O327 og målestationen "Giber Å – Nedstrøms bassin" er ca. 1100 meter nedstrøms O327.

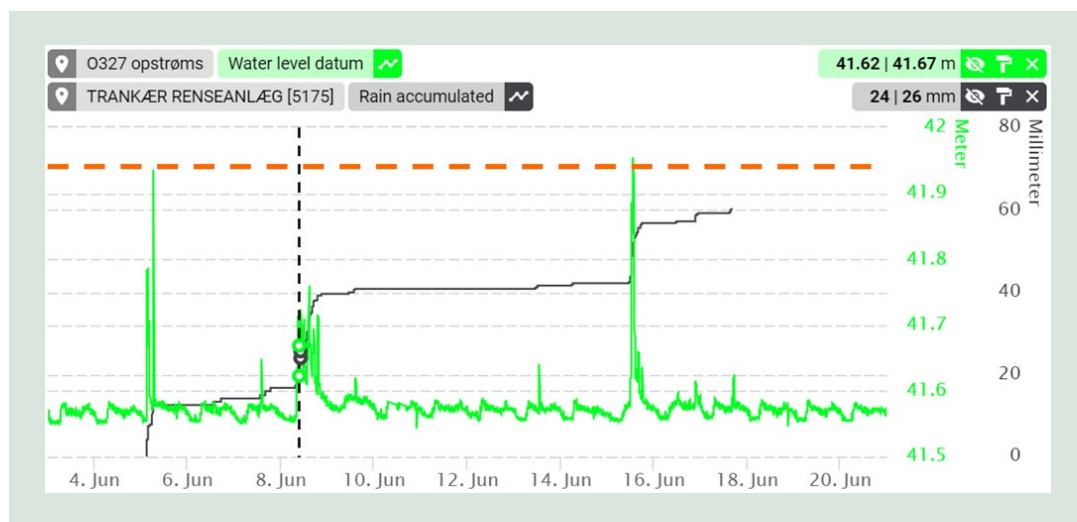


FIGUR 46. Opløst iltkoncentrationer i Giber Å umiddelbart opstrøms Mårslet (Testrupvej), umiddelbart nedstrøms Mårslet og umiddelbart nedstrøms regnvandsbassiner (B841) ved Mårslet pumpestation i perioden 20/12 til 31/12-2023.

Målingerne illustreret på FIGUR 46 viser, at iltkoncentrationerne er lavest ved den mest opstrøms målestation, og er derefter stigende ved de to efterfølgende målestationer. Målingerne viser mindre fald i iltkoncentration under regnhændelserne, men der ses ikke en tydelig forskel på faldet ved hændelser med eller uden overløb fra O327. Ved hændelserne den 21. og 28-29. december ses det dog, at iltkoncentrationerne Nedstrøms Mårslet falder til samme eller lige under niveauet ved Testrupvej. Den normale positive ændring (geniltning) fra Testrupvej til Nedstrøms Mårslet varierer mellem 0,2 og 0,5 mg/l i perioden, når der ikke er regnbetingede overløb. Den potentielle negative påvirkning fra overløbet ligger derfor mellem 0,2 og 0,5 mg/l, og det er svært at udelukke, at påvirkning er isoleret til overløbet, da der også kan være andre udledninger mellem de to målepunkter, som kan have en negativ effekt.

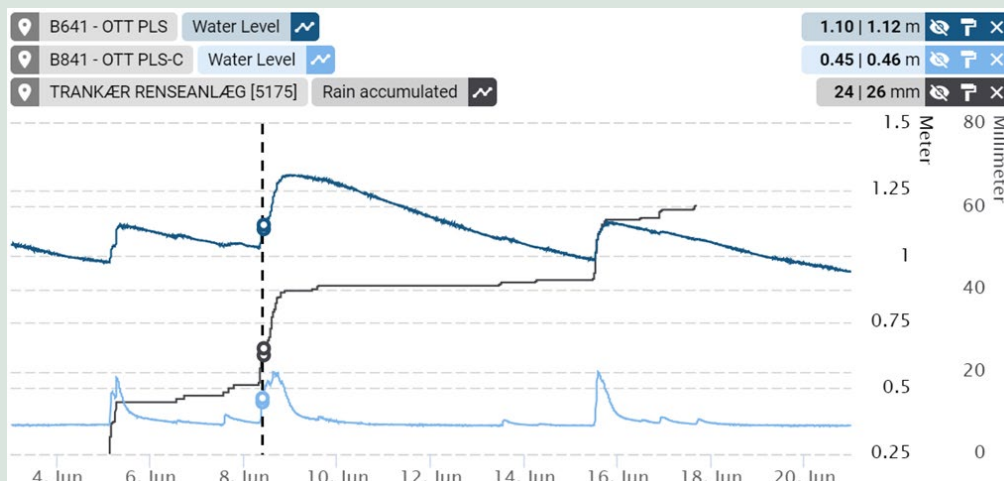
Den relativt lille ændring, som potentielt kan tilskrives overløbet skal ses ift. det generelle iltniveau på vandløbsstrækning (over 10 mg/l) og ift. de normale daglige variationer i vandløbet, som kan være ± 1 mg/l. Desuden skal den potentielle negative påvirkning fra overløbet ses i forhold til den generelle negative påvirkning af iltniveauet på vandløbsstrækningen, når det regner. Her ses det, at de mindre regnhændelser uden overløb giver en negativ påvirkning i størrelsesordenen af 0,5 mg/l.

Det andet eksempel er en periode på 18 dage i midten af juni 2024. I denne periode var der en overløbshændelse (d. 15/6), samt to større regnhændelser (5/6 og 8/6), som ikke gav anledning til overløb. FIGUR 47 viser vandstanden i overløbsbygværket og den akkumulerede nedbørsmåling fra nærmeste SVK regnmåler (nr. 5175, Trankær) fra den 3/6-2024 til og med den 20/6-2024.



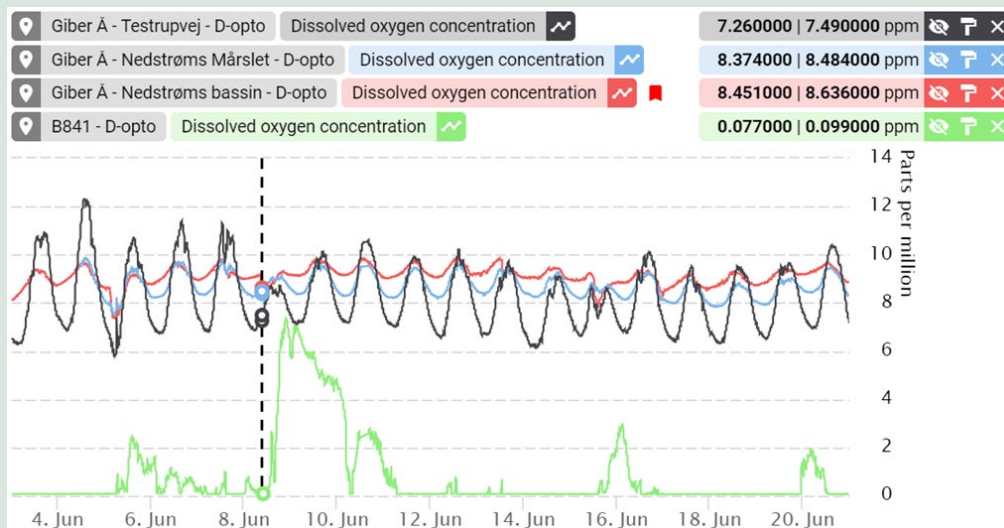
FIGUR 47. Vandstand i overløb O327 (Mårslet) og akkumuleret nedbør (60 mm) i perioden 3/6 til og med 20/6-2024.

Perioden i juni 2024 er valgt for at repræsentere en periode, hvor der opstår lave iltkoncentrationer i regnvandsbassinerne i oplandet, og derfor potentielt negativ påvirkning af vandløbets iltkoncentration pga. udledning fra disse. FIGUR 48 viser vandstanden i regnvandsbassinerne B641 (Trankær) og B841 (Mårslet) sammen med den akkumulerede nedbør i perioden. Udløbet fra B641 er ca. 3400 meter opstrøms O327, og udløbet fra B841 er ca. 1050 meter nedstrøms O327, og ca. 50 meter opstrøms ilt-målestationen "Giber Å – Nedstrøms bassin".



FIGUR 48. Vandstand i regnvandsbassinerne B641 (Trankær) og B841 (Mårslet), samt og akkumuleret nedbør (60 mm) i perioden 3/6 til og med 20/6-2024.

FIGUR 49 viser iltkoncentrationen i Giber Å opstrøms og nedstrøms overløbsbygværk O327. Målestationen "Giber Å – Testrupvej" er ca. 600 meter opstrøms O327, målestationen "Giber Å – Nedstrøms Mårslet" er ca. 150 meter nedstrøms O327 og målestationen "Giber Å – Nedstrøms bassin" er ca. 1100 meter nedstrøms O327. Målestationen "B841" er placeret i bassinet nær dets udløb til Giber Å. Målingerne herfra burde være repræsentative for udløbsvandet fra bassinet.

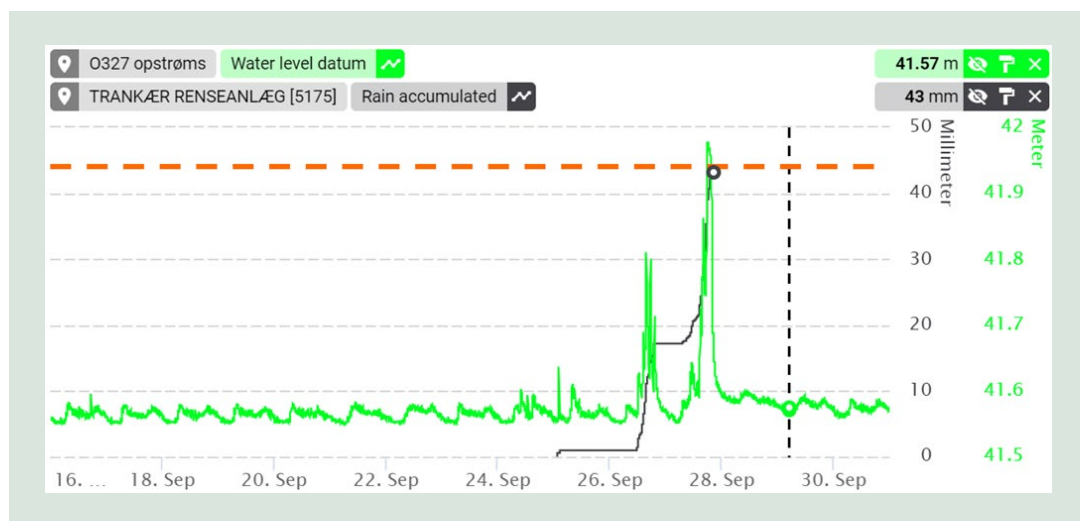


FIGUR 49. Opløst iltkoncentrationer i Giber Å umiddelbart opstrøms Mårslet (Testrupvej), umiddelbart nedstrøms Mårslet og umiddelbart nedstrøms regnvandsbassiner (B841) ved Mårslet pumpestation, samt i regnvandsbassinet (B841) i perioden 3/6 til og med 20/6-2024.

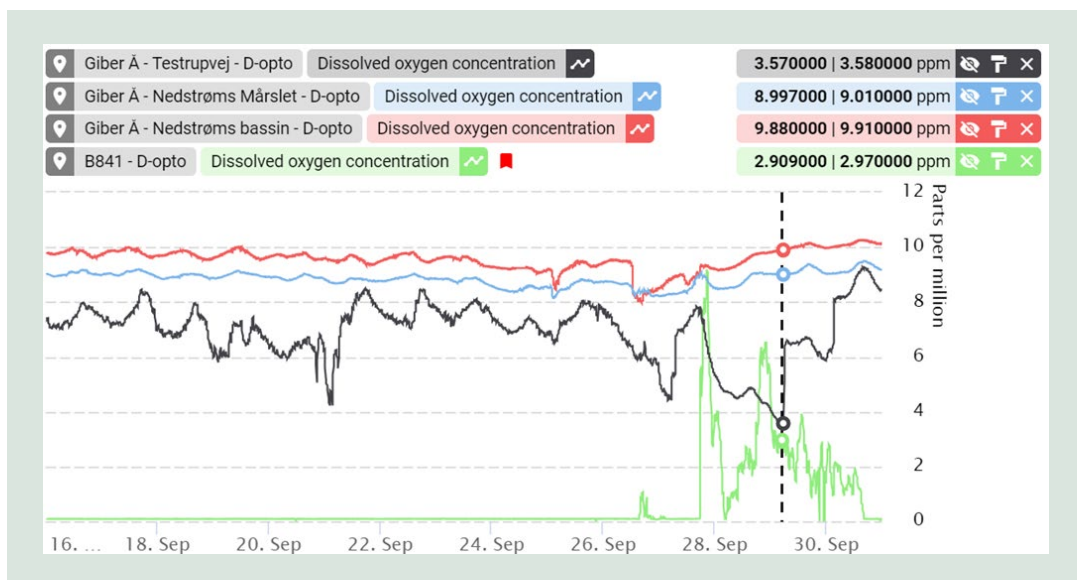
Målingerne på FIGUR 49 viser, at der ved de tre regnhændelser (d. 5/6, 8/6 og 15/6,) sker en mindre påvirkning af iltkoncentrationen i Giber Å. Det ses også at der ikke er en synlig forskel på påvirkningerne ved hændelsen med overløb d. 15/6 og de to andre hændelser. Det ses også, at den umiddelbart største negative påvirkning måles nedstrøms bassin B841, hvilket formentlig skyldes at regnvandsbassinet er tilnærmelsesvist iltfrit i denne periode. Under regnhændelsen bliver der udledt iltfrit vand til vandløbet, hvilket giver den negative påvirkning umiddelbart nedstrøms i vandløbet.

Det skal noteres, at det generelle iltniveau i perioden nedstrøms Mårslet svinger mellem 8 mg/l og 10 mg/l, hvilket må vurderes som et relativt fint niveau for sommerperioden. Påvirkningerne fra de regnbetingede udledninger er mindre end de daglige variationer i perioden.

Det tredje og sidste eksempel for overløb er en periode på 15 dage i slutningen af september 2024, hvor der er en længere tørvejrperiode forud for en regnhændelse på 16 mm, som ikke resulterer i overløb ved O327, efterfuldt af en regnhændelse på 26 mm, som resulterer i overløb. FIGUR 50 viser vandstanden i overløbsbygværket og den akkumulerede nedbør fra den 3/6-2024 til og med den 20/6-2024. FIGUR 51 viser de målte koncentrationer af opløst ilt i Giber Å opstrøms og nedstrøms overløbsbygværk O327. Målestationerne er de samme som ved forrige eksempel.



FIGUR 50. Vandstand i overløb O327 (Mårslet) og akkumuleret nedbør (43 mm) i perioden 16/9 til og med 30/9-2024.



FIGUR 51. Opløst iltkoncentrationer i Giber Å umiddelbart opstrøms Mårslet (Testrupvej), umiddelbart nedstrøms Mårslet og umiddelbart nedstrøms regnvandsbassiner (B841) ved Mårslet pumpestation, samt i regnvandsbassinet (B841) i perioden 16/9 til og med 30/9-20.

I dette eksempel er det valgt at medtage en længere tørvejrperioden for at vise, at der opstrøms Mårslet er relativt store udsving i iltkoncentrationen selvom det ikke regner. Målestationen ved Testrupvej er placeret umiddelbart efter det stykke af Giber Å, som er beskrevet, som værende et 'kanaliseret profil' med lav hældning, i vandløbsregulativet for Giber Å. FIGUR 51 viser også, at ilt koncentrationerne på den øvre strækning opstrøms Mårslet (Testrupvej) kan falde til under 4 mg/l i sommerperioden. Målingerne Nedstrøms Mårslet viser, at der er en fin geniltning på strækningen efter Testrupvej.

I tørvejrperioden frem til den 25. september ses det, at iltkoncentrationen ved de to nedstrøms målestationer har stabile døgnvariationer mellem 9 mg/l og 10 mg/l. Ved regnhændelserne den 25. og 26. september, hvor der ikke er overløb fra O327, ses der et mindre fald i iltkoncentrationerne nedstrøms bassin B841. Ved disse hændelser udledes iltfattigt vand fra regnvandsbassinet, og dermed sænkes iltniveauet i vandløbet. Ved regnhændelsen den 28. september sker der en geniltning af vandet i regnvandsbassinet, hvorved der ikke udledes iltfattigt vand til vandløbet. Den 28. september er regnen så kraftig, så det resulterer i et overløb fra O327. På trods af overløbet ses der ikke en betydelig påvirkning af iltkoncentrationen ved de to nedstrøms målestationer.

Historien den 28. september er dog en anden for den opstrøms målestation ved Testrupvej, hvor der i det efterfølgende døgn ses et relativt kraftigt fald i iltniveauet ned til under 4 mg/l. Dette skyldes formentlig at iltfattigt vand fra den opstrøms del af vandløbet skubbes ned til målestationen, samt udledning af iltfattigt vand fra regnvandsbassiner.

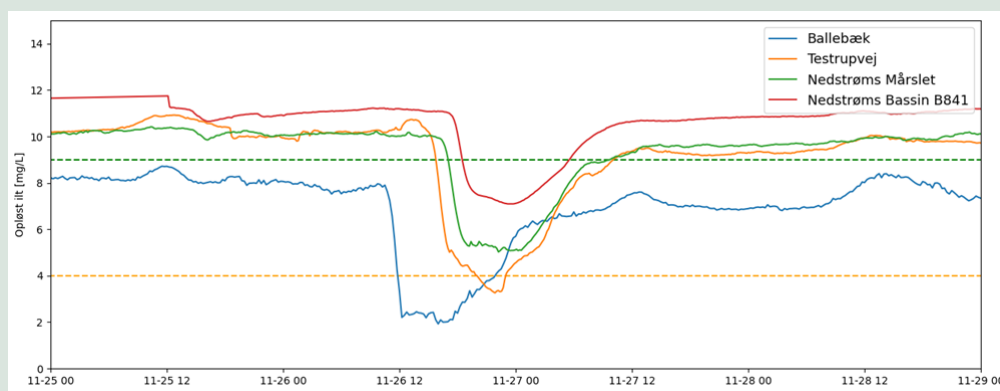
De tre eksempler vist i dette afsnit vurderes at være repræsentative for de generelle effekter på iltkoncentrationerne observeret i Giber Å i projektperioden. Målestationerne er placeret således, at hvis der ville være en umiddelbar effekt på iltniveauet i Giber Å ved overløb fra O327, så burde målestationerne have observeret det. De tre eksempler herover viser, at der er en minimal målbar effekt, men at effekten er mindre end vandløbets daglige variationer, og er mindre end de akkumulerede effekter fra andre regnbetingede udledninger opstrøms. Målingerne viser, at vandløbet generelt har en god geniltning på strækningen omkring Mårslet, og det vurderes, at denne gode fysiske tilstand af vandløbet er med til at sikre, at udledningerne kun har en lille effekt på iltbalancen i vandløbet.

9.5.2 Nødoverløb

Som en del af adskillelsen af de fælleskloakerede afløbssystemer og centralisering af renseanlæg i Giber Å oplandet er der indført en række nødoverløb i forbindelse med de etablerede pumpestationer. Nødoverløb er normalt ikke i anvendelse medmindre der er en driftshændelse på pumpestationen, som leder til pumpestop. Nødoverløb etableres, så der er kontrol over, hvad der sker i en driftssituation som leder til pumpestop.

I monitoringsperioden i projektet opstod der en driftshændelse på Trankær pumpestation, som har ledt til et komplet pumpestop over nogle timer. Pumpesumpen og reservebassinerne blev fyldte under hændelsen, hvorved der opstod nødoverløb til Ballebæk og dermed Giber Å fra Trankær pumpestation.

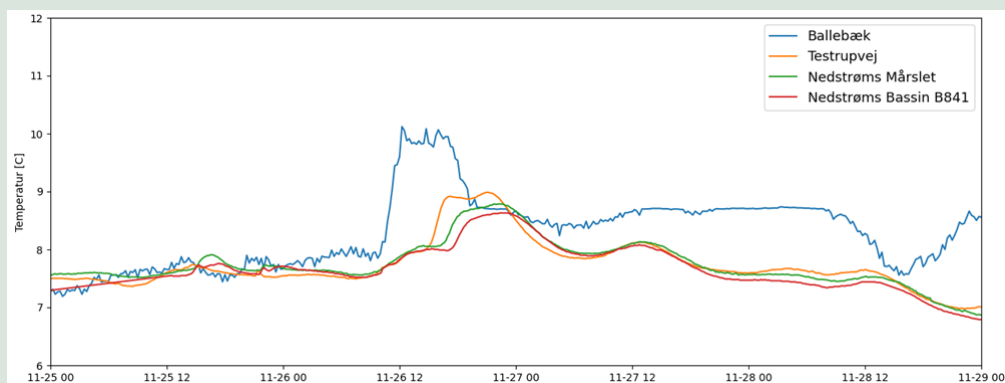
Nødoverløbet skete i vintermånederne og det estimeres, at flowet fra nødoverløb har udgjort ca. 1/3 af det samlede flow (150 l/s) i den øvre del af Giber Å på daværende tidspunkt. FIGUR 52 viser variationen i iltkoncentrationen ved fire målestationer nedstrøms nødoverløbet i Ballebæk og Giber Å.



FIGUR 52. Iltvariation i Ballebæk og Giber Å ved seks målestationer i perioden 25/11-2022 til 28/11-2022. Den grønne stiplede linje markerer den optimale iltniveau grænse for Ørred (over 9 ppm (9 mg/l)), og den orange stiplede linje viser den kritiske grænse for de fleste fiskearter (4 ppm (4 mg/l)).

Målingerne af opløst ilt ved de fire stationer viser et tydeligt fald i vandløbets iltniveau. Afstanden mellem nødoverløbet og de alle fire målestationer er af en størrelse, så det vurderes, at der er fuld opblanding i vandløbet. Målingerne viser, at der er en forventelig tidlig forsinkelse i påvirkningerne pga. strømningshastigheden i vandløbet, og at påvirkningerne aftager jo længere nedstrøms målestationerne er i vandløbet. Den aftagende påvirkning ned gennem vandløbet vurderes at være pga. øget fortynding, samt geniltning. Målinger fra andre perioder viser, at vandløbet generelt har gode geniltningsegenskaber nedstrøms Testrupvej (i Mårslet). Dette stemmer overens med, at vandløbet her skifter karakter fra et kanaliseret profil med lav hældning til en mere naturligt profilen med større hældning. Generelt ses det, at iltniveauet er over 9 ppm (9 mg/l) inden hændelsen, og at iltniveauet vender tilbage relativt hurtigt efter hændelsen.

Udover iltpåvirkningen viser målingerne også en temperatur påvirkning af vandløbet under denne hændelse. FIGUR 53 viser variationen i temperatur ved fire målestationer nedstrøms nødoverløbet i Ballebæk og Giber Å.

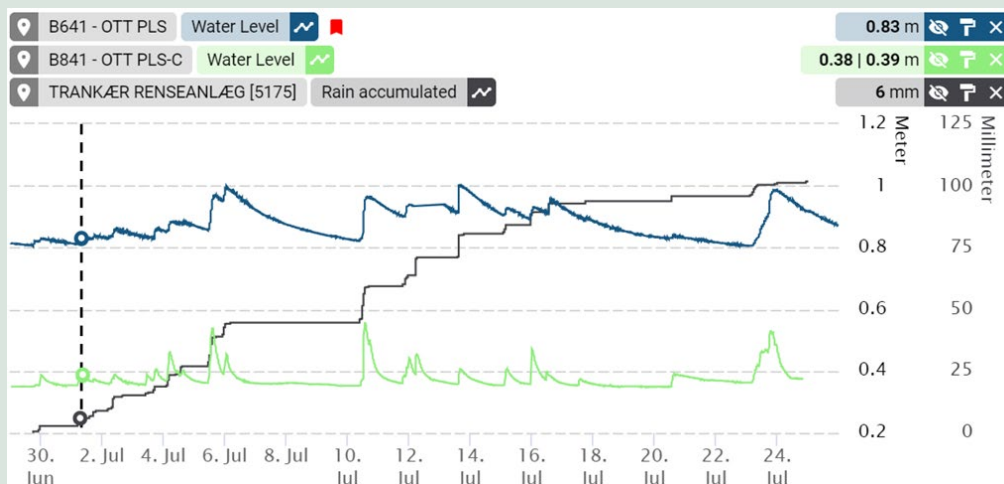


FIGUR 53. Temperaturvariationer i Ballebæk og Giber Å ved fire ilt-målestationer i perioden 25/11-2022 til 28/11-2022. Ift. fiskevand, så trives ørred bedst ved temperaturer mellem 9 °C og 18 °C.

Målingerne viser, at temperaturen i vandløbet stiger op til 2 °C fra 8 °C til 10 °C under hændelsen. Hændelsen skete i november, hvor målingerne viser, at den generelle temperatur i vandløbet varierer mellem 6 °C og 8 °C umiddelbart før og efter hændelsen. Temperaturændringerne vurderes ikke som væsentligt, da vandløbet i forvejen kold. Hvis hændelsen var sket i sommermånederne, hvor der i perioder ses vandtemperaturer over 20 °C ville der formentlig ikke have været en temperaturpåvirkning, da spildevand ofte har temperatur mellem 14 og 20 °C.

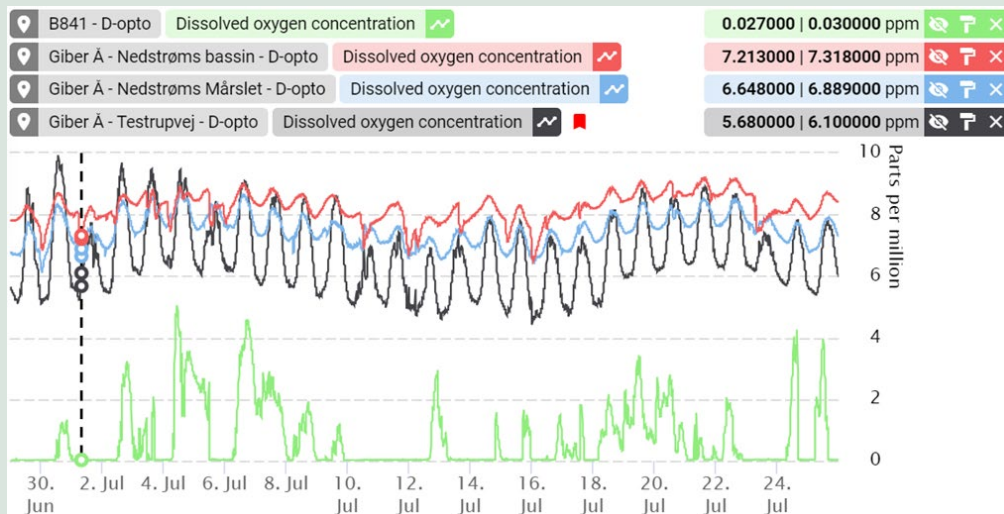
9.5.3 Våde regnvandsbassiner

I dette afsnit er det valgt at fokusere en periode på 26 dage i sommeren 2023, der samlet falder 102 mm regn, og hvor der ikke er overløb til Giber Å fra O327. Dette giver god mulighed for at fokusere på udledningerne fra regnvandsbassinerne, og særligt B841 (ved Mårslet), da det er denne strækning af Giber Å som er bedst monitoreret ift. opløst ilt. FIGUR 54 viser vandstanden i regnvandsbassinerne B641 (Trankær) og B841 (Mårslet), samt den akkumulerede nedbørsmåling fra nærmeste SVK regnmåler (nr. 5175, Trankær) fra den 29/6-2023 til og med den 24/7-2023.



FIGUR 54. Vandstand i regnvandsbassinerne B641 (Trankær) og B841 (Mårslet), samt akkumuleret nedbør (102 mm) i perioden 29/6 til og med 24/7-2023.

FIGUR 55 viser de målte koncentrationer af opløst ilt i Giber Å opstrøms og nedstrøms udløbet fra regnvandsbassin B841. Målestationen "B841" er placeret i bassinet nær dets udløb til Giber Å, Målestationen "Giber Å – Nedstrøms bassin" er ca. 50 meter nedstrøms bassinets udløb, målestationen "Giber Å – Nedstrøms Mårslet" er ca. 1050 meter opstrøms udløbet, og målestationen "Giber Å – Testrupvej" er ca. 1650 meter opstrøms udløbet.



FIGUR 55. Iltkoncentrationer i Giber Å umiddelbart opstrøms Mårslet (Testrupvej), umiddelbart nedstrøms Mårslet og umiddelbart nedstrøms regnvandsbassiner (B841) ved Mårslet pumpestation, samt i regnvandsbassinet (B841) i perioden 29/6 til og med 24/7-2023.

Observationerne af iltkoncentrationer for denne sommerperiode dækker mere end ti regnhændelser og en samlet nedbørsmængde på 102 mm. I perioden har der ikke været overløb fra O327, så de umiddelbare påvirkninger af iltbalancen nedstrøms bassin B841 må kunne tilskrives udledningen fra B841. Målingerne på FIGUR 55 viser, at alle tre ilt-målestationer i vandløbet har daglige variationer, samt nogle længerevarende variationer. Målingerne fra målestationen nedstrøms bassin B841 viser, at der er et synligt, men mindre, fald i iltkoncentrationen, når bassinet står iltfrit og det regner. Dermed udledes der iltfattigt

vand til Giber Å. Opblanding i Giber Å gør, at effekten i vandløbet er et fald på mellem 0,5 mg/l og 1 mg/l. Iltmålingerne fra B841 viser, at regnen har en positiv effekt på iltniveauet i bassinet. Påvirkningen i vandløbet fra udledningen af det iltfrie / iltfattige vand fra bassin B841 ligger inden for den normale dagsvariation i perioden, og påvirkninger fra udledningen er oftest begrænset til få timer. Generelt ses der stadig en stigning i iltniveauet i vandløbet fra målestationen ved Testrupvej til målestationen nedstrøms bassinet. Denne tendens er helt i tråd med de andre eksempler vist i dette afsnit.

Det er i projektet ikke undersøgt nærmere, hvorfor der opstår iltfattige forhold i regnvandsbassinerne. Almindelige søer har normalt ikke denne udfordring. Det er dog observeret, at regnvandsbassinerne ofte har et dækkende lag andemad på overfladen, som både blokerer for lys og naturlig geniltning. Desuden skabes der en stor mængde biomasse, som bundflader løbende, og dermed øger iltforbruget i bassinerne. Derudover kan der opstå lagdeling i bassinerne. Under og efter regn forventes det dog, at der sker en opblanding i bassinerne, som potentielt skulle kunne bryde en eventuel lagdeling. Men ud fra målinger kan det hverken bekræftes eller afkræftes om der er lagdeling i bassinerne.

I Giber Å oplandet er der primært anlagt våde regnvandsbassiner. I de senere år er Aarhus Vand dog begyndt at anlægge såkaldte infiltrationsbassiner, hvor udledninger sker gennem filtermuld via drænløbninger umiddelbart under filtermuldingen i bunden af bassinerne. Det kunne være interessant at undersøge, hvordan denne udløbsform påvirker ilt- og temperaturforholdene i udløbningsvandet.

En anden potentiel mulighed for at skabe geniltning af udløbningsvandet fra bassinet er at anlægge en iltningstrappe mellem bassin og udløb til recipienten. Ved et vandløb kunne dette f.eks. være ved at anlægge et parallelt forløb til vandløbet på 25-50 meter, hvor der skabes en god turbulens.

Det skal noteres, at udløbet fra B841 er via en drosselledning. I våde regnbassiner, hvor det permanente vandspejl opretholdes via en overfaldskant, vil det formentlig ske en vis grad af geniltning, når vandet løber over overfaldskanten. Hvis der efterfølgende overfaldskanten er en centrifugalbremse (vandbremse), som introducerer turbulens i udløbsvandet, burde det være relativt simpelt at øge geniltningen yderligere ved at et 'beluftsør' i strømmingen.

9.5.4 Direkte regnvandsudledninger

Vandløbsregulativet for Ballebæk og Giber Å (senest opdateret i 2019) angiver, at det ved seneste opmåling i 2015, var samlet 75 rørtilløb og 37 åbne tilløb til Ballebæk og Giber Å. Mange af rørtilløbene er drænudløb og direkte regnvandsudledninger, eller en kombination af de to. Disse udløb vil også kunne have en indvirkning på iltkoncentrationen i vandløbet, men pga. omkostningerne til at monitorere opløst iltkoncentrationer er det ikke prioriteret i dette projekt.

Som en del af projektet er det undersøgt, om det er muligt at anvende en simplere og væsentlig billigere metodik til at detektere, hvornår et rørtilløb er aktivt. Den detektionsmetodik er baseret på temperatursensorer, og er beskrevet nærmere i afsnit 9.6.

9.5.5 Opsummering

I dette afsnit omkring iltmålingerne i Giber Å oplandet er der fremlagt målinger fra både overløb og regnvandsbassiner. Grunden hertil er, at fokus i Giber Å oplandet var at undersøge om det var muligt at bestemme alle regnbetingede udledningers effekter i recipienten. Dels for at kunne sætte effekten fra overløb i perspektiv til andre udledninger, og dels for at undersøge om vi blot bytter et problem for et andet ved at separatkloakere tidligere fælleskloakerede oplande. Det skal her noteres, at der kan være mange motivationer for at separatkloakere, og i dette afsnit er der udelukkende set på påvirkningerne af vandløbets iltkoncentration.

Målingerne fra Giber Å oplandet viser, at de regnbetingede overløb fra O327 kun har en minimal umiddelbar negativ påvirkning af iltkoncentrationen i vandløbet. Den umiddelbare

påvirkning er væsentlig mindre end de daglige og sæsonmæssige variationer i vandløbet iltkoncentrationer. Påvirkningerne er ofte kortvarige, og pga. de gode fysiske forhold på vandløbstrækningen, hvor O327 uleder, bliver iltbalancen hurtigt genskabt efter overløbshændelsen.

Påvirkningen af iltkoncentrationen fra overløb fra O327 er mindre end påvirkningen fra regnvandsbassinerne, når der udledes iltfattigt vand fra disse. Det skal her noteres, at påvirkningerne fra regnvandsbassinerne også ligger inden for de daglige og sæsonmæssige variationer i vandløbet iltkoncentrationer. Til sammenligning mellem de regnbetingede udledninger skal det noteres, at udledningerne fra regnvandsbassinerne ofte er længerevarende end overløb, da regnvandsbassinerne netop er designet til at afgive vandet langsomt.

Observationerne af ilt-niveauerne og påvirkningerne i Giber Å kan ikke umiddelbart generaliseres og overføres til andre danske vandløb. Det ville kræve en mere dybdegående analyse af både Giber Å og andre danske vandløb med henblik på at få et repræsentativt udsnit af de danske vandløb. Dog voves det alligevel her at drage nogle umiddelbare konklusioner på baggrund af observationerne i Giber Å oplandet.

Målingerne i Giber Å oplandet viser, at der er en god sammenhæng mellem den generelle økologiske tilstand af en vandløbstrækning, den fysiske tilstand af vandløbet og ilt-niveauet. Sagt på anden vis, jo mere naturligt vandløbet er, jo mere robust virker det til at være over for regnbetingede udledninger, som kan påvirke iltbalancen negativt, da en god robusthed er sammenfaldende med en god evne til at genilte.

En fremadrettet anbefaling kunne derfor være, at reduktionen af udledninger bør ses i perspektiv af, hvor robust vandløbet er, herunder de hydromorfologiske forhold (tilstrækkelige vandmængder og fysiske udformning mv.). I sådan en anbefaling kunne der være fokus på:

- At skabe flere 'naturlige' vandløb for at øges recipienternes robusthed.
- At gøre noget ved de værste udledninger, da vandløb med en god robusthed kan klare mindre hændelser.
- At der ved traditionelle adskillellesprojekter efterfølgende udledes mere urensset regnvand som indeholder afvaskning fra befæstede arealer, og dermed kan bidrage til udledningen af miljøfremmede stoffer, organisk stof og næringssalte.

Alt i alt kalder erfaringer fra dette projekt på, at der potentielt skal tages en mere holistisk tilgang til udledninger.

Ilt-målestationer er normalt vanskelige og omkostningstunge at etablere og vedligeholde. Dette projekt har vist, at state-of-art udstyret har flyttet sig væsentligt over det sidste årti. Det har dog været nødvendigt at indkøbe udstyr fra udlandet, da de nyeste og mest omkostningseffektive sensorer (fra et Total Cost of Ownership perspektiv) ikke var tilgængelige i Danmark. De eneste udfordringer der har været med de anvendte D-opto sensorer er sedimentopbygning omkring sensorhovedet forårsaget af, at målestationspælen har indfanget grene og/eller grøde. Ofte er disse sedimentopbyggende situationer relativt nemme at se i data, da målingen går mod nul hurtigt. Derfor burde det være muligt at bygge en automatisk assisterende detektionsmetodik, som kan advisere driftsteamet. Desuden giver erfaringerne fra projektet mulighed for, at målestationer fremadrettet placeres bedre for at minimere problemet med indfangning af grene og grøde.

På baggrund af erfaringerne med etableringen og vedligeholdelsen af ilt-målestationer kan det konkluderes, at det er muligt at etablere omkostningseffektive målestationer med minimale drifts- og vedligeholdelsesomkostninger i vandløb og regnvandsbassiner. Dog har det været nødvendigt at importere robuste state-of-the-art optiske ilt-sensorer fra udlandet, som

er designet specifikt til målinger af opløst ilt og temperatur i barske marine vandmiljøer, samt floder, vandløb og søer, med minimal on-site vedligeholdelse.

På baggrund af ilt-koncentrationsmålingerne udført i Giber Å i kombination med andre måleparametre kan det konkluderes, at det er muligt at måle den dynamiske respons i recipienten fra udledninger fra de tekniske vandsystemer. Det gør sig gældende for både overløb, nødoverløb og regnvandsbassiner.

Ilt-koncentrationsmålingerne af påvirkningerne fra overløb og regnvandsbassiner viser, at påvirkningerne fra regnvandsbassiner, når vandet heri bliver iltfrit /iltfattigt, kan have en større negativ påvirkning på Giber Å end overløb fra det fælleskloakerede system i Mårslet. Dog er de negative påvirkninger af iltbalancen ved de målte udledninger fra både overløb og regnvandsbassiner i samme størrelsesorden eller mindre end de daglige variationer af ilt-niveauerne i Giber Å. Påvirkningen er desuden væsentligt mindre end de sæsonmæssige variationer.

Ilt-koncentrationsmålingerne viser, at Giber Å er robust (nedstrøms Testrupvej ved Mårslet), da de gode fysiske forhold giver anledning til en god geniltning, og effekterne fra udledningerne er relativt små ift. den generelle iltvariation på denne strækning.

Dette projekt har etableret et unik datasæt for Giber Å, hvori der potentielt ligger meget information og mange indsigter, som ikke har været mulige at belyse inden for omfanget af denne afrapportering. Der opfordres derfor til at arbejde videre med disse unikke data.

9.6 Anvendelse af temperatursensorer til detektion af udledninger

Vandløbsregulativet for Ballebæk og Giber Å (senest opdateret i 2019) angiver, at det ved seneste opmåling i 2015, var samlet 75 rørtilløb og 37 åbne tilløb til Ballebæk og Giber Å. Mange af rørtilløbene er drænuvløb og direkte regnuvløb, eller en kombination af de to. Rørtilløbene dækker blandt andet over drænuvløb og direkte regnuvlsudledninger, som begge potentielt også kan have en indvirkning på vandløbets tilstand. Det vil dog være omkostningstungt at skulle monitorere alle disse udløb med f.eks. ilt-sensorer. Som en del af projektet er det undersøgt, om det er muligt at anvende en simplere og væsentlig billigere metodik til at detektere, hvornår et rørtilløb er aktivt.

Den umiddelbart simpleste og billigste målemetodik er temperatursensorer. Ved at anvende flere temperatursensorer burde det være muligt at detektere relative temperaturforskelle. Herunder temperaturforskellen mellem vandløbets hovedstrømning og tilstrømningen af et rørtilløb, når det er aktivt. De anvendte temperatursensorer er nærmere beskrevet i afsnit 8.4.2.3

I starten af projektperioden blev der i hovedgrøften ved Beder anvendt IoT sensorer, som hver havde tilknyttet en enkel temperatur. Temperatursensoren var placeret i vandløbets hovedstrømning, og det var muligt at indsamle nogle fine målinger. Dog var det ikke umiddelbart muligt at detektere nogle regnbetingede påvirkninger eller lignede ved blot at anvende en enkelt temperatursensor ved hver målelokalitet.

I den sidste halvdel af projektet bliver detektionsmetodikken raffineret, og det blev valgt at fokusere indsatsen på strækningen mellem regnvandsbassin B641 (Trankær) og regnvandsbassin B841 (Nedstrøms Mårslet). Baggrunden for dette valg var, at det var denne strækning, hvor de andre målestationer var valgt opsat. Derved ville der potentielt kunne opnås et øget data-drevet indblik i denne strækning. Der er i alt installeret 28 temperaturmålestationer på strækningen, og deres placeringer er vist på FIGUR 56.



FIGUR 56. Placering af temperaturmålestationer i Giber Å oplandet.

Målestationerne har været instrumenteret med måleudstyr med enten to eller tre temperatursensorer. Stationerne med to temperatursensorer er anvendt til målinger i vandløb, hvor den ene temperatursensor har målt vandtemperaturen i åen mens den anden har målt lufttemperaturen. Stationerne med tre temperatursensorer er anvendt på samme måde som stationerne med to temperatursensorer – dog med den tilføjelse, at den tredje sensor er placeret ca. 10 cm inden i udløbsrøret fra et direkte udløb.

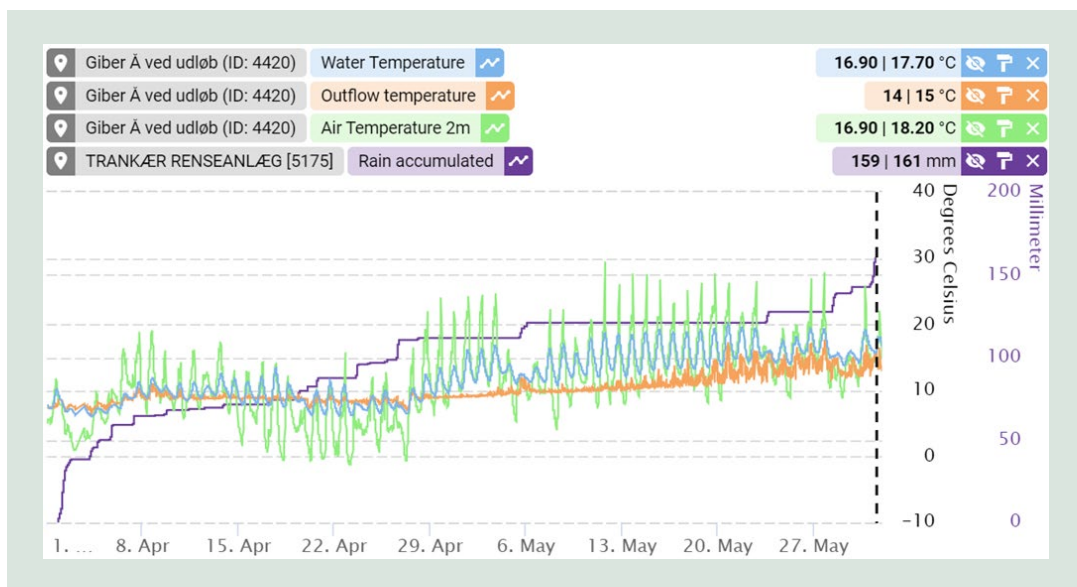
Det indsamlede datasæt er stort, komplekst og meget rigt på potentielle indsigter, og særligt i kombination med de andre måleparametre i løbet. Det er ikke muligt at afspejle datasættet og de mulige indsigter der kan drages fra datasættet til sit fulde i denne rapport. Der er derfor valgt nogle gode repræsentative målinger ud af datasættet med henblik på at vise og diskutere, hvorvidt det undersøgte detektionsprincip fungerer eller ej.

Det er valgt at fokusere på et udløb, som er lokaliseret nær Mårslet skole i denne afrapportering. Målestationen er navngivet 'Giber Å ved udløb (ID: 4420). Fremadrettet vil den blot blive refereret til som målestation 4420. FIGUR 57 viser et billede af målestationen, og det rørudløb, som den er placeret ved.



FIGUR 57. Billede af temperaturmålestation nær Mårslet skole (ID:4420) ved lav vandstand.

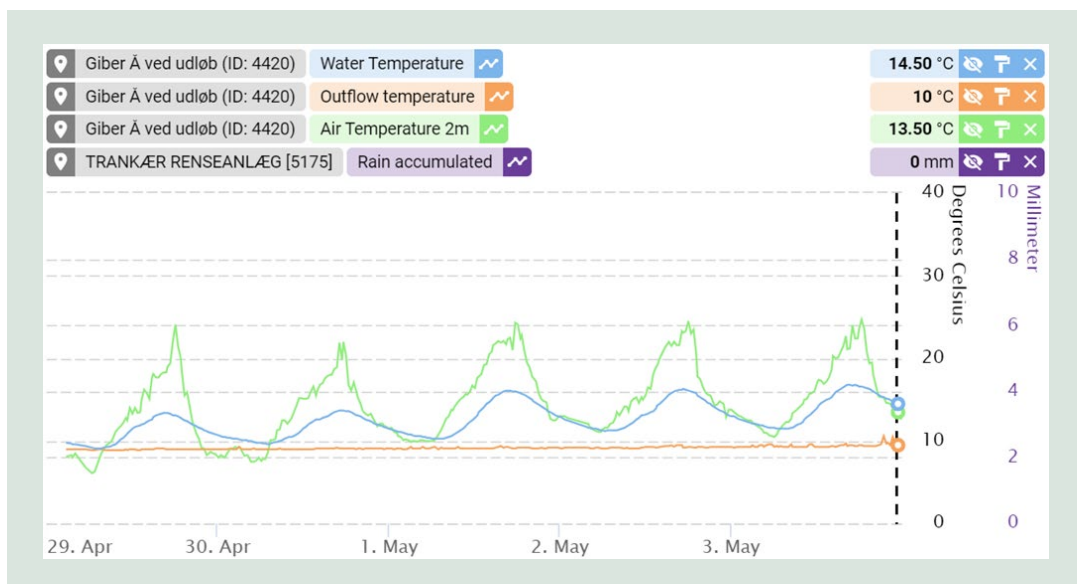
FIGUR 58 viser temperaturmålinger fra målestation 4420 sammen med den akkumulerede nedbørsmåling fra nærmeste SVK regnmåler (nr. 5175, Trankær.



FIGUR 58. Temperaturmålinger fra målestation 4420 og akkumuleret nedbør (161 mm) i perioden 1/4 til og med 31/5-2024.

FIGUR 58 viser, at der i perioder er tydelige temperaturforskelle mellem vandtemperaturen i vandløbet (Vist med blå) og vandtemperaturen i udløbsrøret (vist med orange). Da temperatursensoren er placeret ca. 10 cm inden i udløbsrøret er det forventeligt, at vandtemperaturen i udløbsrøret og vandløb ville være ens, hvis der ikke var et tilstrækkeligt stort flow ud af udløbsrøret.

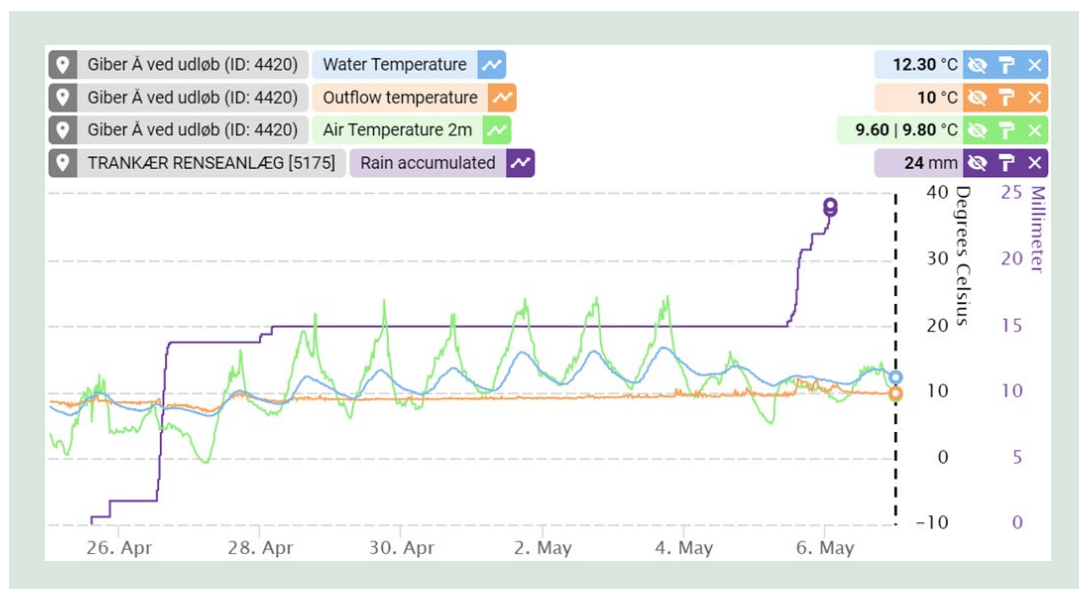
I perioder, hvor vandløbstemperaturen i udløbsrøret er forskellig fra vandløbets temperatur og uden væsentlige døgnvarier vurderes det, at der sker en tilstrækkelig stor udledning af drænvand til, at der først sker opblanding af udledningen ude i vandløbet. FIGUR 59 viser dette fænomen over en tørvejrperiode på seks dage.



FIGUR 59. Temperaturmålinger fra målestation 4420 og akkumuleret nedbør (0 mm) i perioden 29/4 til og med 3/5-2024.

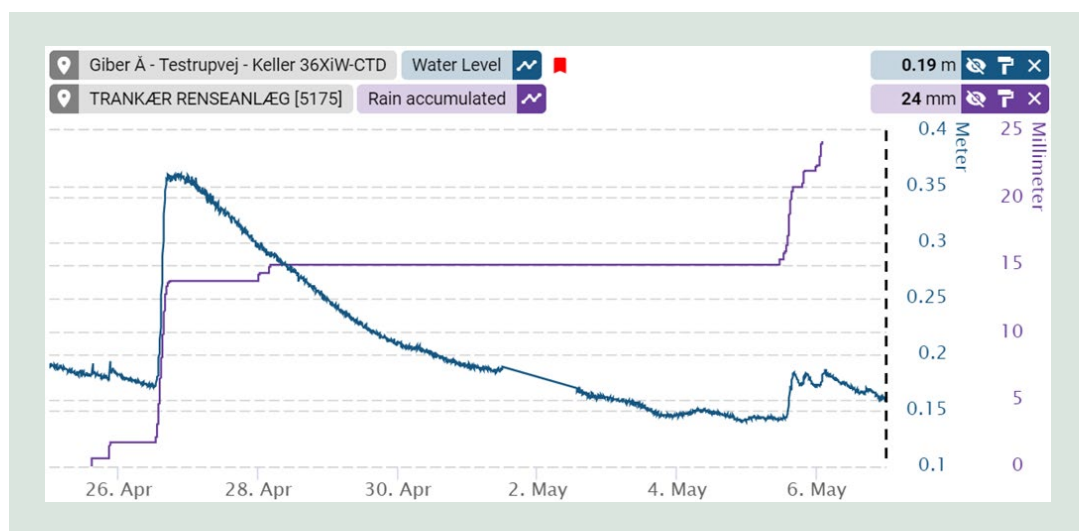
I tørvejsperioden fra den 29/4-2024 til og med den 3/4-2024 vist på FIGUR 4 ses, at der både er døgn variationer i lufttemperaturen, og vandtemperaturen i vandløbet, men at vandtemperaturen i rørudledningen er relativt konstant, og umiddelbart i samme niveau, som jordtemperatur forventes at være i denne periode. Målingerne indikerer derfor, at der i perioden er en aktiv drænudledning fra denne rørudledning.

