Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

LEAKman
Globale vandtab, danske løsninger

MUDP Rapport

Juni 2022

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:
NIRAS
DTU
HOFOR
Novafos
AVK
Kamstrup
Leif Koch
Grundfos
Schneider Electric

ISBN: 978-87-7038-425-4

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

Indhold

1.	**Introduktion og formål**	**5**
1.1	LEAKman – et MUDP fyrtårnsprojekt	5
1.2	Den globale baggrund og potentiale	5
1.2.1	Det danske udgangspunkt	7
1.2.2	Fra Leakage Management til et samlet ledelsessystem	7
1.2.3	Hvorfor danske demonstrationsfaciliteter?	8
1.3	Holdet bag LEAKman	8
1.3.1	Fælles platform	8
1.4	Projektets mål og arbejdspakker	9
2.	**Teknologiudvikling**	**10**
2.1	Teknologier udviklet i projektet	10
2.1.1	Ventildæksel med plads til støjlogger	10
2.1.2	Zoneventil med angivelse af lukkestatus	11
2.1.3	Værktøj til verificering af målerdata	12
2.1.4	Standardiseret dataudstilling	14
2.1.5	Softwareudvikling - IWA Vandbalance rapportering i HOMIS	14
2.1.6	Værktøj til beregning af vandbalance og Economic Level of Leakage (ELL)	15
2.1.7	Softwareudvikling – Aquis dashboards til støjloggervisning og trykoptimering	16
2.1.8	Softwareudvikling – kort-uploader til Almos Leak	19
2.1.9	Almos Leak med lydfil	19
2.1.10	Datakortlægning i HOFOR	20
3.	**Teknologidemonstration**	**22**
3.1	Fuldskala demonstration af lækage management	22
3.2	Udvælgelse af demonstrationsområder	24
3.3	Demonstrationsområder før LEAKman	28
3.4	Etablering af demonstrationsområder	28
3.4.1	HOFOR demonstrationsområder	30
3.4.2	Novafos demonstrationsområder	30
3.4.3	Frederiksberg Forsyning demonstrationsområder	31
3.4.4	Udfordringer ved etablering af demoområder	34
3.5	Teknologier	35
3.5.1	Støjloggere og Almos Leak	35
3.5.2	Ventil positioner	41
3.5.3	Smart meter vandmålere	43
3.5.4	Trykoptimering ved sektionsindgange (PRV)	49
3.5.5	Trykoptimering ved udpumpning (DDD)	62
3.5.6	Online hydraulisk modellering	64
3.5.7	Online ledelsesinformationssystem	67
3.6	Demonstrationsområderne efter LEAKman	73
3.6.1	Effekt på lækage og brudfrekvens i HOFOR	73
3.6.2	Effekt på lækage og brudfrekvens i Novafos	76
4.	**Vidensopbygning og kompetenceudbredelse**	**79**
4.1	Vidensopbygning	79

4.2	Kommunikation og formidling	80
4.2.1	Konferencer og messer	81
4.3	Marketing og salg	83
5.	**Konklusioner og perspektivering**	**84**
5.1	Betydningen for de deltagende virksomheder	84
5.2	Læring fra projektet til vandbranchen	89
5.3	Effekt af lækagemanagement og influerende faktorer	93
5.4	Det videre liv med demofaciliteterne	95
5.5	Fremtidige udviklingsområder	96
Referencer		**97**
Bilag 1.	**Værktøj til beregning af vandbalance og ELL**	**98**
Bilag 1.1	IWA Water Balance Report i HOMIS	98
Bilag 1.2	LEAKman Water Auditing Tool – Udfyldt med testdata fra Al Ain Distribution Company	98
Bilag 2.	**Consumption profiles**	**99**
Bilag 3.	**Zonegrænseventil**	**100**
Bilag 3.1	Produktblad: AVK Smart Water VIDI Cloud	100
Bilag 3.2	Produktblad: AVK Smart Water VIDI Positioner	100
Bilag 4.	**Datakortlægning i vandforsyningen**	**101**

1. Introduktion og formål

I projektet LEAKman er ni virksomheder og institutioner gået sammen for at demonstrere, hvordan man med forskellige teknologier effektivt kan kontrollere vandtab i vandforsyningen. De ni partnere har hver især leveret løsninger og viden inden for vandteknologi i adskillige år, men i LEAKman demonstreres en kombineret indsats mod vandtab med udrulning i fuldskala demonstrationsområder.

1.1 LEAKman – et MUDP fyrtårnsprojekt

Nærværende rapport vedrører projektet LEAKman med officiel titel "Globale vandtab, danske løsninger" i henhold til ansøgning under Miljøstyrelsens MUDP-ordning (Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram).

LEAKman er et fyrtårnsprojekt under MUDP, som blev tildelt i efteråret 2015 med et samlet budget på 43,8 millioner DKK og et bevilget maksimum støtteramme på 18,5 millioner DKK i projektperioden 2016.01.01 til 2021.06.30. LEAKman projektet har til formål at skabe en demonstrationsplatform for danske løsninger til at reducere tab af rent drikkevand, bidrage til at øge dansk eksport af løsninger indenfor vandtab samt at bane vej for udvikling af ny dansk vandteknologi. Projektet er et samarbejde mellem NIRAS, Kamstrup, Leif Koch, Grundfos, Schneider Electric, DTU, Novafos, HOFOR og AVK.