Hvis der tidsmæssigt 'zoomes' en smule ydere ud og ses på perioden fra den 25/4-2024 til og med den 6/5-2024 ses der et andet fænomen i målingerne. Perioden er vist på FIGUR 60, og starter og slutter med en regnhændelse på henholdsvis 13 mm og 9 mm.



FIGUR 60. Temperaturmålinger fra målestation 4420 og akkumuleret nedbør (24 mm) i perioden 25/4 til og med 6/5-2024.

FIGUR 60 viser, at vandtemperaturene i rørudledningen nærmer sig vandtemperaturen i vandløbet under begge regnhændelser. Det at vandtemperaturen i vandløbet og rørudledningen nærmer sig hinanden kan potentielt skyldes to forskellige fænomener: 1) at rørudledninger også fungere som en direkte regnvandsudledning, eller 2) at vandstanden (og dermed vandføringen) stiger så meget i vandløbet, at der sker en opblanding mellem vandstrømmen fra rørudledningen og vandstrømmen i vandløbet inde i udmundingen af rørudledningen. FIGUR 61 viser vandstanden umiddelbart nedstrøms målestation 4420 i perioden.



FIGUR 61. Vandstand umiddelbart nedstrøms (ca. 100 m) målestation 4420 og akkumuleret nedbør (24 mm) i perioden 25/4 til og med 6/5-2024.

FIGUR 61 viser, at der sker en vandstandsstigning på ca. 30 cm under regnhændelsen den 26/4-2024. Det er derfor sandsynligt, at under denne regnhændelse at opblanding sker i udmundning af rørudledningen, og at målingen i rørudledningen derved bliver lig med vandtemperaturen i vandløbet.

Under regnhændelsen den 5/5-2024 er vandstandsstigningen i vandløbet væsentlige mindre, og det ses også, at temperaturmålingerne i udmundningen af rørudledningen er anderledes end under hændelsen den 26/4-2024. Der sker en temperatur ændringen, men temperaturen stabiliserer sig ikke på samme niveau som temperaturen i vandløb. Dette indikerer, rørudløbet potentielt også er en direkte regnvandsudledning. Alternativt sker der kun en delvis opblanding pga. den lavere vandstation.

9.6.1 Opsummering

I dette afsnit omkring temperaturmålingerne i Giber Å oplandet er det valgt at fokusere på målinger fra en udvalgt målestation, da fokus har været at afklare hvorvidt måleprincippet fungerer til at detektere, hvorvidt et rørudløb er aktivt eller ej.

På baggrund af temperaturmålingerne udført i Giber Å kan det konkluderes, at det undersøgte måleprincip kan bruges til at detektere, hvorvidt et rørudløb er aktivt eller ej. Desuden kan det estimeres, hvornår og i hvilke situationer det er aktivt. Der er i projektet ikke udviklet en metodik til at foretage detektion automatisk, men dette vurderes muligt i et videre arbejde. Projektet har indsamlet et stort, komplekst og meget rigt dataset, som potentielt vil kunne bruges i sådanne et videre arbejde.

På baggrund af erfaringerne med etableringen og vedligeholdelsen af temperaturmålestationer kan det konkluderes, at det er muligt at etablere meget omkostningseffektive målestationer med minimale drifts- og vedligeholdelsesomkostninger. Der er anvendt nogle billigt sensorer (kostpris på mindre 100 Euro), og dermed at omkostningen været domineret af konfigurerings, installation og vedligeholdelse. Vedligeholdelsen har dog været minimal, da selve måleprincippet er simpelt, velkendt og robust. Enkelte stationer er gået til i måleperioden, da de enten er blevet oversvømmet eller hele målestationen er skyllet væk. Udfordringerne har derfor været at praktisk karakter, og ikke af måletekniske karakter.

Dette projekt har etableret et unik datasæt for Giber Å, hvori der potentielt ligger meget information og mange indsigter, som ikke har været mulige at belyse inden for omfanget af denne afrapportering. Der opfordres derfor til at arbejde videre med disse unikke data.

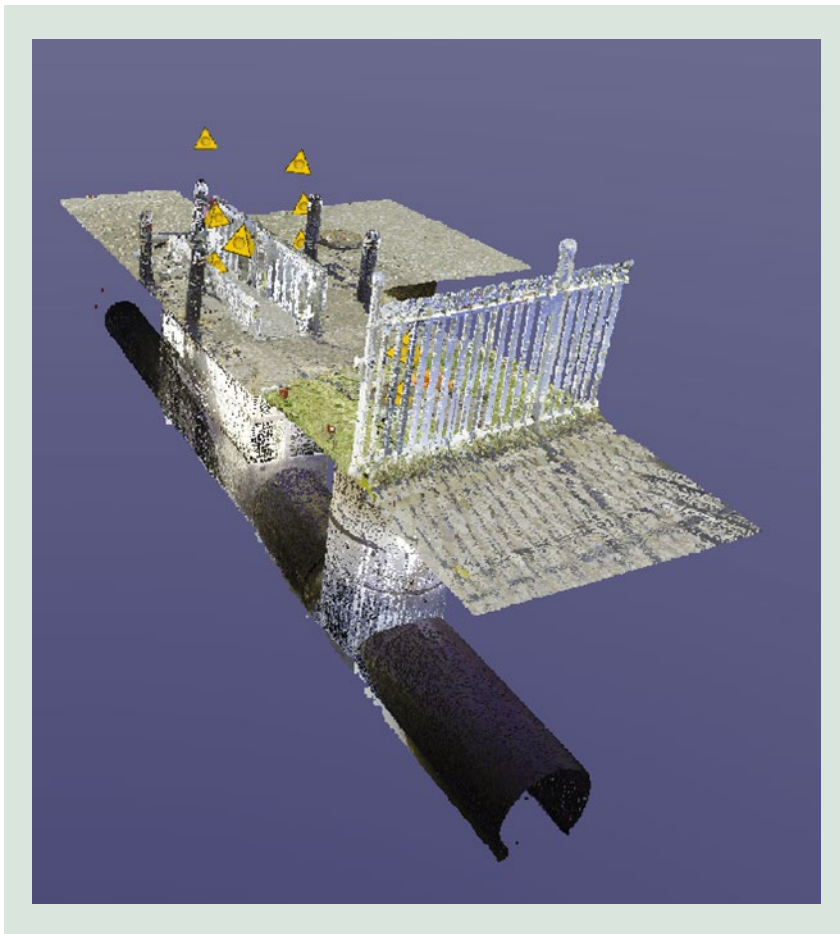
9.7 Softwaresensorer mængder

Computational Fluid Dynamics (CFD) er et redskab der typisk bruges af ingeniører til at simulere stationære og ikke-stationære strømninger i komplekse geometrier. Det er numeriske værktøjer der blev udviklet i de tidlige 70'ere hvor computerkapaciteten også voksede signifikant. Moderne CFD programmer er velegnet til at simulere strømninger med fri overflade, som man typisk ser i overløbsbygværker. Det kræver stor erfaring og hydrodynamisk viden at bruge korrekt. Flere og flere rådgivere udbyder i dag sådanne simuleringer på en ren kommerciel basis. Samtidigt tilbyder en række landmåler virksomheder at man kan få målt sine bygværker op med stor præcision med laser. Begge dele er en forudsætning for at denne metode kan bruges i forbindelse med overløbsbygværker. Samtidigt er prisen for disse ydelser faldet de seneste år.



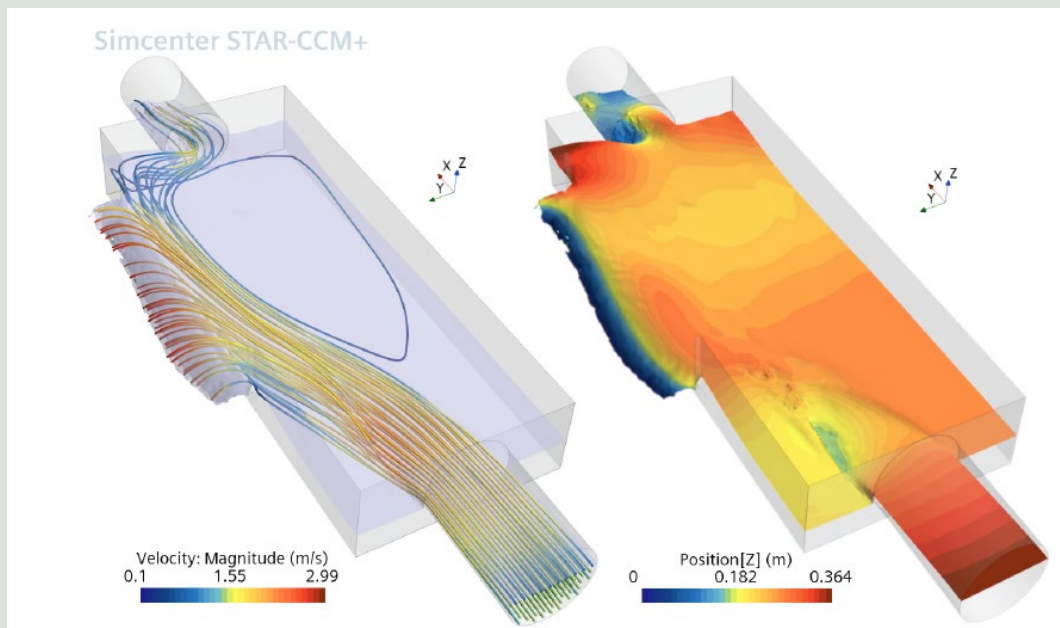
FIGUR 62. Opmåling af bygværk med laser (Kilde: Aarhus Vand).

Når scanningen er komplet, bliver målingen lavet om til en 3D punktsky (FIGUR 63) som så kan fortolkes som en 3D model, der er velegnet til CFD-modellering. Den proces indebærer at man kan være nødt til at reducere kompleksiteten, således at ikke hver eneste skrue eller stige bliver en del af modellen. Det kan lade sig gøre at medtage alt, men beregningsomkostningen vokser meget uden at CFD-modellen bliver bedre.



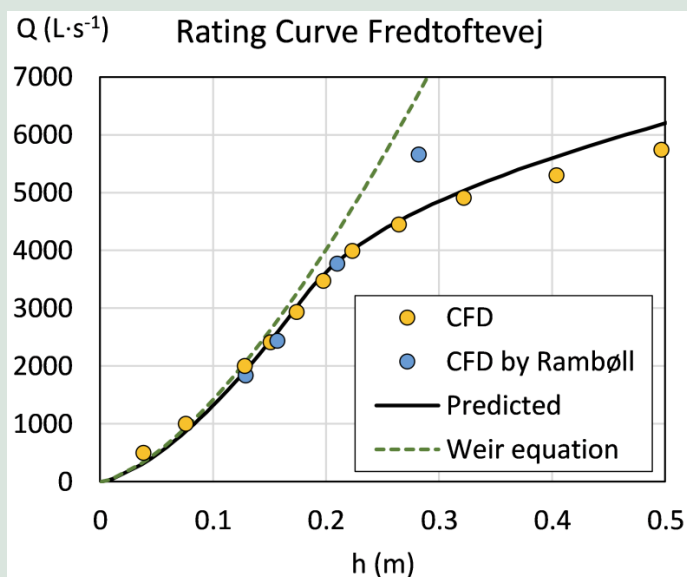
FIGUR 63. 3D punktsky baseret på laser scanning (Kilde: Aarhus vand).

Afhængigt af kompleksiteten af geometrien kan det tage fra timer til dage at gennemføre beregningen. Herefter kan relevante vandstande rundt i bygværket uddrages og bruges til videre analyse. I CFD-modellen kan man så variere indløbs flow og videregående flow til at etablere en mere generel sammenhæng mellem vandstand og aflastningsvandføring.



FIGUR 64. Visualisering af CFD beregnet vandspejl og strømninger.

FIGUR 64 viser at vandstanden er højest i den nedstrøms ende af bygværket, da vandet skal bremses og dermed stuver op. Erfaringen fra projektet er at det generelt er bedre at placere vandstandsmåleren nær bygværkets udløb modsat overløbskant end længere oppe.

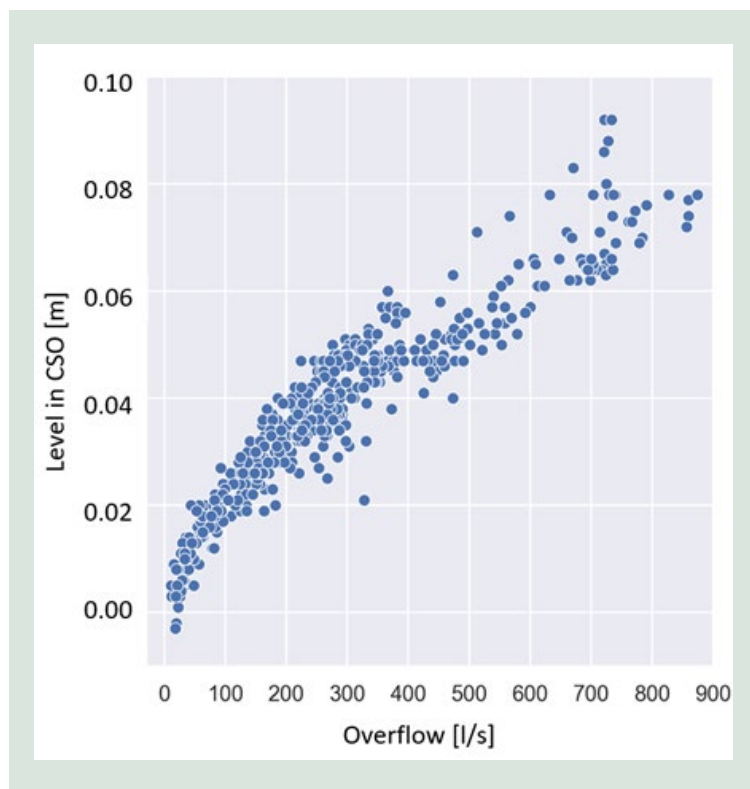


FIGUR 65. Eksempel på Q-h sammenhæng beregnet med CFD af hhv. AAU og Rambøll.

Som det kan ses af ovenstående, CFD-resultaterne følger tæt den teoretiske overløbsformel op til 0,2 meters overløbshøjde - herefter skiller beregningerne sig fra den simple formel. I det konkrete eksempel vil man overestimere overløbet, hvis man bruger overløbsformlen for hele området. Det skal bemærkes at nøjagtigheden af simuleringen også afhænger af hvor meget

af videregående rørstrækning der medtages i modellen. Den strækning vil ved højere flow blive en begrænsning for hvor meget vand der kan aflastes uden oversvømmelse. Det er den primære forskel mellem de to CFD-simuleringer.

Sammenlignes med Danova flowmålere installeret nedstrøms overløbets kan man se at målingerne følger både den simple overløbsformel og CFD-beregnningen præcist.

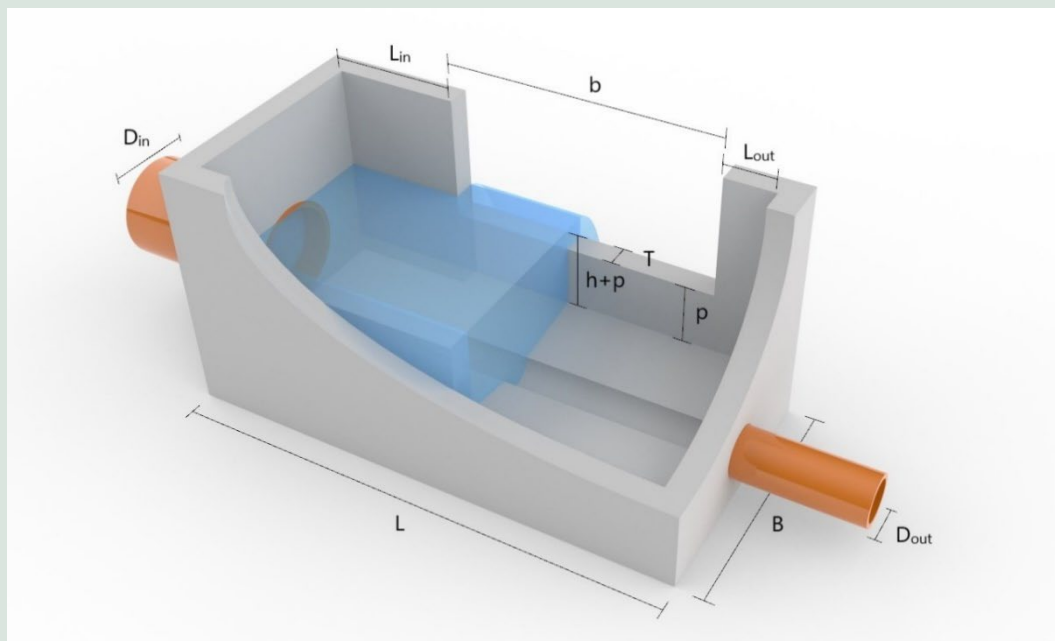


FIGUR 66. Eksempel på måling af flow og sammenhørende overløbsdybde.

Sammenlignes FIGUR 65 og FIGUR 66 kan man se at de følges ad i området op til 1000 l/s. Da der ikke har været større hændelser i måleperioden er det ikke muligt at validere CFD modellerne for højere flowområder.

9.8 Bestemmelse af overløbs mængder med katalogmetoden

Ovenstående resultater viser hvor kraftfuldt et værktøj CFD-modeller kan være til at analysere strømninger i overløbsbygværker. Det må dog erkendes at kravet til specialviden og adgang til software og computerkraft gør metodens anvendelse vanskelig, hvis der arbejdes med mindre betydningsfulde overløbsbygværker. Derfor er der arbejdet med en "katalogmetode", hvor CFD-modeller bruges til at beregne på en række standardbygværker, som man så kan bruge til situationer hvor man gerne vil bruge færre ressourcer uden at bruge de lavere niveauer i PULS: Oprindeligt var det tænkt som et katalog man kunne slå op i, men er senere blevet lavet til en række formler der kompenserer for de mange variationer på længde, bredde og dybdeforhold. Det er derfor ikke et komplet katalog, men en demonstration af hvordan denne metode kunne anvendes gennem en videreudvikling.



FIGUR 67. Principiel skitse af et rektangulært bygværk med sideoverløb.

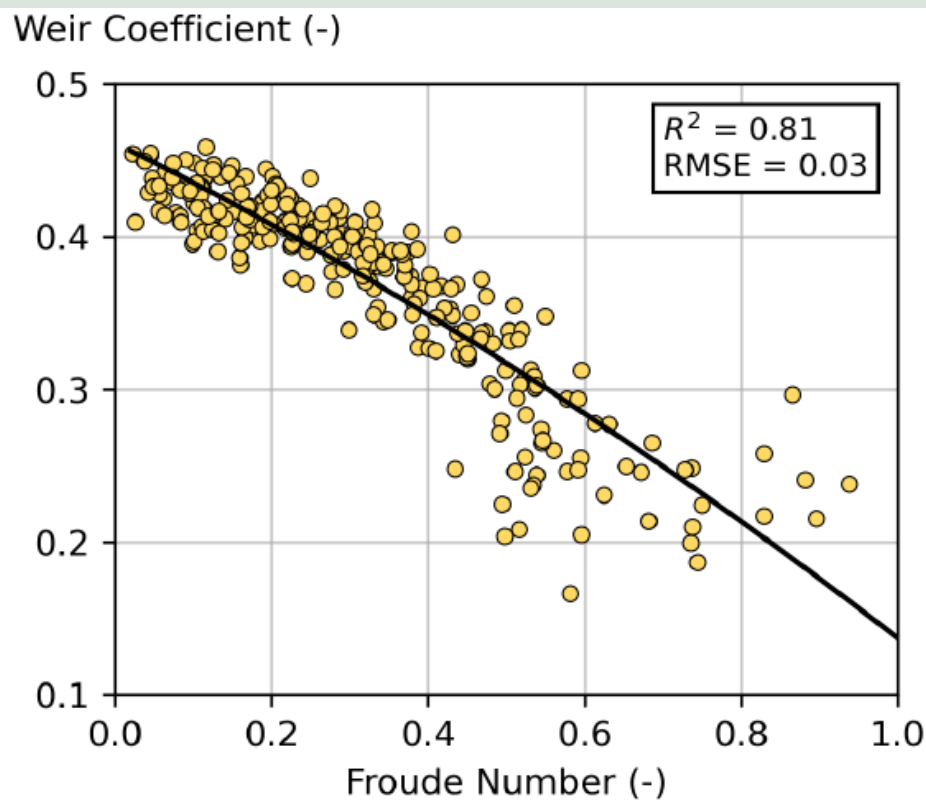
Den klassiske formel for overløb findes som:

$$Q = C \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h^{1.5}}$$

Hvor Q er flowet, C er en specifik konstant for bygværket, B er bredden af overløbskanten, g er tyngdeaccelerationen og h er vandspejlshøjden over overløbskanten. Der findes en række værdier for C afhængig af kantens udformning.

Ved at bruge CFD modeller er det muligt at lave mange kombinationer af geometri og på den måde bestemme C og dens variation af andre parametre. Karakteristisk for beregningerne var at der er en klar afhængighed af bygværkets Froude's tal beregnet i strømrretningen.

Variationen i tværsnitsgeometrien vil ved samme flow skabe forskellig Froudes's tal.



FIGUR 68. Overløbskoefficient som funktion af Froude's tal i mange geometrisk forskellige bygværk med sideoverløb.

Det kan bemærkes at de enkelte perturbationer af geometri følger regressionslinjen bedre ved lave Froude's tal sammenlignet med høje tal. Det kan forklares ved at der er væsentlig mere energi i indløbsjetten fra indløbsrøret og det skaber mere kaotiske forhold – selv ved geometrier der ligner hinanden.

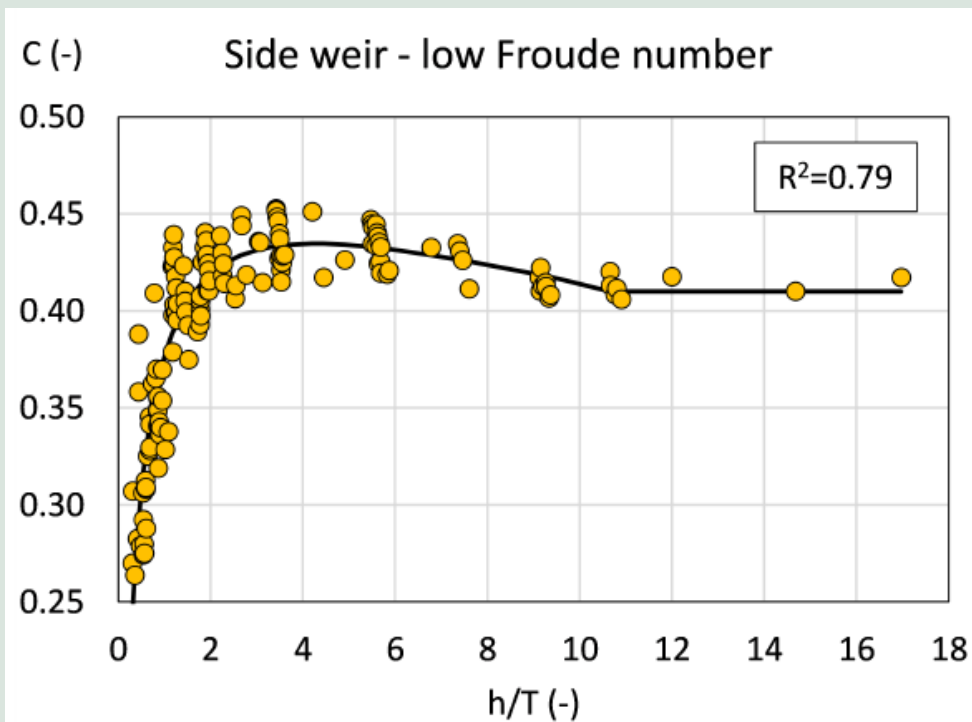
Den etablerede sammenhæng til beregning af den specifikke koefficient (C) (sort linje i FIGUR 68) er:

$$C = -0.072 \cdot Fr^2 - 0.252 \cdot Fr + 0.461$$

Hvor Fr er Froude's tal.

Det er dermed muligt at beregne et mere præcis overløbs flow, hvis der tages højde for bygværkets langsgående Froude's tal.

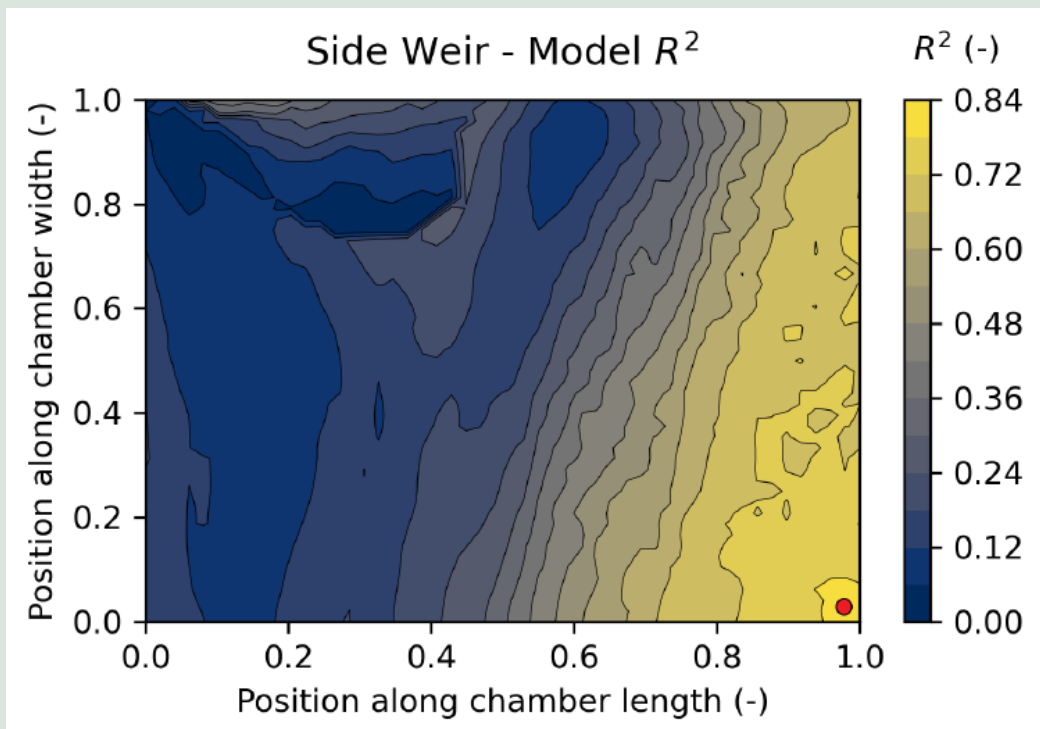
Ønsker man at dykke ned i flere detaljer kan man f.eks. se hvad betydningen af overløbshøjden i forhold til overløbskantens tykkelse/dybde:



FIGUR 69. Overløbskoefficient ved et Froude's tal på 0,2 ved forskellige overløbskant dybder i et bygværk med sideoverløb.

Hvis overløbsdypden (h) bliver over 2 gange kant dybde (T), bliver overløbskoefficienten forholdsvis konstant. Ved små hændelser kan man overvurdere flowet.

En anden interessant ting der kan udledes fra disse CFD-beregninger, er hvor man bedst kan placere en vandstandsmåler med mindst mulig variation. I princippet kan man placere sensoren hvor man måtte ønske, men omvendt vil den anvendte C-koefficient være mere konstant, hvis man vælger placeringen med omhu.



FIGUR 70. Bedst placering af sensor (rød prik). Regressionskoefficient som funktion af placering.

Her ses det, at den bedste placering er ved udløbet længst væk fra overløbskanten. Omvendt er det værste sted tæt på indløbet og overløbskanten.

9.9 Softwaresensorer stof

Der blev arrangeret et forsøg på Ejby renseanlæg den 2. juli, 2021 hvor der blev lavet blandingsrække mellem overfladevand og spildevand fra indløbet. På denne måde simuleres der spildevands fortyndinger fra overløb uden at skulle prøvetage direkte fra overløb. Formålet var at lave test af online sensorer og den første test af en softwaresensor, der kunne beregne næringssalte og organisk stof på baggrund af andre målte parametre. Der blev udtaget prøver fra hver blandingsprøve til laboratorieanalyse. Fortyndingerne varierede mellem 1:5 og 1:99 for at afdække ekstremer i forhold til overløb.



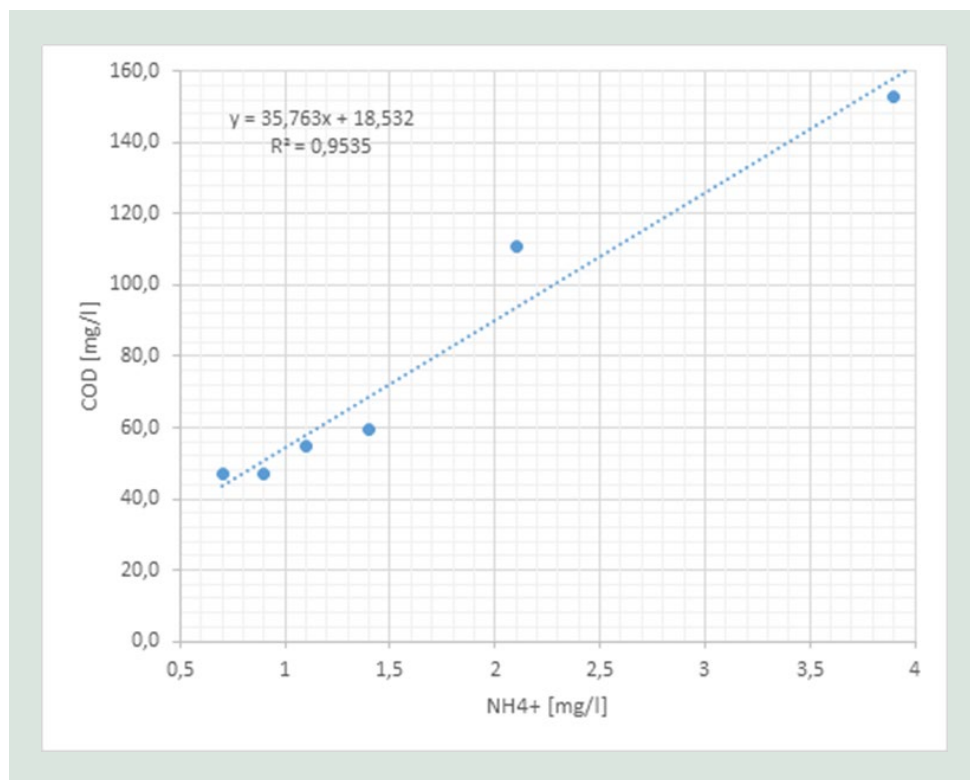
FIGUR 71. Online sensorer bliver testet på fortyndingsrække mellem spildevand og overfladevand.



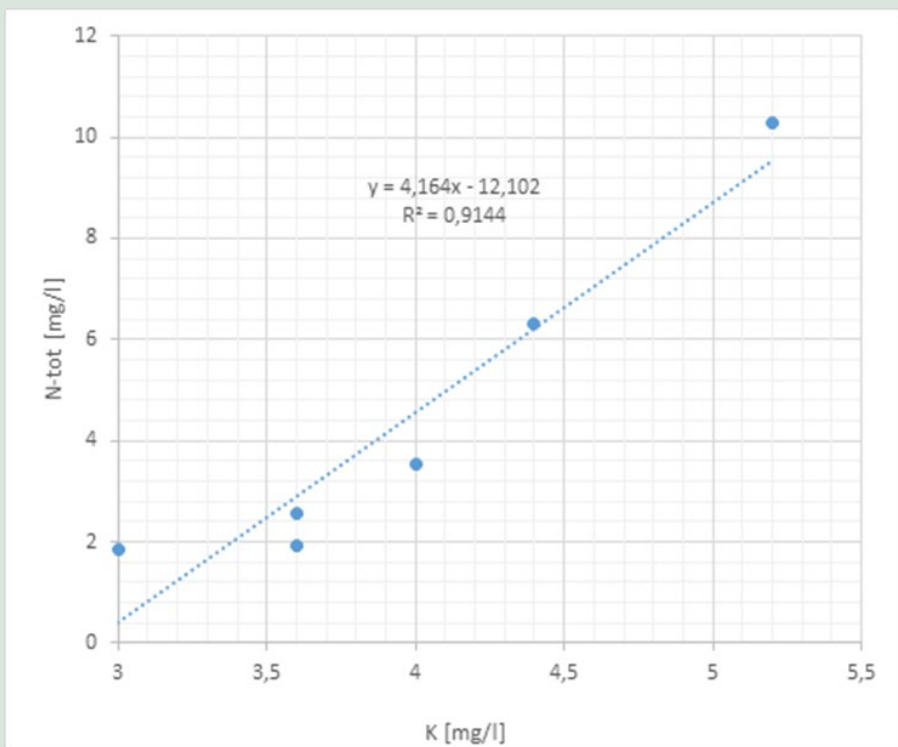
FIGUR 72. Vandprøver udtaget samme dag fra overfladevand og rensesanlæg, som var udgangspunkt for fortyndingsrækkerne.

På figurerne FIGUR 73, FIGUR 74 og FIGUR 75 ses eksempler på hvordan N, P og COD korrelerer med forskellige ionselektive sensorer. Specielt NH_4^+ -sensoren viser meget lovende resultater. De andre sensorer (specielt kalium) viser næsten samme resultater, men har flere afvigelser.

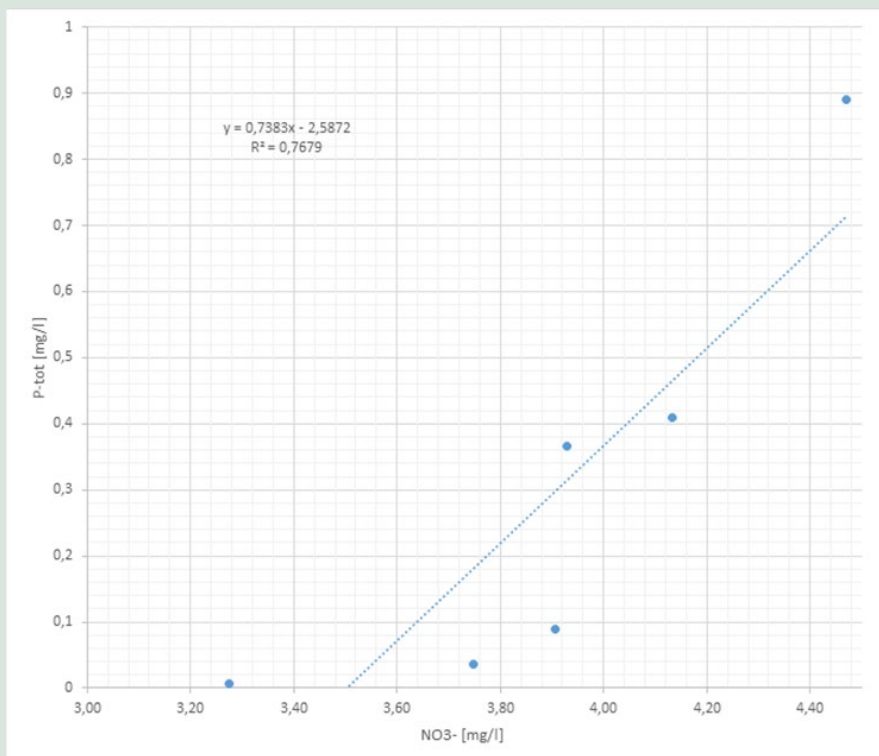
Det er forventningen at version 2 af Første softwaresensoren skal baseres på en kombination af flere sensorer for at opnå den bedste stabilitet. Ammoniumsensoren er kendt for at drive i kalibreringen.



FIGUR 73. COD-koncentration beregnet på baggrund af ammonium målt med ionselektiv sensor.



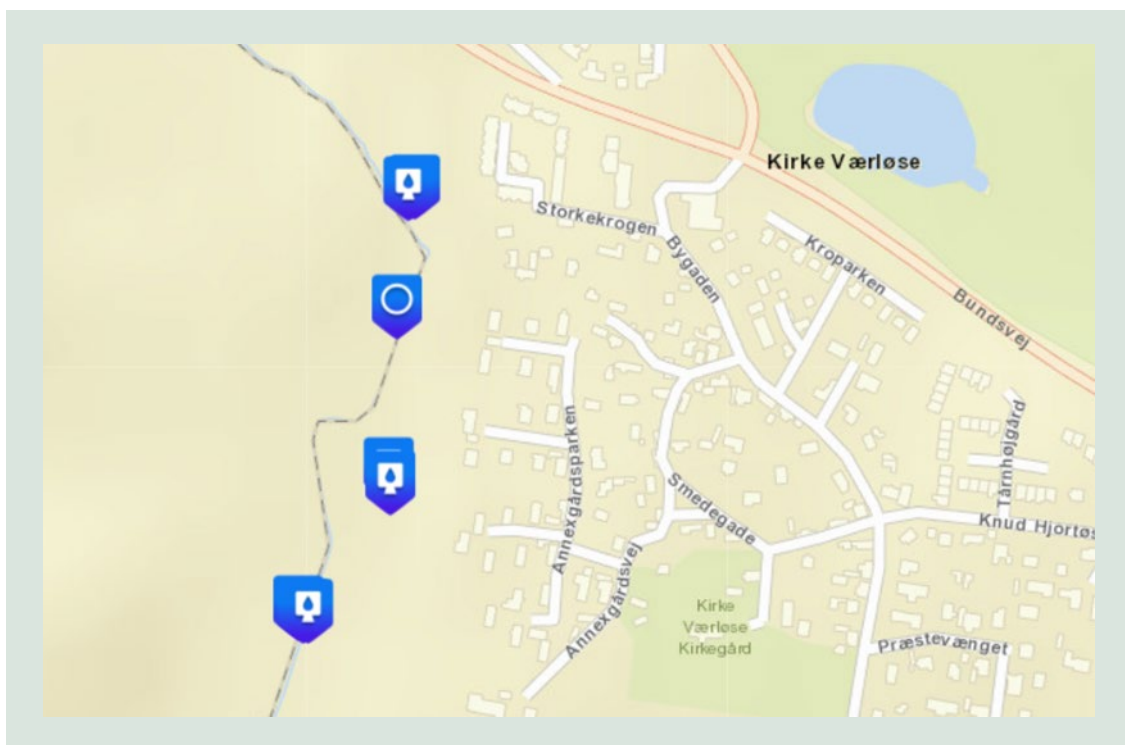
FIGUR 74. Ntotal-koncentration beregnet på baggrund af kalium målt med ionselektiv sensor.



FIGUR 75. Ptotal-koncentration beregnet på baggrund af nitrat målt med ionselektiv sensor.

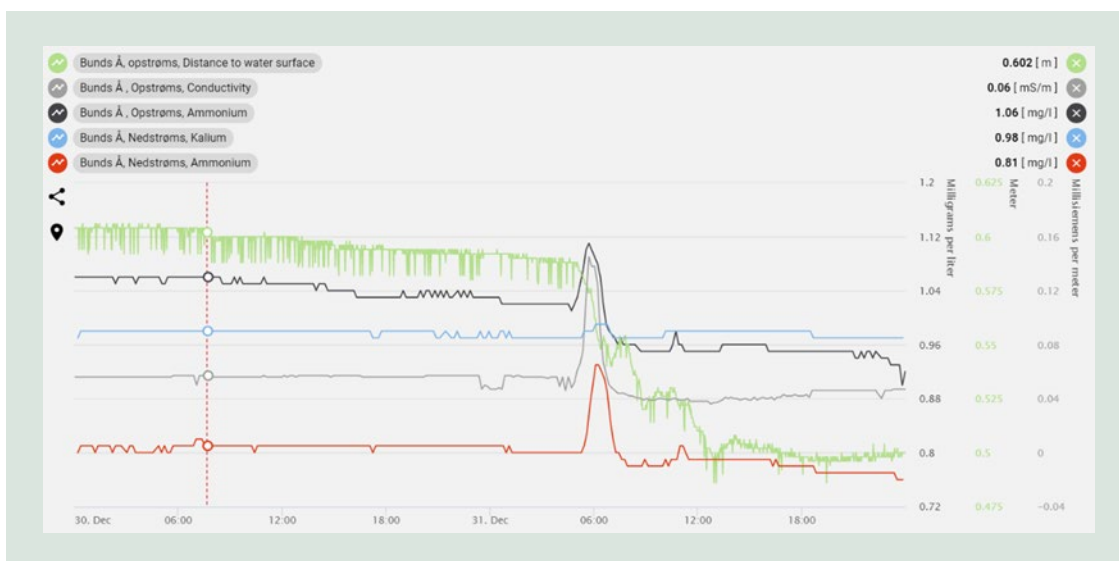
Den eneste sensor der ikke så ud til at kunne bruges i dette tilfælde, er Cl-sensoren, da kloridkoncentrationen i dette tilfælde var meget tæt på det samme i overfladevandet og spildevandet. Det er overraskende idet det må antages, at der anvendes mere salt i husholdningen end der kan findes i overfladevand generelt.

De sensorer, der ser ud til at give det bedste signal i forhold til at lave stabile sensorer til N, P og COD er indtil videre ammonium og kalium. Det vides at specielt ammonium sensorer har en tendens til at glide i kalibreringen over tid og derfor kræver hyppig re-kalibrering. De foregående figurer illustrerer, at der er et potentiale i at kombinere sensorerne selvom der ikke kan garanteres et lineært respons.



FIGUR 76. Placering af målestationer i Bunds Å.

Målestationerne sender selv målingerne via Dryp portalen, På figuren nedenfor kan man se de forskellige parametre repræsenteret ved en regn hændelse den 31/12 2021. Der kan konstateres at alle sensorerne reagerede på ændrede forhold i vandløbet. Den mest følsomme parameter var ledningsevne fulgt af ammonium og til sidst kalium. Selvom ammonium koncentrationen glider gennem perioden, er det klart at hvis man ser den samme relative ændring i koncentrationen. Det antyder kraftigt at det er muligt at estimere aflastet stof alene baseret på ændringer i koncentrationerne. Ledningsevnen giver et meget stabilt signal. Det kan ligeledes ses at vandstanden stiger med 9 cm umiddelbart i forbindelse med regn hændelsen og at det er sammenfaldende med pulsen af stof.

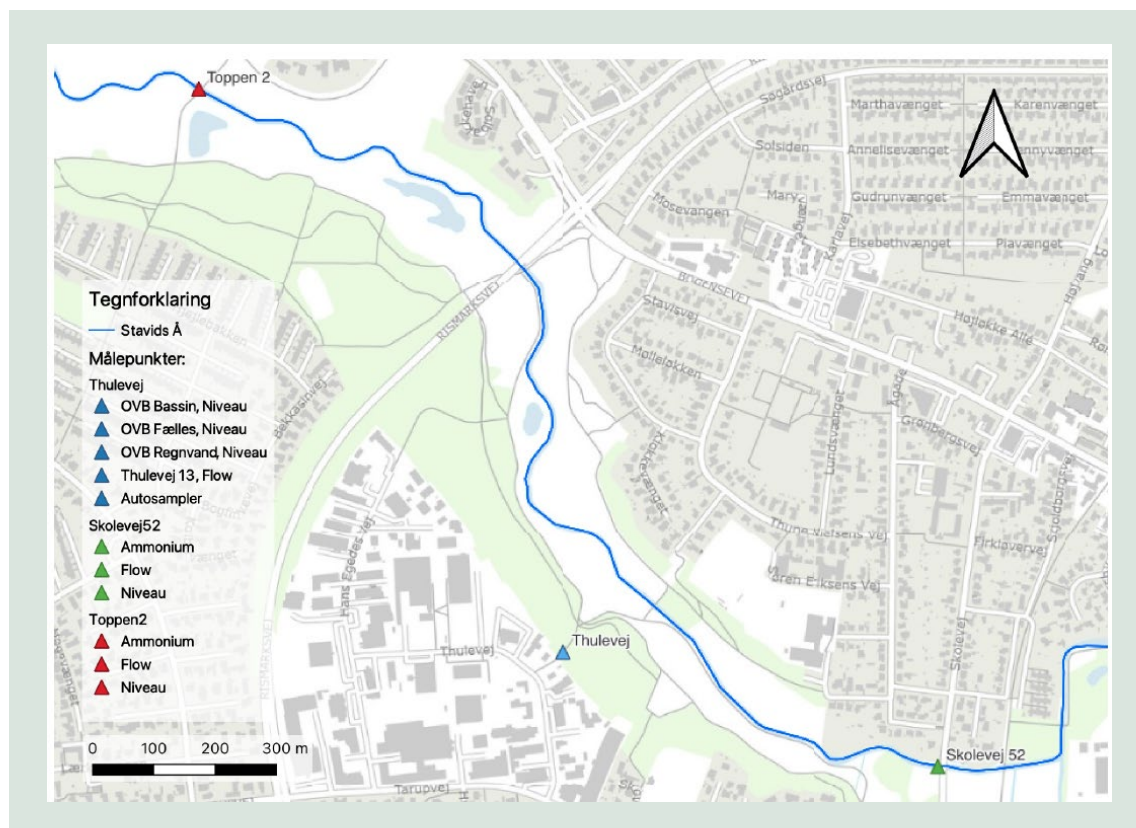


FIGUR 77. Resultater for bunds Å hen over nytår 2021-2022.

FIGUR 77 viser, at ved denne hændelse er responsen fra kalium-sensoren begrænset, selvom der kan observeres samme forløb som for de andre sensorer.

I implementeringen af softwaresensor i Dryp portalen omregner de målte værdier i millivolt til koncentrationer, med mulighed for at kalibrere separat for de enkelte stationer er nu i drift. Når sensorerne bliver rengjort og kalibreret er det muligt at ændre transformationen så den passer til de nye målinger. Dette kan bruge forskellige transformatorer over tid, men det kræver at det kan bestemmes hvornår i tid man skal gå fra én kalibrering til en anden.

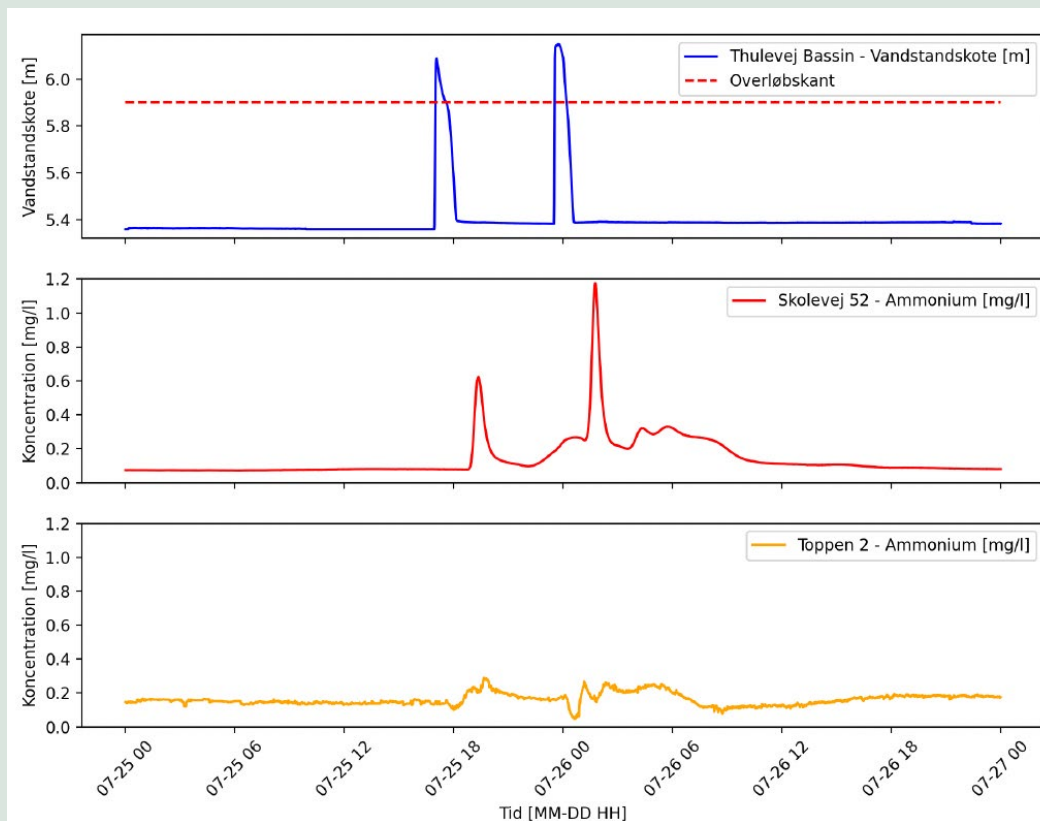
Et eksempel på hvordan man kan bruge softwaresensorer til bestemmelse af emissioner af organisk stof, Kvælstof og fosfor er overløbsbygværket på Thulevej hos Vandcenter Syd.



FIGUR 78. Caseområde ved Stavid å, Odense.

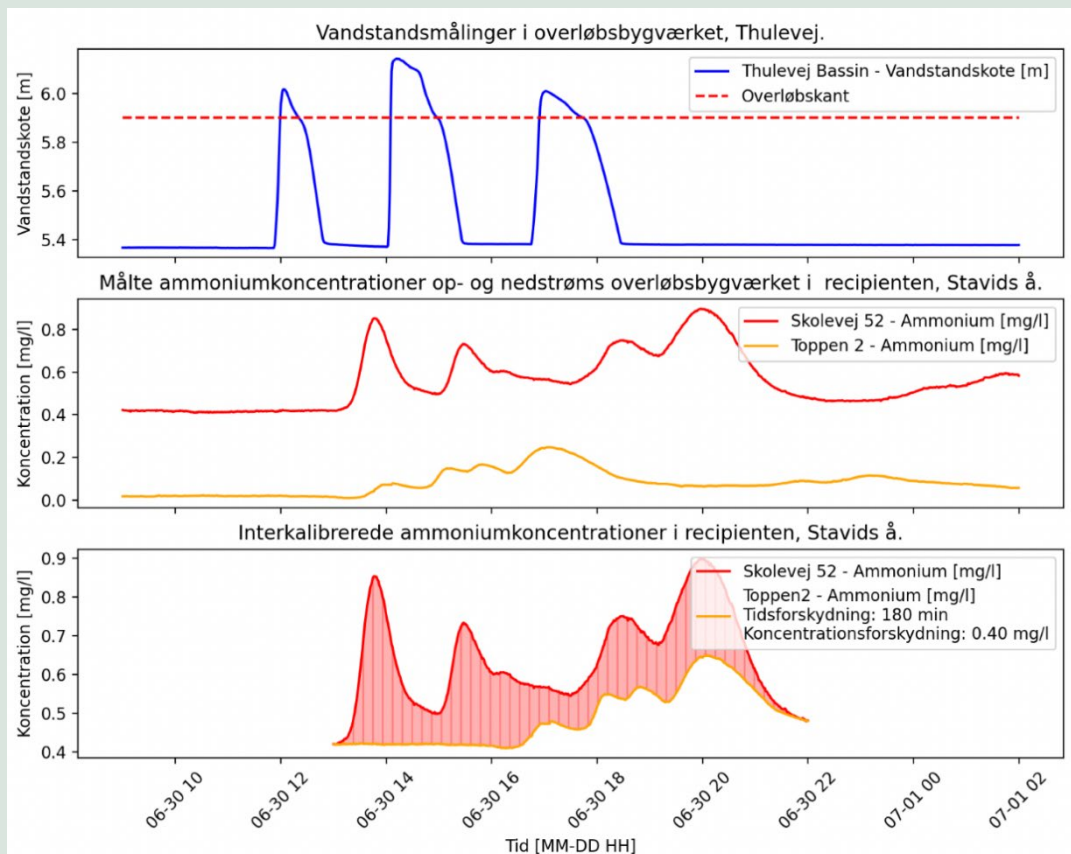
På billedet, FIGUR 78, kan det ses hvordan der er placeret en målestation på Toppen 2 og Skolevej 52 – rundt om overløbsbygværket. Forskellen på de to målestationer burde i princippet stamme fra overløbet. Det kan dog ikke afvises at der kan være andre udledninger på strækningen der påvirker målingen. Derfor bør man være opmærksom på om der er registreret udledninger i forsyningens registreringsdatabase før målestationer bliver placeret.

Det blev besluttet at fokusere på online måling af ammonium, da Vandcenter Syd allerede havde sådanne sensorer monteret i åen. Som beskrevet i kapitel 5 består softwaresensoren af en sammenligning mellem de målte koncentrationer i de to målestationer. Det antages at der ikke er forskel på baggrundskoncentrationen før og efter hændelsen. Derfor kan de 2 målinger interkalibreres til den samme koncentration før og efter hændelsen. arealet mellem de 2 kurver er derfor aflastet stofmængde pr. m^3/s flow i vandløbet.



FIGUR 79. Måling af ammonium i 2021 ved de 2 stationer sammenlignet med vandstanden i overløbsbygværket på Thulevej.

Ud fra FIGUR 79 kan det ses at de to Peaks hvor der sker overløb kan genfindes på nedstrøms målestation so stigende ammonium koncentrationer, Omvendt kan samme ikke findes på opstrøms station. Her kan man dog iagttage at der er mindre forstyrrelser i koncentrationen grundet andre påvirkninger. Det kan skyldes ukendte udledninger og regnvandsudledninger. Det kan også ses at koncentrationerne er forskudt i forhold til selve aflastningen. Det kan forklares med den transporttid der er mellem de 2 punkter. Kurverne skal derfor forskydes med transporttiden før man kan trække dem fra hinanden.

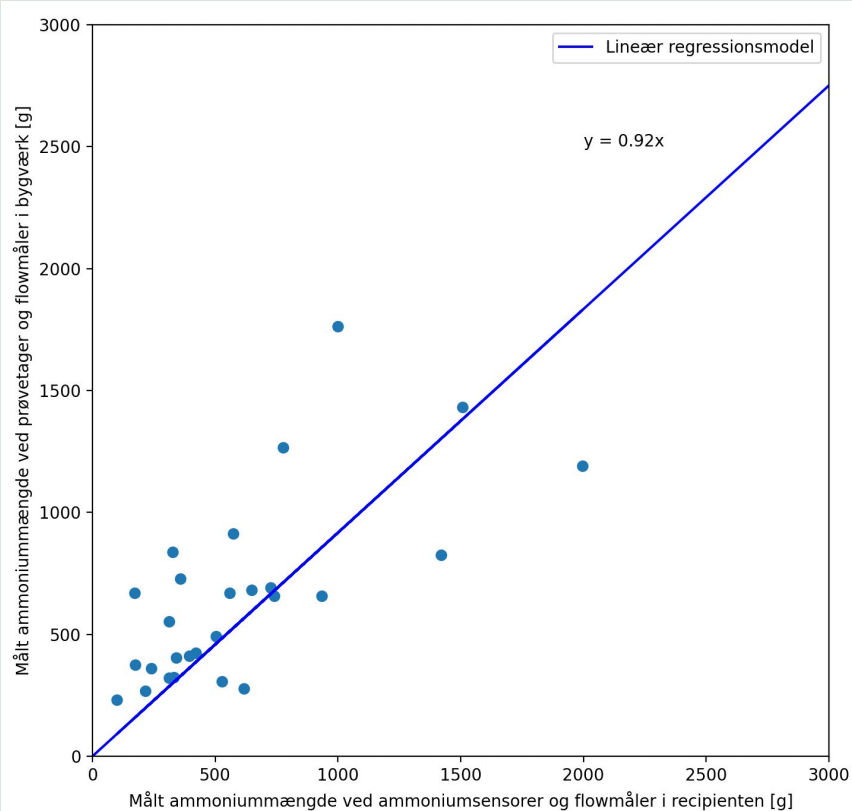


FIGUR 80. Måling af ammonium i 2021 ved de 2 stationer sammenlignet med vandstanden i overløbsbygværket på Thulevej. De to ammoniumkurver er tidsforskudte med 180 minutter og interkalibreret så de har samme baggrundskoncentration ved start af hændelse.

Integreres arealet mellem de 2 kurver og ganges der med det gennemsnitlige flow på strækningen, kan det den aflastede stofmængde findes for den hændelse. I det konkrete eksempel er strækningen tidevandspåvirket så det kan i sådanne tilfælde være kompliceret at udtrække et flow. I Stavid å er der nedstrøms en flowmåler som muliggør en lokal bestemmelse af flow over måleperioden.

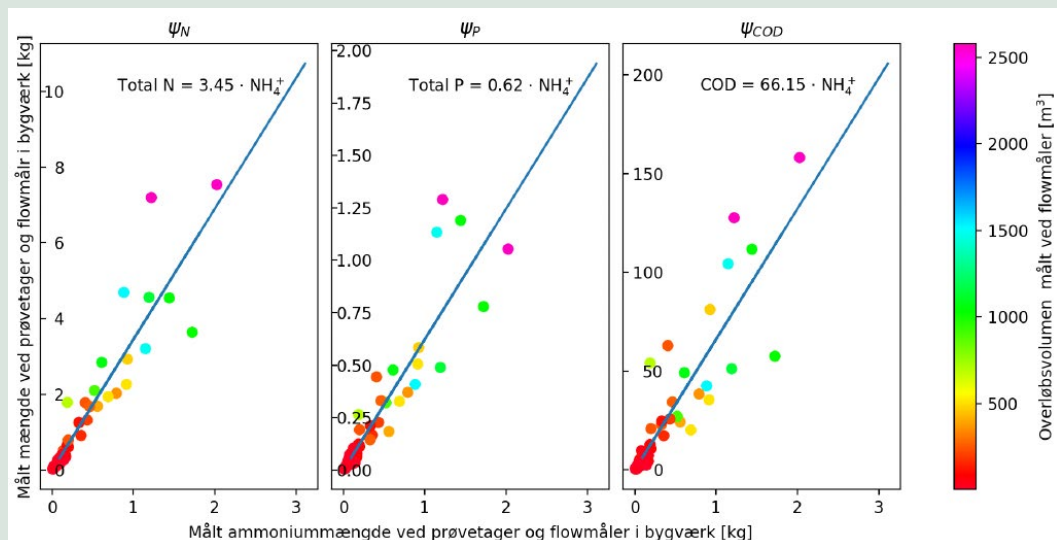
FIGUR 81 viser den aflastede mængde ammonium målt i hhv. vandløbet og i overløbsbygværket. Ud fra de 27 hændelser er det vist, at man i gennemsnit kan genfinde 92% af aflastet ammonium inde fra bygværket ude i vandløbet. Det betyder at metoden med at måle med ion selektive sensorer i vandløbet giver et retvisende billede af hvor meget der er aflastet under hændelserne (i gennemsnit). Da man nu kende hvor meget de 2 typer af målinger varierer fra hinanden kan man samtidig beregne en korrektionsfaktor der kompenserer for denne forskel.

Hvis det ønskes, kan man også bruge resultaterne fra FIGUR 81 til at vurdere usikkerheden på hver enkelte hændelse og bruge det i den videre analyse.



FIGUR 81. Måling af tilledning af ammonium i 2021 mellem de 2 stationer sammenlignet med prøvetagning lavet i overløbsbygværket på Thulevej. Udvalgte hændelser hvor der både er sensordata og prøvetagningsdata fra bygværket.

I forbindelse med prøvetagningskampagnen i bygværket blev der samtidigt analyseret for traditionelle analyse parametre så som COD, total-N og total-P



FIGUR 82. Korrelation mellem Ammonium, Total-N, Total-P og COD.

Det ses at der er en udmærket sammenhæng mellem hvor meget ammonium der kan måles i spildvandsprøverne og COD, Total-N og Total-P.

Nu kan softwaresensorens etableres ved at beregne massen aflastet ammonium og gange det med faktorerne fundet i FIGUR 82.

TABEL 5. Aflastet stofmængde til Stavids Å over 27 hændelser i 2021.

	Middelværdi [kg]	Median [kg]	Spredning [kg]	Variabilitetskoefficient [%]
Kvælstof	52,8	51,8	8,7	16,5
Fosfor	9,5	9,3	1,6	17,1
COD	1007,3	990,0	180,2	17,9

Usikkerheden på den enkelte hændelse i TABEL 5 stammer fra den spredning der er fundet i en kombination af FIGUR 81 og FIGUR 82. Hvis man er interesseret i den gennemsnitlige usikkerhed over en længere periode (f.eks. et år) i Stavid Å, vil den være væsentlig mindre end angivet i TABEL 5, da man skal bruge regressionslinjerne til beregningen.

9.10 Datadrevet modellering

Stofindholdet i overløb varierer af mange ledningsparametre som afløbstid, sediment indhold, total volumen, tilkoblede husholdninger, samt flere andre parametre. Målingerne i Thulevej overløbsbygværket i Odense beskrevet i afsnit 9.9 har gennemsnitlige målinger af stofindhold fra flere overløbshændelser, med stor variation i nedbørsmængder og varigheder. Dermed har det været et godt datasæt til at kalibrere en softwaresensor der bestemmer stofindholdet i overløbet baseret på parametrene i det givne opland og timingen i forhold til nedløbshændelser.

Den variable stofkoncentrations beregning er et alternativ til en total stofmængde baseret på en fast koncentration som i fx typetals definitionerne i Puls indberetningen. Det er dog fortsat relevant hvis man som forsyning kan argumentere for ikke at bruge typetal.

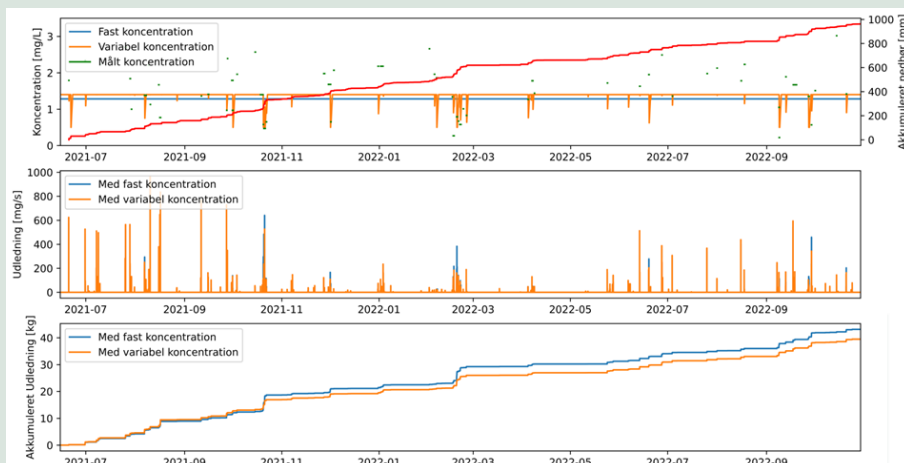
Softwaresensoren er blevet udviklet ved at teste ikke kun på Thulevej, men også i andre overløb i Aarhus Vand hvor der dog er færre stofprøver. Afprøvning har vist at de parametre der bedst beskriver variabiliteten i de valgte overløb, er som angivet i tabellen herunder.

TABEL 6. Tidsvariable Stofkoncentrationsparametre.

Parameter	Betydning	Værdi eksempel	Parameter	Betydning
Max koncentration	Typisk målt i starten af overløbet, kan svare til typetal for den givne parameter.	Parameter afhængig. I eksemplet for Ammonium 1.4 mg/l	Max koncentration	Typisk målt i starten af overløbet, kan svare til typetal for den givne parameter.
Slut koncentration	Den fortyndede koncentration i halen af den store hændelse. Kan evt. udledes fra fortyndingsgraden i oplandet.	Parameter afhængig. I eksemplet for Ammonium 0.5 mg/l	Slut koncentration	Den fortyndede koncentration i halen af den store hændelse. Kan evt. udledes fra fortyndingsgraden i oplandet.
Regn-dybde før re-suspension	Der skal en hvis påvirkning til før sedimentet opløses og transporteres.	5 mm, men det er naturligvis oplands afhængigt	Regn-dybde før re-suspension	Der skal en hvis påvirkning til før sedimentet opløses og transporteres.
Tømnings periode	Den tid det tager for al sediment i oplandet at blive tømt. Kan evt. udledes fra maksimal afstand og hældningsgrader.	4 timer, men meget oplandsafhængigt.	Tømnings periode	Den tid det tager for al sediment i oplandet at blive tømt. Kan evt. udledes fra maksimal afstand og hældningsgrader.
Opbygnings periode	Efter tømning er det den tid i tørvejrflow det tager at bygge fuldt sediment op igen.	24 timer, men meget svær at bestemme. Primært betydende for den årlige afstrømning.	Opbygnings periode	Efter tømning er det den tid i tørvejrflow det tager at bygge fuldt sediment op igen.

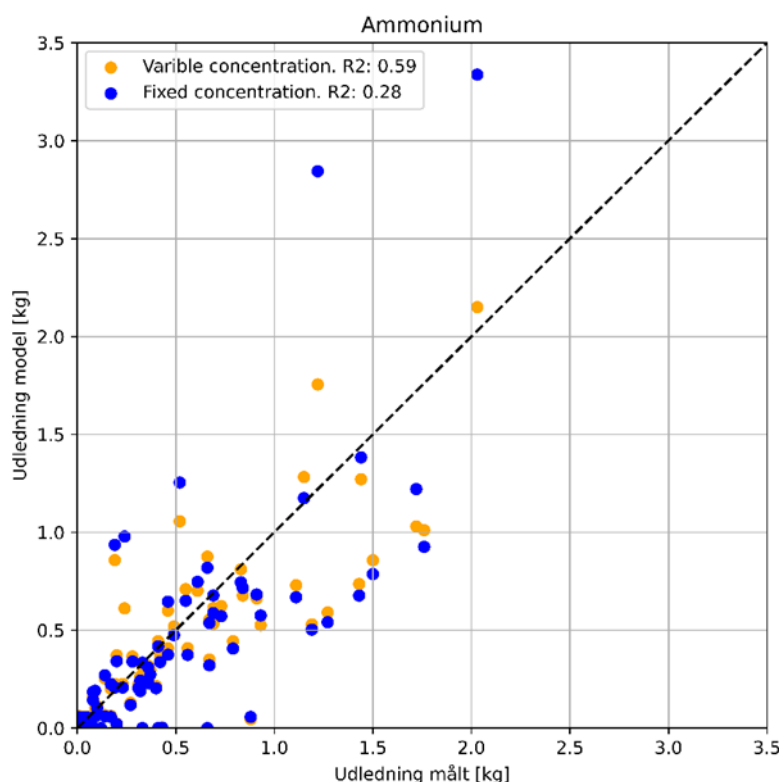
I eksemplet herunder er det valgt at sammenligne med en fast koncentration som er sat som en gennemsnitsværdi for alle målingerne, og en max koncentration som er væsentlig højere. I forhold til Puls indberetning havde det været relevant at sammenligne med typetal, men i denne sammenhæng er det valgt at tage udgangspunkt i data.

Figuren herunder viser et udsnit af perioden hvor stofkoncentrationen fra den tidsvariable koncentration er sammenlignet en fast koncentration.



FIGUR 83. Resultater af softwaresensoren som koncentration med den akkumulerede nedbør (øverst), som totale udledninger sammenlignet med den faste (midt), og den akkumulerede forskel (nederst).

Givet den relativt store spredning der er i målingerne, vurderer vi sammenlignet med andre stof-flow relationer at det er et rimeligt fit på tværs af hændelsestyper og varigheder. Nedenfor er vist korrelationerne mellem målt og beregnet for hhv. den faste og den tidsafhængige koncentration. Bemærk specielt her at korrelationskoefficienten på næsten 60% er væsentlig bedre for den variable i dette punkt. Yderligere kalibrering og tilpasning af modellen er naturligvis mulig.



FIGUR 84. Resultater af de akkumulerede stofmængder eksemplificeret med ammonium for den tidsvariable softwaresensor for stofkoncentration imod de målte koncentrationer, sammenlignet med en fast koncentration.

Korrelationsgrafen viser tydeligt at det særligt er de længere hændelser med udledning af de større samlede stofmængder hvor en fast koncentration i hele hændelsen tydeligt overvurderer den samlede udledning.

Denne software sensor er udviklet i forlængelse af de øvrige konklusioner i projektet, og vil blive tilgængeligt i overløbsmodulet, med mulighed for at konfigurere parametrene for de enkelte overløbspunkter.

9.11 Antenneforhold i overløbsbygværker

9.11.1 Indledning

I forbindelse med overvågningen af overløbsbygværker blev det afgørende at etablere en stabil og pålidelig trådløs kommunikationsforbindelse for at sikre kontinuerlig dataoverførsel fra sensorer og måleudstyr. Denne kommunikation blev særligt udfordret af de forhold, overløbsbygværker ofte befandt sig i: under jorden eller omgivet af tykke betonstrukturer. Lavdata-rate-netværksteknologier som LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) blev identificeret som en mulig løsning, men det krævede nøje overvejelse af teknologi, antenneforhold og energiforbrug i forhold til signalstyrke og dækning.

9.11.2 Teknologivalg: NB-IoT vs. Sigfox

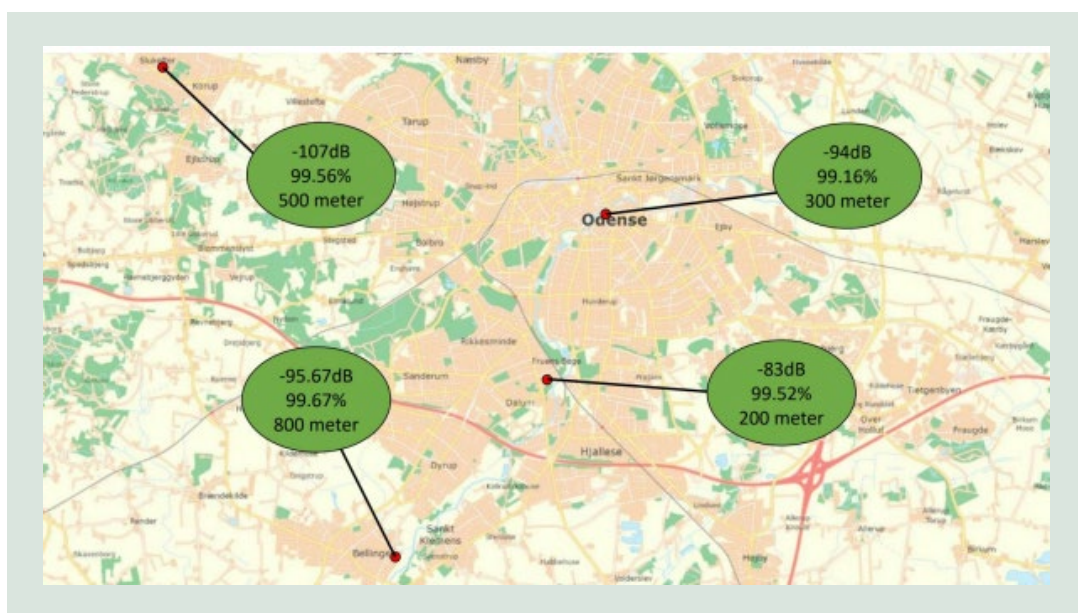
I projektperioden blev to af de mest relevante teknologier til LPWAN sammenlignet, nemlig NB-IoT (Narrowband IoT) og Sigfox. Testresultaterne viste, at NB-IoT havde en betydeligt

bedre dækning i områder med svære radiobetingelser, såsom under jorden eller langt fra sendemaster, hvor Sigfox ofte fejlede. NB-IoT blev desuden foretrukket på grund af den løbende udvidelse og vedligeholdelse af netværket gennem store mobiloperatører som TDC, hvilket sikrede en robust og fremtidssikret teknologi. Sigfox, derimod, havde en mere usikker fremtid på grund af sin status som privat aktør på markedet.

En anden relevant LPWAN-teknologi, LTE Cat-M2, blev også vurderet som en mulig kandidat. Teknologien delte mange af NB-IoT's fordele, herunder lavt strømforbrug, men håndterede roaming bedre, hvilket dog ikke var relevant for dette projekt. Mange IoT-enheder understøttede både NB-IoT og Cat-M2, hvilket gav mulighed for at anvende det netværk med den bedste dækning på lokationen.

9.11.3 Antenneforhold og strømforbrug

En af de største udfordringer ved kommunikation i overløbsbygværker var forholdet mellem signalstyrke og strømforbrug. Antenner kunne forstærkes for at forbedre signalstyrken, men dette ville resultere i øget strømforbrug, hvilket igen kunne reducere batteriets levetid betragteligt. På baggrund af projektets tests viste det sig, at NB-IoT ofte havde tilstrækkelig dækning, selv i underjordiske miljøer, hvilket betød, at en standard antenne normalt var tilstrækkelig. Teknologien opretholdt en stærk signalstyrke og lavt pakkeab (gennemsnitligt pakkeab på 0,5 %), hvilket var optimalt for applikationer, der krævede kontinuerlig dataoverførsel med minimale driftsafbrydelser.



FIGUR 85. Oversigtskort med testlokationer for test af antenneforhold.

9.11.4 Datalogger til signalanalyse

Til at måle og overvåge signalstyrke og pakkeab i overløbsbygværker blev der udviklet en NB-IoT-datalogger, der muliggjorde struktureret dataindsamling og analyse af kommunikationsforholdene i realtid. Dataloggeren sendte data til platformen TheThings.io, hvor den blev visualiseret og kunne eksporteres til andre platforme efter behov. Dette gav mulighed for at overvåge signalstyrken og datastabiliteten kontinuerligt og opdage, hvor eventuelle pakkeab opstod.

Test af dataloggeren i forskellige placeringer i Odense, herunder udfordrende miljøer, viste et pakkeab på mellem 0 og 1,01 %. Dette niveau af pakkeab blev betragtet som acceptabelt for de fleste applikationer. Hvis dette pakkeab viste sig at være for stort, kunne der anvendes protokoller som TCP/IP til at sikre levering af hver datapakke. Alternativt kunne redundant

dataoverførsel bruges, hvor den tidligere datapakke genudsendtes sammen med den aktuelle datapakke, hvilket kunne kompensere for enkeltstående pakkeab.

TABEL 7. Pakkeab vs. Signalstyrke over og under jorden ved forskellige placeringer.

	Sankt Jørgens Engen	Carl Blochs vej 38	Munkebjergvej 112
Gennemsnits-signalstyrke	-69,16 dB	-92,31 dB	-103,60 dB
Signal over jorden	-47,17 dB	-51,92 dB	-71,59 dB
Pakkeab	0 %	0,67 %	1,01 %

9.11.5 Overvejelse af antenneoptimering

Selvom antenneoptimering kunne have forbedret signalstyrken og reduceret pakkeab i overløbsbygværker, blev det anvendt med forsigtighed på grund af den betydelige effekt på strømforbruget. Testresultaterne viste, at NB-IoT generelt fungerede effektivt uden nødvendigheden af kraftigere antenner, og der blev ikke observeret datatab ved nogen af testlokationerne. Hvis forbedringer i signalet havde været nødvendige, kunne antennejustering eller installation af forstærkende antenner være blevet overvejet med en strømstyringsplan, der tog højde for den forventede levetid af IoT-enhedernes batterier.

9.11.6 Opsummering

Antenneforholdene i overløbsbygværker med NB-IoT kunne håndteres uden omfattende antenneforstærkninger takket være NB-IoT's overlegne dækning og signalpenetration sammenlignet med Sigfox. Testene viste et minimalt pakkeab og stabil dataoverførsel, hvilket var en betydelig fordel for projektets formål. For de få lokationer, hvor pakkeab kunne opstå, blev det anbefalet at vurdere protokoller som TCP/IP eller redundant dataoverførsel som mulige løsninger, dog med hensyntagen til batteriforbrug. På baggrund af disse observationer blev det konkluderet, at NB-IoT var det mest velegnede netværk for overløbsbygværker og derfor blev prioriteret i projektet, mens behovet for antenneoptimering blev vurderet i forhold til strømforbrug og specifikke driftsbehov.

10. Arbejdspakke 3:

Demonstration af overløbsløsninger

10.1 Mål og strategi for reduktion af miljøeffekter af overløb

Løsninger til at reducere overløb kan typisk grupperes efter deres karakteristika:

1. Reduktion af mængden af regnvand der når fælleskloakken
2. Reduktion af overløb ved brug af volumener i afløbssystemet
3. Rensning og udledning lokalt

En mulighed for at reducere en udledning kan være en kombination af flere af virkemidlerne ovenfor. Bygning af strukturelle tiltag er langt hen ad vejen kendte metoder og teknologier, som typisk er dyrere end brug af digitale løsninger i form af styring og optimering af eksisterende infrastruktur. Her er lokal rensning af overløbsvand en nyere metode, som har vist sig omkostningseffektiv på udvalgte steder.

Traditionelt set har reduktion af overløb fokuseret på en reduktion af det årlige antal af overløbshændelser eller på en reduktion af vandmængderne som afledes. Det er nyt at se på reduktion af aflastningerne i form af stofmængder og koncentrationer, set i forhold til deres belastning af recipienten. I Arbejdspakke 2: "Datahåndtering og modellering" fremskaffes via målinger og modellering data- og vidensgrundlaget for vand og stoftransport i overløbsvand. Dette vidensgrundlag danner baggrunden for test af nye digitale løsninger, som fokuserer på reduktion af belastningen af recipienten mht. vand og stof.

10.2 Screeningskoncept for reduktion af overløb

I projektet har projektets partere udviklet et koncept for screening for nemme tiltag til reduktion af overløb. Konkret går det ud på at for et helt opland at undersøge, om man kan reducere overløb ved at hæve overløbskanter eller implementere bøjle/fjederklapper uden at kompromittere serviceniveauet.

Novafos har med udgangspunkt i erfaringerne fra dette projekt opstartet en systematisk gennemgang af overløbsbygværkerne i deres forsyningsområde. Formålet er at, hvor det er muligt, at reducere miljøpåvirkningen med mindre tiltag.

Screeningen er på nuværende tidspunkt blevet solgt af Krüger til FORS forsyning, der ved hjælp af screeningskonceptet har kunnet identificere en række bygværker i Roskilde, der med fordel kan bygges om og derved spare overløb, uden at sætte serviceniveauet i fare.

Opstilling af mål for reduktioner er nærmere beskrevet under ombygningen af de enkelte overløbsbygværker i afsnit 10.6. Det blev valgt at fokusere på mulighederne for at reducere påvirkningen af recipienten fra bygværker ved Bunds Å, Kajerød Å, Stavids Å og Birkerød sø.

10.3 Realtidsmodellering og forecasting

Der er udviklet en forbindelse til "The Weather Channel", som muliggør adgang til vejrdata i realtid, med data 7 timer frem i tiden og en tidsmæssig opløsning på 15 minutter. Denne løsning er kombineret med en surrogatmodel og andre af Krügers standardmodeller til beregning af afstrømning. Modellerne er koblet til vejr- og nedbørsprognoser for at forudsige vandføringen til overløbsbygværker i realtid.

Systemet er blevet integreret i Krügers kommercielle HUBGRADE-software, hvor de udviklede modeller også kan bruges til at forudsige indløb til renseanlæg. Mens interessen for forecast af vandføring til overløbsbygværker har været begrænset, har der været stor efterspørgsel efter prognoser for renseanlægsindløb. Dette har resulteret i salg til tre renseanlæg i Danmark og ét i Belgien, og der er fem mere på vej.

Den specifikke løsning til overløbsbygværker er endnu ikke blevet solgt i Danmark, men har fundet anvendelse i Milwaukee, USA. Dette viser potentialet for international interesse, selv om det lokale marked endnu ikke har taget løsningen til sig.

Et vigtigt aspekt ved systemet er identifikation og håndtering af kritiske realtidsdata. Der er etableret procedurer til at tackle udfordringer som datatab og ugyldige data, for eksempel som følge af sensorfejl.

Ved manglende vejrdata^{**}: Forecasten sættes til at antage, at der ikke regner. Operatøren advares dog tydeligt om, at prognosen mangler regndata.

Anvendelse af realtidsmålinger^{**}: Forecasten kan baseres på målte vandføringer på lokaliteten, hvilket muliggør korrigerende og tilpasning til aktuelle forhold.

Kalman-filter til præcision^{**}: Et Kalman-filter analyserer historiske fejl i forecasten, hvilket forbedrer modellens nøjagtighed over tid.

Fallback-strategi^{**}: Hvis ingen realtidsdata er tilgængelige, anvender systemet historiske data fra modelkalibreringen, der blev udført under opsætningen.

For at gøre systemet operationelt effektivt for operatører er der identificeret og implementeret flere realtids-KPI'er i brugerfladen:

1. Grænseværdier for forecasted vandføring
Hvis en grænseværdi overskrides, aktiveres handlinger, f.eks. ved overløbsmængder eller høje indløbsflows til renseanlæg. Dette kan udløse styringsaktiviteter i afløbssystemet eller renseanlægget.
2. Gentagelsesperioder for regnhændelser
Systemet beregner gentagelsesperioder, der kan bruges til at opstille statistik over overløbsmængder.
3. Sum af hydrografer
For punkter, hvor flere oplande bidrager, beregnes summen af de individuelle tidsserier for at give et samlet billede.
4. Akkumuleret og forecasted flowvolumen
Systemet beregner både akkumuleret og forventet flowvolumen til specifikke punkter, såsom overløbsbygværker eller bassiner ved renseanlæg.
5. Alarmhåndtering og responsprioritering
KPI'erne indbefatter også alarmer for kritiske situationer, der prioriterer handlinger baseret på konsekvens og risiko.

Systemet repræsenterer et vigtigt skridt mod bedre forvaltning af vandressourcer gennem brug af realtidsdata og avancerede prognoser. Den stigende interesse for renseanlægsprognoser tyder på, at markedet er klar til at tage denne teknologi i brug. Derudover kan løsningen potentielt udvides til andre sektorer, hvor vandhåndtering og præcise forudsigelser er kritiske, som f.eks. landbrug og byplanlægning.

For yderligere succes kræves dog en øget opmærksomhed omkring værdien af overløbsprognoser, især på det danske marked. Øget markedsføring og pilotprojekter kan muligvis åbne op for nye muligheder her.

10.4 Lokal rensning: sedimentationsforsøg

På projektet er der undersøgt to muligheder for lokal rensning af vand i fælleskloak før overløb. De to undersøgelser dækker:

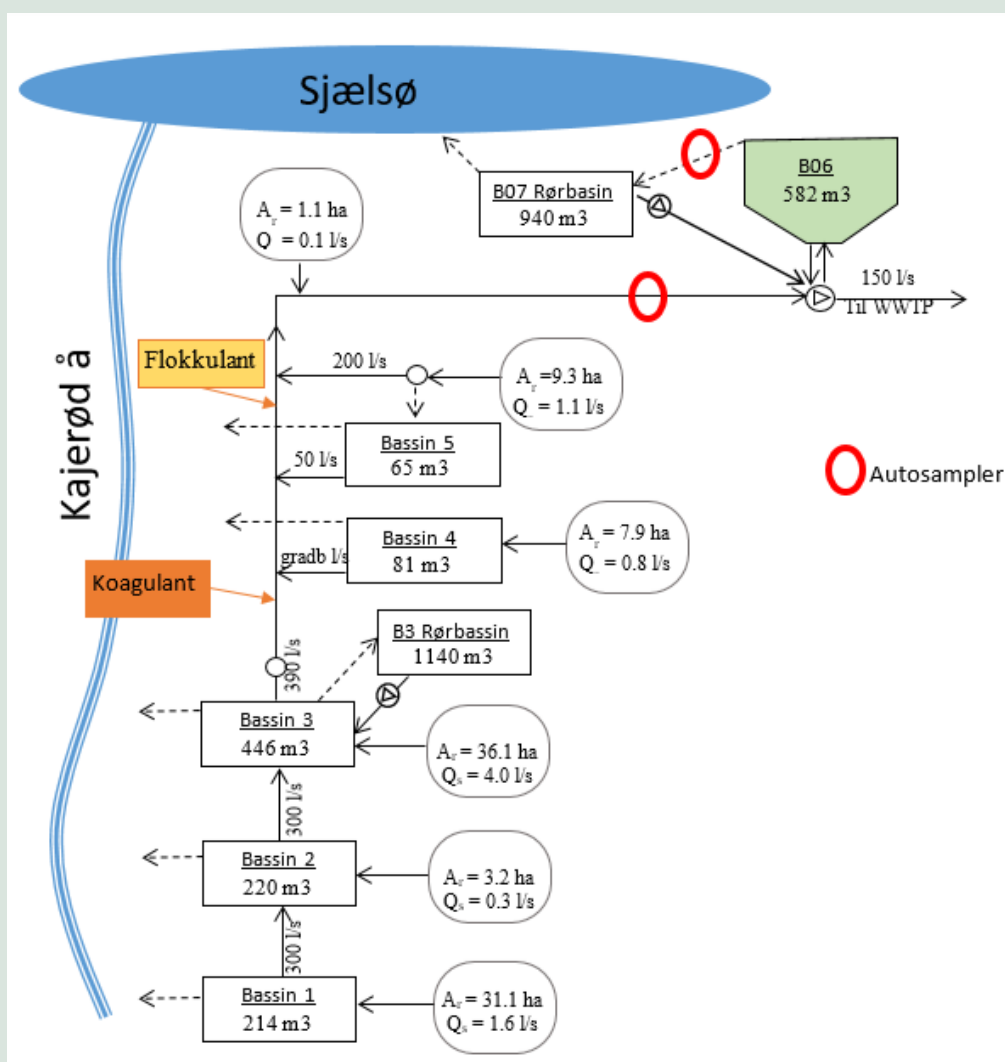
1. Reduktion af forfor-udledning ved lokal rensning af overløbsvand til Birkerød Sø
2. Reduktion stofkoncentration i overløb ved at bruge afløbssystemet, som reaktor til at øge sedimentationen og derved mængden af fosfor i overløbsvandet.

Brugen af styring blevet evalueret i detaljer mht. anvendelse af et minirensesanlæg til at rense for fosfor ved kloakoverløb til Birkerød Sø. Efter analyser blev det på projektet valgt ikke at gå videre med implementering af et minirensesanlæg til lokal rensning ved Birkerød Sø. Årsager til dette var at selv rensning kan reducere fosformængderne, så er der tale om en løsning, som efter al sandsynlighed ikke kan stå alene som en signifikant forbedring af vandkvaliteten i søen, da der også vil blive frigivet store mængder fosfor som pt er bundet i sediment på bunden af søen.

I stedet blev det valgt at konceptudvikle og testet brugen af eksisterende infrastruktur i afløbssystemet, som en reaktor til at øge sedimentationen af fosfor før overløb. Dette er beskrevet nærmere i afsnit 10.4.

Eksperimentel dosering af hjælpestoffer i afløbssystemet for reduktion af indholdet af problematiske stoffer i overløbsvand. I denne periode er en ny ide til at reducere de negative konsekvenser af overløb blevet tilføjet til projektet. Alle forsyninger har indtil flere overløbsbassiner, der er designet til at bundfælde partikler fra overløbsvandet. Denne proces kan man hjælpe på vej ved at tilsætte flokkulant til vandet inden det løber ind i bassinet. Flokkulant virker ved at få partikler til at klistre sammen, således at de former større partikler, der nemmere bundfældes. Dette kan således hjælpe med at reducere mængden af stoffer der er på partikulær form. Fosfor, der er et af de mest problematiske stoffer til ferskvandsrecipienter, er imidlertid i høj grad på opløst form, og vil derfor ikke fjernes bedre ved at tilsætte flokkulant. Dette kan problemet løses ved at tilsætte en koagulant, der binder den opløste forfor i små partikler.

Princippet har vi sat os for at teste på Kajerød casen, hvor der både er en sårbar ferskvandsrecipient i form af Sjælsø og et egnet bassin ved Soldraget pumpestation. Oplandet er illustreret på nedenstående figur. Oplandet er meget velegnet til forsøget, da overløbet fra bundfældningsbassinet B06 i første omgang går til et andet større bassin (B07) og først løber ud i Sjælsø når dette er fyldt. Det vil sige at vi kan for hændelser af den rette størrelse kan tilsætte hjælpestofferne til afløbssystemet uden at risikere at disse ender i Sjælsø. De hjælpestoffer, vi vil anvende, er henholdsvis en jernbaseret koagulant og en polymer baseret flokkulant. Disse bliver i forvejen brugt i stor stil på rensesanlæg, og koagulanten bliver tilmed brugt til sørestaurering. Derfor burde de ikke være problematiske at anvende i det foreslåede setup, men det er ikke desto mindre hensigtsmæssigt i et eksperimentelt setup at undgå alle former for ekstra udledninger til recipienten.



FIGUR 86. Oversigt over Kajerød systemet, med indikation af doserings- og målesteder.

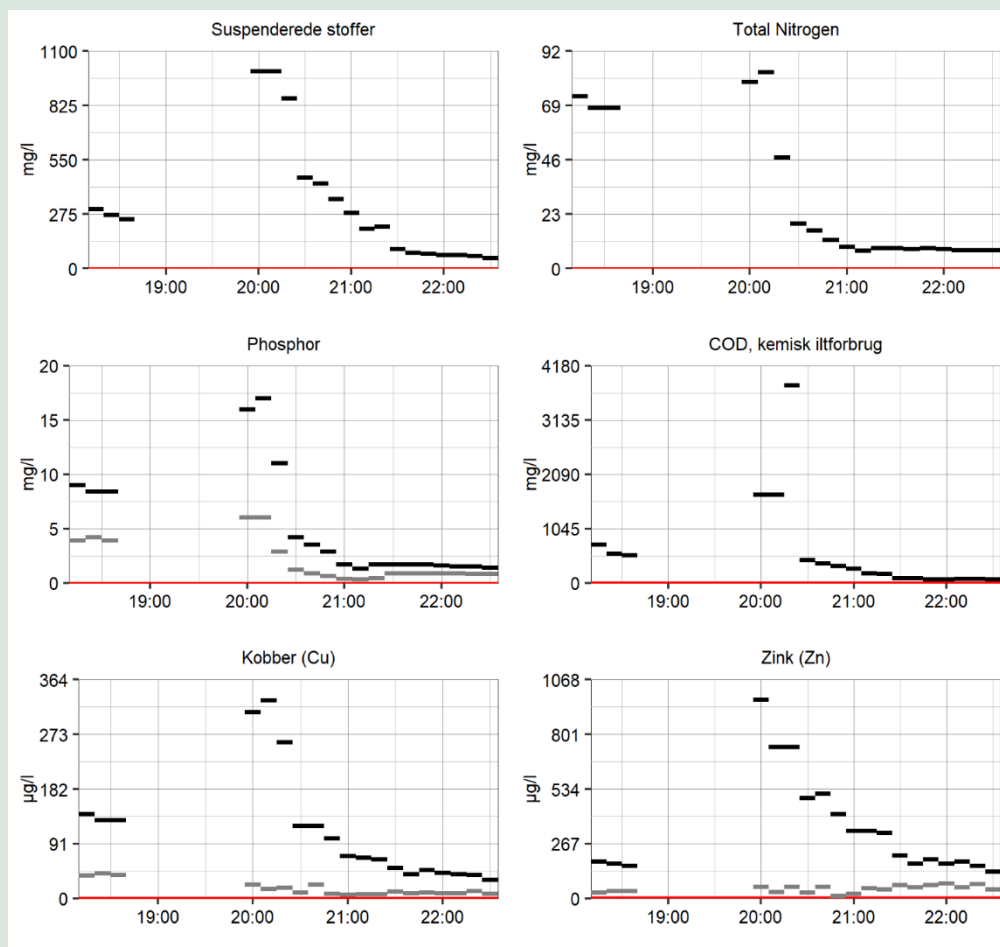
Princippet har potentiale til at bidrage med betydelige reduktioner af udledninger af fosfor. De store, nedstrøms bassiner, hvor princippet vil være brugbart, står ofte for en meget stor del af det samlede overløbsvolumen, og en reduktion af fosforindholdet her vil derfor kunne gøre betydelig forskel. Ambitionen med forsøget i dette projekt er at undersøge om det fungerer tilfredsstillende i et virkeligt system. For at vise dette har vi brug for at have helt styr på hydraulikken og desuden kunne måle på systemets bundfældningsegenskaber før og efter tilsætningen af hjælpestofferne. Derfor har vi udført følgende på casen.

10.4.1 Måleprogram med autosamlere på tilløb og overløb fra bundfældningsbassin

I et hvert bassin sker der en vis grad af tilbageholdelse af partikulære stoffer, men for at finde ud af hvor meget er det nødvendigt at måle koncentrationer gennem hele hændelser både i indløbet til bassinet og i overløbsvandet. Dette er en dyr og besværlig proces, men nødvendig for at vi kan beregne den isolerede effekt af at dosere hjælpestoffer.

Måleprogrammet foregår ved at de to autosamlere før bundfældningsbassinet og i overløbsvandet, løbende fylder små flasker med det opblandede spildevand. Prøvetagningen skal sættes i gang manuelt, da prøvetageren først kan sænkes ned i vandet, kort før prøverne skal tages. Når prøvetagningen startes, fyldes flaskerne indtil der ikke er flere tilbage, hvilket

sker efter 4 timer. Det vil sige vi skal være omhyggelige med ikke at starte prøvetagningen for tidligt, da dette kan resultere i, at vi løber tør for flasker, før hændelsen er ovre. På den anden side skal vi også sample indløbsvandet fra det øjeblik vandet begynder at stuve op i bundfældningsbassinet. Derfor har vi hele tiden en mand på vagt, der holder øje med vejrudsigten, så vi kan være parat til at starte prøvetagningen på det rette tidspunkt. De fyldte flasker med prøverne sendes til Eurofins, der analyserer indholdet af hver enkelt flaske. Første resultater fra en lille hændelse d. 22/7 der ikke gav overløb, kan ses herunder.

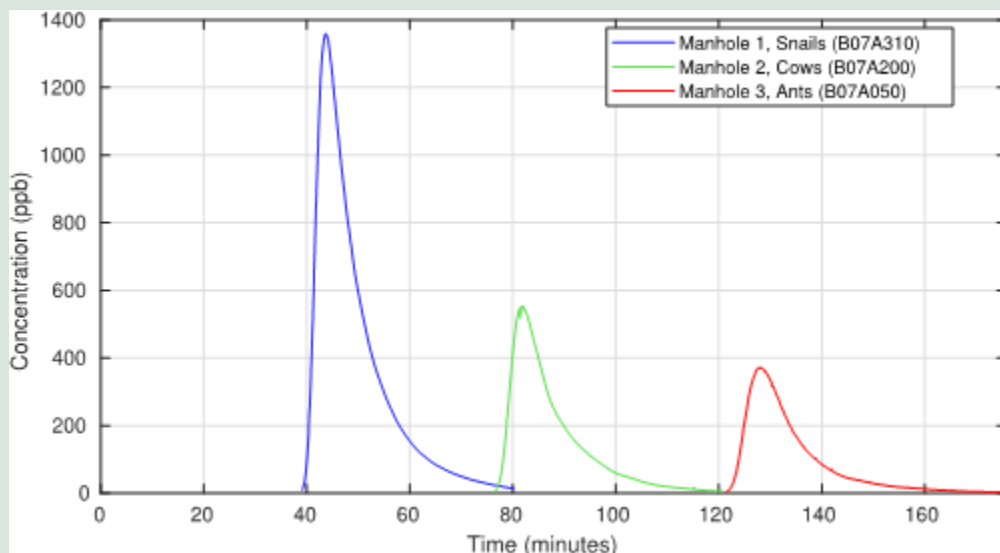


FIGUR 87. Resultater af første prøver fra baseline forsøget, indløbsprøver til bassin 22/7. (rød linje: detektionsgrænse, grå linje: opløst stof).

10.4.2 Tracerforsøg

For at sikre at vi har en korrekt opfattelse af hydraulikken og transporttiderne i Kajerøds afløbssystem, har vi udført tracerekspirer. Disse er udført ved at dosere et harmløst farvestof langt opstrøms på hovedstrækningen, og derefter anvende specielle sensorer fra Sheffield Universitet til at måle koncentrationen af farvestoffet. Til udførsel af forsøget fik vi hjælp af Professor Ian Guymer fra Sheffield University.

Figuren herunder viser resultatet af et af disse tracerekspirer. Det er planen at udføre et tracerekspirer både på tørvejsdage og en dag med regn og overløb, men vi har indtil videre kun haft råderet over sensorerne i perioder uden betydelig regn.



FIGUR 88. Resultater af tracerekspirement ved Kajerød Å Maj 2022.

De hidtidige resultater kan bruges til at bestemme transporttider og spredning i stofkoncentrationen, og dermed bruges som validering af en hydraulisk model til tørvejrbrug. Det tilsvarende eksperiment under regnvejr vil give os et rigtigt godt data grundlag til at validere eller forbedre forureningstransportmodeller i forbindelse med overløb.

10.4.3 Ansøgning om udledningstilladelse

Selv om doseringsforsøget ikke nødvendigvis resulterer i udledninger til Sjælsø, da det tilstræbes at overløbsvandet fra bundfældningsbassinet holdes tilbage i bassin B07, er det stadig nødvendigt at søge om udledningstilladelse for at få lov til at tilsætte stoffer til afløbssystemet. Derfor er der ansøgt om og modtaget en udledningstilladelse fra Rudersdal Kommune, inden forsøget blev igangsat.

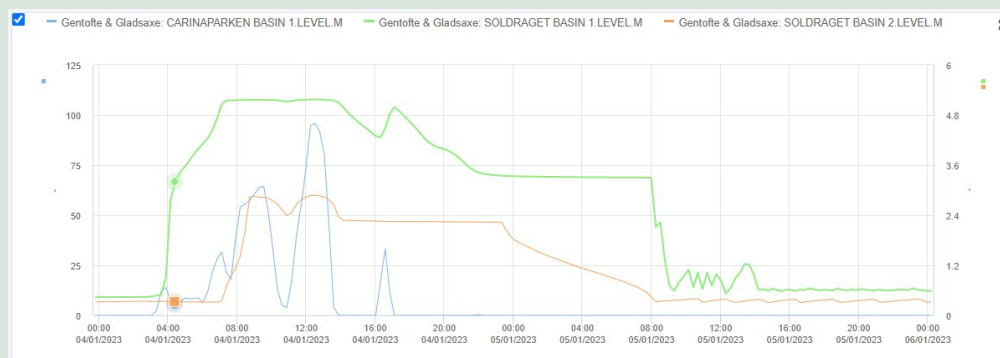
10.4.4 Etablering af online hentning og visning af måledata fra Scada-system

For at kunne starte prøvetagerne ved Soldraget på det rigtige tidspunkt, og for at kunne starte og styre doseringen af koagulant og flokkulant, har forsøget brug for i realtid at kunne se status på nøgledata fra systemet. Dette er ikke muligt med de IoT-sensorer fra Dryp og Krüger der er installeret i systemet, da disse ikke sender data ofte nok. Derfor er der blevet etableret en OPC-bro, der sender data fra Novafos' SRO-system til Hubgrade. De indhentede nøgledata er:

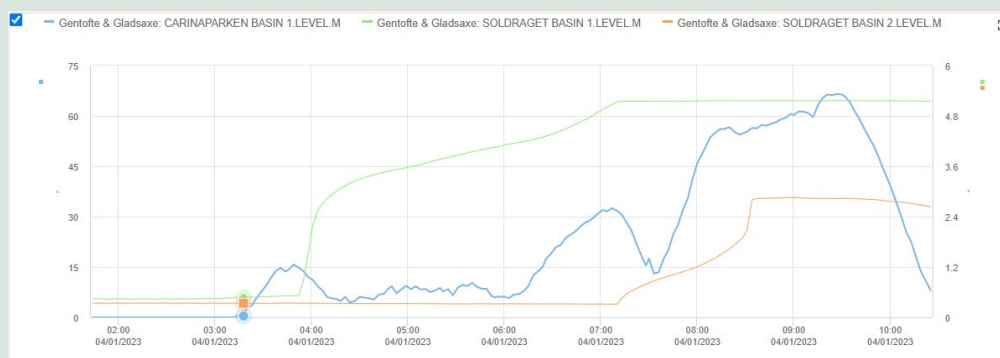
6. Niveau i overløbskammeret ved Carinaparken: Dette er en god indikator for en stor del af vandføringen mod Soldraget.
7. Niveau i kuppelbassin ved Soldraget: Denne kan bruges til at bestemme det tilbageværende volumen, inden der sker internt overløb til rørbassinet.
8. Niveau i rørbassinet ved Soldraget: Denne gør det muligt at vide, hvor langt vi er fra, at der sker et overløb til den eksterne recipient.
9. Regnmålerdata fra regnmåleren ved Sjælsmark Renseanlæg.

Nedenstående to figurer viser de tre datakilder for en overløbshændelse i januar 2023. Ved at studere figurene nærmere, ser man at niveauet ved Carinaparken typisk stiger ca. 30 minutter før niveauet ved Soldraget. Dette skyldes at vandføringen ud af bygværket ved Carinaparken imod Soldraget i høj grad bestemmes af niveauet ved Carinaparken. Det er dette der gør

denne sensor så værdifuld til beregning af doseringerne og til at vurdere hvornår der er høj sandsynlighed for snarligt overløb.



FIGUR 89. Målte niveauer fra henholdsvis Carinaparken (i cm) og de to bassiner ved Soldraget (i m), for hele overløbshændelsen d. 4-5 januar 2023.



FIGUR 90. Zoom ind på den første del af hændelsen.