Danmark har et af verdens laveste vandtab, og vi har samtidig nogle af verdens bedste teknologikomponenter til begrænsning af vandtab. Eksportpotentialet er derfor meget stort for de danske teknologiproducenter, men vi mangler at kunne fremvise én samlet dansk vandtabsløsning med fuld integration af de bedste danske produkter, systemer, services og procedurer.

LEAKman skaber denne løsning i et samarbejde mellem en række førende danske produktions-, service- og videns virksomheder, som alle har en international fokus. Under LEAKman etableres to state-of-the-art demonstrationsprojekter på dansk grund i tæt samarbejde med de danske forsyningsvirksomheder Novafos og HOFOR. Desuden etableres en facilitet til demonstration af trykoptimering hos Frederiksberg Forsyning. Demonstrationsprojekterne vil dels kunne fremvise en vandtabsløsning med fuld integration af intelligente pumper, ventiler, målere, sensorer, datasystemer, hydrauliske modeller og ledelsesinformationssystemer, dels demonstrere state-of-the-art for dataindsamling til Asset Management i drikkevandsforsyninger.

1.2 Den globale baggrund og potentiale

Det er generelt erkendt, at vandtab globalt set er en af verdens væsentligste miljøproblemstillinger. Det globale vandtab vurderes at være i størrelsesordenen 40 % af den samlede udpumpede vandmængde, og der foreligger en lang række opgørelser over de økonomiske konsekvenser af dette med forskellige, men meget store tal – samtidig med, at der i meget store og voksende dele af verden er store problemer med vandmangel /1/. McKinsey har i en rapport fra 2010 vurderet, at de samlede omkostninger for at lukke gabet mellem forsyning af og behov for vand i verden vil beløbe sig til 50-60 mia. US$ pr. år over de næste 20 år, altså i alt over 1.000 milliarder US$ /2/. Der er således et enormt markedspotentiale internationalt på dette område.

40 %

Globale vandtab

7 %

Vandtab i Danmark
(Vand i tal 2021)

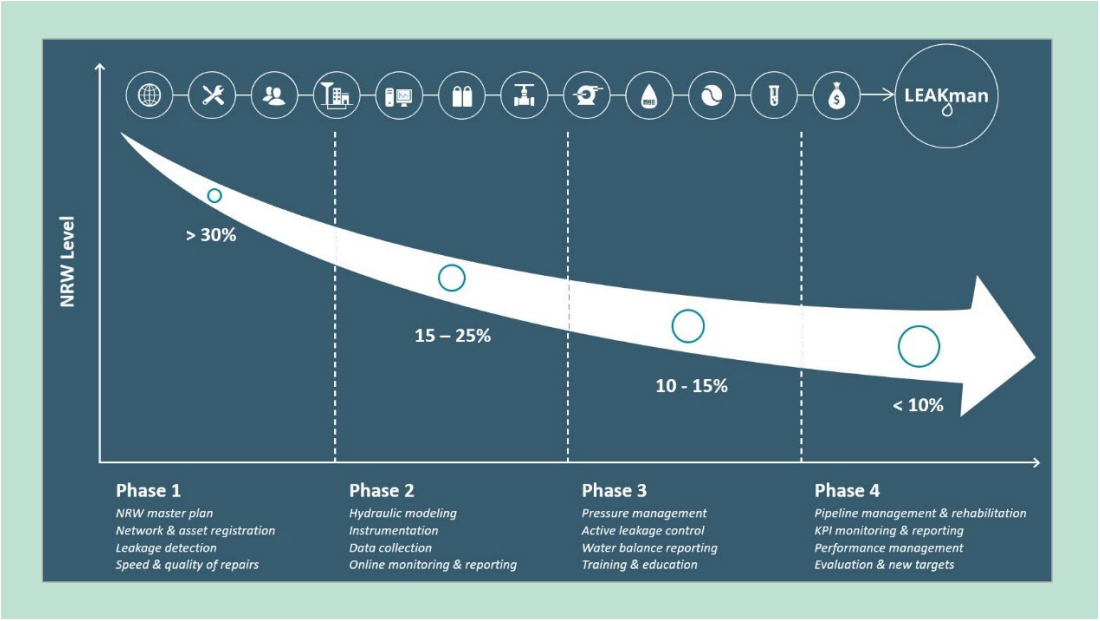
1.2.1 Det danske udgangspunkt

Danmark er internationalt kendt for at have meget lave vandtab. Denne danske position er imidlertid ikke baseret på en speciel højteknologisk tilgang til området i de danske forsyningsvirksomheder, men i høj grad på en langsigtet indsats med godt håndværk og god (dog ikke nødvendigvis økonomisk optimal) renoveringsplanlægning samt fokus på energibesparelser hvilket helt naturligt bidrager til at begrænse vandtabet, og naturligvis også skal indgå i en samlet løsning. Den langsigtede indsats skyldes i høj grad, at der i Danmark for år tilbage blev indført flere lovgivningstiltag med formål at reducere vandforbruget og reducere miljøbelastningen. For eksempel blev der lovgivningsmæssigt indført en betydelig afgift på vandtab over 10 %, hvilket har været en direkte effektiv tilskyndelseseffekt til at kontrollere og begrænse vandtabet. Der er imidlertid i dag højteknologiske muligheder for at få specielt lækagetabet reduceret til et meget lavt niveau, hvilket også giver mulighed for at arbejde med at finde det miljømæssigt og økonomisk optimale lækageniveau i den konkrete situation. Det er disse muligheder, som holdet bag LEAKman ønsker at udnytte og demonstrere i praksis.