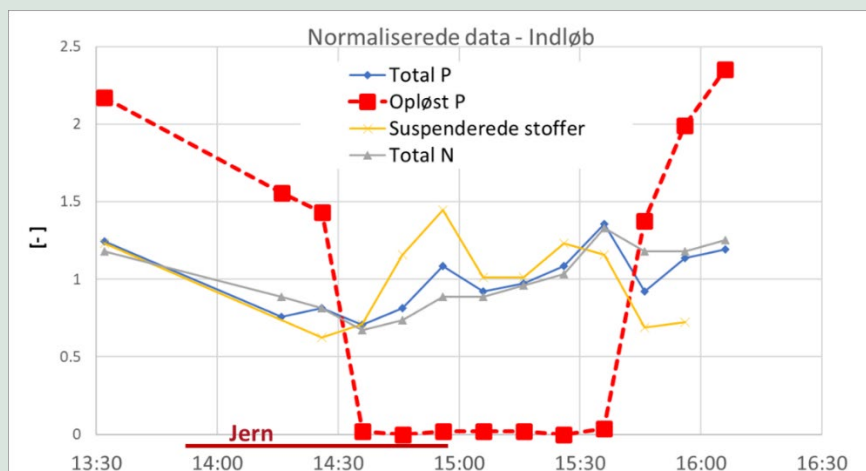
10.4.5 Sedimentationsforsøg – praktiske erfaringer

I løbet 2023 blev doserings- og sedimentationsforsøget gennemført. Forsøget var et pilotforsøg og således har der været en del praktiske besværligheder og erfaringer ved det. Særligt har det været komplekst at doseringen er foregået manuelt, og således har der skulle stilles med et hold. Det har været komplekst at skulle have et helt hold på minimum fire personer på plads til at starte både prøvetagning og doseringer i god tid inden overløb sker fra sedimentationsbassinet. Men det hele lykkedes, og der kom brugbare resultater ud af forsøget.

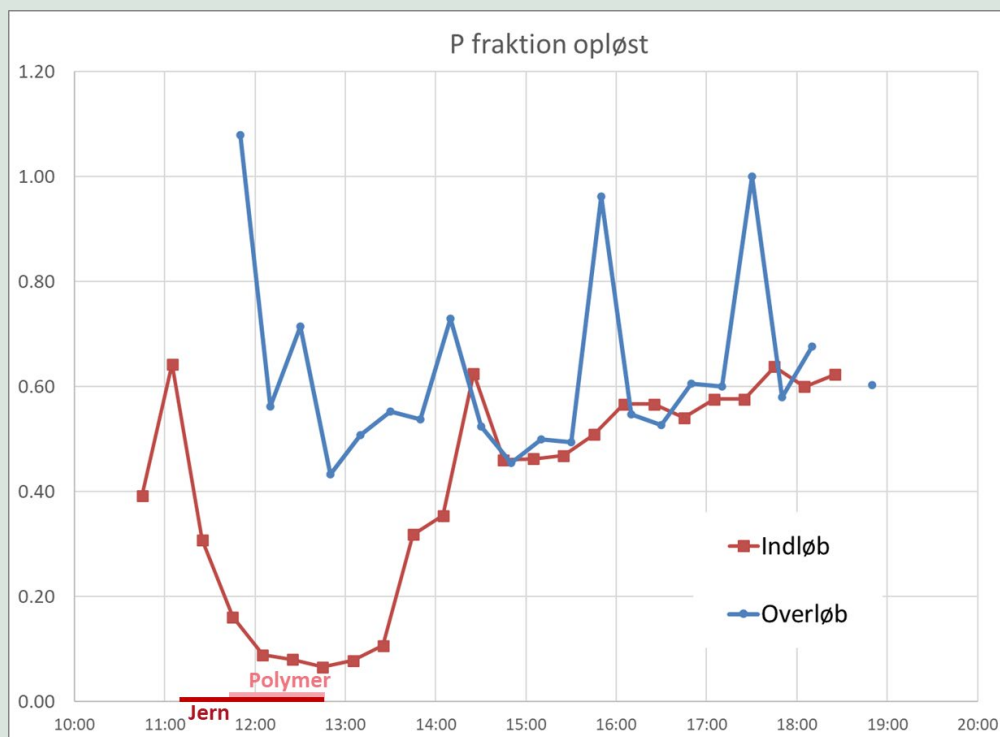
Testperioden bød på mange regnhændelser i den primære ferieperiode i juli, efter det tørreste forår i mands minde. At fange de enkelte hændelser kompliceres af at dosering og prøvetagere ikke kan startes på afstand, og at vi var derfor nødt til at rykke ud fra timer i forvejen. Dvs. at præcisionen i regnprognoserne fra DMI og Krügers prognoser blev afgørende for forsøgenes succes. Vi har haft tre hændelser med dosering og sampling. Timing af indsats og betjening af udstyr kan forbedres. Det anbefales derfor også at skal der arbejdes videre med koncept fremadrettet automatiserer dosering og prøvetagning

10.4.6 Sedimentationsforsøg – resultater

I sidste halvdel af 2023 blev der lavet nogle vellykkede sedimentationsforsøg, hvor timing og instrumenter fungerede for både prøvetagning og dosering. Det kan således vises at rør-systemet i sig selv fungerer fremragende som reaktor til opblanding og reaktioner med jernklorid. FIGUR 91 viser hvorledes koncentrationen af opløst fosfor praktisk taget går i nul som konsekvens af den opstrøms dosering med jernklorid, mens FIGUR 92 viser det samme for en regnhændelse med overløb.

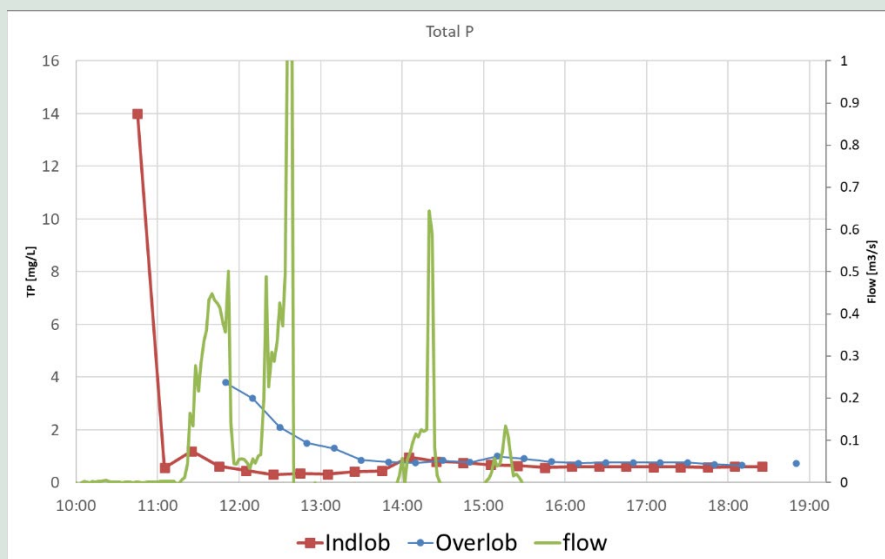


FIGUR 91. Normaliserede koncentrationer af holdholdsvis total fosfor, opløst fosfor, opløste stoffer og totalt kvælstof med dosering af jernklorid i tørvejr.



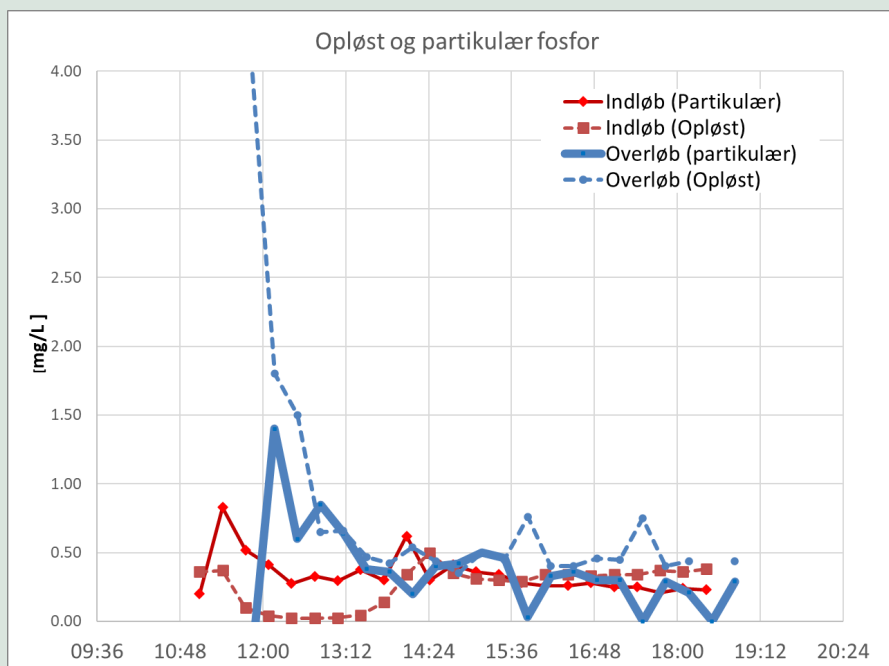
FIGUR 92. Fraktion af opløst fosfor i indløbet til Soldraget pumpestation og i overløbsvandet fra kuppelbassinet.

Når først fosfor er bragt fra opløst til partikulær form, er det muligt at fjerne det fra afløbssystemet. For at undersøge hvor meget fosfor og andet partikulær forurening, der fjernes ved udfældning i bassinet, har vi målt koncentrationer i både indløbet og overløbet. Det viser i imidlertid at der i den konkrete hændelse sker en fosfor tilførsel i bassinet fra det løber ind i bassinet til det løber over. Dette ses meget tydeligt på FIGUR 93, hvor det ses at fosforkoncentrationen i overløbsvandet i de første par timer af hændelsen, er flere gange højere end koncentrationen i det vand der er løbet ind i bassinet. Dette kan kun forklares ved at stof fra tidligere hændelser på bunden af bassinet bliver hvirvlet op af de kraftige strømninger under overløbshændelsen. Bassinet har ellers en nyligt epoxybehandlet, skrå bund, der ikke er specielt tilbøjelig til at holde på bundfældet stof fra tidligere hændelser, men effekten er tydeligvis større end vi havde forestillet os.



FIGUR 93. Koncentrationen af total fosfor i henholdsvis indløbet og overløbsvandet, samt det beregnede flow ind i kuppelbassinet.

En yderligere bemærkelsesværdig effekt er den meget høje koncentration af opløst fosfor i begyndelsen af overløbshændelsen, se FIGUR 94. Denne kommer op på næste 4 mg/L, hvilket er ca. det dobbelte af den totale fosforkoncentration i ufortyndet spildevand i tørvejr. Dette kan forklares ved at de fosforindholdende partikler er blevet nedbrudt af diverse processer i den periode det har ligget i det fugtige slam på bunden af bassinet mellem hændelser. Når der så på ny kommer vand i bassinet, bliver fosforen hurtigt opløst i vandet og får koncentrationerne til at stige voldsomt. Der er to uheldige effekter af den megen opløste fosfor: Det kan ikke fjernes ved sedimentation, og det er mere umiddelbart biotilgængeligt end partikulært bunden fosfor, og kan derfor have en mere umiddelbar negativ effekt på recipienten and hvis fosforen var bundet i partikler.



FIGUR 94. Koncentrationen af opløst og partikulær bunden fosfor i henholdsvis indløb og overløb i løbet af en overløbshændelse.

Der kan uddrages følgende konklusioner af sedimentationsforsøget:

- Rørsystemet fungerer godt som reaktor. Med meget simpelt og robust udstyr kan man få bundet opløst fosfor i partikler.
- Vi kan ikke ud fra indeværende forsøg konkludere om opsætningen fungerer til at fjerne fosfor ved sedimentation, pga. stoftilførsel fra tidligere hændelser.
- Rengøring af online overløbsbassiner er meget vigtig. Hvis bassinet havde haft et automatisk skyllesystem, må vi formode at fosforindholdet i overløbsvandet ville blive signifikant reduceret.

Der var indikationer i data på at koncentrationerne i den partikulærere fosfor falder hurtigere i overløbsvandet, end for den opløste, hvilket indikerer at bassinet vil kunne have en vis rensende effekt, men man kunne også se at koncentrationerne i overløbsvandet stiger med det samme der kommer højere vandføring gennem bassinet. Dette indikerer at bassinet ikke er stort nok til formålet, eller at det burde udstyres med plader der vil kunne reducere turbulensen i bassinet.

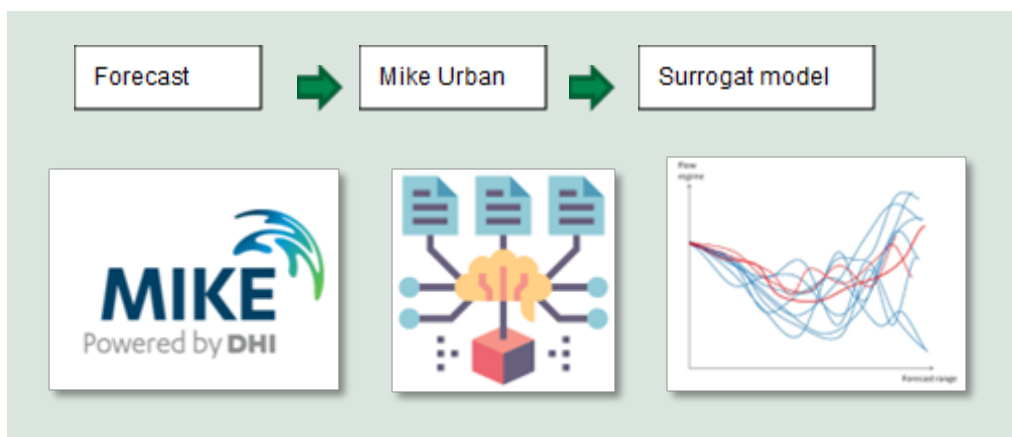
10.5 Reduktion af overløb - analyser af vand, kvalitet og styring

Der er på forskellige måder på projektet blevet analyseret mængder af vand og stof som aflastes fra afløbssystem til recipient, og det blev fundet at eksisterende software i form af MIKE modeller var langsomme og besværlige at anvende til modellering af vandkvalitet, derfor blev der på projektet bl.a. udviklet simplere og meget hurtigere vandkvalitets modeller til screening af effekter og løsninger til at reducere stofmængderne i overløb. Udgangspunktet for de simplere modeller (surrogamodeller) er MIKE modeller, som de er testet og evalueret mod.

10.5.1 Autogenererede surrogatmodeller

Der er i projektet udviklet et vandkvalitetsmodul til den beregningsmotor der bruges til at forecaste overløbsvand og stofmængder i realtid. Disse modeller omtales som

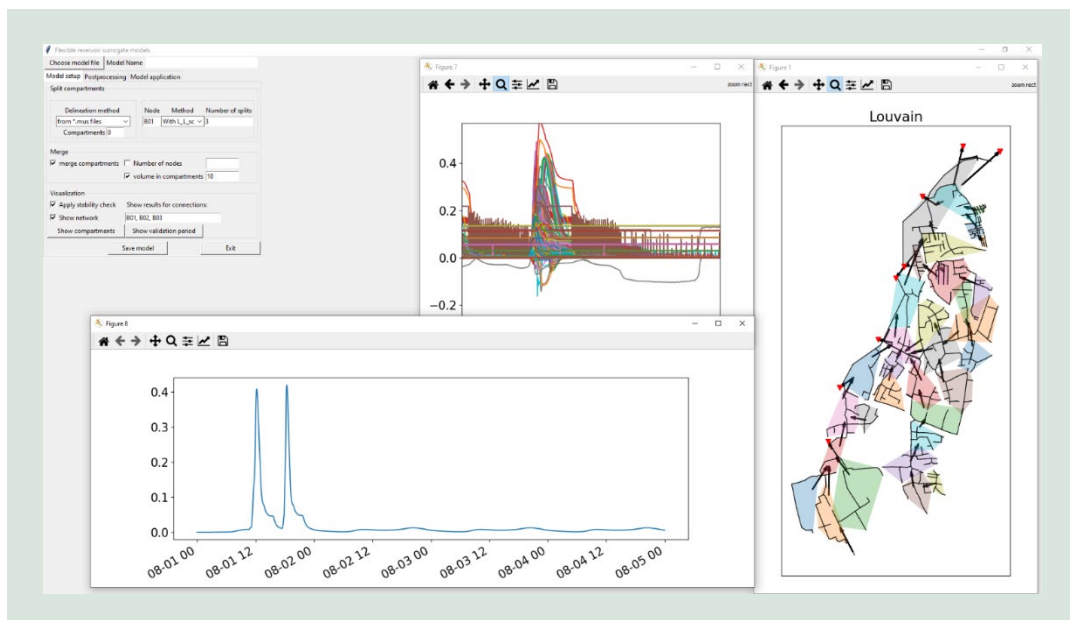
surrogatmodeller, da de udledes ud fra en Mike Urban model og til en vis udstrækning kan erstatte denne.



FIGUR 95. Opbygning af surrogatmodeller på basis af Mike Urban beregninger.

Der er udviklet et værktøj der automatisk kan uddrage surrogatmodeller fra Mike Urban modeller. Værktøjet bygger både på nyudviklede metoder til underinddeling af detaljerede hydrodynamiske modeller udviklet i løbet af projektet, og graf-indelingsmetoder fra en nyligt publiceret artikel fra Imperial College.

Arbejdsgangen når man bruger værktøjet er at brugeren skal udvælge et område med Mike Urbans "Selection" værktøj, for hvilket modellen skal laves. Derudover skal brugeren selv køre to specifikke simuleringer med Mike Urban, hvis resultater bruges til at bestemme parametrene for surrogatmodellen. FIGUR 96 viser et screenshot at den nyeste version af værktøjet, der just har genereret en model for Kajerød Å oplandet.

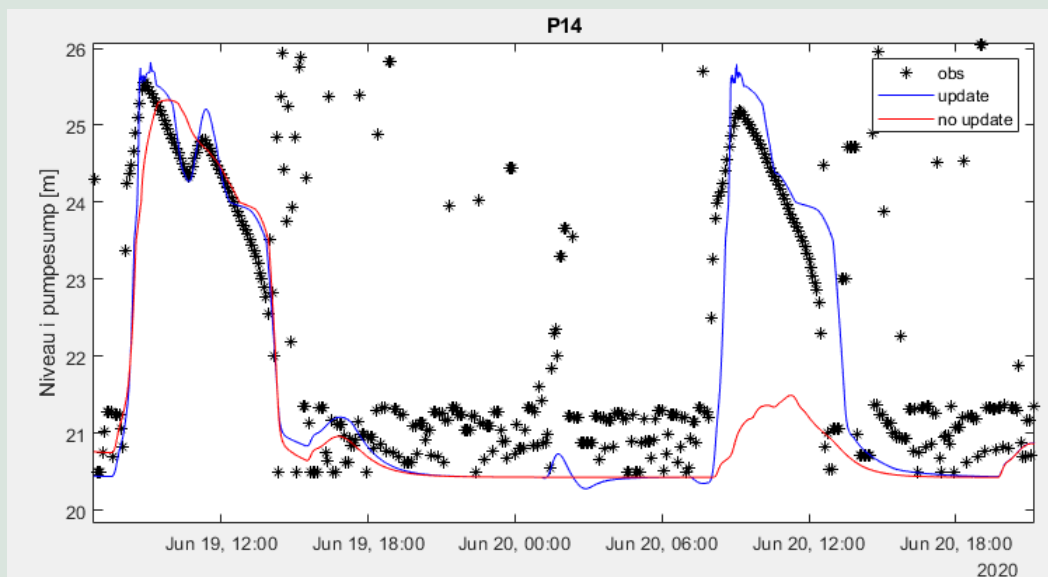


FIGUR 96. Screenshot af brugergrænsefladen til værktøjet der automatisk genererer surrogatmodeller fra Mike Urban modeller. Plottet længst til højre viser den autogenereret model for oplandet med udløb til Kajerød.

Derudover er der tidligere implementeret et RTC-modul, således at surrogatmodellerne kan anvendes til at undersøge potentiale for nedbringelse af overløb ved hjælp af styring.

Sideløbende er der testet om man kan forbedre realtidsforecast af vandføring sammen med neurale netværk ved at supplere regnmålerdata med data omkring vind. Det viste sig ikke at give bedre resultater.

Surrogatmodellerne blevet gjort i stand til at assimilere niveaumålinger for et vilkårligt antal steder ind i modellen. Dette gør at den kan give bedre forecasts som online model, men også at den kan give bedre analyser når man bruger den på historiske data. Jo flere datakilder man kan assimilere ind i sin model, desto mindre sårbar bliver den overfor dårlige perioder for de enkelte datakilder. Et eksempel kan ses på figuren herunder, hvor brugen af udelukkende en regnmåler resulterer i en komplet fejlvurdering af en overløbshændelse, mens den der også bliver opdateret med niveaumålingen fra Carinaparken stadig rammer hændelsen udmærket.

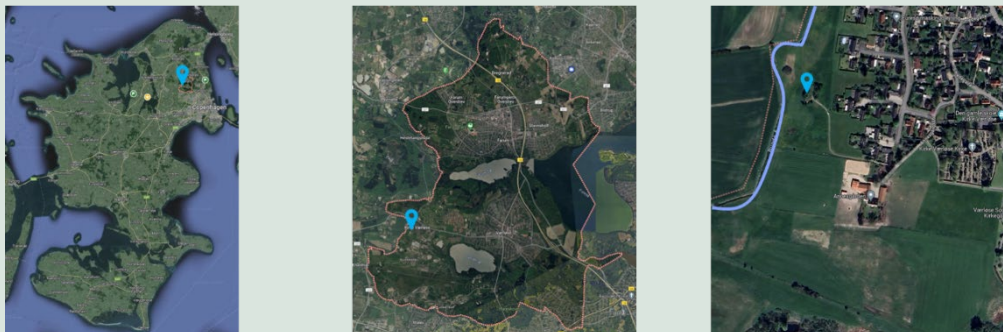


FIGUR 97. Modelresultater for niveauet i pumpeumpen ved Soldraget, sammenlignet med målinger. Blå er når niveauet i overløbskammeret ved Carinaparken assimileres ind i modellen, rød er en helt almindelig modelkørsel drevet udelukkende af en regnmåler. Sorte stjerner er måledata.

10.6 Sammenstilling af løsninger

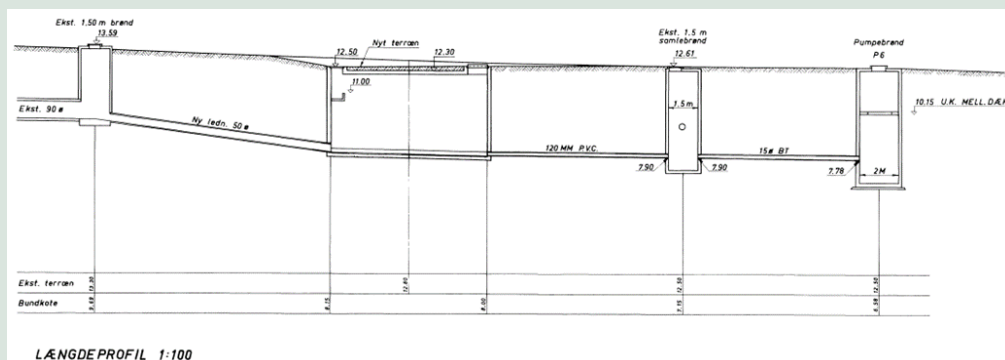
Der er sket en sammenstilling af løsningsmulighederne løbende for de overløbsbygværker, som er blevet bygget om. Hovedtanker og analyser beskrevet i næste afsnit.

10.6.1 Ombygning af Annexgården - overløb til Bunds Å



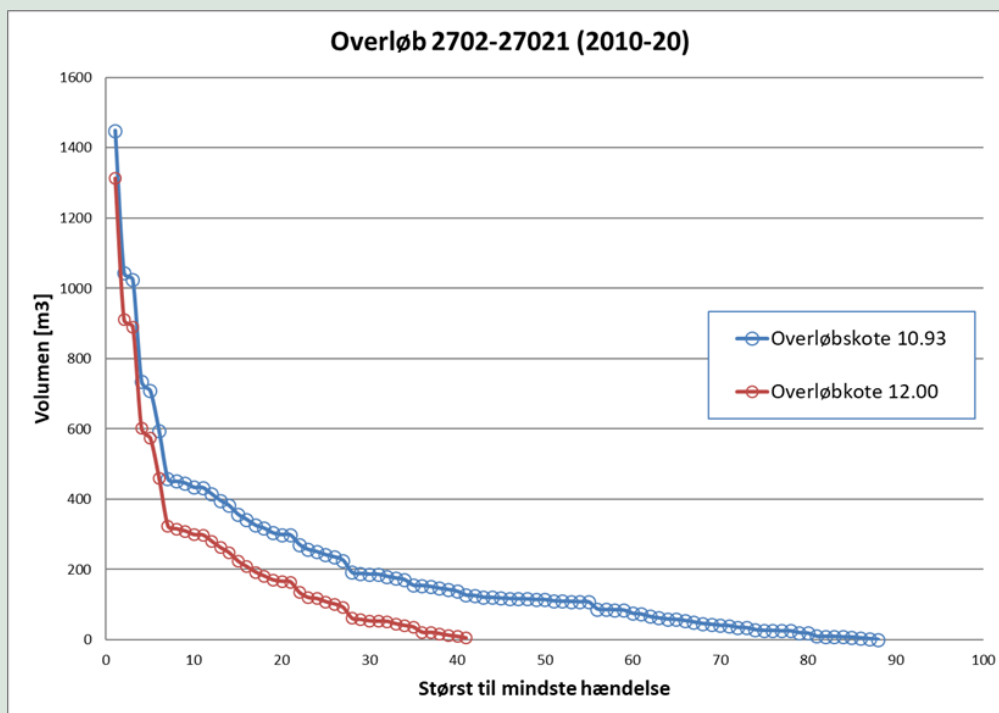
FIGUR 98. Placeringen af overløbsbygværket Annexgården.

Ved Bunds Å er et overløbsbygværk, Annexgården, i forbindelse med en ret voluminøs rørledning. Bunds Å er som tidligere nævnt et ganske lille vandløb, med en begrænset vandføring. Det er primært belastningen af næringssalte, der ønskes reduceret, da dette fører til iltsvind. En sådan reduktion realiseres gennem en generel reduktion af mængderne af overløb.



FIGUR 99. Tegning af tværprofil af rørbassinet ved Annexgården.

De indledende analyser i projektet viste, at der i statussituationen skete overløb ca. 9 gange om året, men at rørledningens volumen ikke bliver brugt fuldt ud, når der er overløb. Novafos har derfor undersøgt, hvor meget der kan vindes ved at hæve denne overløbskant, og samtidigt undersøgt i hvor høj grad dette vil resultere i stuvningsproblemer. Resultaterne viste at både overløbsmængder og antal omtrentligt kan halveres ved at forhøje overløbskanten. Dette sker vel at mærke uden, at det øger opstuvningsrisikoen i oplandet.



FIGUR 100. Overløbsvolumener ved en 10 års LTS Mike Urban beregning, når overløbskantkoten er henholdsvis de nuværende 10.93 m og 12.00 m.

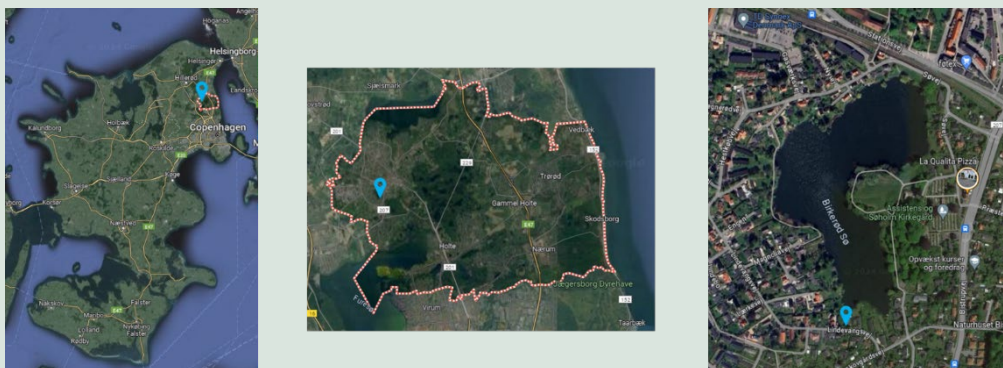
Kommunen blev derfor bedt om at lave en §2-vurdering (i dag §65) af om det er en væsentlig ændring. Eftersom det blev vurderet, at det ikke var det ikke, blev bygværket ombygget. Løsningen blev at hæve overløbskanten ved hjælp af svinerygsplanker, som det kan ses af FIGUR 101.



FIGUR 101. Overløbet Annexgården før og efter ombygning.

Prisen for ombygningen var 45.000 kr. og blev udført på ganske kort tid. Efterfølgende har det dog også vist sig, at vi skal hæve skumbrættet, da den nye overløbskant overstiger overkanten af skumbrættet, hvorfor det efter ombygningen er uden funktion. Desuden har svinerygsplankerne vist sig at være utætte, hvorfor overløb forekommer før vandstanden i bassinet når kronekanten på overløbet. Dette er ved at blive undersøgt nærmere og forventes håndteret i samme ombæring som skumkanten hæves. Den samlede omkostning til ændringen forventes dog fortsat at holde sig under 100.000 kr.

10.6.2 Ombygning af Linevangsvej - overløb til Birkerød Sø

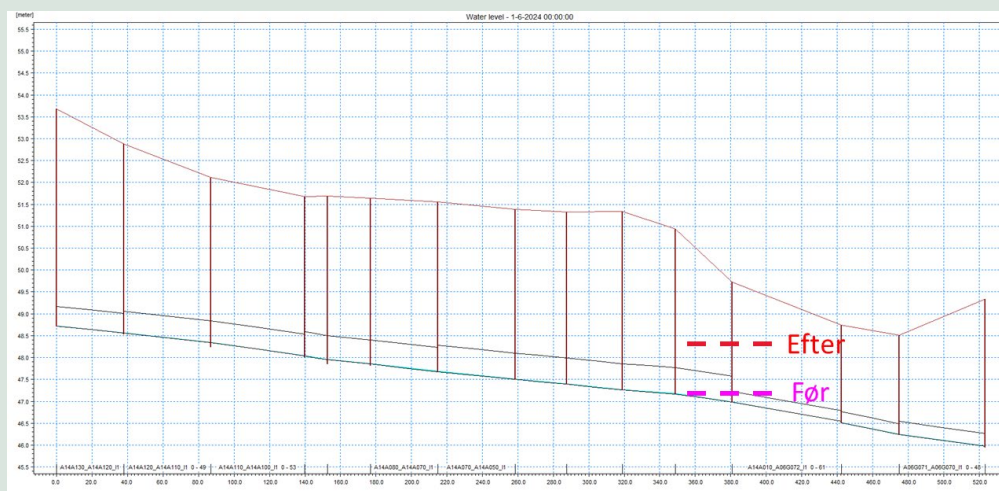


FIGUR 102. Placeringen af overløbsbygværket Lindevangsvej.

Ved Birkerød Sø er et overløbsbygværk, Lindevangsvej, i forbindelse med en dybtliggende ledning. Overløbskanten er ikke veldefineret i bygværket og der er tvivl om, hvorvidt bygværket oprindeligt har fungeret anderledes end i dag med en højere overløbskant, idet plankerne i bygværket virker forvitrede.

De indledende analyser i projektet viste, at der i statussituationen skete overløb ca. 6 gange om året, men at rørledningens volumen ikke bliver brugt fuldt ud, når der er overløb.

Birkerød Sø er som tidligere nævnt en sø, der er voldsomt påvirket af overløb. Det er primært belastningen af fosfor, der ønskes reduceret, da dette fører til iltvind. En sådan reduktion realiseres gennem en generel reduktion af mængderne af overløb.



FIGUR 103. Tværprofil fra Mike+ model af Lindevangsvej med indikation af overløbskanten før og efter ombygningen.

De indledende analyser i projektet viste at der sagtens kunne staves mere op i afløbssystemet uden at det fører til opstuvninger. Novafos har derfor undersøgt, hvor meget der kan vindes ved at hæve denne overløbskant, og samtidigt undersøgt i hvor høj grad dette vil resultere i stuvningsproblemer. Resultaterne viste at både overløbsmængder og antal omtrentligt kan halveres ved at forhøje overløbskanten. Dette sker vel at mærke uden at det øger opstuvningsrisikoen i det opstrøms opland.

Kommunen blev derfor bedt om at lave en §2-vurdering (i dag §65) af om det er en væsentlig ændring. Eftersom det blev vurderet, at det ikke var det, blev bygværket ombygget. Løsningen blev at hæve overløbskanten ved hjælp af svinerysplanker, som det kan ses af FIGUR 104.



FIGUR 104. Overløbet Lindevangsvej før og efter ombygning.

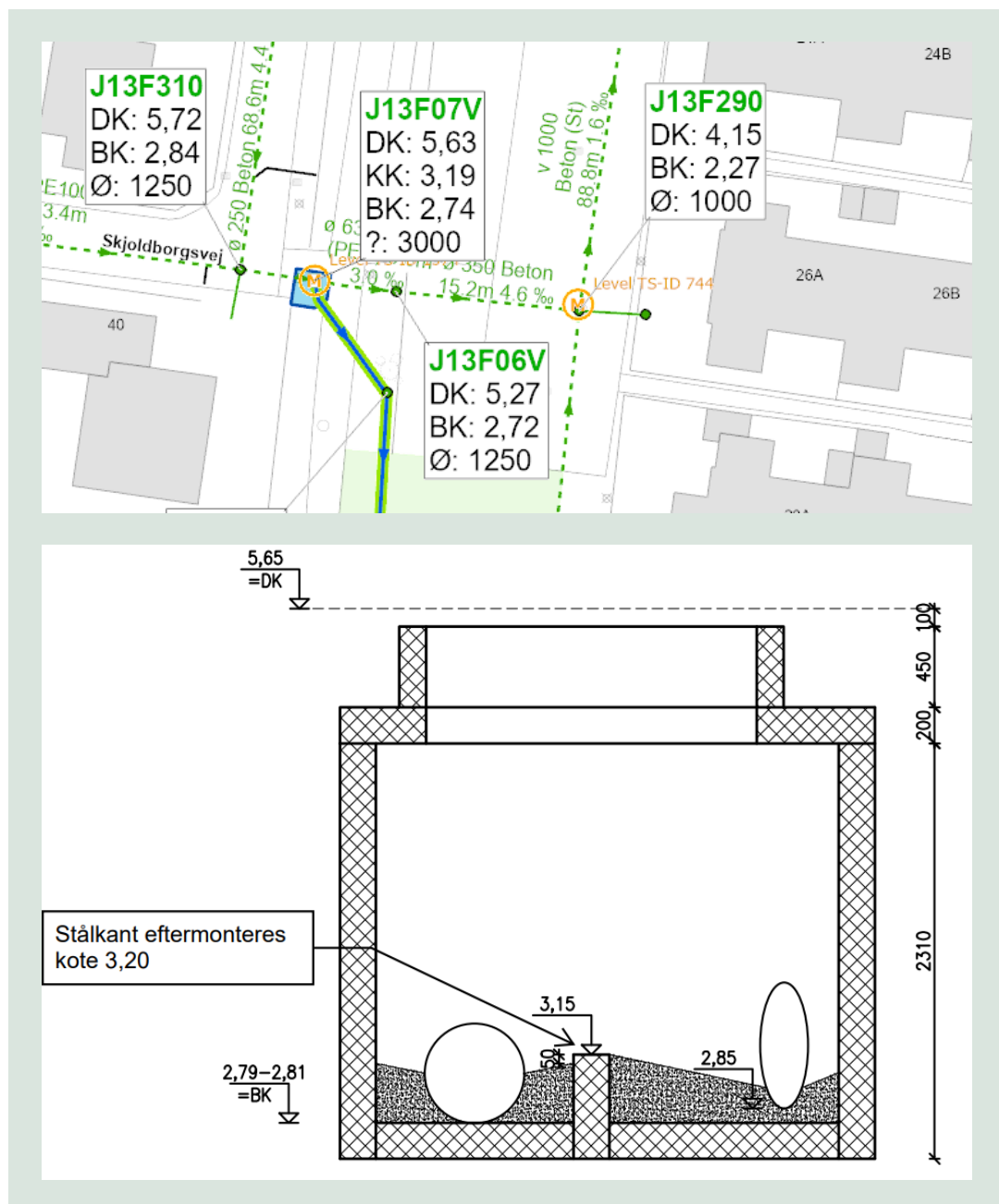
Prisen for ombygningen var 27.000 kr. og blev udført på ganske kort tid. Der mangler dog at blive etableret en ny rist, da overløb nu ikke længere tvinges op igennem den eksisterende rist, men nu falder ned på risten. Der er derfor ved at blive konstrueret en ny rist, som vil øge omkostningerne til ombygningen, men de samlede omkostninger til ændringen forventes dog fortsat at holde sig under 100.000 kr.

10.6.3 Stavids Å - Vandcenter Syd

Bygværk J31F11V ved Thulevej og bygværk J13F06V er ombygget og hedder nu J13F07V. Evalueringen af effekten af ombygningen laves samlet for de to bygværker da bygværk J13F070V ligger nedstrøms bygværk J31F11V. Derudover er der styring på J31F11V som styres af niveauer nedstrøms hvorved det også påvirkes af ombygningen ved J13F07V. Der er også andre bygværker som påvirkes af disse ombygninger som der skal tages højde for, hvilket også er beskrevet i det følgende.

10.6.3.1 Ombygning Skjoldborgsvej

Der er lavet en ombygning af bygværket ved Skjoldborgsvej. Udfordringen ved det tidligere system var i høj grad at overløbskanten var placeret så lavt i forhold til samleloakken. Samleloakken har i brønd J13F290 bundkote i 2,27 hvilket betød at der var overløb baglæns ud af systemet blot der var 68 cm vand i V1000 ledningen i samleloakken.

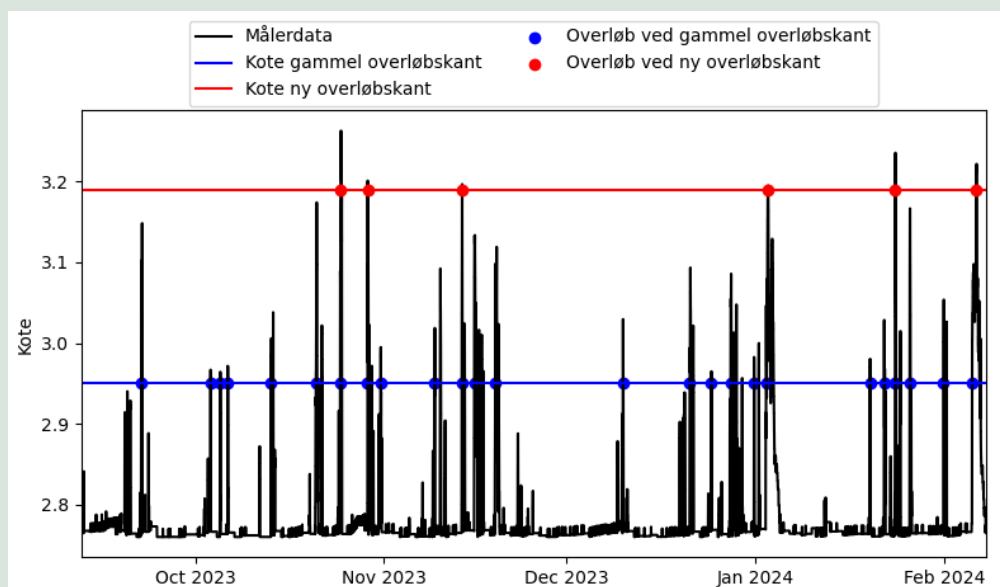


FIGUR 105. Oversigt og tegning af tegning af bygværk J13F07V på Skjoldborgsvej.

Her var overløb i kote 2,95 ved en hævet overløbsledning. Dette er ombygget til et reelt bygværk med overløb i kote 3,19. Der er en betonkant i kote 3,15 hvorpå der er monteret en stålskan. Denne er lavet så det er muligt nemt at justere niveauet for overløbskanten uden større ombygning hvis det bliver nødvendigt på sigt.

Den hævede overløbskant kan give lidt hævet stuvningsniveau ved små hændelse. Ved større hændelser er udløbet lavet med en konus for at mindske energitabet. Dermed sikres det stadigvæk at der ikke opstår øget stuvning for hændelser med en gentagelsesperiode på 10 år.

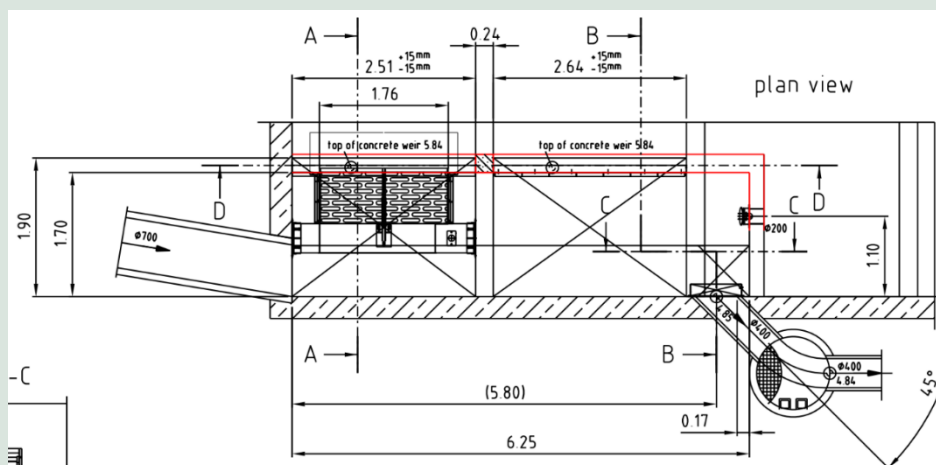
Ombygningen af Skjoldborgsvej stod færdig i slut juni 2023. Der er måledata fra 12/9-2023. Effekten af denne ombygning, på antallet af overløb, kan vurderes direkte ud fra målinger, da den eneste ændring er ny overløbskote. Dermed kan det antages at alle de måle niveau der er over den tidligere overløbskote ville have resulteret i overløb, mens niveauet nu skal over den nye overløbskant. Det har resulteret i en reduktion af overløb fra 25 overløbshændelser til 6 overløbshændelser i perioden 12/9 - 2023 til 8/2 – 2024. Det er dog muligt at der havde været færre en 18 uden ombygning hvis ikke Thulevej der ligger opstrøms var bygget om. Ombygningen af Thulevej giver mulighed for større videreførende kapacitet ved små hændelser.



FIGUR 106. Måledata fra bygværk J13F07V på Skjoldborgsvej.

10.6.3.2 Ombygning Thulevej

Ved J31F11V på Thulevej er bygværket bygget om til med en automatisk rist og en ny større videreførende ledning med et spjæld der kan begrænse kapaciteten når nedstrøms system er presset. Dimensionen på den videreførende ledning er øget fra Ø200 til Ø400. Derudover er der lavet en automatisk rist. Risten er mere fintmasket end den tidligere rist og der forventes en højere rensegrad. En tegning af bygværket er vist på FIGUR 107, mens et billede af risten er vist på FIGUR 108.



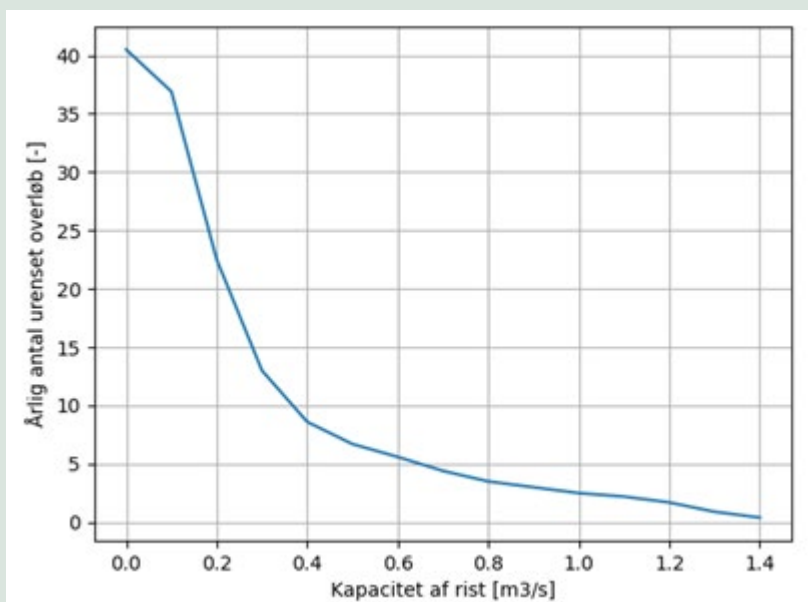
FIGUR 107. Tegning af indløbssiden af det ombyggede bygværk J31F11V der viser rist og ny udløbsledning.

Automatisk rist installeres på overløbet ind til bassinet. Der er antaget en max. tilstrømning på 1400 l/s med en hastighed på 3 m/s. Den høje hastighed giver nogle udfordringer mht. få en jævn belastning på risten. Der er valgt en 2.5 m vandret liggende rist med en kapacitet på 700 l/s. Den vandrette rist kræver mere plads end der er i tilløbskamret og det udvides derfor til dobbelt bredde. Med denne rist vil 95 % af det årlige tilløb til bassinet blive ristet. På grund af bygværket udformning og den høje tilløbshastighed ved 1400 l/s er det ikke muligt at udnytte rist i hele længden. Det er valgt i stedet for at bruge resten af kanten ind i bassinet til vandføringer > 700 l/s og som nødåbning ved evt. driftssvigt på risten.



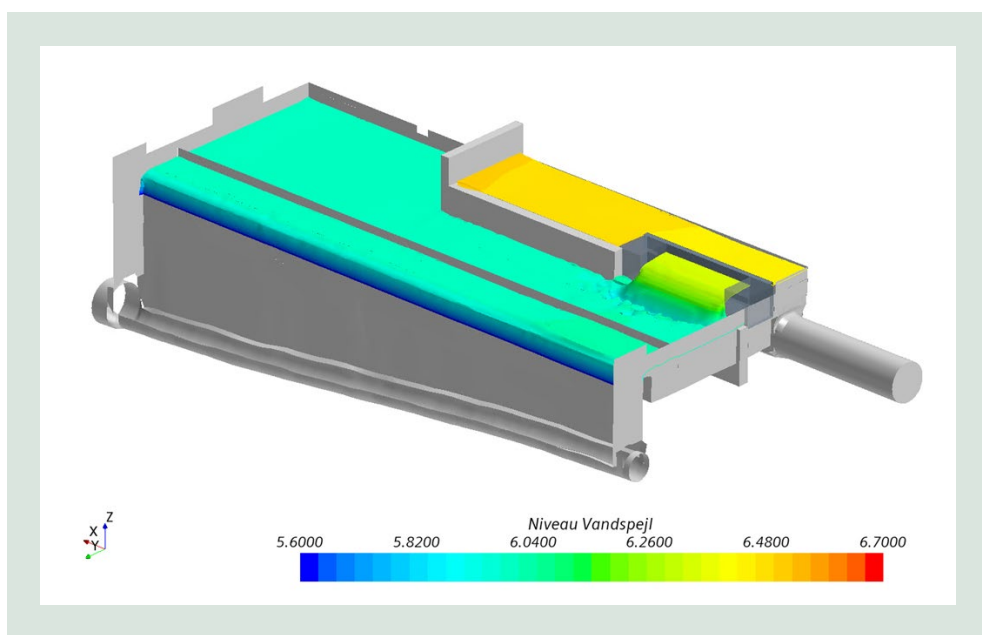
FIGUR 108. Billede af rist i bygværket på Thulevej.

Med dette valg af rist vil der forekomme nogle hændelser hvor vi ikke kan få alt vandet gennem risten, det forvente vi vil være 3-4 gange om året som vist på FIGUR 109. Dette anses for acceptabelt, da det kun forekommer ved høj vandføring og dermed hvor der forventes meget vand i åen.



FIGUR 109. Årligt antal overløbshændelser hvor det ikke er alt vandet der kan komme gennem risten.

I forbindelse med ombygningen har CFD været brugt til at få en forståelse af strømningerne i bygværket. Det har blandt andet været at sikre at den høje indløbshastighed til bygværket ikke resulterer i overløb fra indløbskammeret i den modsatte ende af risten. Et eksempel på modelleret vandspejl er vist på figuren nedenfor.



FIGUR 110. Eksempel på modelleret vandspejl ved hjælp af CFD for overløbsbygværket ved Thulevej.

10.6.3.3 Samlet effekt af ombygninger

De to forsøgsprojekter påvirker også bygværk J30F10V og Nordvest Rensningsanlæg. Der er lavet en LTS-simulering på 10 til at bestemme de aflastede vandmængder. Den samlede effekt af ombygningerne er beregnet til en reduktion på 5.371 m³/år. Stofmængderne er beregnet på følgende typetal fra PULS, bortset fra Thulevej som er baseret på målinger fra bygværket.

TABEL 8. Stofkoncentrationer i overløbsvand fra PULS.

Stof	Koncentration [mg/l]
Tot-N	12
Tot-P	2
COD	180

TABEL 9. Stofkoncentrationer for Thulevej, baseret på målinger for stofkoncentrationer.

Stof	Koncentration [mg/l]
Tot-N	6
Tot-P	1.2
COD	129

TABEL 10. Samlede modellerede reduktioner.

Stof	Reduktion
Vand [m ³ /år]	5.400
Tot-N [kg/år]	24
Tot-P [kg/år]	5
COD [kg/år]	62

Udover en generel reduktion er der også noget af det der stadig aflastes der er flyttet længere nedstrøms i systemet og derfor forventes at påvirke recipienten mindre.

11. Arbejdspakke 4: Analyse og dokumentation af miljømæssige effekter

11.1 Gennemførte miljømæssige undersøgelser

11.1.1 DVFI og DFI

I de udvalgte recipienter er der i foråret i hhv. 2021, 2022 og 2024 gennemført en række undersøgelser, for at klarlægge tilstanden i recipienterne både før og efter evt. etablering af tiltag. Der er foretaget undersøgelser op- og nedstrøms de udvalgte overløbsbygværker med Stavids Å, Giber Å, Bunds Å og Kajerød Å Sø som recipient. I vandløbene er der i foråret 2021, 2022 og 2024 lavet Dansk Fysisk Indeks (DFI) og Dansk Vandløbs Fauna Indeks (DVFI). Antallet af stationer er afhængigt af antallet af overløbsbygværker på den valgte strækning, således at stationerne er placeret op- og nedstrøms bygværkerne. I 2022 er antallet af stationer dog minimeret en smule, således er der ikke stationer imellem bygværker i de recipienter, hvor der er flere bygværker på strækningen (FIGUR 111).

I DVFI undersøges invertebratsammensætningen, som et af målene for den økologiske kvalitet af vandløbet. Derudover er artslisterne og artsantallet anvendt til at beregne diverse diversitetsindeks. I DFI undersøges de fysiske forhold i vandløbet. Denne parameter er vigtig, da nogle vandløb er i så dårlig fysisk tilstand, at selv hvis vandkvaliteten forbedres, vil det ikke nødvendigvis have en tilsvarende indflydelse på invertebratsammensætningen.

11.1.2 Sensordata

Som støtte til de målestationer som Vandcenter Syd allerede har andre steder i vandløbet, er der udsat HOBO-loggere på to stationer i Stavids Å op- og nedstrøms det udvalgte overløbsbygværk på Thulevej. Der måles vandstand, temperatur, pH-værdi, iltindhold og ledningsevne. Sensorerne blev sat op midt i april 2021 og taget ned i april 2024. De tog en måling hvert femte minut. Opstillingen er ændret et par gange, da vandstanden steg så meget hen over efterår og vinter 2021, at det ikke længere var forsvarligt at vade i åen af hensyn til aflæsning af data året rundt. Loggerne har derfor siden december 2021 været fastgjort til et reb, som er bundet til et anker og en bro, så loggerne kan tappes fra broen. I den forbindelse er stationerne rykket til de nærmeste broer (FIGUR 111). De kontinuerlige målinger giver et grundigt billede af forholdene i vandløbet. Både når der ikke er overløb, men også når der er regnhændelse både med og uden overløb, hvor påvirkningen kan ses på forskellen mellem de to stationer.