1.2.2 Fra Leakage Management til et samlet ledelsessystem

Trods de ovenfor beskrevne muligheder er det en kendsgerning, at internationale forsyninger med store vandtab i høj grad alene fokuserer på kortsigtede tiltag, som reducerer lækagen her og nu, men som ikke sikrer en permanent og langsigtet reduktion. Flere projekter har dog vist, at et samlet højteknologisk Leakage Management-system giver det nødvendige overblik over den løbende status, tilstand og drift af hele forsyningssystemet og muliggør en koordineret indsats, der når hele vejen rundt om de klassiske/anerkendte Leakage Management discipliner; trykoptimering, aktiv lækagekontrol, effektivitet og kvalitet af reparationer samt planlagt vedligehold. Dermed udgør det også et fornuftigt grundlag for den generelle løbende overvågning, håndtering og ledelse af hele forsyningsvirksomheden, herunder planlægning, projekter og løbende drift og renoveringer, Asset Management etc.

FIGUR 1 beskriver i grafisk form konceptet i indholdet og processerne i den samlede LEAKman løsning, og hvordan et projektforløb for en international forsyningsvirksomhed typisk vil forløbe fra start til slut gennem fire stadier: Fra en begyndelsestilstand med højt vandtab gennem en generel oprydning med styr på arbejdsprocesser og organisering og en gradvist øget højteknologisk instrumentering med tilhørende ledelses- og organisationsudvikling, til en sluttilstand, hvor en kontinuerlig overvågning og et effektivt ledelsesinformationssystem sikrer konstant lavt vandtab og optimal drift.



FIGUR 1.1. Skitsering af LEAKman konceptet og et typisk projektforløb inddelt i fire faser.

1.2.3 Hvorfor danske demonstrationsfaciliteter?

Det er erfaringsmæssigt helt afgørende for succes at have gode fuldskala demonstrationsfaciliteter til rådighed i Danmark, som kan vises frem for at kunne sælge komplekse og avancerede løsninger internationalt i større skala. Det er derfor projektets hovedsigte at få etableret fuldskala demonstrationsfaciliteter hos de to medvirkende forsyningsvirksomheder.

1.3 Holdet bag LEAKman

For at kunne tilbyde den ønskede, samlede løsning til det internationale marked har LEAKman partnerskabet samlet et hold af danske virksomheder, som er førende på hver deres felt, både i Danmark og internationalt og med solide internationale referencer og salgsnetværk; Kamstrup, Leif Koch, Grundfos, Schneider Electric, DTU, Novafos, HOFOR, AVK og NIRAS. Desuden har Frederiksberg Forsyning stillet en enkelt lokalitet til rådighed for demonstration af en intelligent pumpestation.

Udover at skabe en samlet, komplet løsning på vandtabsproblematikken er målet også at skabe en robust men samtidig fleksibel løsning. Demonstrationsfaciliteterne er bygget op med komponenter (instrumenter, hardware, software mm.) fra projektets deltagere, men vil også kunne anvendes af andre virksomheder, da det centrale er helhedsløsningen. Denne vil ikke være afhængig af de deltagende virksomheders produkter, men vil kunne tilpasses andre leverandører og komponenter med en begrænset indsats. Dette er en nødvendighed for projektets deltagere, da de fleste potentielle kunder som oftest allerede vil have implementeret en eller flere af de involverede komponenter, som en dansk leverance af LEAKman derfor vil skulle tilpasses i den konkrete situation.

1.3.1 Fælles platform

Som et led i skabelsen af en fælles platform med fælles service- og produktbeskrivelse og som led i at understøtte den fælles dagsorden og identitet er det valgt at kalde det fælles projekt for ”LEAKman” en sammentrækning af ”Leakage Management” med tilhørende logo og designspecifikationer. Der er udarbejdet fælles salgs- og markedsføringsmateriale i form af power point-præsentationer, brochurer samt hjemmeside og LinkedIn-profil til kommunikation om projektet og formidling af opbygget viden og resultater.

FIGUR 1.2. Ledninger, ventiler, pumper, instrumenter og sensorer, simuleringsmodeller, ledelsesinformationssystem (MIS) mm. Idéen bag LEAKman er at systemerne skal fungere som ét integreret system.

1.4 Projektets mål og arbejdspakker

Der er i projektansøgningen defineret ni mål for projektet, og på baggrund af disse er projektet bygget op som ni arbejdspakker. Der er givet støtte fra MUDP til fem af målene/arbejdspakkerne, mens de øvrige mål/arbejdspakker gennemføres og finansieres af de deltagende virksomheder uden støtte fra MUDP.

TABEL 1. Oversigt over arbejdspakker med kort beskrivelse. Støttede arbejdspakker er markeret i kolonnen "MUDP-støtte".

Arbejdspakke	Kort beskrivelse	MUDP-støtte
1. Fælles Platform	Skabelse af fælles service- og produktbeskrivelse og indledende salgsmateriale.	
2. Initiel Marketing	Gennemførelse af indledende markedsføringsindsats.	
3. Specifikation & Udvikling	Specifikation og udvikling af fælles service-, system- og produktpakke.	✓
4. Design & Etablering	Udvikling, specificering og etablering af demonstrationsanlæg i Danmark.	✓
5. Drift & Vedligehold	Drift af demonstrationsfaciliteter, forsøg og analyser.	✓
6. Marketing & Salg	Videreførelse af fælles salgsindsats og skabelse af de første kommercielle projekter.	
7. Kommunikation & Formidling	Løbende, målrettet formidling af projektets forløb og resultater.	✓
8. Udvikling & Vækst	Fortsat skabelse af udvikling og vækst i de deltagende virksomheder – og generelt.	
9. Project Management	Overordnet fælles projektledelse og koordinering.	✓

I forhold til den løbende projektledelse og implementering af projektet er hver arbejdspakke inddelt i en række aktiviteter, som igen er underinddelt i et antal leverancer. Dette er dog alene af relevans for projektholdet.

2. Teknologiudvikling

Det er et stort og generelt problem i forsyningssektoren, at forskellige komponenter ikke altid spiller effektivt sammen, og at det reelle synergipotentiale mellem komponenterne ikke udnyttes optimalt. Den teknologiske nyhedsværdi i LEAKman ligger hovedsagelig i at integrere eksisterende elementer, der normalt optræder i isolerede siloer, i en samlet og højteknologisk løsning.

2.1 Teknologier udviklet i projektet

Som udgangspunkt er LEAKman projektet baseret på eksisterende produkter, systemer og services i partnerskabets virksomheder. Den teknologiske nyhedsværdi ligger derfor hovedsagelig i at integrere de eksisterende elementer, der normalt optræder i isolerede siloer, i en samlet og højteknologisk løsning. Det er et stort og generelt problem i forsyningssektoren, at indkøbte komponenter ikke spiller effektivt sammen, og at det reelle synergipotentiale mellem komponenterne ikke udnyttes optimalt.

Projektets hovedfokus er derfor udvikling af eksisterende produkter og systemer med henblik på standardisering og udvikling af interfaces mellem de enkelte komponenter, så de kommer til at udgøre en samlet og integreret løsning. Undervejs i projektet er der også opstået en række nye muligheder for yderligere tilføjelser til løsningen, som har medført decideret produkt- og systemudvikling.

I LEAKman regi anvendes generelt metoder og principper der følger eksisterende ”best practices” som er udarbejdet af de førende internationale foreninger inden for vandforsyning: IWA (International Water Association), AWWA (American Water Works Association) og SWAN (Smart Water Networks Forum). Dette er afspejlet i adskillige aktiviteter under projektet samt i den inkluderede udvikling.

Den gennemførte udvikling af teknologier og interfaces beskrives kort i det følgende.

2.1.1 Ventildæksel med plads til støjlogger

Allerede under ansøgningsfasen blev det klart, at der var et behov for udvikling af et nyt ventildæksel, der ikke bare skulle give adgang til ventilspindlen men også give plads til placering af en støjlogger og desuden være fremstillet af et kompositmateriale, der øger signalets udgangsstyrke fra støjloggeren. AVK har med indspil fra Leif Koch udviklet et sådant ventildæksel. AVK havde dækslet klar ved projektstart i 2016.

FIGUR 2.1. Eksisterende ventildæksler (venstre og midt) udskiftes til nye dæksler fra AVK for at få plads til støjloggeren (højre).

2.1.2 Zoneventil med angivelse af lukkestatus

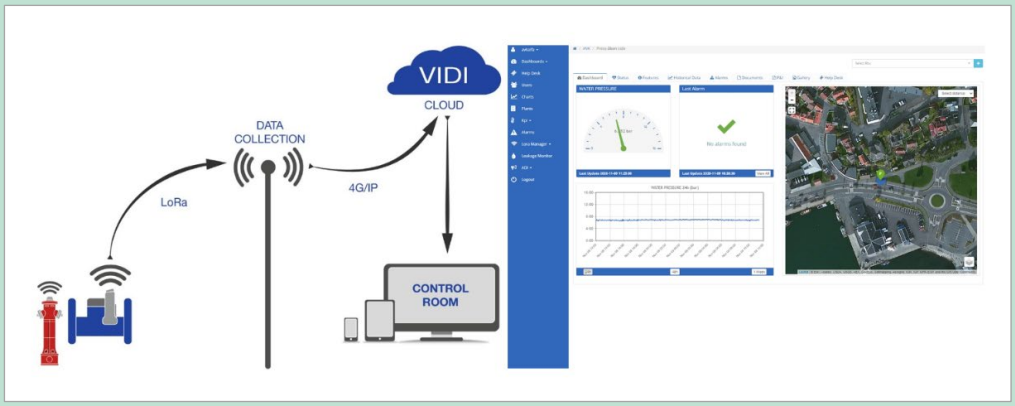
I forbindelse med sektionering og lækageovervågning er det vigtigt at sikre, at sektionsgrænserne er tætte, da åbne sektionsgrænser kan medføre, at lækagesøgning enten igangsættes på et forkert grundlag (umålt eksport af vand ud af sektionen) eller at lækagesøgning fejlagtigt ikke igangsættes (import af vand fra anden sektion uden om målerbrønd). Det er et udbredt problem, at zoneventiler (nødforsyningsventiler) ikke altid stilles korrekt tilbage til udgangspositionen, hvis de har været i brug i forbindelse med eksempelvis vedligeholdelsesarbejder eller renovering. Halvåbne ventiler, der leder (umålt) vand enten ind eller ud af sektionen, kan ofte være svære at finde, da operatøren fejlagtigt kan tro, at ventilen er fuldt lukket.