11.1.3 Oplandsanalyser

Der er udarbejdet oplandsanalyser for de udvalgte fem recipienter (Bunds Å, Stavids Å, Kajerød Å, Giber Å og Birkerød sø). Formålet med analysen er at undersøge bidraget af næringsstoffer og organisk stof fra overløbene i forhold til bidraget fra det øvrige opland. Desuden sammenholdes bidraget med den arealmæssige fordeling og bidraget af vand. Det topografiske opland blev fundet i ScalgoLive, mens arealanvendelse og kloakforhold blev fundet vha. de to GIS-lag; miljøstyrelsens basisanalyse og spildevandsplanen fra plandata. Lagene blev bearbejdet i mapinfo, med støtte fra forsyningernes webgis. Efterfølgende blev den arealspecifikke afstrømning beregnet med værdierne i TABEL 11 og de angivne kilder.

TABEL 11. Typetal for koncentration og arealspecifik afstrømning og tilhørende kilder brugt til oplandsanalysen.

	Kvælstof	Fosfor	BI5
Fælleskloak ⁴	10 mg/L ⁵	2,5 mg/L ⁵	25 mg/L ⁵
Separatkloak ⁴	1,86 mg/L ⁶	0,26 mg/L ⁶	6,20 mg/L ⁶
Landbrug	19,8 kg/ha/år ⁷	0,35 kg/ha/år ⁷	1 mg/L ⁸⁺⁹
Natur	2,5 kg/ha/år ⁷	0,15 kg/ha/år ⁷	1 mg/L ⁸⁺⁹

11.1.4 Vand- og sedimentprøver

Igennem projektperioden er der udtaget vandprøver i de forskellige recipienter. I Stavids Å er der taget vandprøver op- og nedstrøms overløbsbygværket i forbindelse med loggertapning cirka en gang om måneden. I Bunds å er der taget prøver med iscosampler igennem 24 dage op- og nedstrøms overløbsbygværket i april 2022. Ligeledes er der taget vandprøver i Kajerød Å i en periode på 1,5 måned fra juli til september 2022 (FIGUR 111).

I Birkerød Sø er der taget 2 sedimentkerner ved 11 udvalgte stationer d. 13. september 2021. Stationerne blev placeret i transekter ud fra de to overløbsbygværker med 25-50 meter imellem hver station. Der er således 5 stationer i den nordlige ende i søen, 5 i den sydlige ende af søen og 1 station midt i søen. Kernerne blev skåret i 1 cm prøver. Der blev målt tørvægt/vandindhold på alle prøverne. Der blev målt organisk indhold på alle prøverne fra 1 kerne fra hver station. Yderligere er der målt fosfor-, kobber-, bly- og zinkindhold på stationerne 1-4 og 6-8. Der er desuden taget vandprøver d. 17. maj og 13. september 2021.

⁴ PULS-indberettede vandmængder for overløb og udledning af separat regnvand

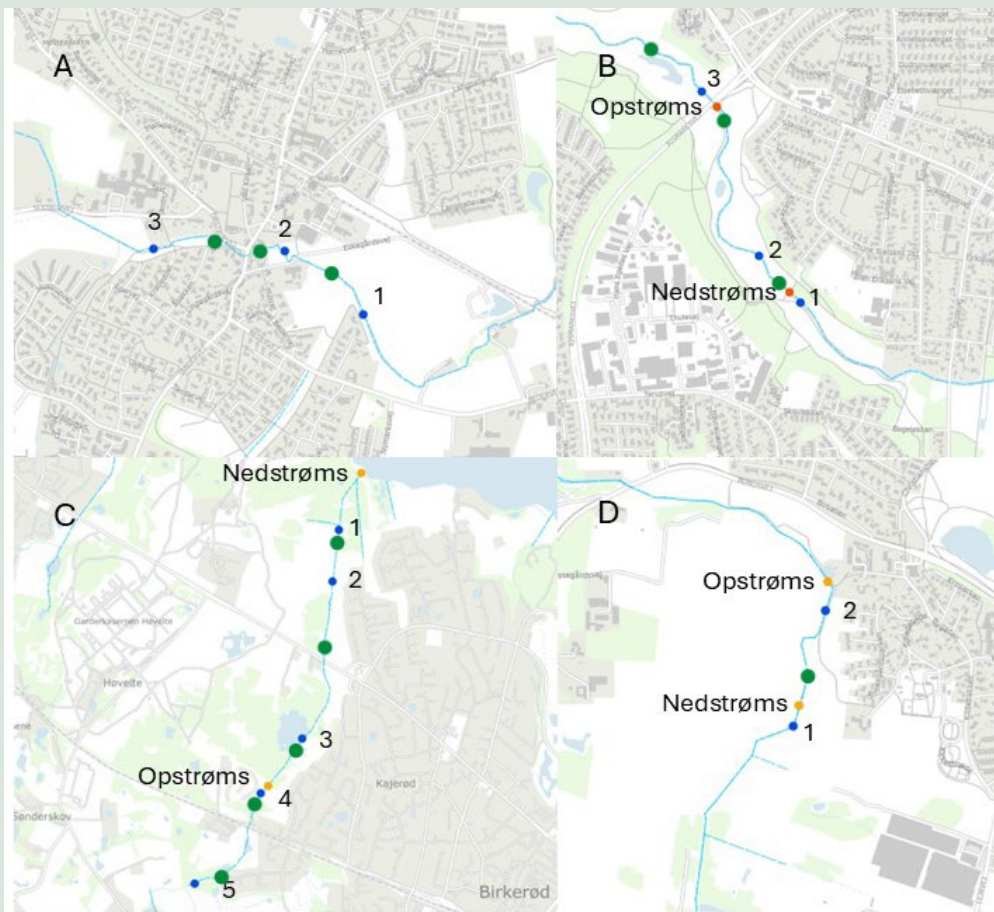
⁵ Spildevandsforskning fra miljøstyrelsen. [Bestemmelse af belastningen fra regnvandsbetingede udløb \(1990\).](#)

⁶ [Punktkilderrapport \(2019\).](#)

⁷ [Landovervågningsoplande \(2020\)](#)

⁸ [Vandmiljø og natur \(2007\)](#)

⁹ [Vandløb \(2020\)](#)

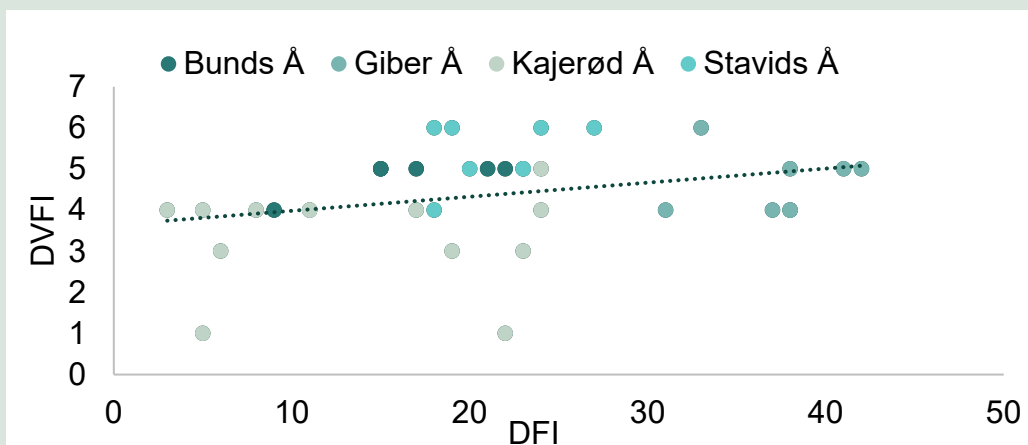


FIGUR 111. Kort over de undersøgte vandløbsstrækninger, de grønne punkter angiver overløbsbygværker og de blå punkter angiver stationerne, hvor DVFI og DFI er undersøgt. A: Giber Å. B: Stavsids Å, de røde punkter angiver placering af SDU's sensorer. C: Kajerød Å, de orange punkter angiver placering af iscosamlere. D: Bunds Å, de orange punkter angiver placering af iscosamlere. Giber Å og Stavsids Å løber mod øst, Kajerød Å løber mod nord, mens Bunds Å løber mod syd.

11.2 Analyse og dokumentation af miljømæssige effekter

11.2.1 Recipientbeskrivelser samt DVFI og DFI

Som forventet påvirker de fysiske forhold faunaen (FIGUR 112), men smådyrssammensætningen målt som DVFI er ikke kun påvirket af de fysiske forhold, hvilket forskellen mellem de 3 års målinger og data fra de 4 vandløb viser (FIGUR 113). Andre parametre som påvirker faunasammensætningen og biodiversiteten, kan f.eks. være erosionseffekter, iltforhold, temperatur, næringsstofudledninger og toksiske effekter af diverse stoffer.



FIGUR 112. Sammenhæng mellem DFI og DVFI for de undersøgte stationer i 2021, 2022 og 2024. Farverne repræsenterer de 4 forskellige recipienter, mens tendenslinjen er for alle målingerne.

11.2.1.1 Giber Å

Giber Å er et mellemstort vandløb beliggende syd for Århus som løber ud i Kattegat lige syd for Århus bugt. Ved udløbet har åen et topografisk opland på cirka 48 km².

Vandløbsundersøgelserne i denne arbejdsmappe er foretaget i Mårslet hvor oplandet er cirka 17 km² og vandløbet 2-6 meter bredt og 10-50 cm dybt i foråret hvor der laves DVFI og DFI.

Vandløbet er §3 beskyttet og nedstrøms stationerne løber vandløbet ligeledes langs med og gennem §3 beskyttede enge, moser og overdrev. Der udledes rensset spildevand til Giber Å via en returpumpe og derfor er den nævnt i nogle af figurene.

Giber Å har generelt gode fysiske forhold med en DFI på minimum 31. I 2021 stiger DVFI opstrøms hvert af de 3 bygværker, så det kun er stationen længst nedstrøms, der ikke opfylder kvalitetskravet i vandrammedirektivet. Resultaterne viser samme tendens i 2024, hvor DVFI stiger fra 4 på stationen nedstrøms til 5 på de to længere opstrøms liggende stationer. I 2022 er der dog den omvendte tendens hvor stationen nedstrøms har DVFI på 5 og opstrøms har DVFI på 4.

11.2.1.2 Stavids Å

Stavids Å er et mellemstort vandløb beliggende vest for og i den vestlige del af Odense med udløb til Odense Kanal og siden Odense Fjord. Ved udløbet har åen et topografisk opland på cirka 153 km². Vandløbsundersøgelserne i denne arbejdsmappe er foretaget i området omkring Tarup hvor oplandet er cirka 132 km² og vandløbet 3-9 meter bredt og 30-110 cm dybt i foråret hvor der laves DVFI og DFI. Vandløbet er §3 beskyttet og løber i undersøgelsesområdet igennem en §3 beskyttet eng, ligesom der nedstrøms stationerne ligger beskyttede eng, moser og standenge.

I Stavids Å er der generelt en DVFI på 5-6 på de tre stationer, hvilket betyder god økologisk tilstand. Eneste undtagelse er station 1 i 2021 hvor DVFI er 4. Omvendt opfylder stationerne ikke kravet om DFI på minimum 25. Kun station 3 opfylder kravet i 2021 med en DFI på 27. I 2021 er der en bedre miljøkvalitet opstrøms hvert af de 2 overløbsbygværker, ligesom der i 2024 måles en bedre miljøkvalitet på station 3, altså den længst opstrømsliggende station. I 2022 viser resultaterne ingen forskel mellem den hhv. længst nedstrømsliggende og opstrømsliggende station. DFI ligger på 18 og 19, mens der er en DVFI på 6.

11.2.1.3 Bunds Å

Bunds Å er et lille vandløb beliggende vest for Værløse. Åen løber først over i Værebros Å som har udløb til Roskilde Fjord. Ved udløbet til fjorden har Værebros Å et opland på 150 km², mens Bunds Å har et opland på 14 km² ved tilløbet til Værebros Å.

Vandløbsundersøgelserne i denne arbejdsplan er foretaget i Kirke Værløse, hvor oplandet er cirka 10 km² og vandløbet 1-3 meter bredt og 10-60 cm dybt i foråret hvor der laves DVFI og DFI. Vandløbet er §3 beskyttet og nedstrøms stationerne løber vandløbet ligeledes langs med og gennem beskyttede enge og moser.

Bunds Å er stærkt kanaliseret og med mudret bund. Dette kommer til udtryk på DFI'en der ikke opfylder kravet på 25 i nogen af årene. Omvendt opfyldes kravet med DVFI på 5 for 5 ud af 6 målinger, hvor kun den opstrømsliggende station i 2022 har en for lav DVFI på 4.

11.2.1.4 Kajerød Å

Kajerød Å er et lille vandløb beliggende vest for Kajerød. Åen har udløb til Sjælsø, som løber videre til først Usserød Å, som løber til Nivå der har udløb til Øresund. Ved udløbet til fjorden har Nivå et opland på 137 km², mens Sjælsø har et opland på 30 km².

Vandløbsundersøgelserne i denne arbejdsplan er foretaget på fem stationer fordelt i åen. Ved udløb til Sjælsø er oplandet cirka 6 km². Vandløbet er 0,5-3 meter bredt og 3-70 cm dybt i foråret hvor der laves DVFI og DFI. Vandløbet er §3 beskyttet og løber gennem og langs med beskyttede moser, søer og enge. Derudover løber Nivå ud i Øresund gennem et strandengsområde.

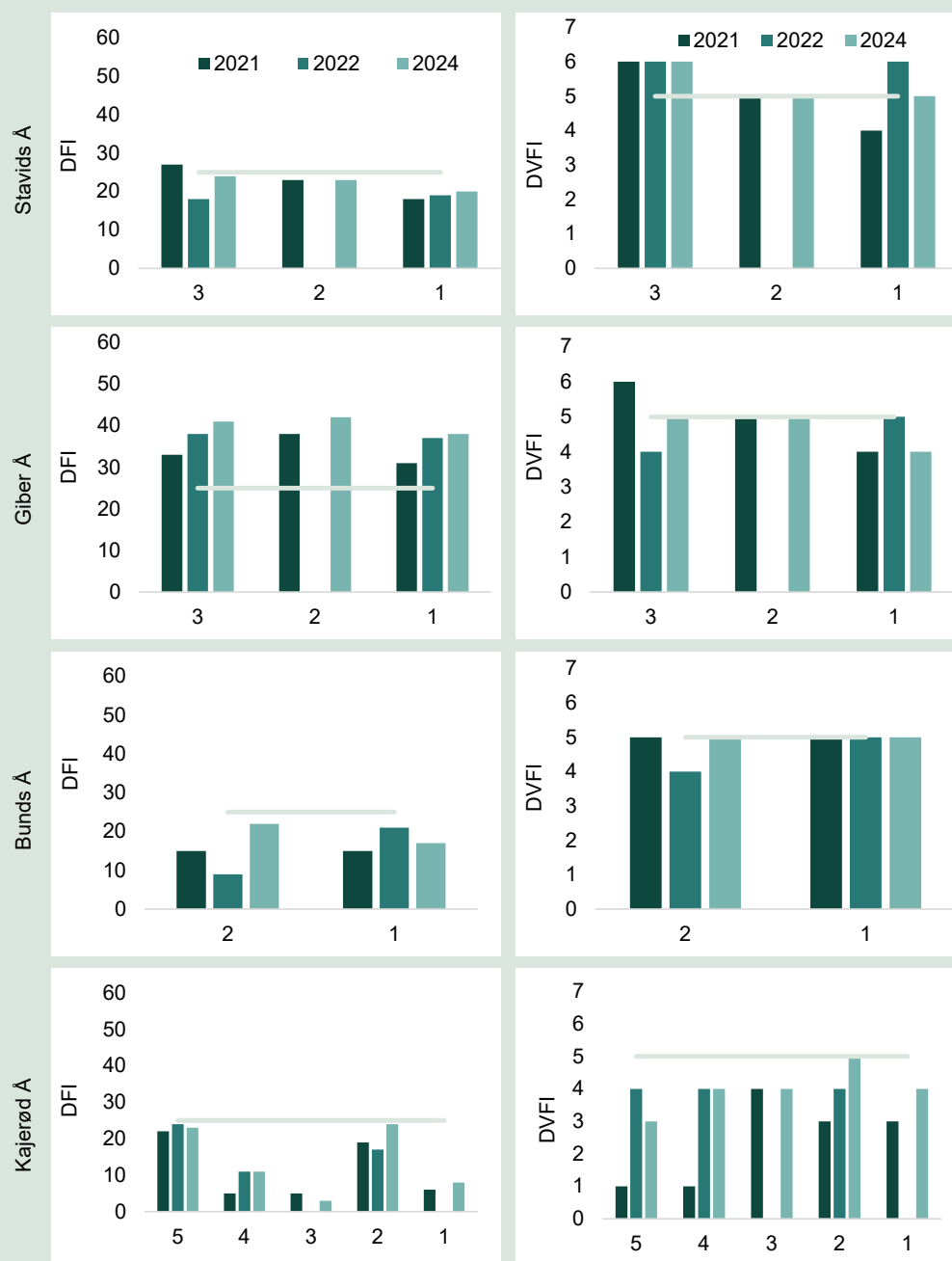
Kajerød Å er stærkt kanaliseret og har næsten udelukkende mudder i bunden. Vandstanden og flowet er meget afhængigt af regn og overløb, hvor vandløbet nærmest udtørres i perioder uden regn. Det er derfor heller ingen overraskelse, at vandløbet generelt scorer meget lavt på både DFI og DVFI. Hverken i 2021 eller i 2022 kommer DFI op på 25 eller DVFI op på 5 på nogen af stationerne. I 2024 opfylder kun station 2 kravet med en DVFI på 5.

11.2.1.5 Birkerød Sø

Birkerød Sø ligger, som navnet antyder, i Birkerød og er 8 ha. Den er et dødishul og har gennem tiden i takt med at Birkerød by er vokset op omkring den, modtaget store mængder forurening primært i form af urensset spildevand og senere overløb.

Søen modtager vand fra 2 overløbsbygværk og der er desuden registreret et aktivt udledningspunkt af separat regnvand, hvor udledningsmængden dog er registreret som 0. Derudover får søen kun udsivende vand fra de omkringliggende matrikler foruden den regn der falder direkte i søen. Dette bevirker naturligt at opholdstiden i søen er meget lang. Udløbet findes i søens sydlige ende, hvor den løber i den rørlagte Bistrup Bæk, som løber til Furesø, der har udløb til Øresund via Mølleåen. Begge søer og vandløbet er beskyttet under §3, ligesom vandet løbet gennem og langs med flere beskyttede moseområder.

Søen er i dårlig økologisk tilstand baseret på makrofyter, vandets klarhed, fosforindhold, kvælstof indhold og kemisk tilstand. Kun på planteplankton bliver søen vurderet til at have moderat tilstand og på iltmætning høj tilstand. Miljømålet for søen er god økologisk tilstand.

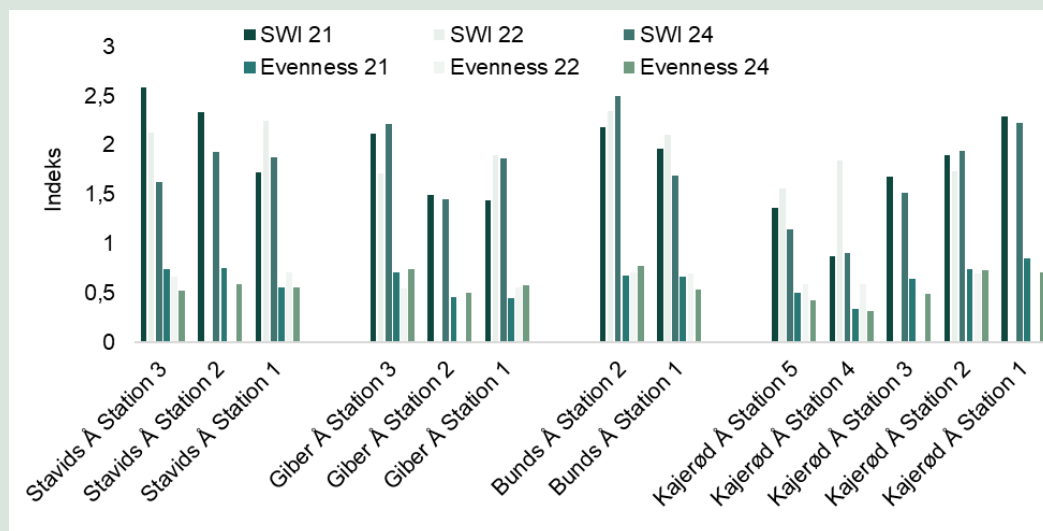


FIGUR 113. DVFI og DFI for de 4 vandløb der er undersøgt i projektet i 2021, 2022 og 2024. Stationerne er nummeret i opstrøms retning, så station 1 er nedstrøms det længst nedstrøms liggende bygværk på den undersøgte strækning. De vandrette streger angiver god tilstand. Det undersøgte bygværk ved Stavids Å, blev ombygget i efteråret 22 – foråret 23, mens bygværket ved Bunds Å blev ombygget i 2022.

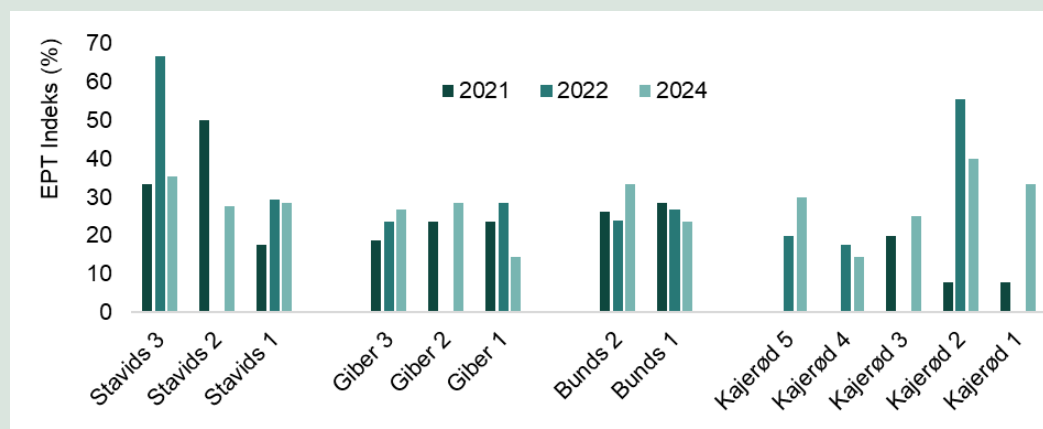
Udover DVFI og DFI er artslisterne anvendt til at beregne Shannon-Wieners diversitetsindeks og Pilou's evennessindeks (FIGUR 114). Shannon-Wiener indekset tager hensyn til både artsantallet og artsfordelingen og hvis indekset er 0 så er der kun en art til stede. Pilou's evenness indeks går fra 0 til 1 og 1 repræsenterer et sammenhæng med god evenness. Der er variationer fra år til år, men for Stavids Å og Bunds Å ses en tendens til bedre diversitet

opstrøms, mens diversiteten i Kajerød stiger nedstrøms. Det er ikke muligt at se effekter af før og efter ombygninger.

Endelig er artslisterne anvendt til at beregne EPT indekset (FIGUR 115), som er andelen af taxa af slørvinger, vårfluer og døgnfluer i forhold til det totale antal fundne taxa på stationen i procent. Et højt EPT indeks indikerer god vandkvalitet. På de undersøgte stationer er meget ensartet på de undersøgte stationer i Giber Å og Bunds Å, mens indekset har en tendens til at stige opstrøms i Stavids Å og nedstrøms i Kajerød Å. Også her er det ikke muligt at sige noget om effekter af tiltag, da der kun er en måling efter.



FIGUR 114. Shannon Wiener diversitetsindeks og Pielou's evenness indeks for de undersøgte stationer i 2021, 2022 og 2024.



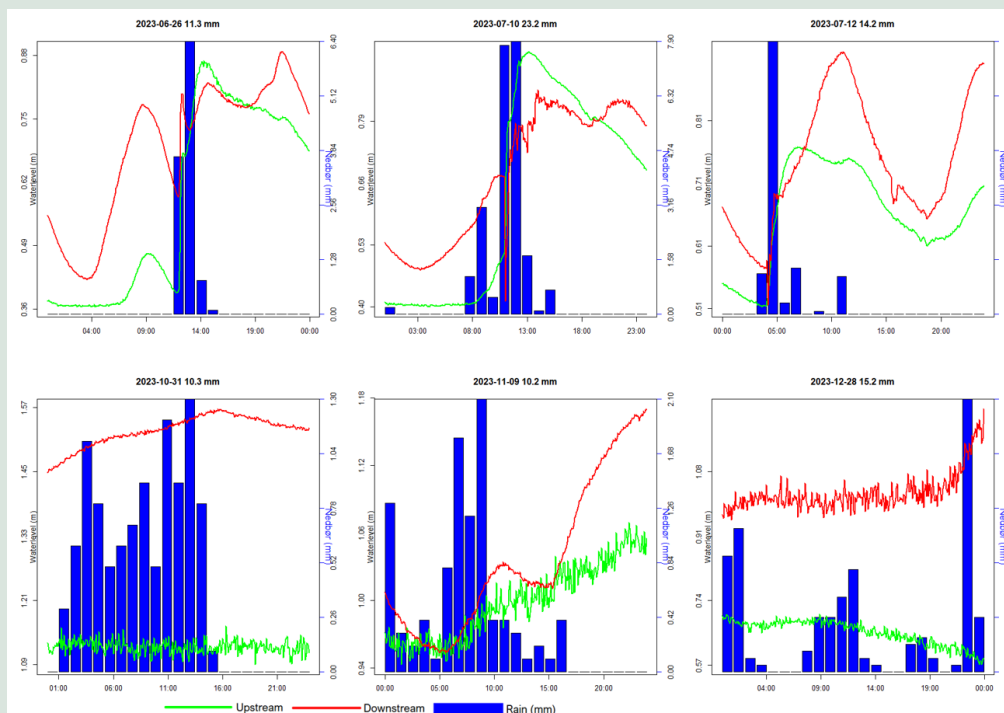
FIGUR 115. EPT-indeks for de undersøgte stationer i 2021, 2022 og 2024. I 2021 blev der fundet et EPT-indeks på 0% i Kajerød Å på station 4 og 5.

11.2.2 Sensordata

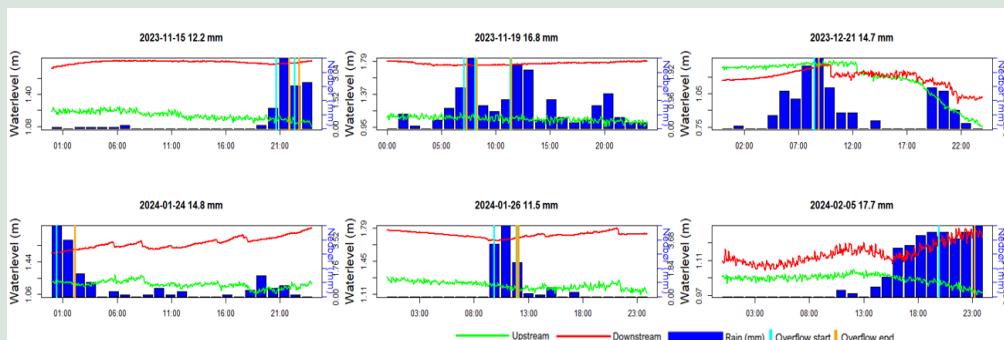
Sensorerne blev sat ud i Stavids Å op- og nedstrøms overløbsbygværket Thulevej i perioden april 2021 – april 2024. De målte vandstand, temperatur, ilt, pH og konduktivitet og loggede data hvert femte minut.

Helt overordnet sås der ændringer i vandløbet nedstrøms i forhold til opstrøms under regn både med og uden overløb. Der sås både ændringer som ikke vurderes at have økologisk betydning og ændringer som potentielt kan have økologisk betydning, men både under hændelser med og uden overløb.

Vandstanden både op- og nedstrøms bliver påvirket af tidevandet i Odense Fjord, hvilket bevirker at vandstanden naturligt har tidevandsamplituder hen over døgnet og vandstanden kan påvirkes med op til 20 cm over døgnet. Som forventet er vandstanden sæsonafhængig og derudover øges vandstanden i kortere perioder ved nedbørshændelser, både med og uden overløb (FIGUR 116 og FIGUR 117).



FIGUR 116. Eksempler på vandstand (m) op- og nedstrøms overløbsbygværket samt nedbør på udvalgte dage med over 10mm nedbør UDEN overløb.



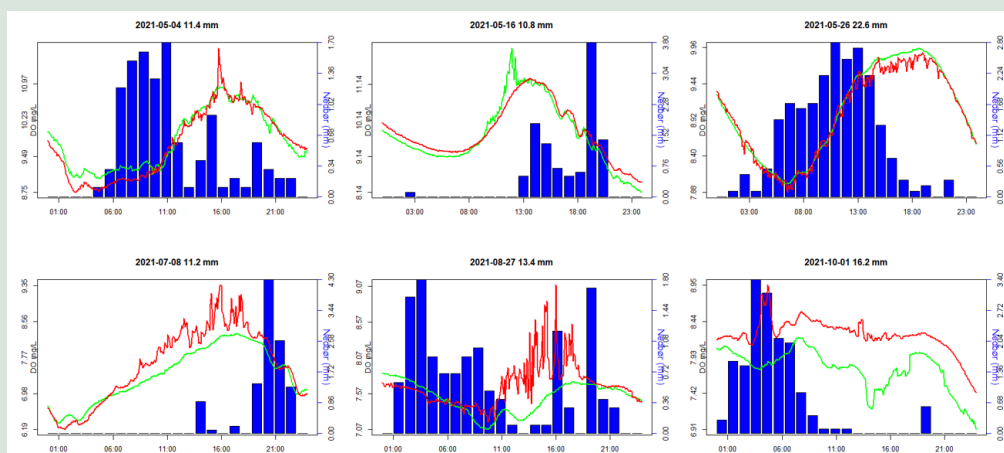
FIGUR 117. Eksempler på vandstand (m) op- og nedstrøms overløbsbygværket samt nedbør på udvalgte dage med over 10mm nedbør MED overløb efter ombygningen af bygværket.

Temperaturen i vandet svinger naturligt både over døgnet og året. Disse naturlige udsving bliver påvirket af nedbør, der afhængig af årstiden og tid på dagen kan opvarme eller afkøle vandet i vandløbet (data ikke vist). Byens varmeeffekt gør at det afstrømmende regnvand kan være varmere end det øvrige vand i vandløbet. Temperaturforskellene er dog oftest lave ($<1^{\circ}\text{C}$).

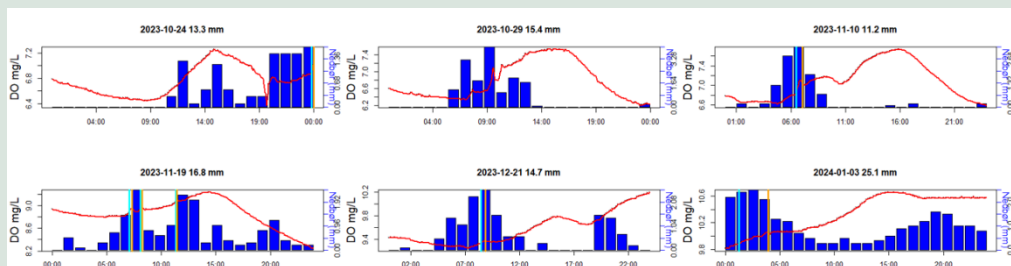
Iltkoncentrationen varierer over døgnet som følge af fotosyntese om dagen og respiration døgnet rundt og er derfor højest i løbet af dagen. Afstrømmende regnvand indeholder ofte meget ilt og der kommer ofte peaks i vandløbet lige i starten af en regnhændelse (FIGUR 118 og FIGUR 119). Omvendt kan evt. udledninger af organisk stof forårsage et iltforbrug længere nedstrøms hvilket ikke er undersøgt her. Iltkoncentrationen i Stavids Å bliver i perioder kritisk lav, hvor der er målt ned til 4 mg/L i sommerperioder (data ikke vist her). Her er temperaturen høj, så der er mindre ilt i vandet og mineraliseringen går så hurtigt at geniltningen ikke kan følge med.

I Stavids Å ligger pH-værdien mellem 7 og 9,5 og svinger ligesom iltindholdet som følge af fotosyntese og respiration. Dog er amplituderne ikke lige så konstante og ændringerne under regn er meget små (FIGUR 120 og FIGUR 121).

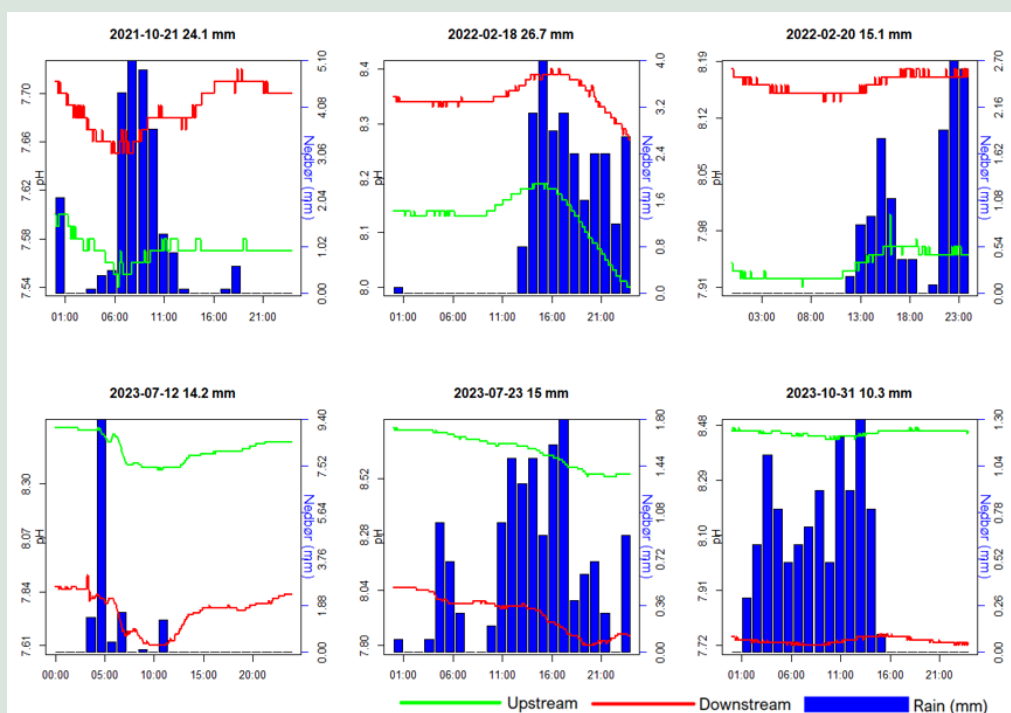
Konduktiviteten i regnvand er lav, hvilket påvirker at konduktiviteten i vandløbet falder under regn (data ikke vist).



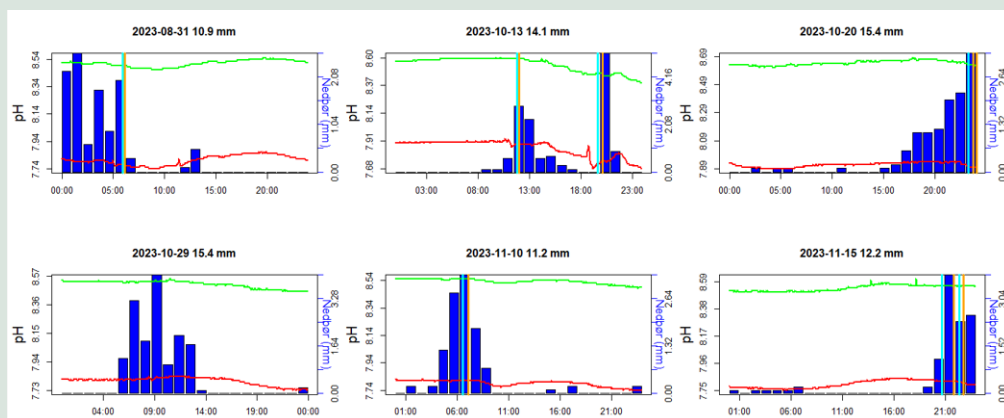
FIGUR 118. Eksempler på Ilt (mg/L) op- (grøn) og nedstrøms (rød) overløbsbygværket samt nedbør på udvalgte dage med over 10mm nedbør UDEN overløb.



FIGUR 119. Eksempler på Ilt (mg/L) nedstrøms overløbsbygværket samt nedbør på udvalgte dage med over 10mm nedbør MED overløb efter ombygningen af bygværket. Sensoren opstrøms var ude af drift.

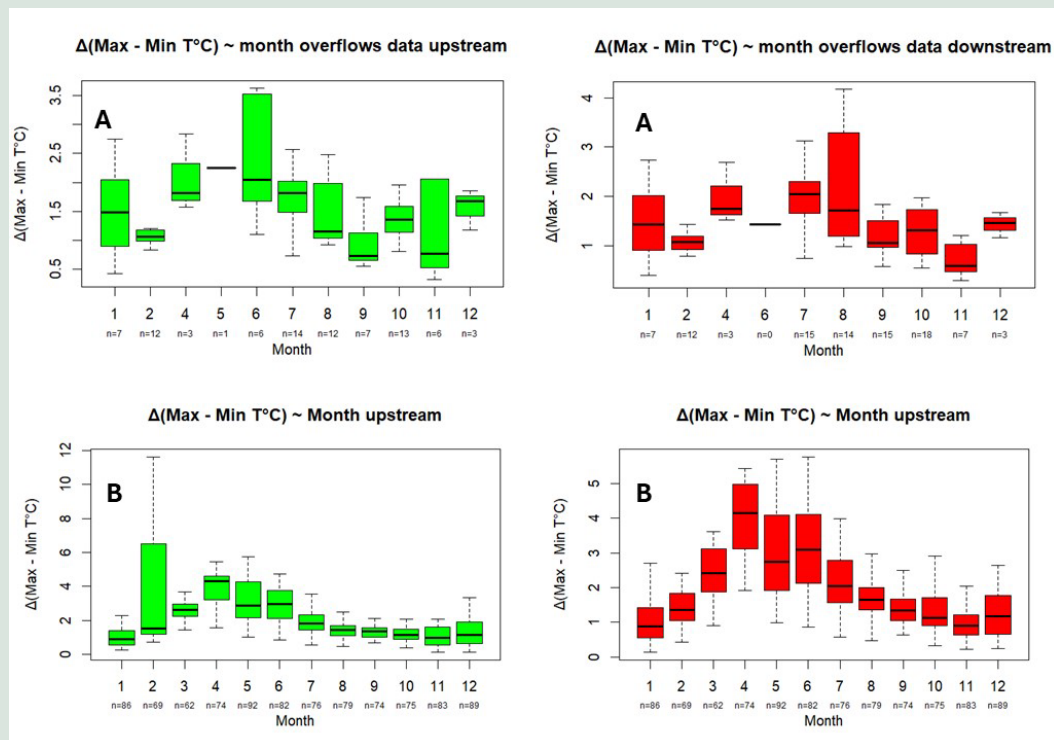


FIGUR 120. pH op- og nedstrøms overløbsbygværket samt nedbør på udvalgte dage med over 10mm nedbør UDEN overløb.

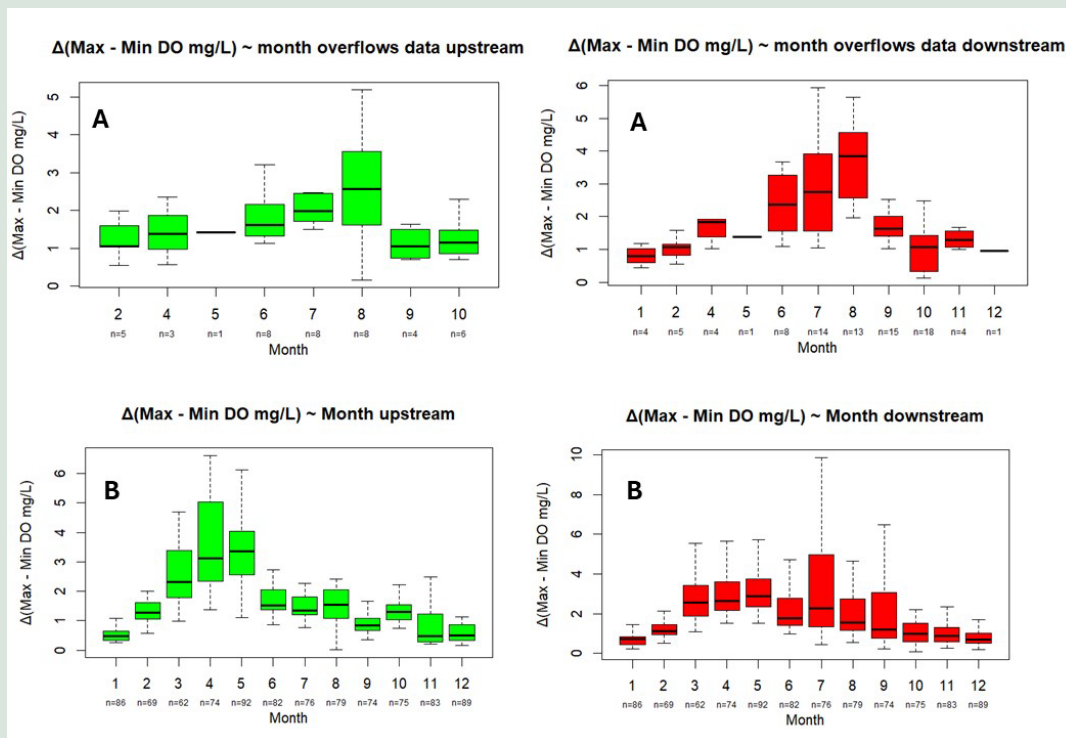


FIGUR 121. pH op- (grøn) og nedstrøms (rød) overløbsbygværket samt nedbør på udvalgte dage med over 10mm nedbør MED overløb efter ombygningen af bygværket.

I figurene nedenfor (FIGUR 122) er afbilledet den daglige difference mellem max og min temperaturer på nedbørsdage hhv. med og uden overløb fordelt på årets måneder. Der er naturligt den største forskel på den daglige min og max temperatur i sommermånederne og der er ingen markant forskel på temperaturforskellene på dage med og uden overløb, men der er en tendens til større forskelle/udsving nedstrøms som kan skyldes det regnbetingede udløb med og uden overløb. Der er også en tendens til at der er større forskel imellem min og max i flere måneder nedstrøms sammenlignet med opstrøms. På tilsvarende vis er den daglige forskel i iltkoncentrationer under nedbør afbilledet i FIGUR 123 og her ses helt de samme tendenser som for temperatur.



FIGUR 122. Daglig difference mellem maximale og minimale temperatur ($^{\circ}\text{C}$) fordelt på måneder hhv. opstrøms (grøn) og nedstrøms (rød) overløbsbygværket, på dage med (A) og uden (B) overløb. Bemærk forskellige akser.



FIGUR 123. Daglig difference mellem maximale og minimale iltkoncentration (mg/L) fordelt på måneder hhv. opstrøms (grøn) og nedstrøms (rød) overløbsbygværket, på dage med (A) og uden (B) overløb. Bemærk forskellige akser.

11.3 Vurdering af hvilke tiltag der giver den største miljømæssige effekt

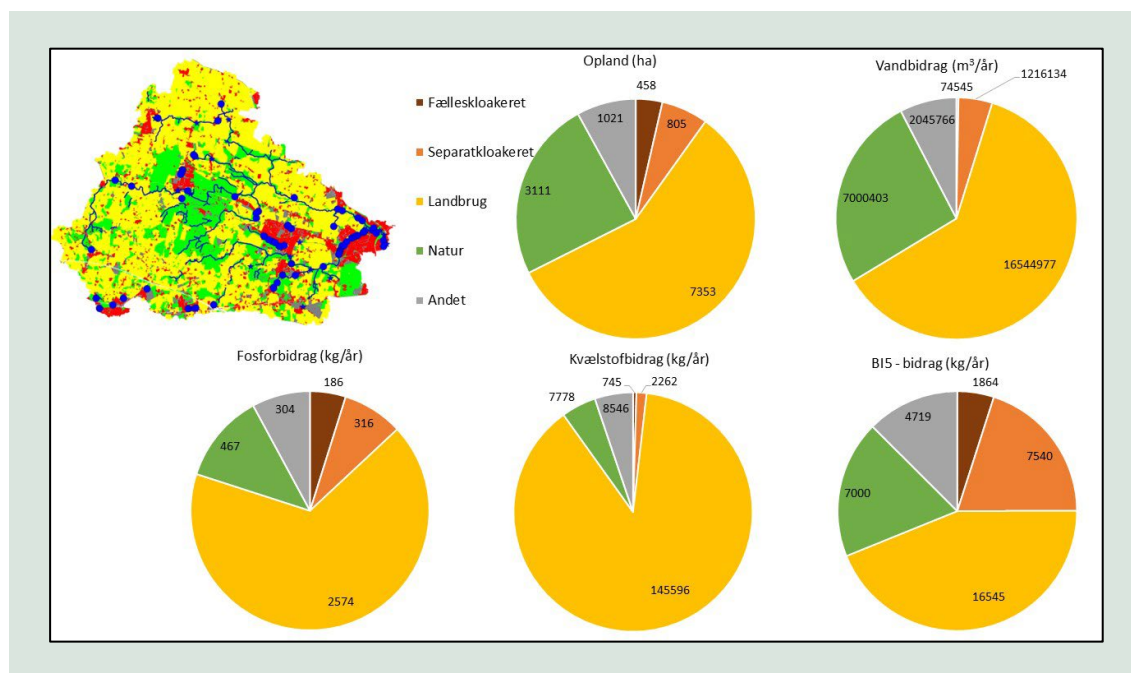
11.3.1 Oplandsanalyser

For de 5 undersøgte recipienter er der udarbejdet oplandssammensætning og fordelingen af bidrag mht. vand, fosfor, kvælstof og biologisk nedbrydeligt organisk materiale for arealtypene fælleskloakeret, separatkloakeret, landbrug, natur og andet.

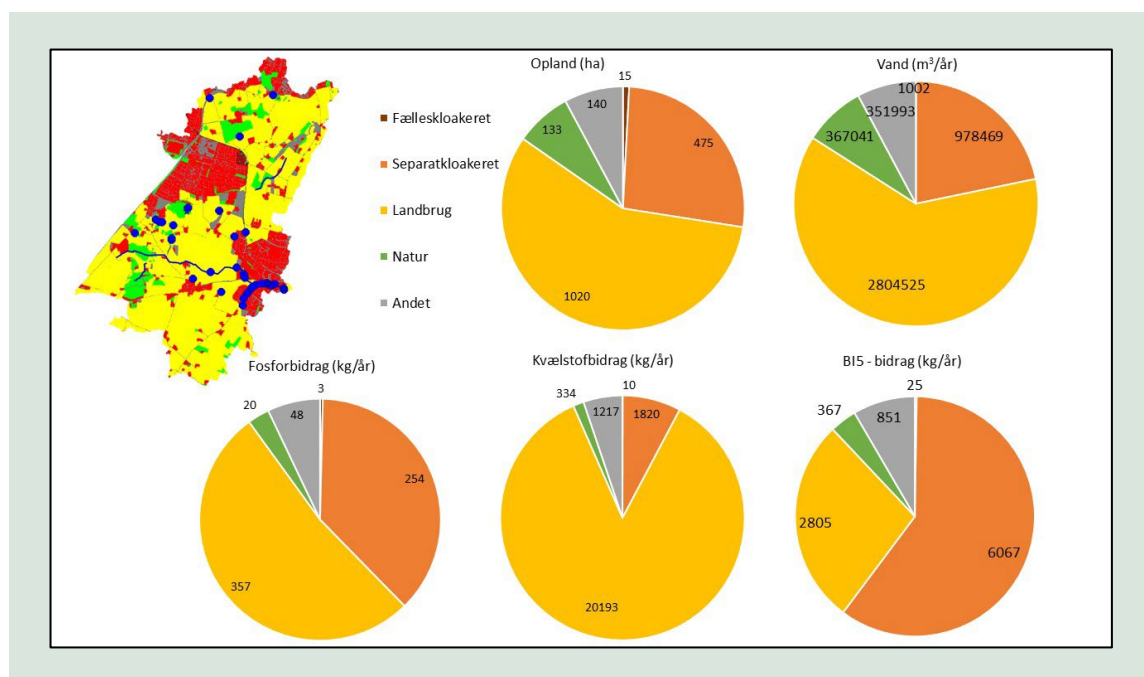
Oplandsstørrelsen varierer meget for de undersøgte recipienter. Det samme gør oplands-sammensætningen, overløbsmængderne og overløbets størrelse/betydning ift.. antallet af øvrige regnbetingede udledninger. Oplandet til stationen i Stavids Å (FIGUR 124) er markant større end de andre og er domineret af dyrkede arealer, mens oplandet til Birkerød Sø (FIGUR 129) er domineret af fælleskloakerede arealer. Også i oplandet til Giber Å (FIGUR 125 og FIGUR 126) er mere end halvdelen landbrugsareal, hvorimod oplandet til Bunds Å (FIGUR 127) og Kajerød Å (FIGUR 128) er en blanding af primært hhv. landbrug og natur og by og natur.

Det betyder derfor også, at bidraget af N, P og BI5 varierer fra opland til opland ligesom fordelingen imellem de enkelte oplandstyper varierer. For Birkerød Sø bidrager det fælleskloakerede opland med hovedparten af både N, P og BI5, mens det ved Stavids Å er landbrugsområderne som er den største bidragsyder på alle parametrene, inklusiv vand. For Bunds Å, Kajerød Å og Giber Å er det mere blandet. Ved Kajerød Å er landbrugsområderne den største bidragsyder mht. N, mens det er de fælleskloakerede arealer og andet opland som bidrager med mest P og BI5. Tilsvarende er det for Giber Å også sådan at landbrugsarealerne er den største bidragsyder mht. N, mens det er de separatkloakerede oplande for P og BI5. I Bunds Å er landbrugsområderne den største bidragsyder af fosfor og kvælstof, mens andet

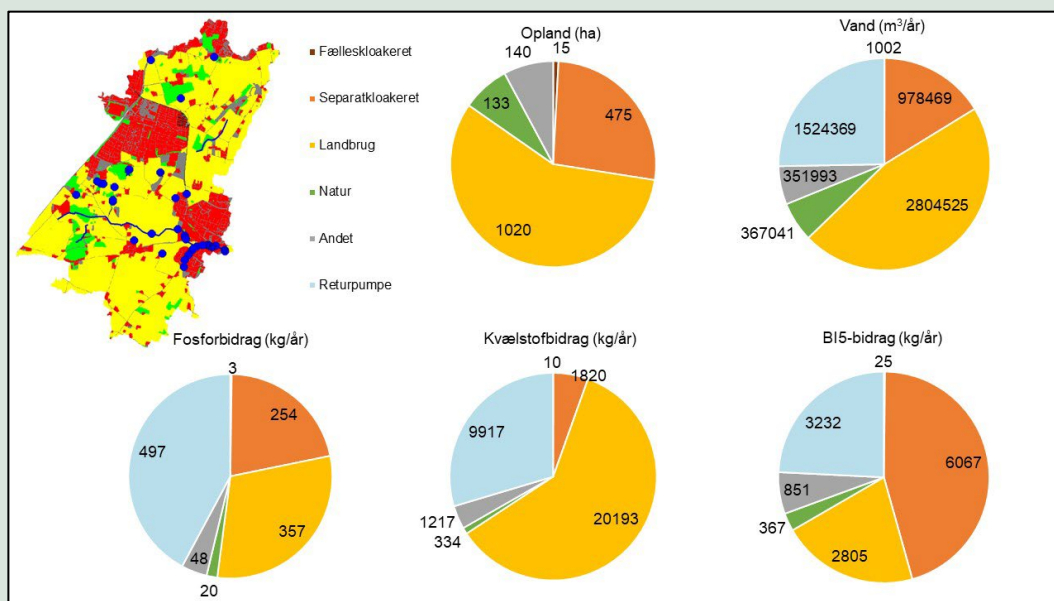
står for det største bidrag af BI5. Natur og landbrug bidrager med cirka lige andele vand og BI5, med hhv. cirka en tredjedel og en fjerdedel hver.