Der er identificeret et behov for en mekanisk zoneventil (sektionsventil), som selv kan meddele, hvorvidt den er åben eller lukket. AVK har under LEAKman udviklet en sådan statusindikator til skydeventiler, som er implementeret og testet på zoneventiler i HOFOR's demonstrationsområder. Med denne nye teknologi får man adgang til online digital information om ventilens position, fuld åben, fuld lukket eller delvis åben/lukket.

Teknologien består af en positioner (sensor), der ved brug af rotationsmåling af magneter måler antal rotationer på ventilspindlen og derved registrerer, hvilken position ventilen står i. Positioneren består af en fast del, der er fikseret under spindlen og en roterende del, der roterer sammen med spindlen.

FIGUR 2.2. Positioner montering (venstre) samt installationen og brug i Herlev området (højre).

Positioneren sender signal via radiokommunikation (i dette tilfælde LoRaWan) til en nærliggende gateway/antenne. Gatewayen sender via mobilnettet/internettet signalet videre til AVK's "VIDI Cloud", der er en web baseret dataplatform. Se datablad for positioner og VIDI Cloud i Bilag 3.



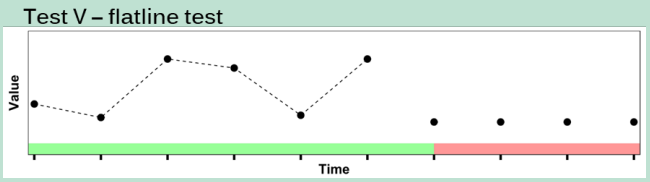
FIGUR 2.3. Dataopsamling fra positioner på skydeventiler til VIDI Cloud. Platformen er en cloud-baseret løsning, der er tilgængelig fra en standard webbrowser.

Der er desuden udviklet et API, så dataudveksling fra AVK's platform, "VIDI Cloud", til andre systemer er mulig, herunder til HOFOR's webGIS system KortInfo.

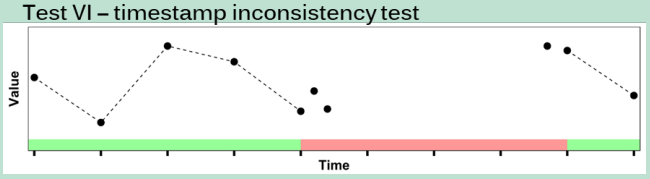
2.1.3 Værktøj til verificering af målerdata

I forbindelse med det til LEAKman tilknyttede Ph.D.. projekt, af Jonas K. Kirstein /4/, er der udviklet et databehandlingsværktøj til verificering af målerdata fra vandforsyningsnet. Formålet med dette værktøj er at hjælpe forsyninger med at identificere fejl i målerdata, så forsyningerne hurtigst muligt kan opdage og rette op på fejlene. Værktøjet indeholder i alt syv forskellige tests af datakvalitet og er beskrevet i detalje i /3/ og /4/.

To ud af de syv implementerede datatests er illustreret i FIGUR 6.



Test V - flatline test - finder målerdata, hvor den samme værdi er blevet observeret over en længere periode.

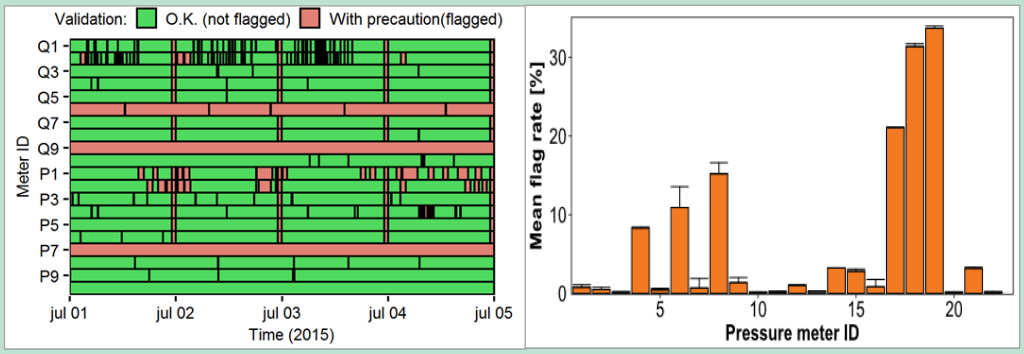


Test nr. VI - timestamp inconsistency test - identificerer målerdata, hvor dataindsamlingsintervallet, f.eks. minutdata, pludselig ændrer sig.