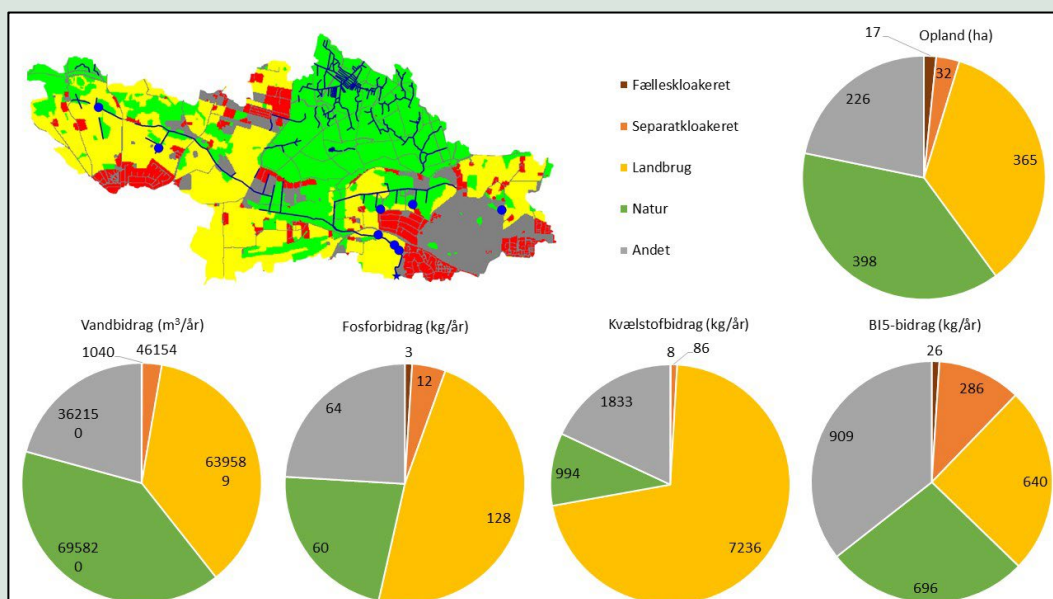
FIGUR 124. Oplandsanalyse for Stavid's Å, kortet viser det topografiske opland, mens diagrammerne viser fordelingen af arealanvendelsen i oplandet, vandbidraget samt bidraget af fosfor, kvælstof og BI5 fra fælleskloakeret areal, separatkloakeret areal, landbrugs-, naturarealer og andre arealer.



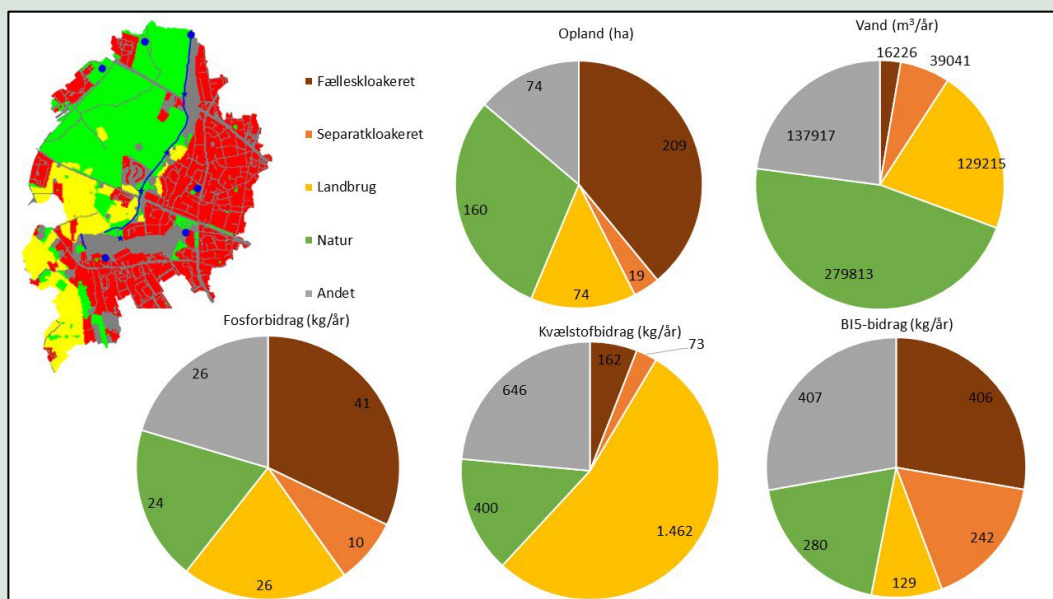
FIGUR 125. Oplandsanalyse for Giber Å, kortet viser det topografiske opland, mens diagrammerne viser fordelingen af arealanvendelsen i oplandet, vandbidraget samt bidraget af fosfor, kvælstof og BI5 fra fælleskloakeret areal, separatkloakeret areal, landbrugs-, naturarealer og andre arealer.



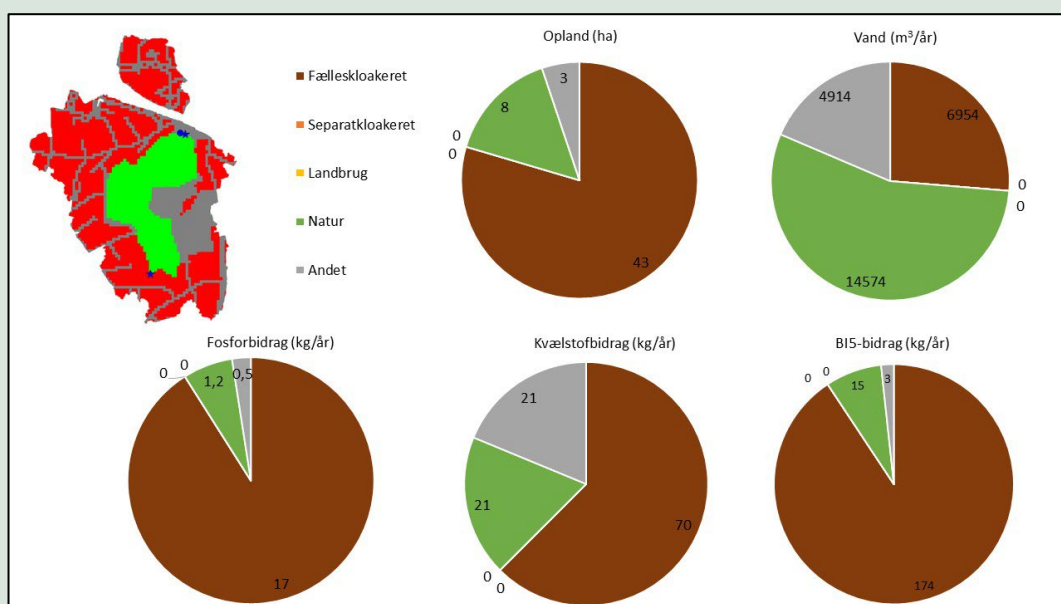
FIGUR 126. Oplandsanalyse for Giber Å, kortet viser det topografiske opland, mens diagrammerne viser fordelingen af arealanvendelsen i oplandet, vandbidraget samt bidraget af fosfor, kvælstof og B15 fra fælleskloakeret areal, separatkloakeret areal, landbrugs-, naturarealer og andre arealer, samt bidraget fra returpumpningen.



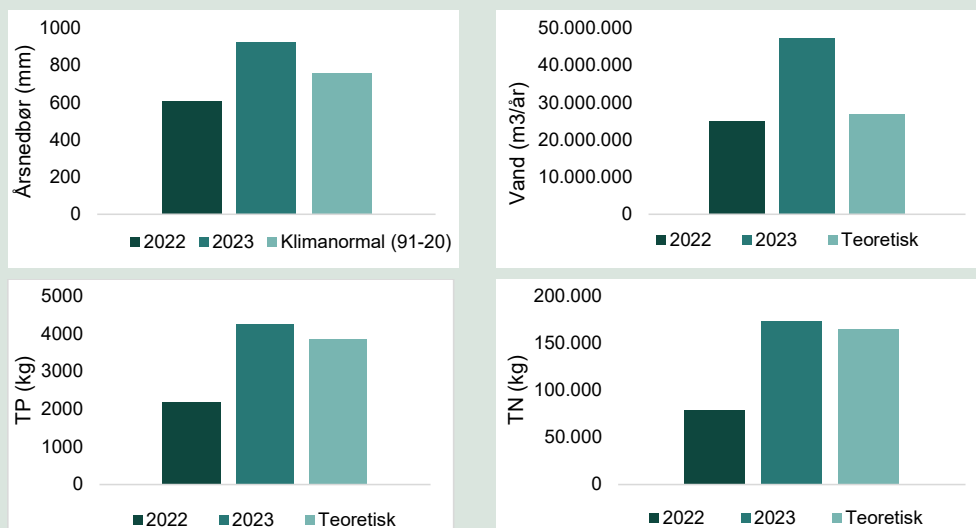
FIGUR 127. Oplandsanalyse for Bunds Å, kortet viser det topografiske opland, mens diagrammerne viser fordelingen af arealanvendelsen i oplandet, vandbidraget samt bidraget af fosfor, kvælstof og B15 fra fælleskloakeret areal, separatkloakeret areal, landbrugs-, naturarealer og andre arealer.



FIGUR 128. Oplandsanalyse for Kajerød Å, kortet viser det topografiske opland, mens diagrammerne viser fordelingen af arealanvendelsen i oplandet, vandbidraget samt bidraget af fosfor, kvælstof og BI5 fra fælleskloakeret areal, separatkloakeret areal, landbrugs-, naturarealer og andre arealer.



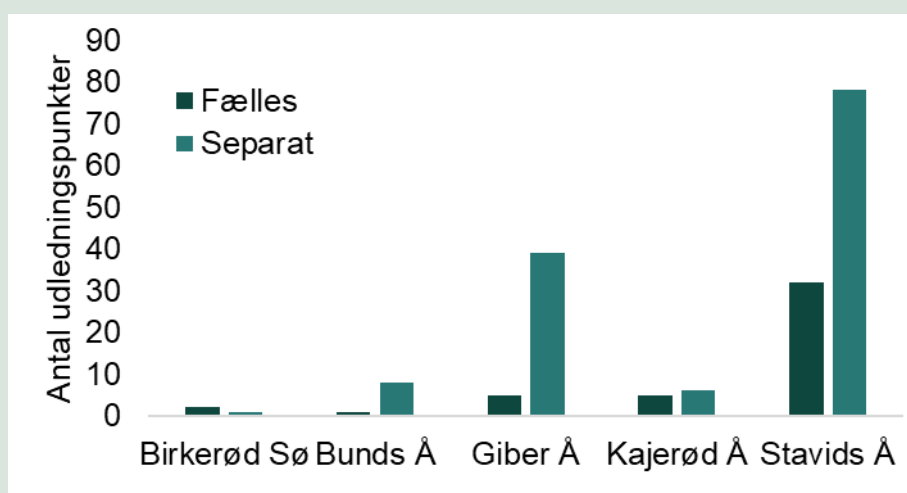
FIGUR 129. Oplandsanalyse for Birkerød Sø, kortet viser det topografiske opland, mens diagrammerne viser fordelingen af arealanvendelsen i oplandet, vandbidraget samt bidraget af fosfor, kvælstof og BI5 fra fælleskloakeret areal, separatkloakeret areal, landbrugs-, naturarealer og andre arealer.



FIGUR 130. Sammenligning af de målte og beregnede værdier for flow, total fosfor og total kvælstof i Stavids Å. Årsnedbør i mm (DMI, Odense) og klimanormal 1991-2020 (DMI, Danmark). Vand (m3/år) (Vandcenter Syd) sammenlignes med den teoretiske afstrømning beregnet i oplandsanalysen, ligesådan for TP og TN, som sammenlignes med værdier beregnet ud fra koncentrationen fra månedlige vandprøver og flow (Vandcenter Syd).

11.3.1.1 Tværgående analyser

Der er udarbejdet tværgående analyser for oplandsanalyserne for de fem recipienter og de konkrete oplande som der er arbejdet med, for at identificere tendenser og forskelle mellem dem. Bemærk at der ikke er arbejdet med hele oplandet til Stavids Å f.eks., men kun den del af oplandet som ligger opstrøms det udledningspunkt som har været omdrejningspunktet for undersøgelserne i projektet. Det samme gælder de 4 øvrige recipienter.

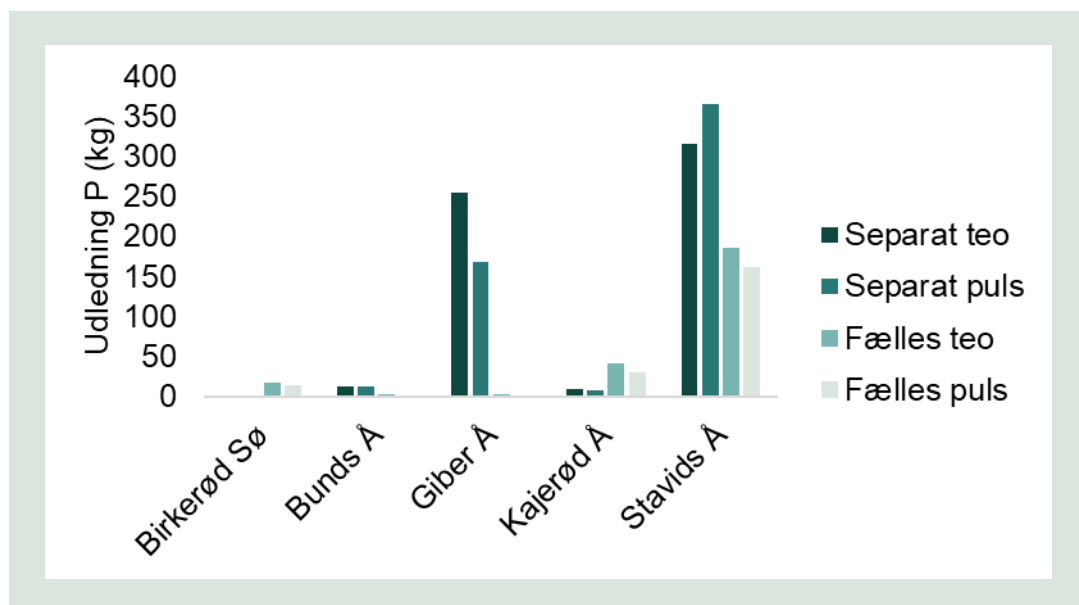


FIGUR 131. Antallet af udledningspunkter til de undersøgte områder i recipienterne fordelt på overløbsbygværker og separate udledninger.

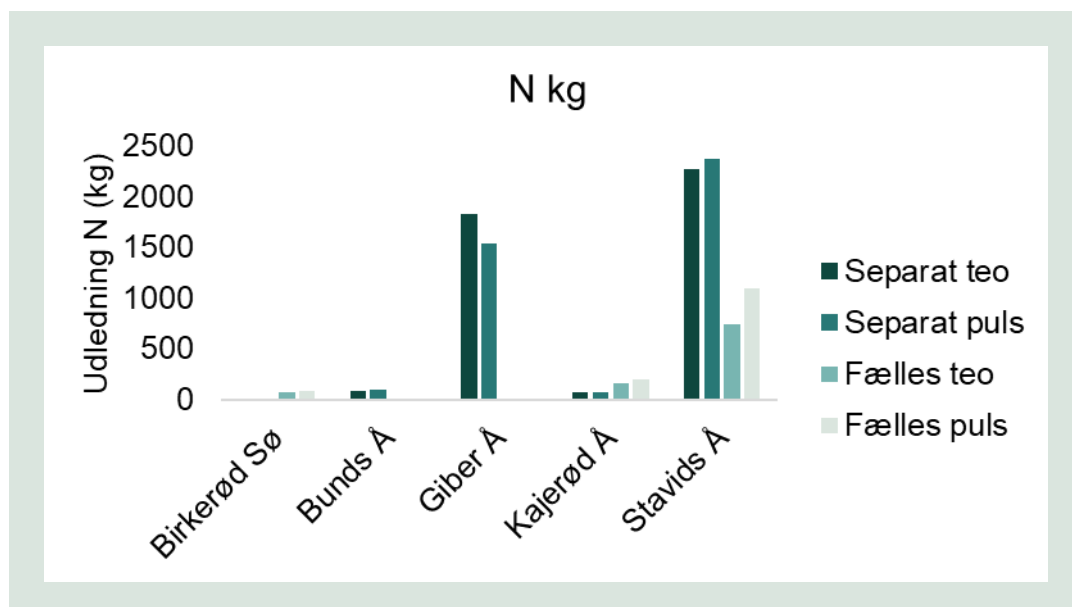
Antallet af regnbetingede udledningspunkter (RBU) varierer naturligt mellem recipienterne både for antallet og antallet pr. oplandsareal. Generelt stiger antallet af RBU'er med

oplandsstørrelsen, således har Birkerød Sø færrest med 3 punkter, og Stavids Å flest med 110. Generelt har recipienterne flere punkter med separate udledninger end med overløb. Kun Birkerød Sø har 2 overløb mod 1 separat, mens Kajerød Å næsten har lige mange med 5 overløbspunkter og 6 separate.

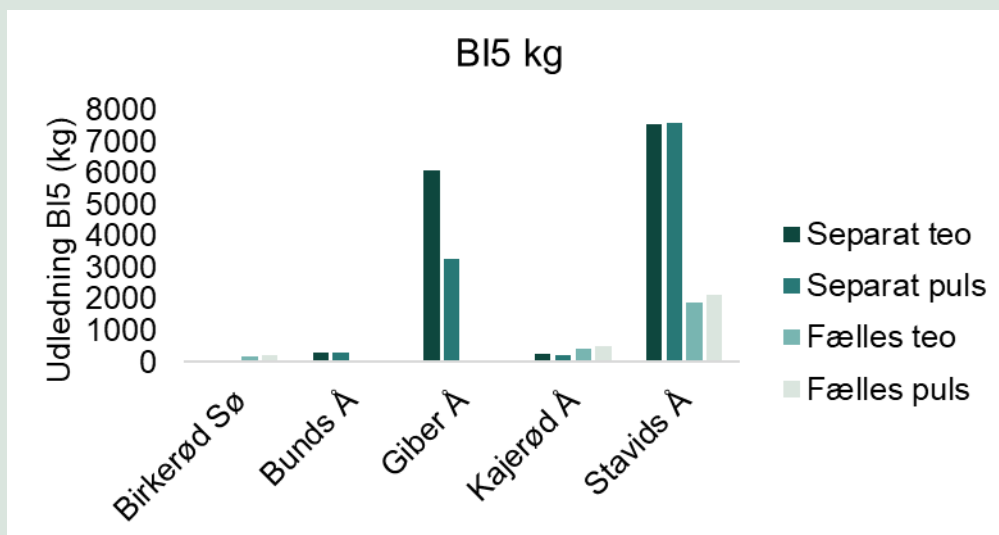
Til figurerne vist ovenfor med oplandsanalyserne er anvendt erfaringstal (FIGUR 124-FIGUR 130), mens der herunder er vist udledningen af hhv. P, N og og BI5 for de undersøgte deloplande beregnet med hhv. erfaringstal og indberetningerne til PULS. Der er en rimelig overensstemmelse.



FIGUR 132. Beregnet udledning af fosfor og mængde indberettet i PULS (kg) fra overløb og separatkloak i de undersøgte recipienter.



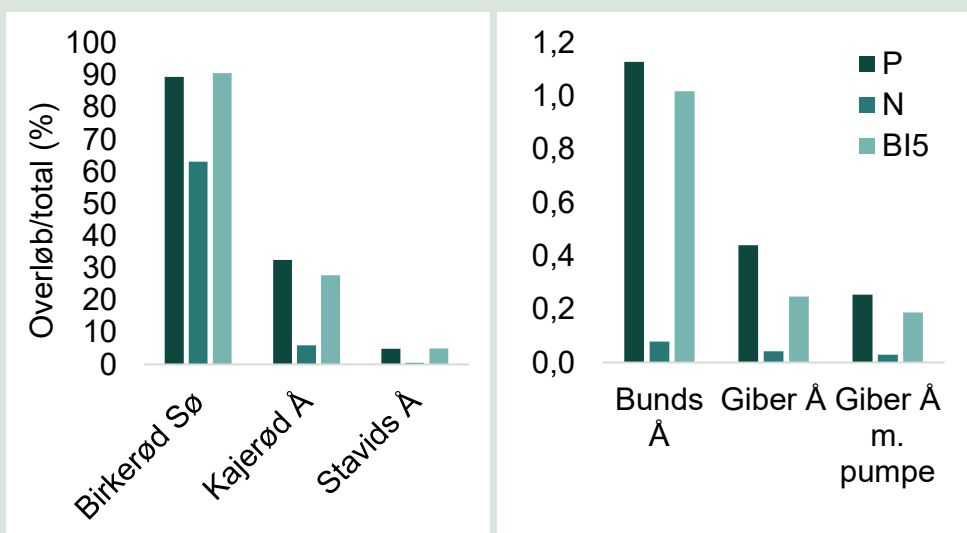
FIGUR 133. Beregnet udledning af kvælstof og mængde indberettet i PULS (kg) fra overløb og separatkloak i de undersøgte recipienter.



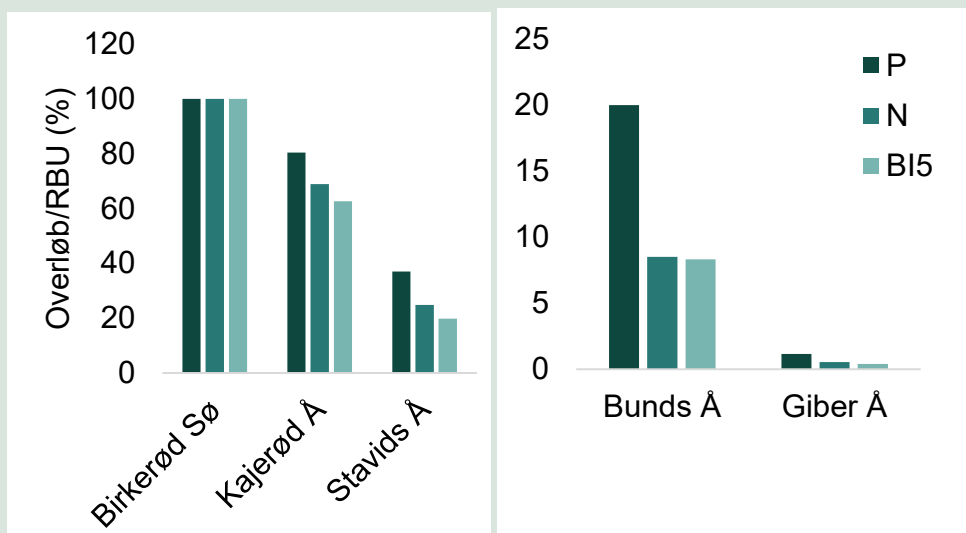
FIGUR 134. Beregnet udledning af BI5 og mængde indberettet i PULS (kg) fra overløb og separatkloak i de undersøgte recipienter.

I FIGUR 135 er vist hvor stor en andel af P, N og BI5 bidraget i kg fra overløb udgør af den samlede belastning i de undersøgte oplande – udtrykt i procent. Der er store forskelle fra recipient til recipient. I Birkerød sø udgør det 65-91% afhængig af parameter, mens det tilsvarende i Giber Å og Bunds Å er ca. 1% eller langt under afhængig af parameter. Så i nogle oplande er det naturligt med en stor indsats overfor overløb, mens det i andre er mindre betydende set som stofmængder.

Zoomer man så ind på belastningen fra overløb ses i relation til den samlede belastning kun fra regnbetingede udledninger inkl. overløb (FIGUR 136), så er overløbene af mindre betydning i Bunds Å eller næsten uden betydning i Giber Å, mens de har afgørende eller stor betydning i Birkerød Sø og Kajerød Å, mens belastningen i det undersøgte opland i Stavids Å udgør under halvdelen af bidraget fra det regnbetingede udledninger.



FIGUR 135. Andel (kg/total (%)) af det udledte fosfor, kvælstof og BI5 fra overløb af den totale udledning i de undersøgte recipienter. Bemærk forskellige akser.



FIGUR 136. Andel (kg/RBU (%)) af det udledte fosfor, kvælstof og BI5 fra overløb af udledningen fra RBU'er i de undersøgte recipienter. Bemærk forskellige akser.

11.3.2 Vand- og sedimentprøver

11.3.2.1 Birkerød sø

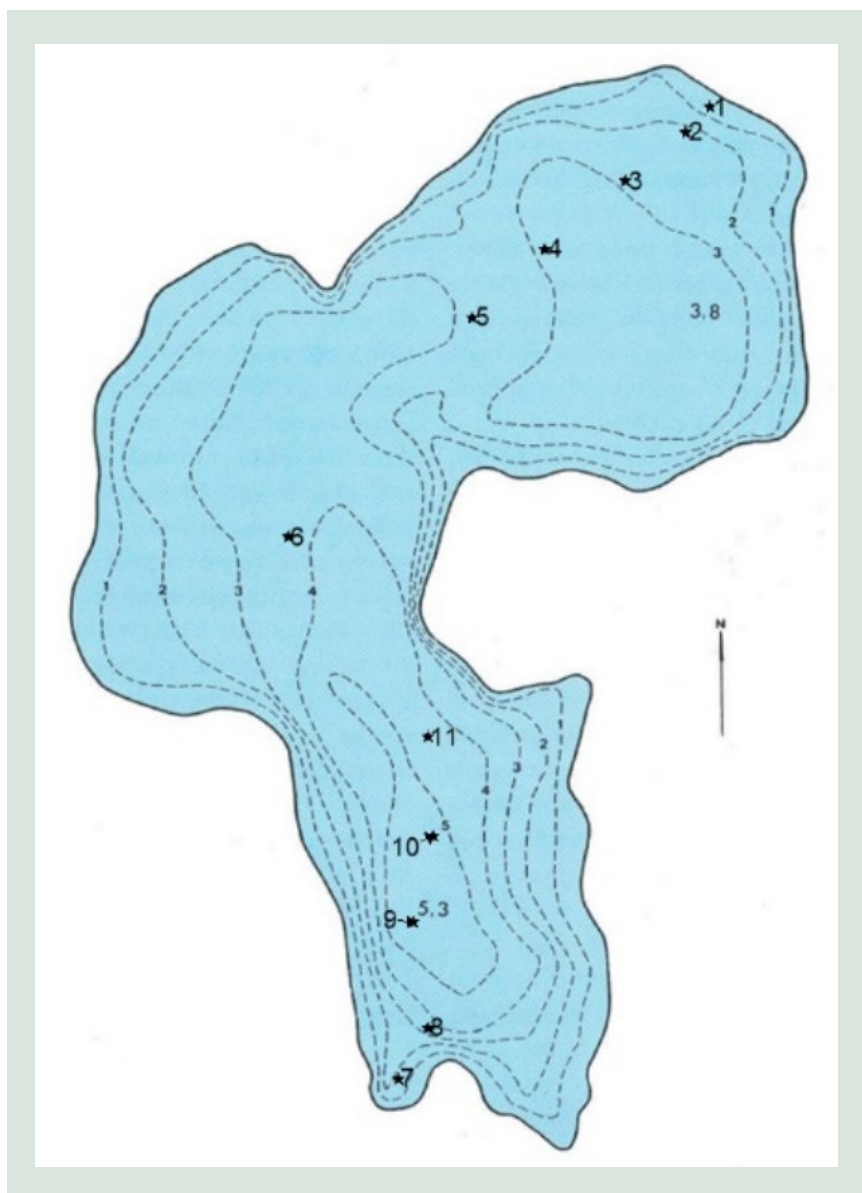
I Birkerød sø blev der taget sedimentkerner på 11 stationer.

Sedimentkernernes længde afhænger af søbundens hårdhed, så ved en blødere bund kan tages længere kerner. Derfor er kernerne fra midt på søen op til 40 cm, mens de tættere på brinkerne hvor bunden er hårdere kun er 10-15 cm (FIGUR 137). Udseendemæssigt fremstår sedimentet meget løst og plumret, særligt fra kernerne taget længere ude i søen.

Generelt er der sammenhæng mellem tørvægten og det organiske indhold således at der ved højere tørvægt er lavere organisk indhold. Derudover er der klar sammenhæng mellem dybden af søen og lav tørvægt med højt organisk indhold. Således at der på station 6, 9, 10 og 11 er en tørvægt på omkring 2% i toppen af sedimentet til 7% i bunden af kernen og organisk indhold på 50-65%. Sedimentets tørvægt, for stationerne lidt tættere på brinkerne, station 4, 5 og 8, ligger omkring 5% i toppen og omkring 15% i bunden af kernen, med organisk indhold på 25-50%. Tørvægten i sedimentet stiger på denne vis jo tættere på brinken og ved station 1, tættest på overløbsbygværket i den nordlige ende af søen, er der den højeste tørvægt på omkring 40 %, her er også det laveste organiske indhold på under 20 %. Station 2 og 7 ligner hinanden idet tørvægten ligger omkring 20 % og er svagt stigende ned til 7-8 cm hvorefter den falder. Station 3 har omkring 20 % både tørvægt og organisk indhold (FIGUR 138 og FIGUR 139). Det skyldes at det organiske stof akkumulerer i de dybeste zoner og at der ved indløbene sker en udskyldning af det finere sediment.

Fosforindholdet ned gennem sedimentet ligger relativt stabilt og højt for stationerne midt i søen (afbilledet som station 6), og på station 3 og 4 omkring hhv. 3 mg/g, 1,5 mg/g og 2 mg/g. Tættere på overløbsbygværkerne, ved station 2 og i den sydlige ende af søen station 7 og 8, ligger indholdet omkring 2 mg/g helt i toppen af sedimentet og falder til omkring 1 mg/g cirka 5 cm nede. Ved station 2 stiger koncentrationen igen omkring 7 cm nede, samme stigning ses ved station 1, som ellers har relativt stabilt indhold omkring 1 mg/g i de øverste 7 cm. Tendenserne for fosfor går igen for kobber, bly og zink, hvor koncentrationerne stiger ned gennem sedimentet på station 1 og 6, men falder på de andre stationer. Den største kobberkoncentration findes på 7-9 cm dybde på station 1 på 0,1mg/g. Derudover findes der også kobberkoncentrationer over 0,05 mg/g 20-29 cm dybt nede i sedimentet på station 6. De resterende målinger ligger mellem 0,01 og 0,05 mg/g. Blykoncentrationen ligger under 0,04

mg/g, med den største omkring 0,02 mg/g ved stationerne 1, 2, 4 og 6. Zinkkoncentrationen ligger for stationerne 2, 4 og 6 over 0,05 mg/g. På station 3 ligger koncentrationen omkring 0,05 mg/g og på station 1, 7 og 8 ligger koncentrationen under, med undtagelsen af på station 1 hvor koncentrationen stiger op til 2 mg/g 7 cm nede i sedimentet. Både for Cu, Zn og Pb ses indhold i sedimentet som på nogle stationer overskrider jordkvalitetskriterierne.

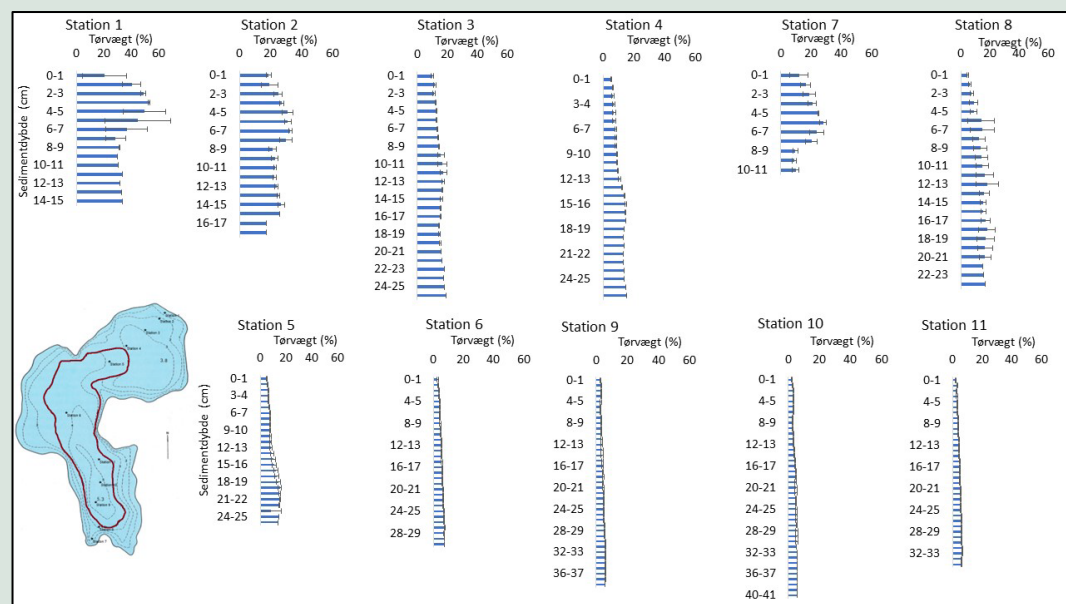


FIGUR 137. Dybdekort over Birkerød Sø (Danmarks søer, Thorkild Høy) med indtegnede stationer hvor der er taget sedimentprøver.

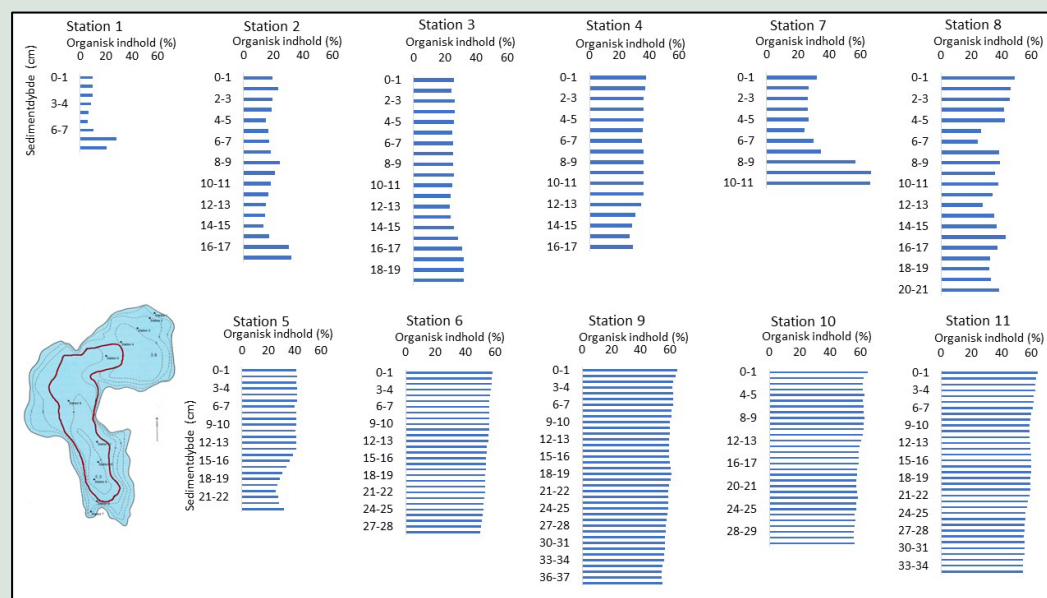
TABEL 12 angiver mængderne af hhv. P, Cu, Zn og Pb i de øverste 5 cm af sedimentet. Mængderne angiver en tydeligt påvirket sø både mht. næringsstoffer i form af fosfor, men også i form af miljøfremmede stoffer her angivet i form af metaller. Der er ikke foretaget biologiske studier i Birkerød Sø og det vides derfor ikke om eller hvorvidt indholdet påvirker faunaen, men søen lider bl.a. af intern belastning som følge af det høje fosforindhold i sedimentet og deraf følgende dårlig økologisk tilstand.

TABEL 12. Fosfor-, kobber-, zink- og blyindhold (kg) i de øverste 5 cm af sedimentet.

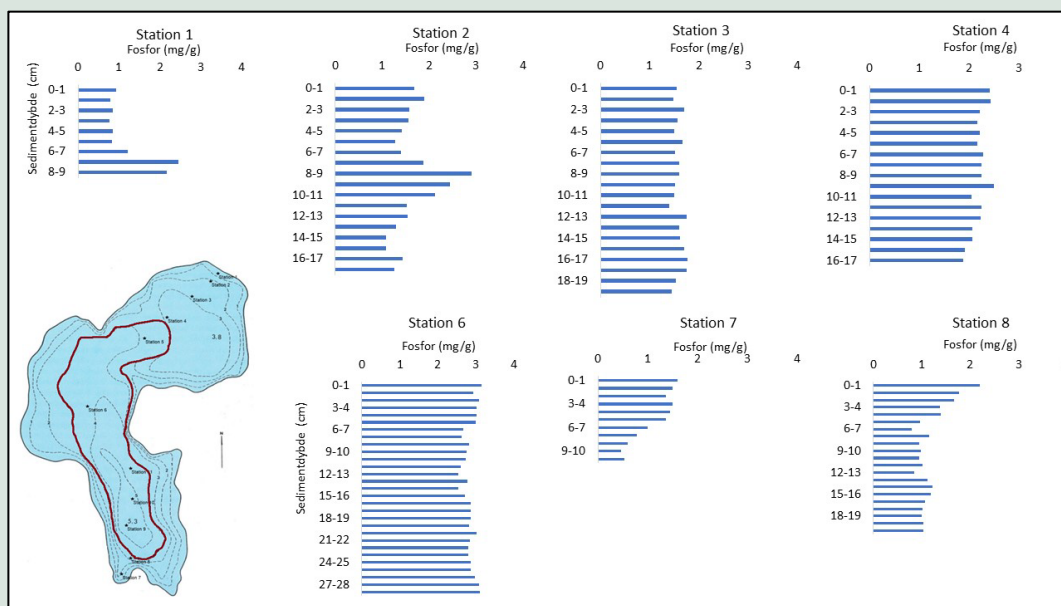
Øverste 5 cm af sedimentet	Fosfor (kg)	Kobber (kg)	Zink (kg)	Bly (kg)
	1751	32	515	82



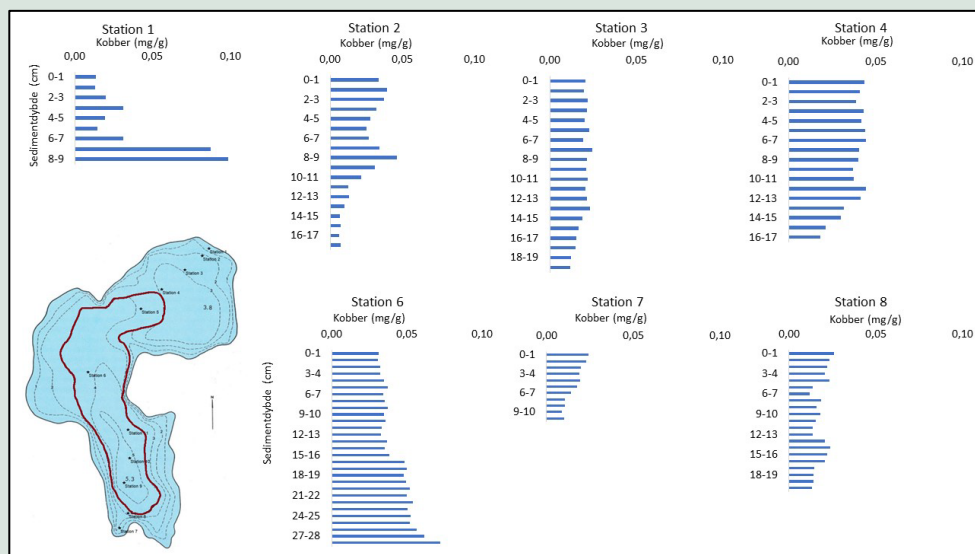
FIGUR 138. Tør vægten (%) af sedimentet på de 11 stationer i Birkerød Sø. Den røde markering på dybdekortet viser arealet som station 6 repræsenterer i de videre analyser.



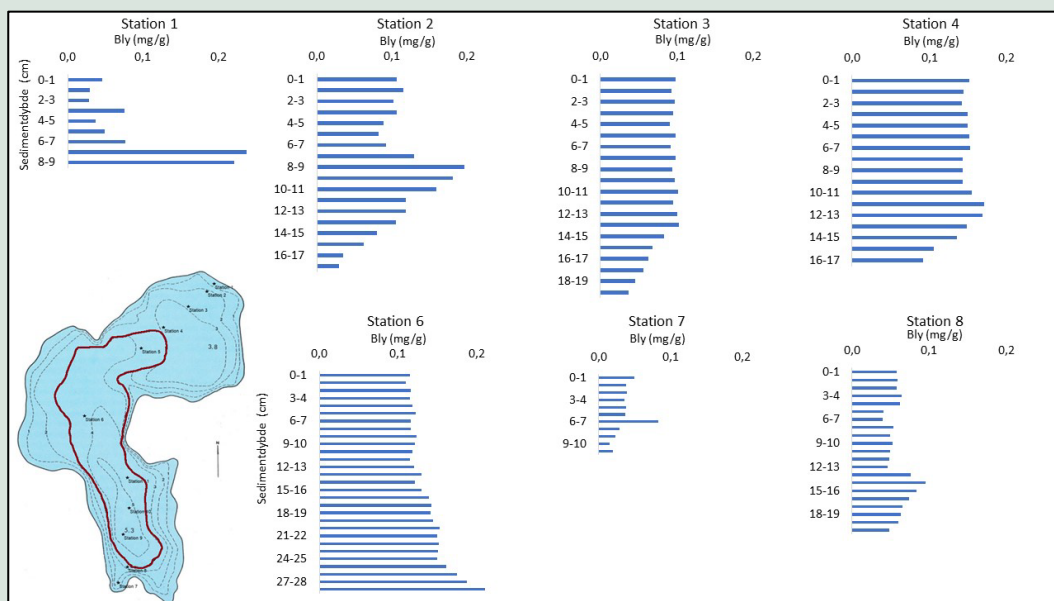
FIGUR 139. Organisk indhold (% af tv) af sedimentet på de 11 stationer i Birkerød Sø. Den røde markering på dybdekortet viser arealet som station 6 repræsenterer i de videre analyser.



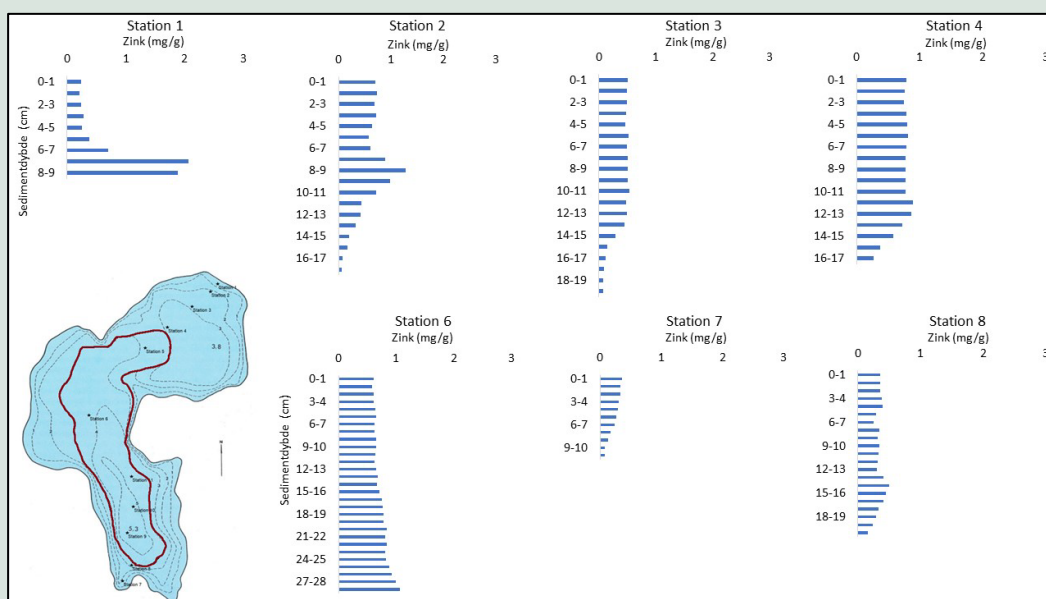
FIGUR 140. Fosforindhold (mg/g tv) af sedimentet på 7 stationer i Birkerød Sø. Den røde markering på dybdekortet viser arealet som station 6 repræsenterer.



FIGUR 141. Kobberindhold (mg/g tv) af sedimentet på 7 stationer i Birkerød Sø. Den røde markering på dybdekortet viser arealet som station 6 repræsenterer.



FIGUR 142. Blyindhold (mg/g tv) af sedimentet på 7 stationer i Birkerød Sø. Den røde markering på dybdekortet viser arealet som station 6 repræsenterer.



FIGUR 143. Zinkindhold (mg/g tv) af sedimentet på 7 stationer i Birkerød Sø. Den røde markering på dybdekortet viser arealet som station 6 repræsenterer.

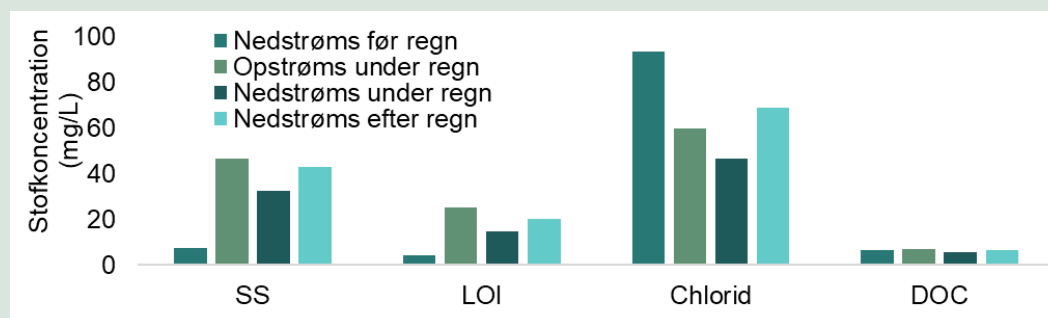
TABEL 13 angiver resultaterne af vandprøverne taget i Birkerød sø på 2 datoer i sommerhalvåret 2021. Det er punktprøver men indikerer en sø hvor næringsstofferne på prøvetagningstidspunkterne er bundet i algebiomassen i søen.

TABEL 13. Middelværdi og standardafvigelse af analyserne foretaget på vandprøverne fra Birkerød Sø taget 17. maj og 13. september 2021.

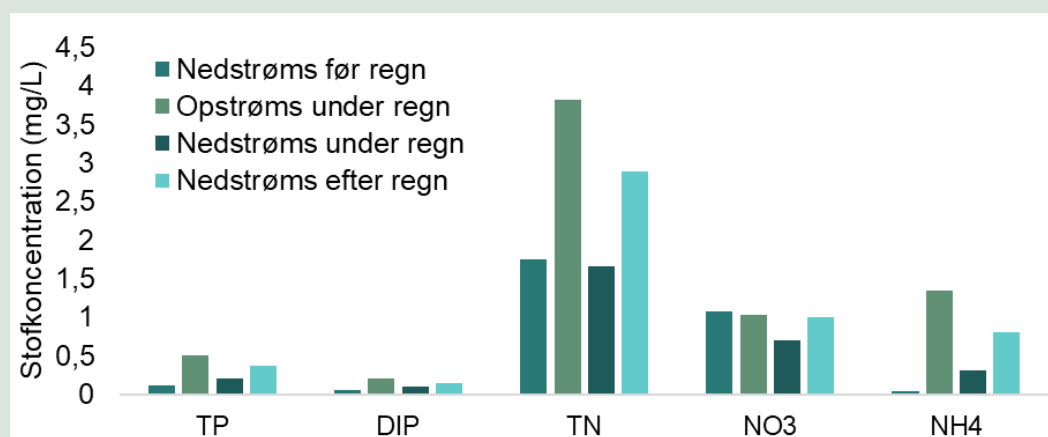
Middel (std.afv)	SS (mg/L)	Org.stof (mg/L)	Klorofyl a (µg/L)	TP (mg/L)	DIP (mg/L)	NH4 (mg/L)	NO3 (mg/L)	NO2 (mg/L)	Kalium (mg/L)
17. maj 21	23 (4)	24 (4)	49 (4)	0,1 -	0,01 (0,0001)	0,023 (0,001)	0,008 (0,0002)	0,001 (0,00004)	-
13. sep. 21	9 (4)	11 (3)	25 (6)	0,2 -	0,09 (0,0004)	0,016 (0,0008)	0,003 (0,0001)	0,0005 (0)	4 -

11.3.2.2 Stavids Å vandprøver

Som beskrevet i afsnit 11.1.4 er der udtaget vandprøver i de undersøgte recipienter med varierende hyppighed – mest hyppigt i Stavids Å. FIGUR 144 og FIGUR 145 viser under en regnhændelse koncentrationerne er en række stoffer hhv. opstrøms og nedstrøms udlødningspunktet på Thulevej. Der er registreret et overløb på dagen, men det er uvist om det er samtidig med at vandprøverne er taget. For de fleste parametre ses en stigning i koncentrationen nedstrøms efter regn sammenlignet med før regn. Sammenlignes opstrøms og nedstrøms under regn så ses der generelt en lavere koncentration nedstrøms.

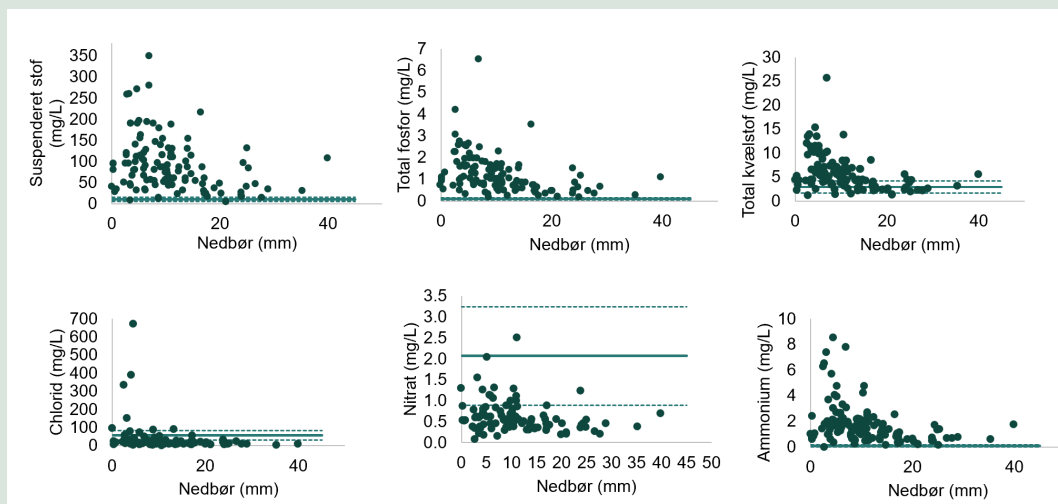


FIGUR 144. Suspenderet stof, LOI, chlorid og DOC i vandprøver fra Stavids Å hhv. før, under og efter regn nedstrøms overløbsbygværket på Thulevej samt opstrøms under regn. Alle prøver taget 27-09-21.



FIGUR 145. Total fosfor, fosfat, totalt kvælstof, nitrat og ammonium i vandprøver fra Stavids Å hhv. før, under og efter regn nedstrøms overløbsbygværket på Thulevej samt opstrøms under regn. Alle prøver taget 27-09-21.

FIGUR 146 viser koncentrationsmålinger målt i overløbsbygværket under overløb for en række parametre sammenlignet med den gennemsnitlige koncentration målt månedligt i Stavids Å (i perioder uden overløb) vist som den grønne linje inkl. standardafvigelse vist i form af de stiplede linjer. Mht. suspenderet stof, P og ammonium kommer overløbsvandet stort set altid med markant højere koncentrationer sammenlignet med koncentrationerne i vandløbet. For TN kan koncentrationerne være sammenlignelige eller højere i overløbsvandet. For klorid er koncentrationen i vandløbet og i overløbsvandet generelt meget ens med få undtagelser, mens koncentrationen af nitrat stort set altid er højere i vandløbet. Så hvad overløbet ender med at bidrage med afhænger af overløbets varighed og intensitet.



FIGUR 146. Koncentrationen af N, P, suspenderet stof og klorid (mg/L) i vandprøver taget i overløbsbygværket Thulevej under overløb af Vandcenter Syd, sammenlignet med gennemsnit og standardafvigelse fra de månedlige vandprøver fra vandløbet.

11.3.2.3 Bunds Å og Kajerød Å vandprøver

I Bunds Å og Kajerød Å er der indsamlet vandprøver vha. iscosamplers over en periode på 24 dage primært som støtteparametre til de sensoranalyser som er gennemført i arbejdsmappe 2. Resultaterne er vist i TABEL 14 og TABEL 15. Parametrene er valgt så de minimum matcher de parametre som er målt med sensorer i arbejdsmappe 2.

TABEL 14. Minimums-, maksimum-, gennemsnitsværdi og standardafvigelse for daglige timepuljede isco-vandprøver fra Bunds Å i perioden 05-04-22 – 29-04-22.

	Ledningsevne	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	DIP	K	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Opstrøms	559 - 633	0,00 - 0,14	27 - 54	0,4 - 0,8	0,008 - 0,15	0,01 - 0,04	33 - 37	10 - 12
Min – max	(595±21)	(0,04±0,04)	(38±8)	(0,5±0,1)	(0,04±0,04)	(0,02±0,007)	(36±1)	(11±0,5)
(middel ± std.afv)								
Nedstrøms	290 - 663	0,00 - 0,13	27 - 85	0,4 - 1,2	0,004 - 0,3	0,01 - 0,05	21 - 46	8 - 14
Min – max	(587±69)	(0,03±0,04)	(43±15)	(0,6±0,2)	(0,06±0,08)	(0,03±0,009)	(36±4)	(11±1,1)
(middel ± std.afv)								

TABEL 15. Minimums-, maksimum- og gennemsnitsværdi for daglige timepuljede isco-vandprøver fra Kajerød Å i perioden 13-07-22 – 02-09-22.

	Lednings- evne	pH	SS	TN	TOC	TP	Opløst					
							Cl	SO ₄	K	Fe	Cu	Cd
	uS/cm		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Opstrøms	573 – 893	7,5 -	11 -	0,78 –	5,0 -	0,18 -	91 -	6 – 13	1,6 -	0,009 -	0 - 0,003	0 – 0
Min – max	(826)	8,3	598	5	7,8	1,6	160	(7)	2,8	2,8	(0,0004)	(0)
(middel)		(8,0)	(127)	(1,8)	(6,1)	(0,7)	(138)		(2,3)	(0,2)		
Nedstrøms	429 – 823	7,6 -	24 -	1,2 -	7,8 –	0,06 -	42 –	4 – 18	1,6 -	0,01 -	0 - 0,003	0 – 0
Min – max	(626)	8,4	1101	3,7	14	2,5	142	(8)	5,6	0,84	(0,001)	(0)
(middel)		(8,2)	(182)	(2,2)	(12)	(0,6)	(74)		(3,3)	(0,1)		

11.4 Samfundsøkonomiske effekter

Arbejdspakke 4 har til formål at udvikle en model eller et koncept til estimering af samfundsmæssige effekter og effekter i forhold til bæredygtighed og verdensmål.

De følgende afsnit afrapporterer en konkret samfundsøkonomisk beregning og analyse af forsøgsprojekter omkring ombygninger af overløbsbygværker gennemført af Novafos og Vandcenter Syd.

Projektets fokus i Giber Å oplandet, Aarhus Vand, har været af en anden karakter og der er ikke gennemført konkrete ombygninger af overløbsbygværker. Der er ikke gennemført en konkret samfundsøkonomisk analyse af overløbsbygværker i Giber Å, men der er lavet generelle overvejelser og refleksioner omkring de investeringer der er gennemført i Giber Å oplandet for at efterkomme krav og ønsker til påvirkninger af vandmiljøet i dette opland og slutrecipient, Aarhus Bugt. En detaljeret og konkret samfundsøkonomisk analyse for investeringer og gevinster i Giber Å, ligger uden for dette projekts rammer, mål og afsatte økonomi.

11.4.1 Indledende rammesætninger og introduktion til samfundsøkonomi

I første halvår af 2021 var denne del af arbejdspakken primært varetaget ved en observerende rolle i forhold til projektets indledende forventningsafstemninger og beslutninger for projektet hovedleverancer.

I andet halvår af 2021 er der gennemført den første aktion for at åbne arbejdet om både de samfundsmæssige og – økonomiske forhold samt bæredygtighed. Som en del af en stor fælles workshop blev der sat fokus på- og introduktion til hvad er samfundsøkonomi, hvad kan samfundsøkonomi bruges til og hvordan skal vi arbejde med samfundsøkonomi.



FIGUR 147. Oplæg til metode for indledende kortlægning af relevante temaer/tematikker der kan bruges i arbejdet med samfundsøkonomi.

Og på denne baggrund er der gennemført en dialog og indledende brainstorm af temaer og tematikker som projektet kan arbejde med i forhold til samfundsøkonomi, se (TABEL 16).

TABEL 16. Bruttoliste fra brainstorm af hvilke emner og tematikker der kan danne grundlag for den samfundsøkonomiske analyse.

Vandmiljø, ltsvind, algeopblomstring	Hygiejne og sundhed	Energiforbrug
Næringsstoffer (org. stof, N og P)	Politisk værdi	Teknisk:etisk
Fauna / flora / Biodiversitet	Rekreativ værdi	Forsikringsskader og klager
Vandrammedirektiv	Turisme	Teknisk robusthed
Bæredygtighed	Benchmarking mod landbruget	Anlæg à materialer og ressourcer
Fiskeyngel	Kampen om pladsen	Anlæg à drift og økonomi
	Historik udvikling til i dag	Beslutning om optimeret drift
	Grundværdi: ejendomsværdi	Effekt ift. investering (Miljø: DKK)
		Arbejdsmiljø
		Fleksibilitet
		Prioritering af indsatser

11.4.2 Samfundsøkonomisk tilgang og analysemetode

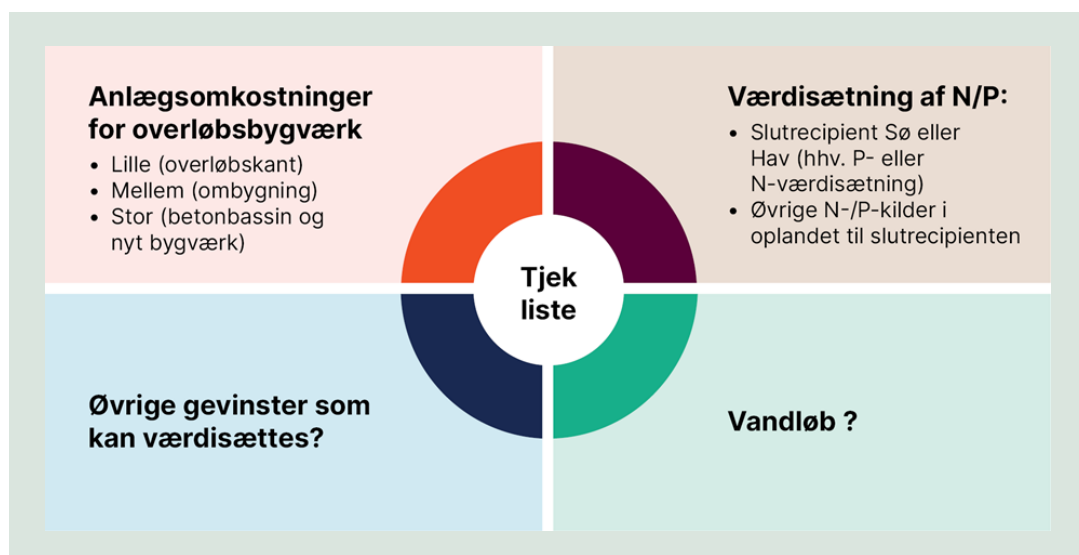
I Arbejdspakke 4 er der opstillet en samfundsøkonomisk analysemodel for anlægsprojekter, som har til formål at reducere overløb. Specifikt er modellen brugt til at beregne de samfundsøkonomiske konsekvenser for de tiltag under OVERLØB, hvor dette var muligt. Resultater, data og metode for analysen beskrives nedenfor.

Formålet med den samfundsøkonomiske analyse er at sammenligne omkostninger og gevinster for samfundet ved at gennemføre overløbsprojekter. Resultatet bliver en opgørelse af den samfundsøkonomiske nettonutidsværdi, dvs. en opsummering af alle omkostninger og gevinster over projektets levetid målt i kroner, som følger Finansministeriets vejledning i samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger¹⁰.

Nogle omkostninger og gevinster, som f.eks. anlægsomkostninger ved et projekt₁ er allerede i kroner, mens andre omkostninger og gevinster for samfundet₁ som klima- eller miljøeffekter₁ skal værdisættes, for at kunne indgå i den samlede vurdering.

Tjeklisten i FIGUR 148 illustrerer de overordnede byggesten i den samfundsøkonomiske analyse, som beskrives i større detalje nedenfor.

¹⁰ <https://fm.dk/arbejdsomraader/regnetoder-og-regnemodeller/regnetoder-og-regnemodeller/vejledning-om-samfundsoekonomiske-konsekvensvurderinger/>



FIGUR 148. Tjekliste – byggesten i en samfundsøkonomisk analyse af overløbsprojekter.

11.4.2.1 Omkostninger

De samfundsøkonomiske omkostninger ved anlægsprojekter som reducerer overløb, er primært udgifter til bygge- og anlægsarbejdet, udstyr samt vedligehold og drift. Der kan være tale om helt nye bygværker eller ombygningsprojekter på eksisterende bygværker. Ved ombygningsprojekter skal kun meromkostningerne i forhold til de eksisterende anlæg indgå i den samfundsøkonomiske analyse.

Herudover kommer samfundsomkostninger ved bygge- og anlægsarbejdet, som omfatter klimaaftrykket af byggematerialerne samt udledninger af drivhusgasser og luftforurening i byggeprocessen, f.eks. fra elforbrug og dieselforbrug til arbejdsmaskiner. Klimaeffekterne værdisættes med EU CO₂-kvoteprisen, mens luftforureningen målt i NO_x, SO_x og partikler værdisættes med sundhedsgenerne som udledningerne medfører ud fra en rapport fra Aarhus Universitet¹¹.

11.4.2.2 Gevinster

Gevinster for samfundet kan opstå på forskellige måder, bl.a. gennem sparede udgifter. Eksempelvis kan reducerede overløb bidrage til at reducere fysiske skader på vandløb, som giver anledning til restaurerings- eller oprydningsomkostninger. Der kan også være positive effekter som f.eks. et bedre arbejdsmiljø for driftsmedarbejderne efter ombygningen af et overløbsværk, som kan værdisættes ud fra en reduktion i sygedage, hvis reduktionen kan opgøres.

Andre gevinster er forbedringer i vandmiljøet, som er hovedformålet med reduktion af overløb. Miljøeffekterne ved reducerede overløb, i de ombyggede overløbsbygværker i dette projekt, er modelleret ud fra PULS-databasen og omfatter reduceret organisk stof (COD), kvælstof (N) og fosfor (P) i vandmiljøet. På nuværende tidspunkt findes grundlag for værdisætningen af kvælstof og fosfor. Andre miljøeffekter som ændringer i organisk stof eller Dansk Vandløbs Fauna Indeks kan for nuværende ikke værdisættes. Der er miljømål, hvor udledningen af organisk stof skal reduceres for at opnå god økologisk tilstand i vandløbene. Der findes dog

¹¹ Andersen, Michael Schou et al (2019): Miljøøkonomiske beregningspriser for emissioner 3.0. DCE.

ikke et grundlag for at værdisætte reduktioner af organisk stof i vandløb. Det bidrager til, at gevinsten i den samfundsøkonomiske analyse er undervurderet.

Værdisætningen af kvælstof og fosfor følger gængs praksis og tager udgangspunkt i miljømål (nationale vandområdeplaner). Ifølge de nationale vandområdeplaner bidrager reduktionen af kvælstof til en forbedret miljøtilstand i kystområder og reduktionen af fosfor bidrager til en forbedret miljøtilstand i søer. Hvis der er et indsatsbehov for at reducere kvælstof eller fosfor i de konkrete vandmiljøer, er der derfor en samfundsøkonomisk gevinst ved at reducere miljøbelastningen der. Første skridt er derfor at se om der er et indsatsbehov i slutrecipienten, dvs. mål for reduktion af næringsstoffer for at forbedre tilstanden af vandmiljøet. For kvælstof er det kystvandoplande f.eks. Roskilde Fjord (Novafos) og Odense Fjord (Vandcenter Syd), og for fosfor søer f.eks. Birkerød sø (Novafos). Hvor der er et indsatsbehov, værdisættes den modellerede mindskede udledning fra forsøgsprojekterne med alternativomkostninger, dvs. hvor meget det ville koste at reducere en tilsvarende mængde med alternative virkemidler.

Miljøeffekterne værdisættes med udgangspunkt i forskningsarbejdet fra Aarhus Universitet og Københavns Universitet¹². Rapporterne tager udgangspunkt i miljømålene fra vandområdeplanerne og modellerer, hvordan målene kan nås mest omkostningseffektivt på landsplan med kendte virkemidler. For kvælstof (N) laves modelleringen på oplandsniveau og rapporteres som gennemsnitsomkostning for at reducere 1 kg N i et opland samt marginalomkostningen. Da miljømålene ofte nås med en kombination af virkemidler, som har forskellige omkostninger, afspejler marginalomkostningen prisen for at reducere det sidste kg N for at nå målsætningen, som er det dyreste virkemiddel, da de billige virkemidler bruges først. I værdisætningen af miljøeffekterne ved overløbsprojekter bruges marginalomkostningen, da man sparer den alternative omkostningen ved at bruge det dyreste virkemiddel for at reducere miljøbelastningen.

I TABEL 17 fremgår eksempler på værdisætningen af kvælstof for udvalgte kystvandoplande samt landsgennemsnittet. Yderligere tal kan findes i bilag til de nævnte rapporter. Efter vejledning og aftale med Københavns Universitet bruges et gennemsnit af marginalomkostningerne fra de to rapporter til værdisætningen. Forskellen mellem de to rapporter skyldes to forskellige metoder til opgørelsen af omkostningerne ved opfyldelse af kvælstof-reduktionsmålene i vandområdeplanerne.

¹² Berit Hasler, Raphael Filippelli, Gregor Levin, Doan Nainggolan (2022): Økonomiske konsekvensberegninger for vandrammedirektivet i 2017. Scenarier for fuld implementering af VP3 indsatskrav for kystvandoplande 2021-2027, DCE nr. 502

Jacobsen, B. H., (2022). Økonomiske konsekvensberegninger af scenarier for vandområdeplaner 2021-2027 med brug af SMART-modellen, 74 s., IFRO Udredning Nr. 2022/03

Berit Hasler, Raphael Filippelli, Gregor Levin, Hans Estrup Andersen, Goswin Hecrath, Louise Martinsen, Doan Nainggolan (2023): Omkostningseffektiv placering af fosforvirkemidler i forhold til søer. Indarbejdelse af fosfor i TargetEconN_P samt eksempler på resultater, DCE nr. 560.

TABEL 17. Værdisætning af kvælstof (kr./kg N).

Note: omkostningerne er faktorpriser (erhvervsøkonomiske omkostninger) og en nettoafgiftsfaktor på 28% skal lægges til i den samfundsøkonomiske beregning.

Kyst nr.	Navn	DCE 2022		IFRO 2022	
		Gns. omkostning (kr./kg N)	Marginalomkostninger (kr./kg N)	Gns. omkostning (kr./kg N)	Marginalomkostninger (kr./kg N)
1	Roskilde Fjord, ydre	32	127	46	57
2	Roskilde Fjord, indre	59	118	44	88
92	Odense Fjord, ydre	33	43	40	70
93	Odense Fjord, Seden Strand	57	131	93	152
Lands gennemsnit		41		78	

For fosfor er opgørelsen af alternativomkostningerne ikke opgjort for individuelle søer, men fordelt på virkemidler, se TABEL 18 for eksempler. Ved et overløbsprojekt som reducerer fosforbelastningen i en sø med indsatsbehov skal vurderes, hvilket virkemiddel alternativt kunne bruges for at reducere belastningen og den respektive omkostning vælges til værdisætningen.

TABEL 18. Værdisætning af fosfor (kr./kg P). Note: omkostningerne er faktorpriser (erhvervsøkonomiske omkostninger) og en nettoafgiftsfaktor på 28% skal lægges til i den samfundsøkonomiske beregning.

Virkemiddel	Gns. omkostning (kr./kg P)
Skovrejsning	37.939
Udtagning, højbund	34.577
Vådområde	1.339
Permanent plantedække	979
P-vådområder	771
Minivådområder	10.124
Spildevandsrensning	6.036
Total (vægtet gennemsnit)	10.886

11.4.3 Samfundsøkonomisk analyse af ombygninger

Det følgende afsnit afrapporterer en konkret samfundsøkonomisk analyse af ombygninger gennemført af Novafos og Vandcenter Syd.

Under analysens forløb har der været tæt dialog omkring data på omkostninger og gevinster for samfundet, hvor dette var muligt. Mens omkostningerne er konkrete data fra forsøgsprojekterne, er gevinsterne for samfundet vanskeligere at værdisætte i kroner og ører.

Som beskrevet i andre afsnit i afrapporteringen, findes flere miljøeffekter i recipienten ved at reducere overløb. Da disse er svære at opgøre og/eller værdisætte, betyder det, at resultaterne fra analysen kan være en overvurdering af den samfundsøkonomiske omkostning ved forsøgsprojekterne.

Ombygningerne hvor der er gennemført en samfundsøkonomisk analyse omfatter:

- En ombygning af overløbskonstruktionen ved Lindevangsvej (Novafos). Recipienten er Birkerød sø.
- En ombygning af overløbskonstruktionen ved Annexgården (Novafos). Recipienten er Bunds Å som leder til Roskilde Fjord.
- Ombygninger af overløbsværkerne Skjoldsborgsvej og Thulevej (Vandcenter Syd) ved Stavids Å med slutrecipienten Odense Fjord.

De samfundsøkonomiske konsekvenser, som indgår i vurderingen, er omkostninger til ombygning og vedligehold af forsøgsprojekterne, miljøgevinsterne ved reducerede overløb, samt miljø- og klimakonsekvenserne ved ombygningsarbejdet.

11.4.3.1 Omkostninger

Datagrundlaget for omkostningerne til bygge- og anlægsarbejdet er oplyst af forsyningerne (se TABEL 19 og TABEL 20). Omkostningerne er meromkostninger ift. de eksisterende bygværker. Forsyningerne oplyser, at der vil være anlægsomkostninger samt vedligehold af visse dele efter et antal år, mens driften ikke vil være en meromkostning sammenlignet med eksisterende bygværk.

TABEL 19. Omkostninger, ombygninger ved Novafos (kr.).

Novafos	Ombygning	Vedligehold	Drift
Lindevandsvej	27.000	10.000	0
Annexgården	45.000	10.000	0

TABEL 20. Omkostninger, ombygninger ved Vandcenter Syd (kr.).

Vandcenter Syd	Ombygning	Vedligehold	Drift
Skjoldborgsvej	695.000	0	0
Thulevej	1.404.410	374.650	0

Herudover kommer samfundsomkostninger ved bygge- og anlægsarbejdet, som omfatter klimaaftrykket af byggematerialerne samt udledninger af drivhusgasser og luftforurening i byggeprocessen, f.eks. fra elforbrug og dieselforbrug til arbejdsmaskiner. Klimaeffekterne værdisættes med EU CO₂-kvoteprisen, mens luftforureningen målt i NO_x, SO_x og partikler værdisættes med sundhedsgenerne som udledningerne medfører ud fra en rapport fra Aarhus Universitet¹³.

11.4.3.2 Gevinster

Gevinster for samfundet kan opstå på forskellige måder, bl.a. gennem besparede omkostninger. Projektet har undersøgt om forsøgsprojekterne bidrager til at reducere fysiske skader fra overløb, som giver anledning til restaurerings- eller oprydningsomkostninger. Dette er ikke tilfældet, hvorfor projekterne ikke bidrager til omkostningsbesparelser på dette område.

Andre gevinster er forbedringer i vandmiljøet. Miljøeffekterne ved reducerede overløb er modelleret ud fra PULS-databasen og omfatter reduceret organisk stof (COD), kvælstof (N) og fosfor (P) i vandmiljøet (se TABEL 21 og TABEL 22).

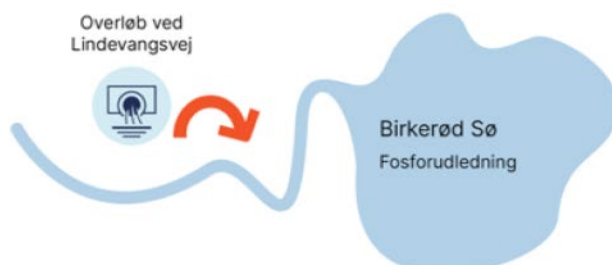
TABEL 21. Miljøeffekter – reduktioner ved ombygninger i Novafos (kg/år).

	N	P	COD	Recipient
Lindevandsvej	5	1	72	Birkerød sø
Annexgården	10	2	149	Bunds Å, Slutrecipient Roskilde Fjord

¹³ Andersen, Michael Schou et al (2019): Miljøøkonomiske beregningspriser for emissioner 3.0. DCE.

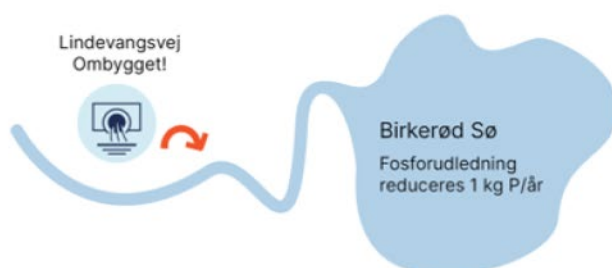
Novafos: Lindevangsvej

Før ombygning



Udledning	Lindevangsvej
Overløb (antal per år)	6
Overløb (m ³ /år)	802
Fosfor (kg P/år)	P: 2

Efter ombygning

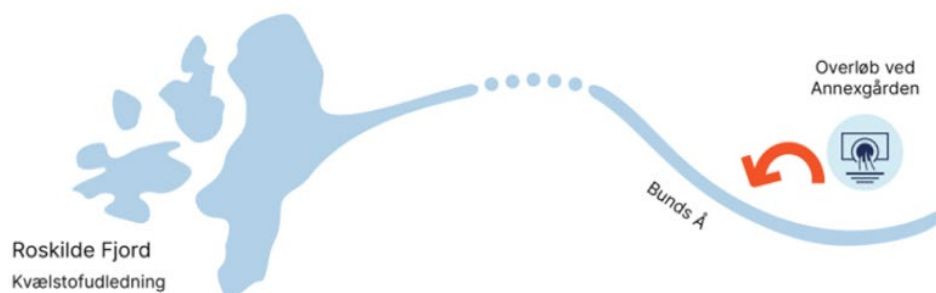


Udledning	Lindevangsvej	Reduktion
Overløb (antal per år)	3	3
Overløb (m ³ /år)	401	401
Fosfor (kg P/år)	P: 1	P: 1

FIGUR 149. Effekter ved ombygning af Lindevangsvej, Novafos.

Novafos: Annexgården

Før ombygning



Udledning	Annexgården
Overløb (antal per år)	9
Overløb (m ³ /år)	1.780
Kvælstof (kg N/år)	N: 21

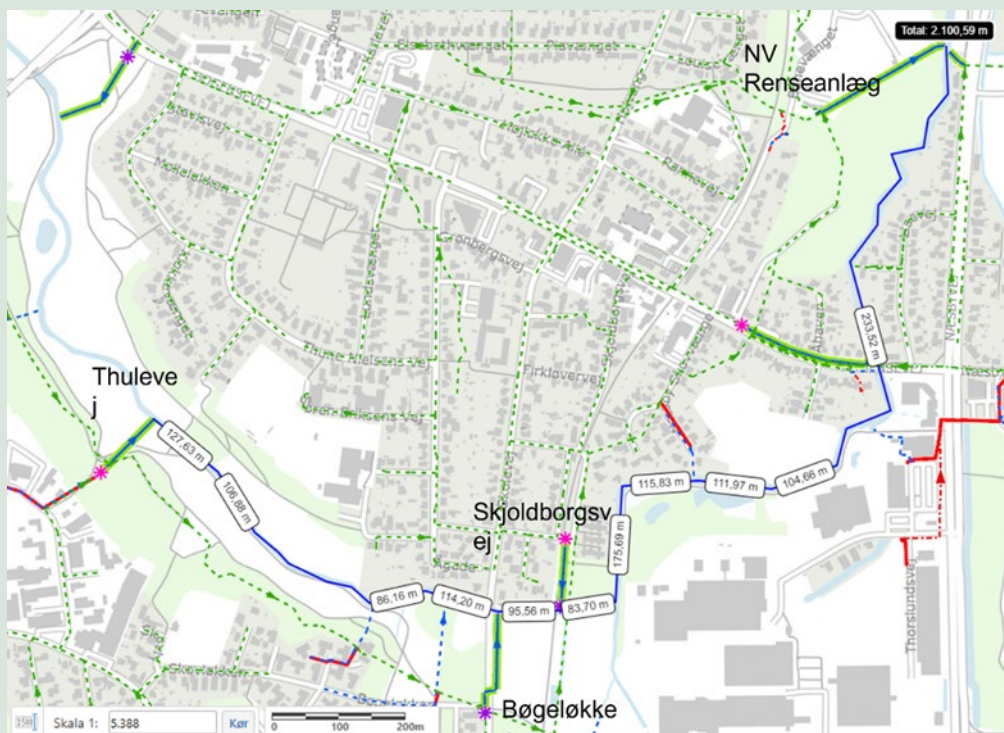
Efter ombygning



Udledning	Reduktion	Annexgården
Overløb (antal per år)	5	4
Overløb (m ³ /år)	830	950
Kvælstof (kg N/år)	N: 10	N: 11

FIGUR 150. Effekter ved ombygning af Annexgården, Novafos.

For projekterne Lindevandsvej og Annexgården giver de reducerede overløbsmængder ikke udfordringer i kloaksystemet, som kan håndtere de øgede vandmængder.



FIGUR 151. Illustration af overløbsbygværkerne Thulevej og Skjoldborgsvej samt Nordvest Renseanlæg langs med Stavaids Å.

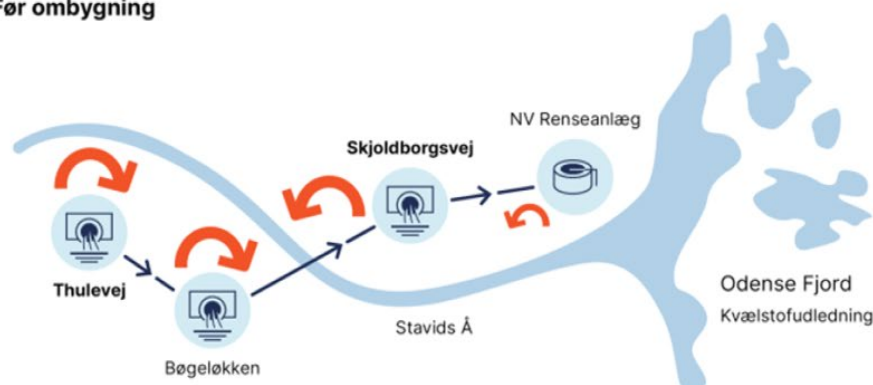
TABEL 22. Miljøeffekter, reduktioner ved ombygninger i Vandcenter Syd (kg./år).

	N	P	COD	Recipient
Skjoldborgsvej	53	9	798	Stavaids Å
Thulevej	41	8	877	Stavaids Å
Bøgeløkken	14	2	214	Stavaids Å
Nordvest Renseanlæg	-85	-14	-1.296	Stavaids Å
Vandcenter Syd samlet	24	5	620	Slutrecipient Odense Fjord

De enkelte ombygninger reducerer udledningen af hhv. N og P, men den samlede effekt reduceres for Vandcenter Syds forsøgsprojekter på Stavaids Å (Skjoldborgsvej og Thulevej) i slutrecipienten Odense Fjord på grund af en merudledning fra Nordvest Renseanlæg, som ligger nedstrøms fra ombygningsprojekterne (se FIGUR 151 og TABEL 22).

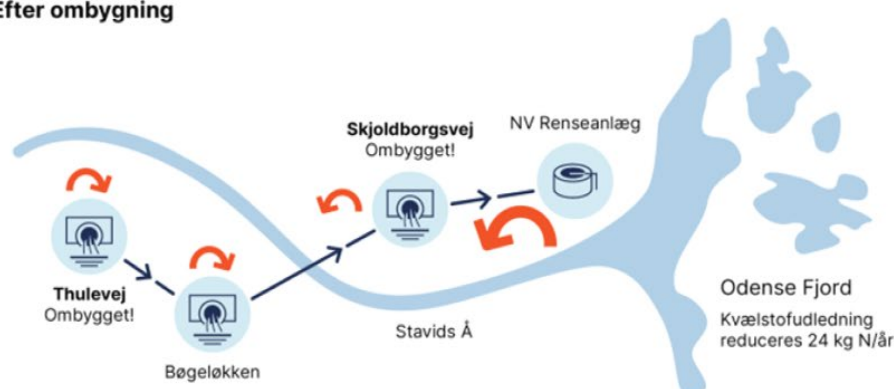
VandCenter Syd: Thulevej og Skjoldborgsvej

Før ombygning



Udledning	Thulevej	Bøgeløkken	Skjoldborgsvej	NV Renseanlæg	Samlet effekt
Overløb (antal per år)	36	19	35	22	112
Overløb (m³/år)	22.352	3.918	15.295	107.825	149.390
Kvælstof (kg N/år)	N: 134,1	N: 47	N: 183,5	N: 1293,9	N: 1.659

Efter ombygning



Udledning	Thulevej	Bøgeløkken	Skjoldborgsvej	NV Renseanlæg	Samlet effekt	Reduktion
Overløb (antal per år)	25	15	26	24	89	23
Overløb (m³/år)	15.554	2.728	10.863	114.874	144.019	5.371
Kvælstof (kg N/år)	N: 93,9	N: 32,7	N: 130,4	N: 1378,5	N: 1.635	24

FIGUR 152. Effekter ved ombygninger ved Thulevej og Skjoldborgsvej, Vandcenter Syd.

Miljøeffekterne værdisættes med nøgletallene fra afsnit 11.4.2. Som nævnt bruges for kvælstof et gennemsnit af det høje og lave nøgletal, efter aftale med forskere fra Københavns Universitet. Kvælstofværdisætningen er opgjort for de forskellige kystoplande som slutrecipienter. For fosforreduktionen i Birkerød sø bruges alternativomkostningen for spildevandsrensning. Da Birkerød sø ligger i et beboet område er andre virkemidler som primært er landbrugsrelaterede ikke et reelt alternativ.

TABEL 23. Værdisætning af miljøeffekter, ombygninger ved Novafos (kr./kg.).

	Værdisætning N lav	Værdisætning N høj	Værdisætning P
Lindevandsvej	0	0	6.036
Annexgården	57	127	0

TABEL 24. Værdisætning af miljøeffekter, ombygninger ved Vandcenter Syd (kr./kg.).

	Værdisætning N lav	Værdisætning N høj	Værdisætning P
Vandcenter Syd samlet	131	152	0

Miljøeffekter i vandløb kan ikke værdisættes men kun effekter i slutrecipienten. Det betyder, at den mindskede gennemstrømning af næringsstoffer i vandløbene efter implementeringen af forsøgsprojekterne ikke har en samfundsøkonomisk værdi ud fra nuværende værdisætningspraksis (som beskrevet ovenfor). Et særligt opmærksomhedspunkt her er ombygningsprojekterne Thulevej og Skjoldborgsvej, som reducerer overløbet af næringsstoffer markant i ca. 2 km vandløb, inden en efterfølgende merudledning fra Nordvest Renseanlæg, som mindsker miljøgevinsten i slutrecipienten. For de projekter har det ikke været muligt at opgøre en samfundsøkonomisk gevinst ved reduktionen i næringsstoffer i de 2 km. vandløb.

11.4.3.3 Resultater

De samlede samfundsøkonomiske effekter for forsøgsprojekterne fremgår af TABEL 25 og TABEL 26.

Ved brug af den opsatte samfundsøkonomiske model, vil ombygningen af overløbsbygværket ved Lindevangsvej medfører en samfundsøkonomisk gevinst, da miljøgevinsten ved at fjerne fosforudledning til Birkerød sø overstiger omkostningerne til anlægs- og driftsarbejdet. Det skyldes at alternativomkostningerne, som bruges til værdisætningen af fosforreduktionen, er meget høje. Som alternative virkemidler til fosforreduktion findes kun øget spildevandsrensning, som er meget dyr (se også TABEL 18).

Ved brug af den opsatte samfundsøkonomiske model, vil ombygningen af Annexgården medfører en samfundsøkonomisk omkostning, da miljøgevinsten af reduceret kvælstofudledning til Roskilde Fjord ikke opvejer omkostningerne til ombygningen.

TABEL 25. Samfundsøkonomisk nettonutidsværdi, Novafos (kr.).

Note: et positivt tegn er en omkostning mens et negativt tegn er en gevinst for samfundet. Værdierne er i 2023-prisniveau.

Lindevangsvej	-71.927
Annexgården	43.521

Vandcenter Syd's ombygningsprojekter, vil i henhold til den opsatte samfundsøkonomiske model, lede til en stor samfundsøkonomisk omkostning på 3 mio. kr. i nutidsværdi. Det skyldes at ombygningerne er langt mere omfattende end ved Novafos' projekter, samt at begge projekter reducerer kvælstofudledningen til Stavids Å, hvor Nordvest Renseanlæg, som ligger nedstrøms i vandløbet, udleder en større mængde som følge af ombygningerne, hvorfor nettogevinsten i slutrecipienten Odense Fjord er begrænset.

TABEL 26. Samfundsøkonomisk nettonutidsværdi, Vandcenter Syd (kr.).

Note: et positivt tegn er en omkostning mens et negativt tegn er en gevinst for samfundet. Værdierne er i 2023-prisniveau.

Vandcenter Syd samlet	3.041.643
-----------------------	-----------

De samfundsøkonomiske resultater, der er gennemført ved brug af den opsatte samfundsøkonomiske model, skal tages med forbehold over for de antagelser og forudsætninger som er lagt til grund for analysen. Som beskrevet ovenfor i dette afsnit, er resultaterne et konservativt skøn på de samfundsøkonomiske omkostninger, da der kan være gevinster for samfundet, som ikke er værdisæt i analysen.

11.4.4 Giber Å

Fokus i Giber Å oplandet har været anderledes end i de to andre oplande i projektet. Modsat de to andre oplande i projektet, hvor der er arbejdet med specifikke overløbsstrukturer er der i Giber Å oplandet arbejdet med hele den øvre halvdel af Giber Å og de forskellige typer af udløb til åen. Giber Å oplandet er nærmere beskrevet i afsnit 8.2.1.

Det blev vurderet væsentligt for projektet også at inkludere et opland, hvor der blev set på en større del af recipienten, og hvor afløbssystemet i høj grad allerede er blevet separeret i henholdsvis regn og spildevandssystemer, og hvor største delen af alle overløb er nedlagt.

Aarhus Vand har over de seneste to årtier nedbragt deres udledninger fra overløb til recipienterne signifikant. Dette har blandt andet været drevet af Aarhus Kommunes målsætning om at sikre høj badevandkvalitet så mange steder som muligt i Kommunen for at understøtte en bred vifte af rekreative vandaktiviteter. Derudover har Aarhus Kommune været underlagt kravene i vandrammedirektivet om at sikre de økologiske målsætninger i Kommunens recipienter.

På trods af Aarhus Kommunes og Aarhus Vands målrettede indsatser og store investeringer ift. regnbetingede udledninger og overløb er der desværre stadig udfordringer flere steder i Aarhus Kommune om at nå de økologiske målsætninger. Dette gør sig også gældende i Giber Å oplandet, hvor de øvre dele af Giber Å stadig er vurderet som moderat økologisk tilstand eller dårligere. Aarhus Vand har over de sidste to årtier investeret massivt i centralisering af renseanlæg og separation af fælleskloakerede systemer. En nærmere beskrivelse af udgangspunkt og baggrunden kan findes i Aarhus Kommunes spildevandsplan 2005-2009.

I projektets ånd og i et samfundsøkonomisk perspektiv kan det derfor være relevant at undersøge, hvorvidt omkostningerne til investeringer i separation af fælleskloakerede systemer opvejes af positive samfundseffekter, herunder forbedringer i recipienternes tilstand. Prioriteringen af at separatkloakere et kloakopland er afhængig af flere faktorer end blot nærrecipientens tilstand, men dennes tilstand er ofte en væsentlig motiverende faktor for nedlæggelse af overløbsstrukturer og dermed separation af kloaksystemet.

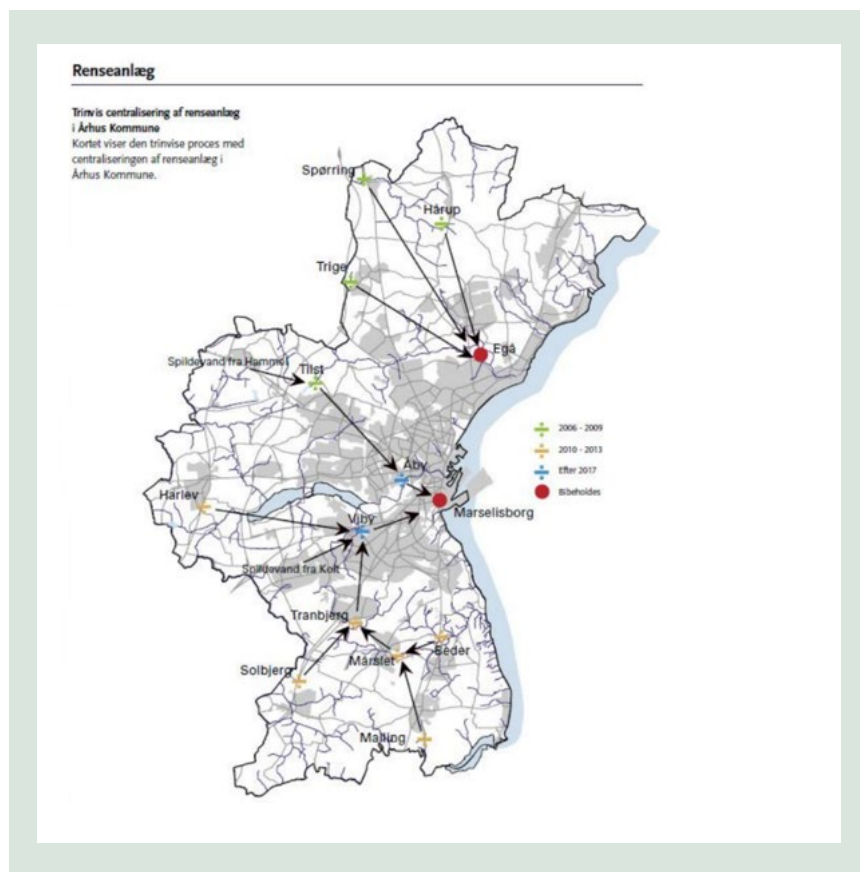
I dette projekt har første prioriteten ift. arbejdet omkring de samfundsøkonomiske beregninger været konkrete overløbskonstruktioner hos henholdsvis Novafos og Vandcenter Syd, da der i disse oplande har været fokus på enkelte overløbsbygværker.

I det følgende gives der en kort opsummerende historiske gennemgang af de tiltag og ændringer, som der er foretaget i Giber Å oplandet fra et regn- og spildevandstekniske perspektiv, samt motivationen for disse ændringer. Derefter vil der blive præsenteret forslag til, hvordan en samfundsøkonomisk analyse kunne foretages, og hvilke data det som udgangspunkt ville kræve. Afsnittet afsluttes med en reflekterende diskussion af, hvilken

læring og perspektiver der potentielt kan opnås til fremtidige investering på baggrund af en samfundsøkonomisk analyse af de historiske investeringer i Giber Å oplandet.

Over de sidste fem årtier er der generelt sket en centralisering af renseanlæg i Danmark for at opnå øget renseeffektivitet og mindre driftsomkostninger. Dette er også sket i Aarhus, hvor der tilbage i 1970 var mere end 35 renseanlæg i Aarhus og dets oplandsbyer. I 1990 var dette reduceret 20 renseanlæg.

I 2005 blev der foretaget en struktur analyse af den daværende spildevandsinfrastruktur og 14 renseanlæg. På baggrund af denne analyse blev det besluttet af centralisere renseanlæggene, hvilket er illustreret på FIGUR 153.



FIGUR 153. Trinvis centralisering af renseanlæg i Aarhus Kommune.

Den centrale motivation for centralisering findes i øget effektivisering, mulighed for at anvende bedre renseteknologier og dermed opnå forbedret rensning og reducerede driftsudgifter. Centraliseringen giver også bedre mulighed for at adoptere til de øgede krav til rensning af miljøfremmede stoffer som der kommer i disse år. Desuden var de eksisterende renseanlæg nedslidte og stod derfor overfor en bekostelig fornyelse.

Et vigtigt fokus i strukturanalysen og den efterfølgende centraliseringsproces har været at forbedre de økologiske tilstande af recipienterne og kompensere for evt. negative effekter i de topografiske vandoplande, da der ved centralisering vil blive flyttet vand på tværs af vandskel. Et andet vigtigt fokus for Aarhus Kommune over de seneste to årtier, hvor centralisering har fundet sted, har været at sikre god badevandskvalitet i Aarhus Bugt samt at kunne anvende søer mv. til rekreative aktiviteter.

Som et resultat af centraliserings- og effektiviseringsstrategien er de fem sydlige renseanlæg (Malling, Beder, Mårslet, Solbjerg og Trankær) blevet nedlagt og omdannet til pumpestationer,

og fælleskloakerede områder er ombygget til separatkloakering. Dette viste sig at give nogle "snublesten" på vejen, da der ved denne centralisering blev flyttet vand på tværs af vandskel, hvilket havde en negativ påvirkning på minimumsvandføring i flere vandløb. For Giber Å blev det vurderet, at det rensede spildevand udgjorde op til 80% af vandføring (35-40 l/s ud af 50 l/s) i perioder.

Der blev undersøgt forskellige muligheder for at kompensere for den reducerede vandføring i vandløbet. Den valgte løsning blev tilbagepumpning af rensat og hygiejniseret spildevand. Der blev vedtaget lokale miljømål om, at denne tilbagepumpning skulle kunne sikre en minimumsvandføring på 100 l/s i Giber Å. Denne løsning udgjorde en øget anlægsomkostning på ca. 25 mio. DKK, og en øget årlig driftsomkostning på 0,6 mio. DKK. Dette skal dog ses i lyset af en samlet anlægsinvestering på over 1 mia. DKK for hele centraliseringen, og der stadig totalt set opnås en samlet driftsbesparelse på mere end 30% ved centralisering af renseanlæggene. Balancen mellem effektivisering og recipientbeskyttelsen blev "central rensning – decentral udledning".

11.4.4.1 Forslag til proces for samfundsøkonomianalyse i Giber Å oplandet

Som beskrevet ovenfor, stammer motivationen af Aarhus Vands centraliseringsstrategi og kloakseparationsstrategi fra 90'erne og start 00'erne. Samfundets normer og fokus kan ændre sig væsentligt på tre årtier, og dette gør sig også gældende i det her tilfælde. Særlig over de seneste årtier er der kommet et øget fokus bæredygtighed og en holistisk tilgang til miljømæssige udfordringer. Det er derfor vigtigt, at der i en samfundsøkonomisk analyse af Giber Å oplandet blevet taget hensyn til nuværende metodiske grundlag og viden, samt at der er fokus på den læring og perspektiver der kan drages ift. fremtidige investering.

I projektets ånd, hvor der er fokus på recipientpåvirkningerne, ville de grundlæggende data for en samfundsøkonomisk analyse af Giber Å opland kunne indbefatte følgende elementer. I modsætning til analyserne for overløbsprojekterne i afsnit 12.4.3, ville dataindsamlingen og afgrænsningerne for en samfundsøkonomisk analyse for Giber Å være mere omfattende. Da centraliseringen og kloakseparationen er implementeret over flere årtier, skal tidshorizonten afgrænses tydeligt for at etablere en baseline, som muliggør en sammenligning af alle omkostninger og gevinster "før" og "efter". F.eks. er det nødvendigt at fastlægge, hvilke miljøeffekter indtræffer hvornår og i hvilket omfang. Der kan herudover være andre udviklinger i samfundet, som man skal tage højde for (f.eks. befolkningsvækst), da disse ændrer baseline man sammenligner med.

- Anlægs- og driftsomkostninger ved centralisering og kloakseparationen.
- Anlægsomkostninger (kr.)
- Driftsomkostninger (kr./år)
- Restlevetid af eksisterende infrastruktur, og omkostning til at holde status quo.
- Miljøkonsekvenser ved anlægs- og driftsarbejdet for centralisering og kloakseparationen.
- Byggemateriale (tons beton, stål, mv.)
- Energiforbrug, (f.eks. liter diesel til arbejdsmaskiner, kWh elforbrug, mv).
- Konsekvenser for miljø ved centralisering og kloakseparationen.
- Reduktion af belastningen per år med
 - N (kg /år)
 - P (kg/år)
 - Organisk stof (kg /år)
 - Bakterier/e-coli (kg/år)
- Evt. flere parametre.
- Reduktion af hyppigheden af overløb pr. år.
- Reduktion af omkostninger til udbedring af skader på vandløb fra overløb (pr. år).
- Afledte efter på natur og vandmiljøer mv.

- Forbedring af vandkvalitetsniveau, fx. økologisk målsætning, DVFI (Dansk Vandløbsfaunaindeks) og DFI (dansk fysiske indeks).
- Rekreative værdier og sundhedseffekter

Ved nærmere analyse af Giber Å oplandet og fremtidige miljøpolitiske fokus vil der potentielt være flere relevante parametre, som kunne inddrages. F.eks. grundlaget for biodiversitet, grundvandsbeskyttelse mv.

11.4.4.2 Potentiel læring og perspektiver for fremtidige investeringer

Som beskrevet tidligere, så er der ikke fortaget en samlet samfundsøkonomisk analyse af Giber Å oplandet i dette projekt, da arbejdet omkring de samfundsøkonomiske analyser har været fokuseret på ombygningen af overløbsstrukturer, hvilket der ikke er foretaget i Giber Å oplandet i projektperioden.

Giber Å oplandet har været under regn- og spildevandstekniske ombygninger de sidste to årtier, som beskrevet tidligere i dette afsnit. Der kan derfor være viden at hente for hele vandsektoren ved at foretage en mere dybdegående retrospektiv analyse med fokus på læring og perspektiver til fremtidige investering. Ofte omtales Giber Å oplandet som "et løst problem", men som rapporten her viser, så har separationen af kloaksystemet også nogle følgeeffekter på vandløbet. Det ses at de langsomme udledninger fra regnvandsbassinerne kan påvirke ilt- og temperaturbalancerne negativt i længere perioder i de varme sommermåneder.

Separatkloakering af Giber Å oplandet har reduceret overløbsmængderne signifikant, og dermed de regnbetingede udledninger af ospædet spildevand. En potentiel ulempe ved separationen af regn- og spildevand er, at den andel af regnvandet, som tidligere blev ledt gennem renseanlæg, bliver nu udledt til recipienten via regnvandsbassiner. Bassiner har ofte en rensende effekt på stoffer, som kan sedimenteres, mens opløste stoffer bliver udledt uden rensning. Men den kontinuerlige opdagelse af nye forurenende stoffer i vandkredsløbet og det kommende EU by-spildevandsdirektiv (der forventes vedtaget i efteråret 2024) kan vandsektoren stå overfor store udfordringer pga. de mange decentrale udledninger af regnvand fra befæstede overflader.

Konkret i Giber Å blev det besluttet at lave en tilbagepumpning af rensset og hygiejniseret spildevand for at kompensere for det vand, som bliver "taget ud" af det topografiske vandopland ved centralisering af renseanlæggene. Med det øgede fokus på vandmiljø, bæredygtighed, klima, biodiversitet mv. kunne det være interessant at undersøge om der var alternative løsninger, som ville give et højere samfundsøkonomisk værdi.

I den seneste revision af vandløbsregulativ for Giber Å og Ballebæk (2019) beskrives den øvre strækning, der har de største udfordringer med at nå de økologiske målsætninger, som følgende:

"Ballebæk løber i det åbne land, primært langs dyrkede landbrugsarealer, og har generelt et kanaliseret forløb. Fra sammenløbet med Giber Å, løber vandløbet igennem landbrugsarealer ind til det når Mårslet, hvor det løber tæt på bebyggelse. Efter Mårslet løber vandløbet igennem landbrugsarealer og herefter igennem skov, ind til det på den østlige side af Oddervej passerer flere eng- og moseområder, før det løber igennem Storskov for til sidst at nå udløbet i Aarhus Bugt. Vandløbet har generelt et reguleret forløb vest for Oddervej, mens det på strækningen øst for Oddervej flere steder har karakter af et fysisk varieret vandløb med slyngninger og sten- og grusbund. Faldet i Ballebæk samt i den øverste del af Giber Å ligger på ca. 1 ‰, mens det længere nedstrøms varierer en del med lokale faldforhold op mod 30-40 ‰."