FIGUR 2.4. To tests fra valideringsværktøjet til at identificere typiske fejl i vandmålerdata. Se /3/ for en detaljeret beskrivelse af værktøjet.

I Ph.D. projektet blev valideringsværktøjet brugt til at analysere tre års flow- og trykdata fra HOFOR's og Novafos' ledningsnet samt data fra yderligere en dansk vandforsyning. Analysen viste, at omkring 10 % af de indsamlede målerdata var fejlbehæftede. I én forsyning var det op

til 35 % af alle flowmålinger, der var fejlbehæftede. Den største del af de observerede målerfejl blev identificeret af test V og test VI, FIGUR 6. Disse udgjorde en så stor del af datamængden, fordi fejlene er opstået tidligt og ikke blev opdaget af forsyningerne, og derfor har været aktive over en længerevarende periode. Der blev også fundet andre fejl, såsom 'drivende' tidsstempler eller målinger udenfor fysisk mulige grænseværdier. Dette er beskrevet detaljeret i /3/ og /4/. Antallet af fejl ville kunne blive reduceret ved at integrere valideringsværktøjet med dataindsamlingen og dermed opdage og udbedre fejlene med det samme, de opstår. Et eksempel på anvendelsen af valideringsværktøjet i en mere operationel sammenhæng illustreres i FIGUR 7.



FIGUR 2.5. Operationel visualisering af valideringsværktøjet, baseret på netværksdata fra HOFOR. Venstre figur viser status fra valideringen over fem dage baseret på alle tests. Højre figur viser det gennemsnitlig antal fejl fra Test V baseret på alle trykmålerdata.

Analysen af målerdata viste også, at der ofte er en samtidighed i forekomsten af målerfejl. Venstre side af FIGUR 7 viser et eksempel på fejlbehæftede data fra enkelte målere (flowmålere Q1–Q9 og trykmålere P1–P7), der har haft dataudfald flere dage i træk på samme tidspunkt omkring midnat. Det er usandsynligt, at disse målere tilfældigvis og flere dage i træk har haft dataudfald. Visualiseringen kan derfor bruges proaktivt til at spotte sammenhænge, eventuelt ved brug af Artificial Intelligence (AI) og Machine Learning (ML). Figuren indikerer også, at det ikke er en specifik måler, der fejler, men at målerne er fejlbehæftede på samme tidspunkt. Dette indikerer videre, at årsagen med stor sandsynlighed ligger ved de tilknyttede dataindsamlingsprocedurer. Enkelte målere viser også, at deres data er blevet konstateret fejlagtige over hele den viste periode (Q6 og P7). Men hvilken måler burde en operatør først rette op på? En mulig prioriteret rækkefølge er vist på højre side af FIGUR 7, hvor det samlede antal fejl fra test V for alle trykmålere er visualiseret. 3 ud af de 22 viste målere har en større fejlrate end 20 %, og tjek af funktionalitet, opsætning og kalibrering bør prioriteres ift. de resterende målere.

Værdien af målerdata reduceres betydeligt, når kvaliteten af data er ukendt. I et studie af målerdata fra ledningsnet har det vist sig, at en stor del af de indsamlede data er behæftet med målerfejl. I mange tilfælde fortsætter indsamlingen af fejlagtige data over en længerevarende periode, da fejlene ikke bliver identificeret og rettet op i tidligt i forløbet. Ved at køre valideringsværktøjet har forsyninger mulighed for at tjekke kvaliteten af deres målerdata samtidig med indsamlingen af data, og værktøjet kan derfor bruges aktivt til at finde og rette op på målerfejl. Dette er en stor gevinst da kvaliteten af data kan sikres, og værdien i forhold til videre brug af data dermed øges. Værktøjet ligger online tilgængeligt på https://leakagemanagement.net/meter-validate/, hvor det er muligt at afprøve de forskellige tests. På hjemmesiden kan brugere uploade et excel-ark med målerdata, ændre og teste udfaldet baseret på forskellige parametre og downloade resultatet fra valideringsprocessen.

Online værktøj til validering af målerdata

2.1.4 Standardiseret dataudstilling

Et af hovedformålene i LEAKman er at integrere og anvende data på tværs af systemer med det formål at opnå et bedre samlet system end der kan opnås via summen af de enkelte systemer hver for sig. For at blive i stand til at anvende data fra forskellige systemer er det nødvendigt, at de enkelte systemer kan udstille de data, i et åbent standardiseret format, som skal kunne anvendes af de andre systemer. Der er derfor behov for at udvikle en standardiseret dataudstilling. Der er under LEAKman udviklet standardiseret dataudstilling i følgende systemer:

- Almos Leak: Data fra Almos Leak er placeret i skyen i en delvis lukket database. Der er specificeret, designet og udviklet et interface således, at data i Almos Leak data udstilles til andre applikationer på en ensartet og konsistent måde. Med den udviklede dataudstilling og interface fra Almos Leak er data fra Almos Leak herunder støjlogger data og trykmålinger integreret i Aquis og HOMIS.

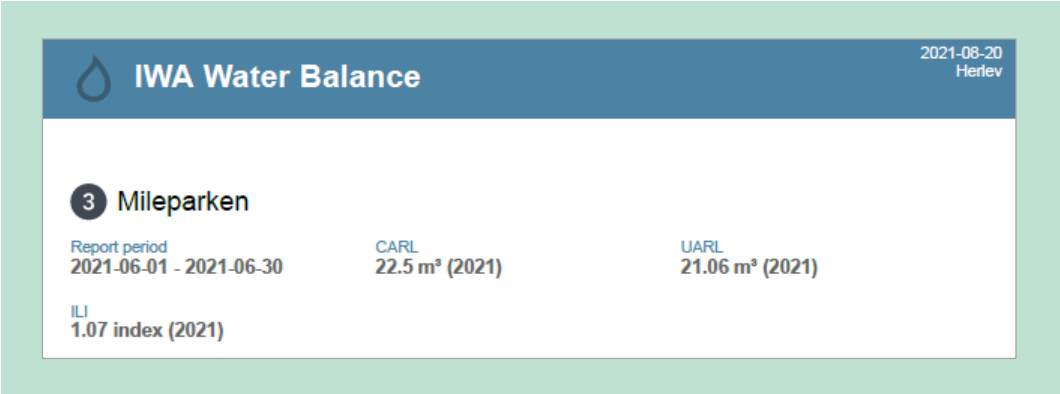
- READy: Der er udviklet et API, som øger fleksibiliteten for adgang til data i READy Manager. API'et har automatiseret de processer, som tidligere udførtes ved manuel/semiautomatisk håndtering af udveksling af data. API'et kan bl.a. give HOMIS eller Aquis direkte adgang til data i READy Manager. Dette API er først blevet tilgængeligt i den sidste periode af LEAKman, hvorfor der i selve demofaciliteterne er anvendt en ældre metode med en automatiseret cyklisk eksport af data fra READy, kombineret med en cyklisk import til Aquis/HOMIS. Med det nye API har projektet fået en simplere og mere problemfri, samt fuldautomatisk integration af målerdata fra Kamstrup på tværs af snitflader.

2.1.5 Softwareudvikling - IWA Vandbalance rapportering i HOMIS

En nøglekomponent indenfor kontrol af vandtab er udarbejdelse af vandtabsopgørelser i form af vandbalancer for individuelle forsyningsområder. IWA's best practice til vandbalance opgørelse er derfor blevet implementeret som en standard rapportering i HOMIS med følgende funktionalitet:

- Der er udarbejdet en rapport, som kan genereres i PDF-format. Rapporten viser IWA vandbalancen i skemaform indeholdende alle 18 komponenter samt de tre vigtige nøgletal: CARL (Current Annual Real Losses), UARL (Unavoidable Annual Real Losses), samt den dimensionsløse parameter ILI (Infrastructure Leakage Index). ILI er det anbefalede nøgletal til benchmarking af performance i forhold til lækageniveau.
- Opsætning af rapporten sker ved at tilknytte konfigurerede nøgletal til de 21 komponenter i rapporten.
- Rapporten aktiveres ved at vælge et område og en tidsperiode, hvorefter de valgte nøgletal aggregeres for den pågældende periode og udfyldes i rapporten som derefter publiceres i PDF-format.

Rapporthovedet er vist i FIGUR 8, og hele rapporten kan ses i Bilag 1.1.



FIGUR 2.6. Rapporthovedet for IWA Vandbalancerapport i HOMIS vist for Mileparken for juni 2021.

2.1.6 Værktøj til beregning af vandbalance og Economic Level of Leakage (ELL)

Opgørelse af vandbalancer for vandforsyninger, både globalt (for hele forsyninger) og lokalt (for district metered areas) er et vigtigt instrument i forbindelse med arbejdet omkring non-revenue water management og water loss control, hvor især følgende brug skal fremhæves:

- Løbende automatiseret vandbalanceopgørelse f.eks. som beskrevet under afsnit 2.1.5, hvor de centrale komponenter relateret til lækager regelmæssigt rapporteres, således at den løbende lækageindsats kan målrettes til de mest kritiske områder.
- Regelmæssig (typisk årlig) vandbalanceopgørelse i forbindelse med gennemførelse af en water audit, hvor hele vandbalancen gennemgås minutiøst, og hvor der er fokus på både datakvantitet og -kvalitet samt selvfølgelig fordelingen af vandbalancen. Resultatet af en water audit anvendes til at foretage strategiske tilpasninger og igangsætte initiativer, der forbedrer kvaliteten af vandbalancen i fremtiden og optimerer de mest kritiske komponenter af vandbalancen.
- Screening af optimeringspotentiale for en forsyning, der endnu ikke arbejder struktureret med non-revenue water management og water loss control, for fastlæggelse af baseline og planlægning af initiativer, der kan bruges til at implementere løbende/regelmæssig vanbalanceopgørelse.

Der findes allerede et meget anvendt Excel-værktøj, udgivet af AWWA og frit tilgængeligt for vandforsyninger - AWWA Free Water Audit Software, der anvendes til både regelmæssig vandbalanceopgørelse samt screening af optimeringspotentiale. Dette værktøj har dog flere mangler, hvor det specielt skal fremhæves, at der kun kan laves opgørelse for ét område ad gangen, så der skal laves en separat Excel-fil for hvert område. Der anvendes i dette værktøj desuden US-enheder (miles, gallons, psi osv.), der er hard-coded, og således ikke kan ændres.