Hvis denne beskrivelse af vandløbets og oplandets karakteristik sammenholdes med den seneste vurdering af den økologiske tilstand af vandløbet (afsnit 8.2.1), så ses der et

sammenfald mellem øvre "kanaliserede" del af vandløbet og de dele af vandløbet, som har den laveste økologiske tilstand.

I en potentiel samfundsøkonomisk analyse i projektets ånd kunne det derfor være interessant at se på holistiske løsninger med flere synergieffekter på tværs af både tekniske infrastrukturelle behov, som miljø- og bæredygtighedsfremmende tiltag.

Det er vigtigt at understrege, at ovenstående er refleksioner over den potentielle læring og de perspektiver, som der potentielt kunne drages af en nærmere analyse af Giber Å oplandet, ikke er for at dømme fortidens beslutningen i nutidens lys, men for at kortlægge erfaringerne, så der kan drages nytte af dem til fremtidige beslutninger.

Refleksionerne er dannet på baggrund af faglige diskussioner og læringen i projektgruppen omkring en mere holistisk og recipient fokuseret tilgang til vandkredsløbet, og dermed udledninger fra de tekniske vandsystemer i vores samfund.

11.4.5 Opsummering

Der er gennemført en samfundsøkonomisk analyse af ombygninger af overløbsbygværker ved Novafos og Vandcenter Syd, som skal kortlægge og dokumentere om der er en positiv eller negativ samfundsøkonomisk konsekvens af indsatserne.

Resultatet bliver en opgørelse af den samfundsøkonomiske nettonutidsværdi, dvs. en opsummering af alle omkostninger og gevinster over projektets levetid målt i kroner, som følger Finansministeriets *vejledning i samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger*¹⁴.

Nogle omkostninger og gevinster, som f.eks. anlægsomkostninger ved et projekt, er allerede i kroner, mens andre omkostninger og gevinster for samfundet som klima- eller miljøeffekter skal værdisættes, for at kunne indgå i den samlede vurdering.

De samfundsøkonomiske omkostninger ved anlægsprojekter som reducerer overløb, er primært udgifter til bygge- og anlægsarbejdet, udstyr samt vedligehold og drift, og det er kun meromkostningerne i forhold til de eksisterende anlæg indgå i den samfundsøkonomiske analyse. Herudover kommer samfundsomkostninger ved bygge- og anlægsarbejdet, som omfatter klimaaftrykket af byggematerialerne samt udledninger af drivhusgasser og luftforurening i byggeprocessen, f.eks. fra elforbrug og dieselforbrug til arbejdsmaskiner. Klimaeffekterne værdisættes med EU CO₂-kvoteprisen, mens luftforureningen målt i NO_x, SO_x og partikler værdisættes med sundhedsgenerne, som udledningerne medfører, ud fra en rapport fra Aarhus Universitet.

Gevinster der kan prissættes, er miljøeffekterne ved reducerede overløb er modelleret ud fra PULS-databasen og omfatter reduceret organisk stof (COD), kvælstof (N) og fosfor (P) i vandmiljøet. På nuværende tidspunkt findes grundlag for værdisætningen af kvælstof og fosfor. Andre miljøeffekter som ændringer i organisk stof eller Dansk Vandløbs Fauna Indeks kan for nuværende ikke værdisættes. Ved brug af den opsatte samfundsøkonomiske model, fås nedenstående konklusioner.

Ombygningen af overløbsbygværket ved Lindevangsvej medfører en samfundsøkonomisk gevinst, da miljøgevinsten ved at fjerne fosforudledning til Birkerød sø overstiger omkostningerne til anlægs- og driftsarbejdet. Det skyldes at alternativomkostningerne, som bruges til værdisætningen af fosforreduktionen, er meget høje.

14

Ombygningen af Annexgården medfører en samfundsøkonomisk omkostning, da miljøgevinsten af reduceret kvælstofudledning til Roskilde Fjord ikke opvejer omkostningerne til ombygningen.

Vandcenter Syd's ombygningsprojekter leder til en større samfundsøkonomisk omkostning. Det skyldes forholdsvis store og dyre ombygninger, der tilsammen reducerer kvælstofudledningen til Stavids Å, men konsekvensen er en merudledning fra Nordvest Renseanlæg, som ligger nedstrøms i vandløbet. Samlet er der en netto reduktion i slutrecipienten Odense Fjord som følge af ombygningerne.

De samfundsøkonomiske resultater skal tages med forbehold over for de antagelser og forudsætninger som er lagt til grund for analysen. Resultaterne er et konservativt skøn på de samfundsøkonomiske omkostninger, da der kan være gevinster for samfundet, som ikke er værdisat i analysen, f.eks. vandløbsmiljø og -kvalitet, rekreative værdier, arbejdsmiljø ved overløbsbygværket etc.

Der tegner sig dermed ikke et ensidigt og klart billede af den samfundsøkonomiske konsekvenser af de ombygninger af overløbsbygværkerne som er behandlet i dette projekt, der er opnået både positive og negative samfundsøkonomiske gevinster. Af væsentlige faktorer for det samfundsøkonomiske resultat er det konkrete opland samt de værdisætninger af reduktionen af hhv. N og P for oplandet som man f.eks. konstaterede i Novafos. Ligeledes er omfanget af- og investeringen i ombygningen en meget væsentlig faktor for det samfundsøkonomiske resultat.

Forhold omkring konsekvenserne i det system som overløbsbygværket er en del af, er vigtige at medtage i en helhedsorienteret betragtning af de enkelte ombygninger. F.eks. om det har en negativ konsekvens for det bagvedlæggende afløbssystem, eller om man flytter udledninger andre steder hen i afløbssystemet, som man konstaterede i Odense.

Beslutning og realisering af reduktioner af miljøbelastningen fra overløbsbygværker, må bygge på et mere helhedsorienteret beslutningsgrundlag som vist i FIGUR 148.

Fokus i Giber Å oplandet har været anderledes end i de to andre oplande i projektet. Modsat de to andre oplande i projektet, hvor der er arbejdet med specifikke overløbsstrukturer er der i Giber Å oplandet arbejdet med hele den øvre halvdel af Giber Å og de forskellige typer af udløb til åen. Da investeringerne i centralisering og kloakseparation er foregået over flere årtier, ligger en detaljeret og konkret samfundsøkonomisk analyse for investeringer og gevinster i Giber Å uden for dette projekts rammer og mål. En mere omfattende analyse ville skulle til, for at lave en samfundsøkonomisk beregning. Ofte omtales Giber Å oplandet som "et løst problem", men som rapporten her viser, så har separationen af kloaksystemet også nogle følgeeffekter på vandløbet. Det kan være viden at hente for hele vandsektoren ved at foretage en mere dybdegående retrospektiv analyse med fokus på læring og perspektiver til fremtidige investeringer i andre vandoplande.

Samlet kan konkluderes at,

- Renovering og ombygninger af overløbsbygværker kan have både positive og negative samfundsøkonomiske konsekvenser.
- Omkostninger ved renoveringsprojekter af overløb inkluderer anlægsomkostninger, driftsomkostninger og samfundsomkostninger som klimaafttryk og luftforurening.
- Miljøgevinster som reducerede udledninger af kvælstof og fosfor kan prissættes og dermed bidrage til de samfundsøkonomiske analyser. Denne prissætning er varierende og afhængig af det konkrete opland.

- Gevinster der ikke kunne prissættes og dermed ikke indgå i den samfundsøkonomiske beregning er f.eks. miljøeffekter i vandløbene, et evt. bedre arbejdsmiljø for driftsmedarbejderne etc.
- Analysen viser behovet for en helhedsorienteret tilgang, der tager hensyn til forskellige faktorer som vandløbsmiljø, rekreative værdier og arbejdsmiljø.
- Samfundsøkonomiske analyser af renoveringer af overløbsbygværker bør baseres på nøjagtige værdisætninger og realistiske antagelser for at opnå mere pålidelige resultater.
- Et opland hvor der er investeret massivt i nedbringelse af negative miljøbelastninger ved bl.a. separat kloakering og dermed fjernet overløb med urensset spildevand, viser stadig manglende målopfyldeelse i dele af vandløbssystemet.
- Da investeringerne i centralisering og kloakseparation i et opland er foregået over flere årtier, opfordres til en detaljeret og konkret samfundsøkonomiske analyse for investeringer og gevinster i Giber Å, hvilket var uden for dette projekts rammer og mål.

11.5 Effekter i forhold til verdensmål

Arbejdspakke 4 har til formål at udvikle en model eller et koncept til i forhold til bæredygtighed og verdensmål.

I første halvår af 2021 var denne del af arbejdspakken primært varetaget ved en observerende rolle i forhold til projektets indledende forventningsafstemninger og beslutninger for projektet hovedleverancer i de andre arbejdspakker. Det blev italesat vigtigheden af at forholde sig til bæredygtighed i projektets processer, valg og beslutninger, dog uden at fastsætte rammer og målsætninger for hvorledes dette håndteres i projektet.

Projektets partnere blev i 2021 bedt om at forholde sig til hvor de ser projektet, deres bidrag og aktion i forhold til ambitioner om bæredygtighed, i henhold til bæredygtighedstrappen (se FIGUR 154).



FIGUR 154. Bæredygtighedstrappen til fastlæggelse af et projekts ambitioner på bæredygtighed og verdensmål (COWI, 2021).

Ved en stor fælles workshop blev arbejdet omkring bæredygtighed og verdensmål iværksat. Inden workshoppen er de forskellige arbejdspakker i projektet bedt om at forholde sig til- og reflektere lidt over projektet i forhold til potentialer og udfordringer omkring bæredygtighed og

verdensmål. Det kan både være hele projektet, dele af projektet, en komponent eller noget helt fjerde - og Bæredygtighedstrappen kan anvendes som rammesætning/udgangspunkt. Følgende emner og refleksioner blev fremsat:

- Vi må ikke ende med at bæredygtighed og verdensmål blot er nogle "klistermærker" uden indhold og dybde
- Der er forskel på og behov for fokusering på f.eks. anlæg, styring, rensning
- Klimaændringer – hvilken effekt kan/vil det have, en faktor vi skal inddrage
- Hvor får man mest ud af reduktionerne
- En drøm at vi har påvirket og flyttet noget lovgivning
- Passiv jf. Bæredygtighedstrappen pga. samfundsøkonomien
- Kan ikke retfærdiggøre forholdsvis større udgifter for at skabe mere bæredygtige løsninger
- Gør vi det rigtige ting
- Vi skal kunne dokumentere effekterne
- Vi skal flytte noget i verden
- Bidrage til en bedre vandkvalitet i ferskvand og kystvand
- Bidrage til udvikling af metoder til håndtering af klimaændringer
- Bidrage til at stoppe tabet af biodiversitet

Herefter blev der gennemført et procesforløb ved brug af COWIs Verdensmåls spil, som er et dialog- og prioriteringsværktøj, der kan kickstarte arbejdet med bæredygtighed og verdensmålene. Formatet og processen giver et kendskab til verdensmålene og de tilhørende delmål og sikrer en fælles dialog, sprog og vidensdeling omkring bæredygtighed og verdensmålene. Gennem spilleprocessen udfordres man af til- og fravalg af verdensmål samt augmentation og begrundelse for de verdensmål og bæredygtighedsemner man ønsker at prioritere i projektet. Der afsluttes med, for de udvalgte del-verdensmål, at redegøre for "hvad gør vi allerede nu" samt "hvad ønsker vi at igangsætte" samt hvem er ansvarlig for "next step". Dette sker ved udfyldelse af et handlekort og handlemulighed for de prioriterede indsatser.

Projektdeltagerne blev opdelt i 2 grupper. Hver gruppe arbejdede sig frem til de delmål (bruttolisten) som man kunne finde konsensus og enighed om i gruppen. Herefter blev grupperne pålagt en yderligere fokusering på få (2-3) udvalgte delmål som de vurderede som de vigtigste for projektet, og for disse udfyldes et handlingskort.



FIGUR 155. Kortlægning og udvælgelse af relevante verdensmål og deres delmål, samt dialog omkring verdensmål og bæredygtighed i to grupper samt fremlæggelse i plenum.

TABEL 27. Udvalgte verdensmål for projektet.

	Brutto - verdensmål/delmål	Netto Udvalgte Verdensmål/delmål med mulighed for handling
Gruppe 1	2.4	9.1
	3.3	17.18 + 17.19
	8.9	6.3
	11.5 - 11.6	6.6
	13.1 - 13.3 - 13B	
	14.1 - 14.2 - 14A	
	15.5 - 15.9 - 15B	
Gruppe 2	3.3	15.9
	6.3 - 6.6 - 6A - 6B	17.6
	11.6 - 11A	
	13.3	
	14.1 - 14.4	
	15.1	
	16.6	
	17.7	



FIGUR 156. Udvalgte verdensmål/delmål for gruppe 1 (øverst) og gruppe 2 (nederst).

TABEL 28. Udvalgte verdensmål/delmål og handlingskort for begge grupper.

Verdensmål	Delmål	Delmål titel	Hvad gør vi allerede? Hvilke planer, strategier og handlingsplaner understøtter indsatsen?	Hvad ønsker vi at igangsætte (handler)? Og med hvilke mål?
6	6.3	Inden 2030 skal vandkvaliteten forbedres ved at reducere forurening, afskaffe affaldsdumping og minimere udslip af farlige kemikalier og materialer, og halvere andelen af ubehandlet spildevand og væsentligt øge genanvendelse og sikker genbrug globalt.	Redegør for forskellige indsatser ved forskellige typer recipienter og overløbsbygværker	Hvad er årsagen til recipienttilstanden
	6.6	Inden 2020 skal vandrelaterede økosystemer, herunder bjerge, skove, vådområder, floder, grundvandsbassiner og søer beskyttes og gendannes.	Forsøger at reducere forureningen Italesætte kilder og årsager	Italesætte kilder og årsager
9	9.1	Der skal udvikles pålidelig, bæredygtig og robust infrastruktur af høj kvalitet, herunder regionale og grænseoverskridende infrastruktur, for at støtte den økonomiske udvikling og menneskelig trivsel, med fokus på lige adgang for alle til en overkommelig pris	Vi bruger en del beton Men løsningerne skal være mere bæredygtige	Hvor små ombygninger omkostningseffektive ombygninger og indsatser kan vi lave
15	15.9	Inden 2020 skal der integreres økosystem- og biodiversitetsværdier i national og lokal planlægning, i udviklingsprocesser, og i fattigdomsbekæmpelsesstrategier og redegørelse	1) Oplandsanalyser å input til vandplaner 2) PULS indberetninger. Vandkvalitet Hændelser	
	17.6	Der skal forbedres Nord-Syd-, Syd-Syd- og det regionale triangulære samarbejde samt det internationale samarbejde omkring, og adgang til, videnskab, teknologi og innovation, og øges vidensdeling igennem gensidige aftalte vilkår, herunder forbedret koordinering af eksisterende mekanismer, især på FN-niveau, og gennem en global teknologi-faciliteringsmekanisme.		1) åbner projektets data (evt. direkte fra målerne) 2) sikre at vores viden kommer ud og videns deles og er værdigivende efter projektet

Verdensmål	Delmål	Delmål titel	Hvad gør vi allerede? Hvilke planer, strategier og handlingsplaner understøtter indsatsen?	Hvad ønsker vi at igangsætte (handlinger)? Og med hvilke mål?
17	17.18	Teknologibanken og videnskab-, teknologi- og innovationskapacitets-opbygningsmekanismer skal igangsættes for de mindst udviklede lande inden 2017, og der skal ske en øget brug af støtteteknologier, især informations- og kommunikationsteknologier	Afprøver sensortyper Afprøver forskellige placeringer og typer bygværker Dryp Prøvetagning og oplandsanalyser Test – PULS indberetningsniveau	Bedre datadeling mellem kilder Usikkerhedsniveauer i PULS
	17.19	International støtte til implementering af effektiv og målrettet kapacitetsopbygning i udviklingslande skal styrkes, for at støtte nationale planer til implementering af verdensmålene for bæredygtig udvikling, herunder gennem Nord-Syd-, Syd-Syd- og triangulært samarbejde.		

Verdensmål 6, 9, 15 og 17 er de verdensmål som det samlede projektpartnerskab udpegende, og for hver af disse verdensmål valgte specifikke delmål, 7 stk. i alt (se TABEL 18). Med de enkelte delmåls titel og definitioner er der redegjort for man allerede gør samt hvilke planer, strategier og handleplaner der understøtter indsatsen, samt hvad man ønsker at igangsætte at tiltag eller handlinger.

Efter udpegning af de verdensmål/delmål, som blev vurderet relevante og vigtigste ifht dette projekt, er der lavet en kortlægning af reference- og målpunkter i en dansk kontekst til de specifikke verdensmål.

"Gør Verdensmål til Vores Mål"¹⁵ fra 2020 med de danske målepunkter er en præcisering af og et supplement til verdensmålene og de 231 såkaldte globale indikatorer eller målepunkter, der er formuleret af FN. De danske målepunkter er skabt indenfor rammen af de 17 verdensmål for at understrege, at der er brug for både global og lokal handling. De danske målepunkter, som denne rapport handler om, er resultatet af projektet Vores Mål. Samtidig med, at rapporten udgives, kan data vedrørende en del af de danske målepunkter også findes på Danmarks Statistiks Verdensmål Dataplatform, og med tiden vil der være data for alle de danske målepunkter på denne Dataplatform.

Rapporten præsenterer for de enkelte verdens delmål, de enkelte målepunkter med en begrundelse for, hvorfor det er relevant at opgøre; en tendens, der beskriver udviklingen i målepunktet i perioden 2015-2019 (perioden er nogle steder justeret på grund af datatilgængelighed); og en figur med en baseline, der viser den nævnte udvikling. Ligeledes

¹⁵ [VoresMaal.pdf \(dst.dk\)](#)

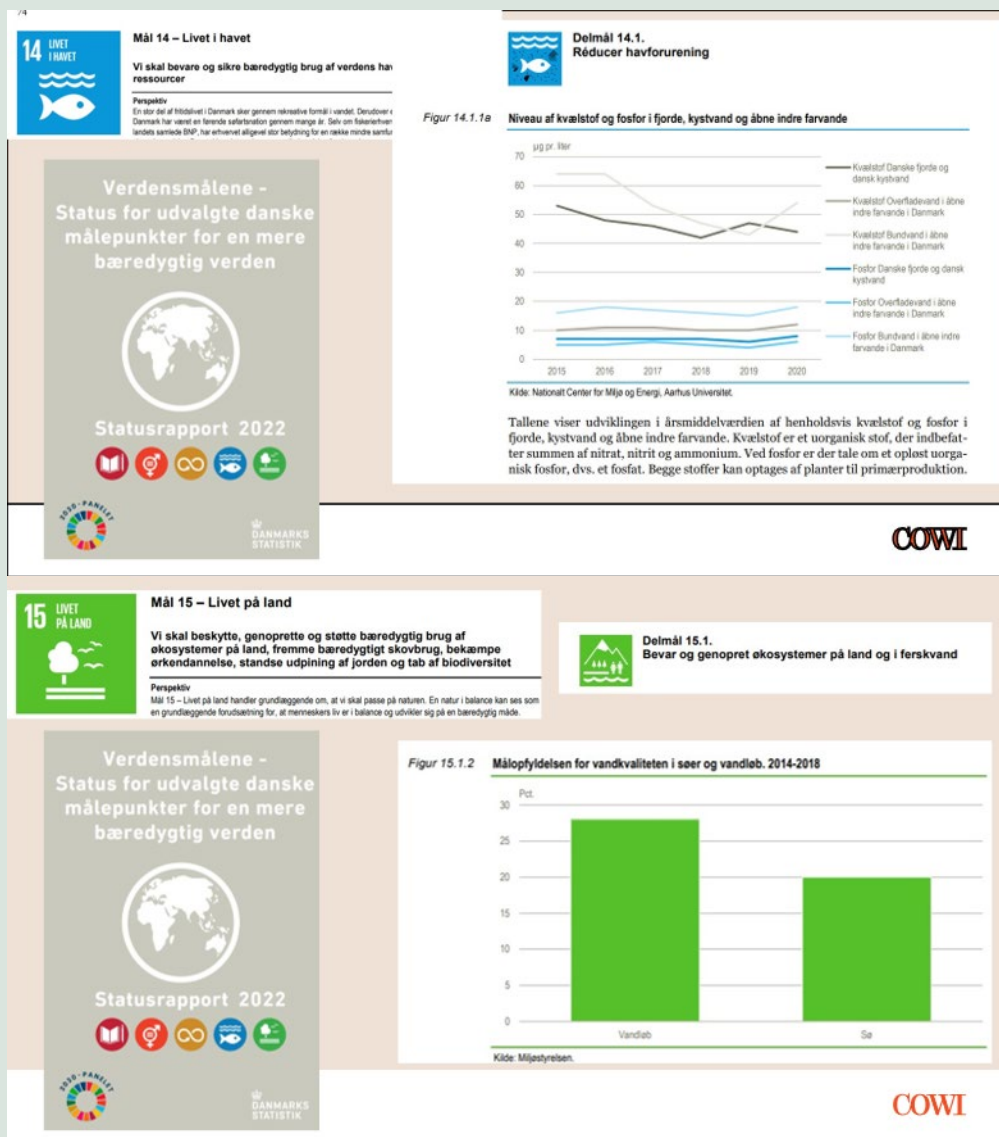
fremsættes forslag til mulige danske målepunkter, som er forsøgt relateret til OVERLØB (se FIGUR 157). Der er p.t. ikke fremsat konkrete målepunkter som er i direkte relation til overløb, men det er i 2020 forslået som "øvrige forslag" til målepunkt for verdens delmål 6.3 (se FIGUR 157).



FIGUR 157. Med henvisning til VoresMaal.pdf (dst.dk) forslag til danske målepunkter, her delmål 6.3 vurderet relevant (røde kasser) i forhold til OVERLØB.

I forbindelse med SDG-Statusrapport 2022 fra Danmarks Statistik¹⁶ er der i 2022 fremlagt verdens delmål som indirekte kan relateres til projektet. For verdensmål 14.1 som måler på N og P udledninger til fjorde, kystvand og indre farvande, samt delmål 15.1 der måler på målsætningsopfyldelse af vandkvaliteten i søer og vandløb i forhold til bevar og genopret økosystemer på land og i ferskvand (se FIGUR 158).

¹⁶ [SDG-Statusrapport 2022.pdf \(dst.dk\)](#)



FIGUR 158. Med henvisning til SDG-Statusrapport 2022 fra Danmarks Statistik¹⁷ er niveau for N og P i fjorde, kystvand og åbne indre farvande omfattet af delmål 14.1, samt målopfyldeelse af vandkvaliteten i og vandløb omfattet af delmål 15.1 Bevar og genopret økosystemer på land og i ferskvand.

Af 2030-panelets Verdensmålsrapport¹⁸, som er seneste afrapportering, fremgår der ikke direkte eller relevante forhold eller verdensmål i relation til selve overløb. Men enkelte delmål som 14.1 og 15.1, her er overløb en del af de mange bidrag og faktorer, som påvirker disse målepunkter. Men 2030 panelet skriver "*Verdensmålene udgør en holistisk ramme, som ikke kun har til formål at løse enkeltstående problemer inden for hvert mål, men samtidig har til formål at synliggøre, at den bæredygtige omstilling er en sammenhængende opgave, der går på tværs af de enkelte mål. Danmarks forpligtelser på Verdensmålene er globale og går i høj grad også på tværs af generationer*".

¹⁷ [SDG-Statusrapport 2022.pdf \(dst.dk\)](#)

¹⁸ [2030-panelets-Verdensmaalsrapport-2023_2024.pdf](#)

11.5.1 Opsamling på verdensmål og bæredygtighed

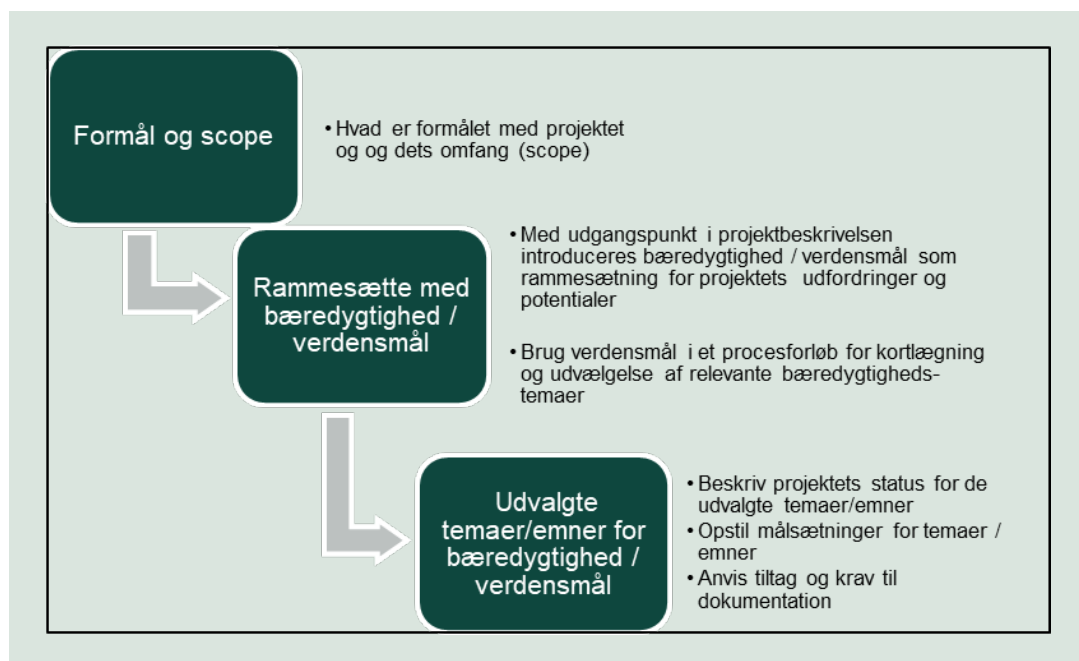
Formålet med arbejdet omkring verdensmål var at afsøge en model, koncept eller tilgang der kan understøtte og bidrage med et større fokus på bæredygtighed og verdensmål i arbejdet med overløb.

Erfaringerne viste at et faciliteret forløb, og i dette tilfælde ved brug af COWIs verdensmåls spil som rammesætning og struktur, resulterede i gode og værdiskabende dialoger og diskussioner på tværs af alle projektparterne. Der var mange relevante og værdiskabende dialoger som gav anledning til at belyse projektet fra mange forskellige vinkler, som f.eks. data, materialeforbrug, vandkvalitet, vandløbsmiljø, arbejdsmiljø etc. Så verdensmål som rammesætning understøttede et åbent dialogforum for at alle kunne italesætte sine bekymringer og forhold som var vigtige. Processen viste sin styrke ved at "tvinge" deltagerne til at skabe konsensus omkring de udvalgte verdensmål som blev sat i relation til det konkrete projekt.

Efterfølgende er de udvalgte verdensmål forsøgt sat i relation til målbarhed og dokumentation i en dansk kontekst. P.t. vurderes der ikke at være målpunkter for verdensmålene som kan sættes direkte 1:1 i relation til overløb. Men der er fundet enkelte verdensmål/delmål hvor, overløb er en del af de mange bidrag der påvirker de opsatte verdensmål/delmål. Men overløb er ikke et direkte verdensmål/delmål målepunkt.

Gennem projektets løbetid over 4 år, fra ansøgningen i 2020 til afslutningen af projektet i 2024, er verdensmål aftaget i generel fokus og opmærksomhed. Verdensmålene fremstår i dag mere som overordnede ambitioner og ledestjerner for danske kommuner og forsynings strategier, ikke som direkte målbare og dokumenterbare enheder. Derimod er fokus på bæredygtighed som begreb og fokusområde intensiveret voldsomt gennem de sidste 4 år.

På baggrund af dette projekt vurderes det at verdensmål kan bruges som rammesætning for dialog omkring et projekt eller en dagsorden, samt som prioritering af relevante/vigtigste bæredygtighedsemner. De kan benyttes til at udfolde og åbne variationen af de bæredygtighedstemaer der kan vurderes relevante i den konkrete kontekst.



FIGUR 159. Trinvis proces med inddragelse af verdensmål og bæredygtighed ind i et projektforsløb.

12. Arbejdspakke 5: Formidling og forretningsgørelse

12.1 Vidensdeling

I forbindelse med formidlingen og forretningsgørelsen blev der udarbejdet en kommunikationsplan. Kommunikationsplanen præciserede strategierne for at komme ud med projektets budskaber i relevante fora.

Aktiviteterne i kommunikationsplanen var at udbrede projektets resultater og skabe ændringer i vores måde at analysere og håndtere overløb på. Formålet med projektet kommunikation var derfor, blandt andet at bidrage til:

- At styrke vidensniveauet om overløb generelt i branchen og i den akademiske verden.
- At udbrede "plug&play-løsninger" til reduktion af overløb hos forsyninger i både ind- og udland.
- At give beslutningstagere (politikere m.v.) en nuanceret og kvalificeret forståelse af overløbsproblematikken – så de fastsætter rammer, hvor vi kan levere de rigtige/bedste løsninger ift. overløb.

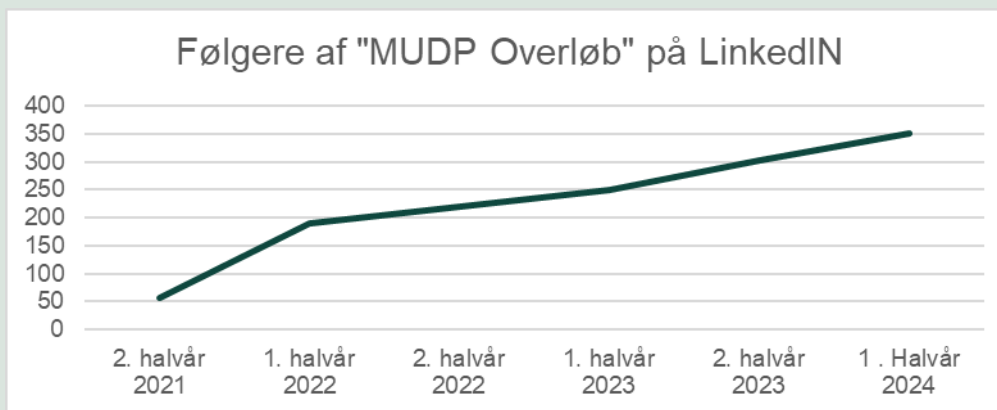
Målgruppen for projektet kommunikation var de danske spildevandsselskaber, udenlandske forsyninger, universiteter / viden institutioner, politikere / beslutningstagere.

Den primære kommunikationsplatform for projektet har været LinkedIn¹⁹, hvor der er blevet kommunikeret omkring projektet og reklameret for de konferencer og webinarer, og hvor projektets resultater blev fremlagt. Ved projektets start, blev der sat en målsætning om, at det var ønskeligt at komme op på knap 2000 visninger af relevante opslag.

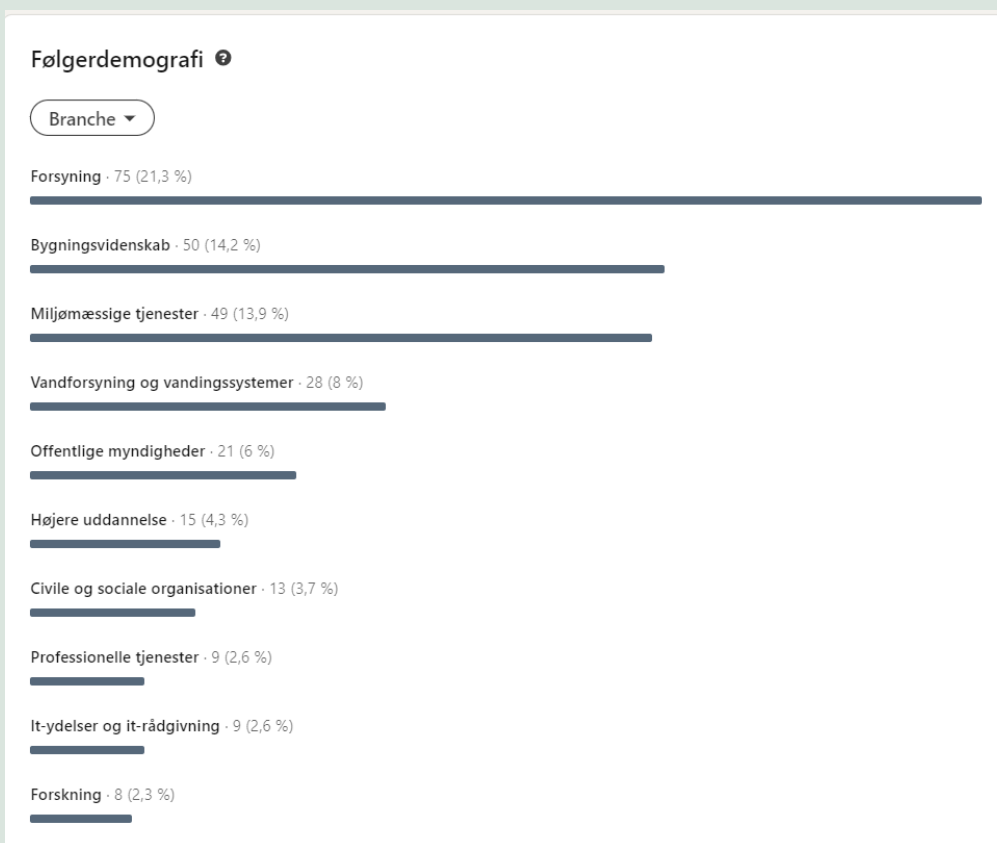
Ved projektets slut, blev projektets LinkedIn side fulgt af 350 følger, der er i høj grad dækkede projektets målgruppe. Gennemsnitligt havde opslagene knap 700 visninger og en engagementsprocent på 10%, målsætningen på de 2000 visninger blev opnået en enkelt gang.

Det var første gang man i projektgruppen brugte LinkedIn aktivt til at kommunikere omkring et udviklingsprojekts resultater og overordnet har man været tilfreds med at bruge af mediet og feedbacken har ligeledes været positiv.

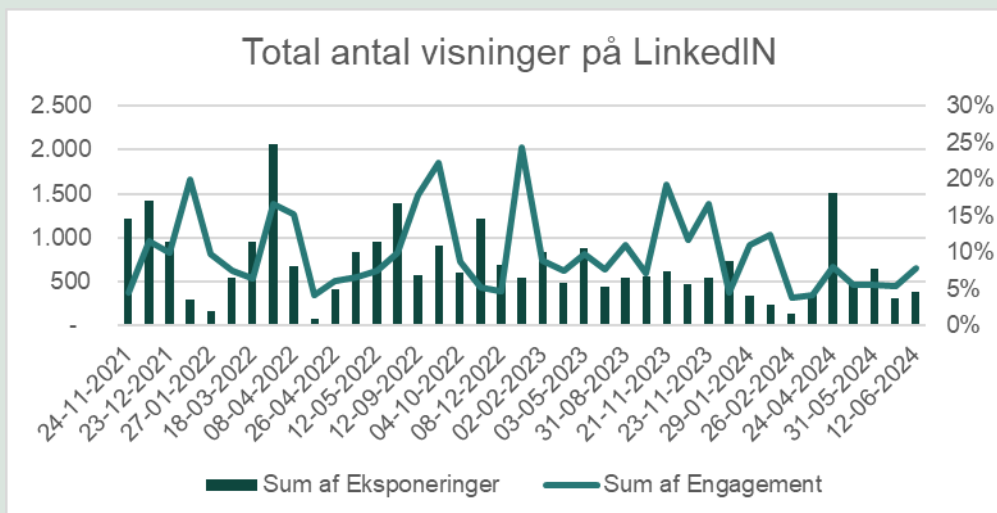
¹⁹ [LinkedIn - MUDP Overløb](#)



FIGUR 160. Antallet af følger på LinkedIn.

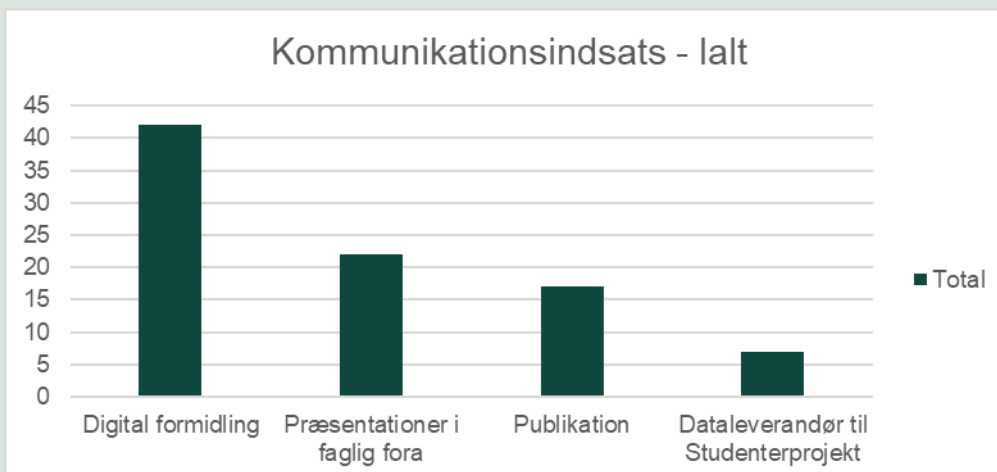


FIGUR 161. Data fra LinkedIn over hvilke brancher de ca. 350 følgere repræsenterer.



FIGUR 162. Der er i løbet af projektperioden lavet 41 opslag på LinkedIn.

Udover at formidle igennem projektets LinkedIn side, er der blevet afholdt 14 oplæg på forskellige konferencer igennem projektperioden, afholdt 4 webinarer og udgivet en podcast omkring forskellige dele af projektet.



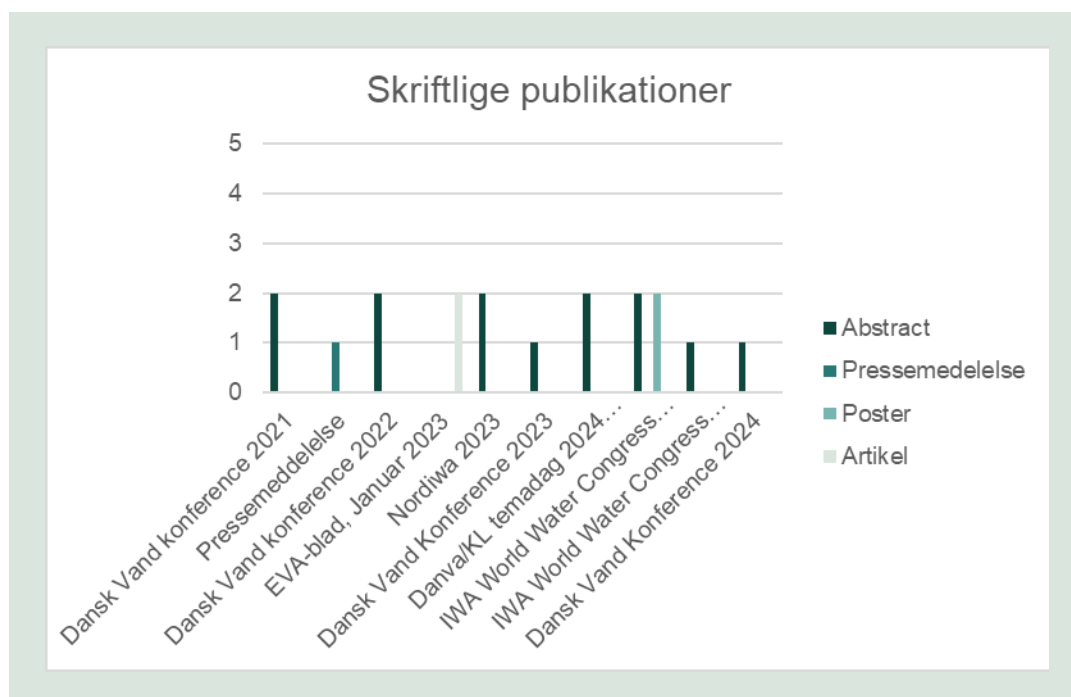
FIGUR 163. Opgørelse over hvilken kommunikationsindsats der er blevet lavet igennem projektet.

Der er blevet udarbejdet abstracts, posters og artikler igennem projektet, og i forbindelse med afslutningen af projektet forventes der yderligere artikler fra universiteterne, i takt med at resultaterne må offentliggøres.

Rækkemærkater	Antal af Type
• Digital formidling	42
• Præsentationer i faglig fora	22
• Oplæg	20
• Dansk Vand konference 2021	2
Monitorering af overløbsbelastninger og recipientpåvirkning	1
Stof og volumen optimering af overløb med surrogatmodeller	1
• Dansk Vand konference 2022	3
Ombygning af bygværker for mindre recipientpåvirkninger	1
Reduktion af fosfor og partikulær forurening i overløbsvand	1
Klimatilpasning, Verdensmål og Cop 27 - set i sammenhæng	1
• Dansk Vand Konference 2023	1
Reduktion af Overløb - med fokus på bæredygtighed/verdensmål	1
• DANVAs overløbsnetværk	1
OVERLØB - Datadrevne løsninger til reduktion af miljøeffekter	1
• EVA-temadag: Overløb - Har vi Styr på dem?	3
CFD-modellering og 3D-scanning af overløbsbygværker	1
Reduktion af fosfor mm i overløbsvand ved tilsætning af hjælpestoffer opstrøms overløbsbassin	1
Udfordringer med at måle overløbsbelastning	1
• EVA-temadag: Vandhåndtering - Udlledning og Naturgenopretning	1
Samlet påvirkning af udlledninger til de enkelte recipienter	1
• Ferskvandscentret	1
Kursus	1
• Nordiwa 2023	1
Reduction og impacts in recipients from CXS's by ude of data driven solutions	1
• Spildevandsteknisk forening, Døgnekursus	1
Overløb	1
• Vandforum	1
Online overvågning af udlledninger af vand og stof for punktkilder	1
• Webinar	4
Webinar 1: Introduktion til MUDP Overløb	1
Webinar 3: Sedimentationsforsøget	1
Webinar 2: MUDP Overløb - måleteknik	1
Webinar: Virtuelt Abent Bygværk	1
• Workshop Summary: Mixing processes in pipes, sewers and the natural environment from theory to practice	1
Travel time for in sewer tretment	1
• Poster	2
• IWA World Water Congress & Exhibition 2022	2
A streams perspective on combined sewer overflow and other discharges	1
Reduktion of environmental impacts from CSD's in recipient by use of data driven solutions	1
• Publikation	17
• Dataleverandør til Studenterprojekt	7
Hovedtotal	88

FIGUR 164. Opgørelse over hvilke Konferencer og indlæg der er blevet afholdt.

I forbindelse med projektet er der indsamlet mange data. Flere af disse oplands- og måledata har med andre vinkler end projektets, kunne bruges som datainput til studieprojekter både på Syddansk Universitet og Aalborg Universitet, lige fra semesterprojekter til bachelorprojekter. Projektet har hermed bidrager til at udvikle de studerende og øge kendskabet til området, ved at de studerende har fået faktuelle data at arbejde med under studiet. Indtil projektets afslutning har projektet leveret eller i gang med at levere data til 7 studieprojekter.



FIGUR 165. Opgørelse over skriftlige publikationer i projektet.

Der er i projektet udarbejdet en del skriftlige abstracts til konferencer, derudover er der publiceret to konkrete artikler i Spildevandskomiteens EVA blad i januar 2023²⁰ omkring projektet: "CFD-modellering og 3D-scanning af overløbsbygværker" og "Udfordringer med at måle overløbsbelastning".

12.2 Webinarer og podcasts - Åbent Bygværk

En af leverancerne i projektet var at afholde et såkaldt "Åbent Bygværk", hvor fagfolk kunne komme ud og se hvilke ombygninger der var blevet foretaget.

I takt med at ombygningerne blev konkretiseret, blev det dog vurderet, at ikke var arbejdsmiljømæssigt forsvarligt, der ikke var nok at se på ved én enkelt ombygning og afstanden mellem de forskellige ombygninger/lokaliteter var for stor til at man kunne skabe indhold nok til en temadag.

Det blev i stedet for planlagt at holde "Åbent overløb" som et webinar, med fokus på ombygningerne, da det tidligere i projektet havde været afholdt webinarer med god deltagelse. Der var 45 deltagere i webinaret "Åbent Bygværk"²¹.

Ud over webinaret "Åbent Bygværk" er der i løbet af projektet blevet afholdt yderligere tre webinarer. Disse har handlet om 1) Introduktion til projektet²², 2) Måleprincipper og metodikker²³ og 3) Sedimentationsforsøget²⁴.

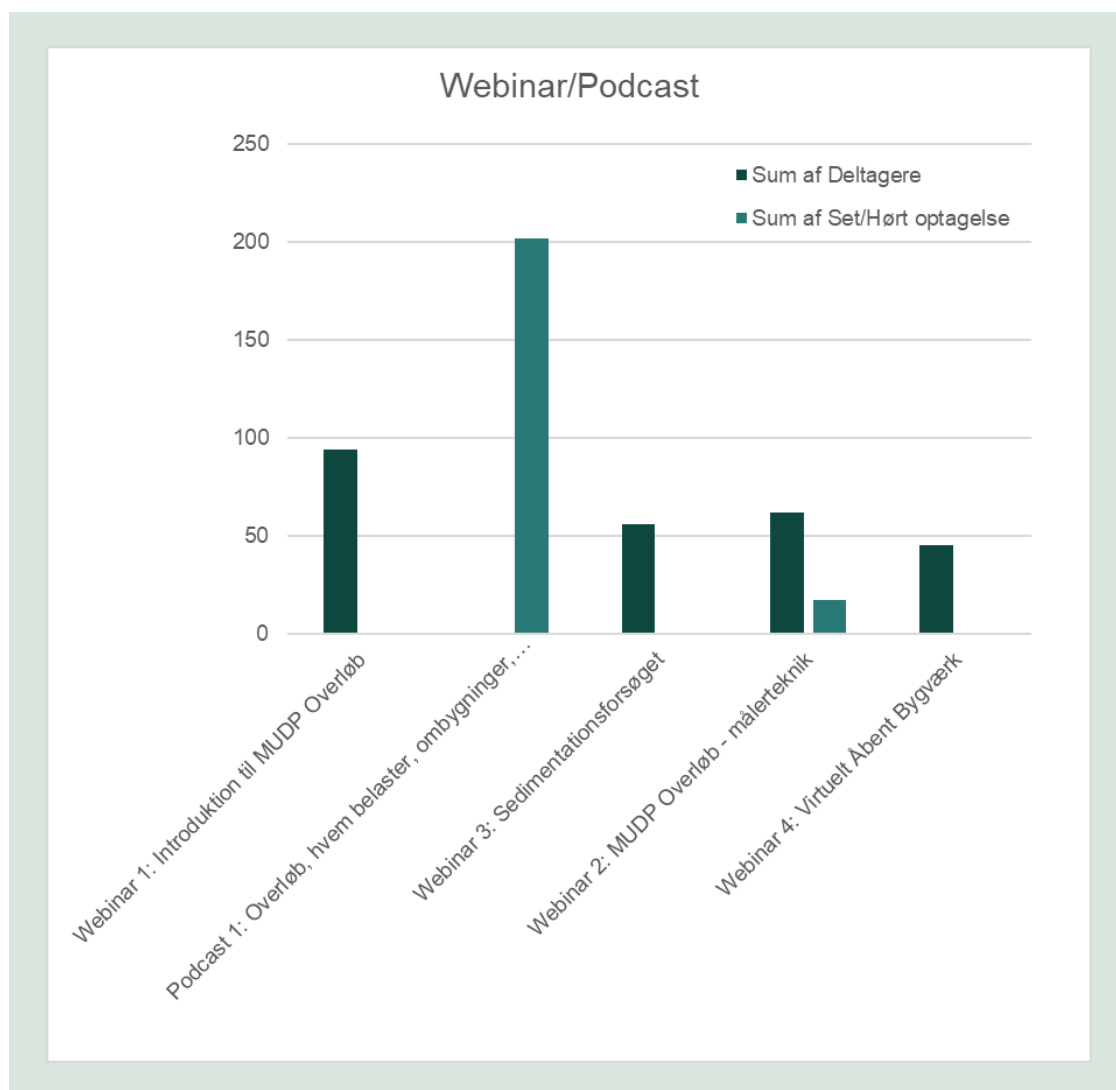
²⁰ EVA blad, nr. 01, januar 2023

²¹ Webinar - Åbent Bygværk, fokus på ombygningerne

²² Webinar - Introduktion til MUDP Overløb

²³ Webinar - Måleprincipper og metodikker

²⁴ Webinar - Sedimentationsforsøg



FIGUR 166. Oversigt over afholdte webinarer samt Podcasts i forbindelse med projektet, samt antal deltagere/aflytninger.

I efteråret 2023 udgav projektet en podcast²⁵ med fokus på overløb og resultater fra OVERLØB. I Podcasten deltog repræsentanter fra Novafos, Aalborg Universitet og Krüger. Vi vurderer at podcasten blev en succes med 202 afspilninger.

²⁵ Podcasten kan høres her: [Podcast](#)

OVERLØB - Datadrevne løsninger til reduktion af miljøeffekter fra overløb

"OVERLØB – Datadrevne løsninger til reduktion af miljøeffekter fra overløb" har haft til formål at kvantificere de hydrauliske og stofmæssige effekter fra spildevandssystemers overløb til recipienter.

Der blev installeret 156 sensorer på 91 målesteder til at måle vandstand, vandføring, temperatur og stofkoncentrationer. Selvom projektet involverede omkostninger til måleudstyr, gav det grundlag for bedre potentiale for at reducere effekter i recipienterne gennem præcist målrettede tiltag.

Projektet har sammenlignet PULS-indberetningsniveauer på usikkerhed og omkostninger. Softwaresensorer viste sig velegnede til brug på overløbs-bygværker med betydelig miljøpåvirkning, etableringsomkostningerne hertil er dog større. Screeninger på niveau 1 anbefales derfor til at identificere bygværker, der kræver dybere overvågning.

Der er udviklet metoder til at måle i recipienten for at undgå driftsmæssige ulemper ved målinger i afløbssystemet, men også for at fokusere på effekten i recipienten. Projektet demonstrerede pålidelig anvendelse af software-sensorer til at overvåge emissioner fra overløbsbygværker og målte kvælstof, fosfor og organisk stof.

Angående reduktionstiltag fokuserede projektet på reduktion af stofforurening fra overløb frem for antallet af overløbshændelser. Ombygninger af overløbsbygværker resulterede i betydelig reduktion af overløbsmængder og -frekvenser. Sedimentationsforsøg med jernklorid i rørsystemer viste, at eksisterende infrastruktur kan bruges til at binde opløst fosfor i partikler. En samfundsøkonomisk analyse af ombygninger af overløbsbygværker viste både positive og negative økonomiske konsekvenser. Nogle miljøgevinster som reduceret kvælstof og fosfor kan værdisættes, men det kan rekreative værdier og forbedringer i vandløbsmiljøet ikke, hvilket påvirker det samlede resultat. Ombygning af overløbsbygværker kan give miljømæssige gevinster, men en helhedsorienteret vurdering af effekter vandløbskvalitet bør inkluderes for at forstå de fulde konsekvenser.



Miljøstyrelsen
Lerchesgade 35
5000 Odense C

www.mst.dk