Både AWWA-værktøjet og andre tilsvarende er desuden begrænset ved, at de typisk kun indeholder en vandbalanceopgørelse i vandvolumen.

I LEAKman-regi er der derfor udviklet en prototype i Excel, på et udvidet værktøj til brug ved vandbalanceopgørelse, som indeholder flere nyttige funktioner og tiltag i form af:

- Anvendte enheder kan opsættes, så de tilpasses den pågældende forsynings behov.
- Der kan defineres et antal regioner og underliggende district metered areas, som alle kan opgøres samlet.
- Både produktionsomkostninger og salgspriser angives, så vandbalancen kan rapporteres på yderligere to måder, nemlig Omkostninger samt Indtægter og Tab, således at

det bliver muligt direkte at kombinere vandvolumentab og finansielle tab, når der planlægges strategiske tiltag.

- Der kan angives energiparametre, hvor fordelingen mellem energikilder til strømproduktion angives sammen med fordelingen af vandproduktion (grundvand, overfladevand og afsaltning). Derved kan vandbalancen rapporteres på en fjerde måde, nemlig i form af Carbon Footprint, hvor hver komponent opgøres i tons CO_2 ækvivalenter. Herved kan målsætninger i forhold til klimaaftryk indgå i den strategiske planlægning af indsatser.
- FAVAD (Fixed And Variable Discharge) modellen er indarbejdet i værktøjet til beregning af Short-Run Economic Level of Leakage (SRELL), hvorved det "statiske" økonomiske lækageniveau estimeres.
- Der er sidst udvidet med effekt på ELL, såfremt der investeres i trykstyring, og derved inkluderes en parameter af Long-Run Economic Level of Leakage (LRELL), hvorved det "dynamiske" økonomiske lækageniveau kan tages i betragtning.

Dette værktøj er færdiggjort under den sidste del af LEAKman, og er endnu ikke taget i brug. Værktøjet er dog allerede tænkt ind i flere aktive projekter hos NIRAS samt i salgs- og markedsføringstiltag, hvor der vil være behov for at lave en screening af vandbalancen hos en potentiel kunde.

Værktøjet LEAKman Water Auditing Tool er vedhæftet i Bilag 1.2, udfyldt med data fra Al Ain Distribution Company, hvor det har været testet som et auditing tool til at etablere en NRW baseline.

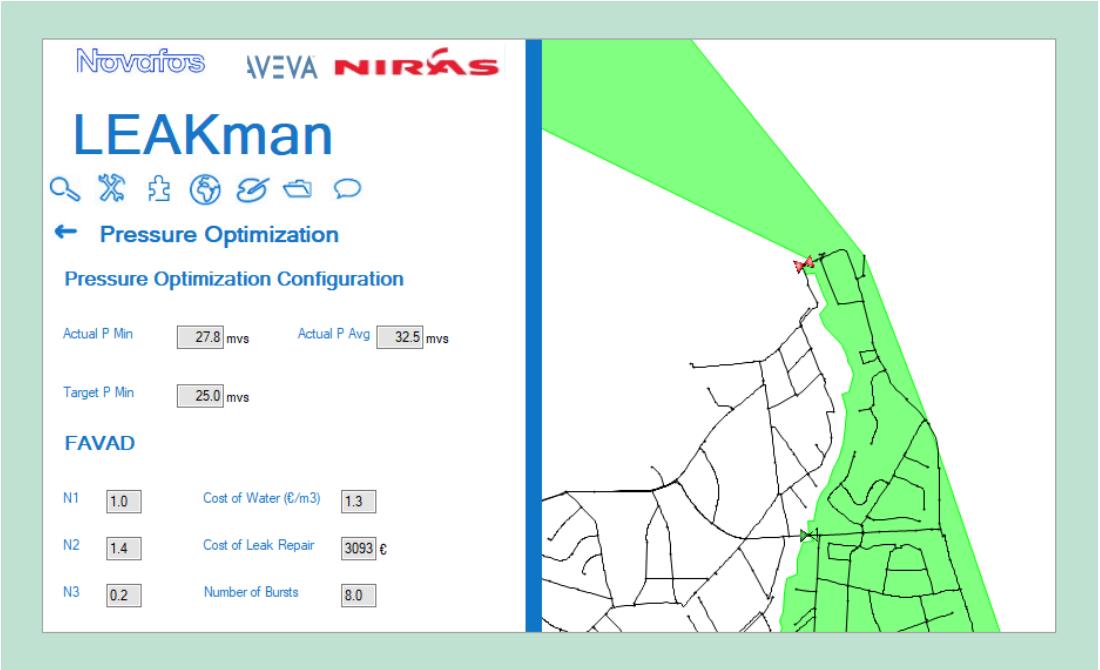
2.1.7 Softwareudvikling – Aquis dashboards til støjloggervisning og trykoptimering

Aquis software udviklet af Schneider Electric har et eksisterende modul til trykoptimering af hydraulisk adskilte områder. Dette trykoptimeringsmodul, er implementeret for Klampenborg zonen i Novafos.

Trykoptimeringsmodulet beregner den optimale tryk- og flowfordeling i en forsyningszone og returnerer dynamiske sætpunkter, der kan anvendes til at sikre det optimale forsyningstryk til zonen.

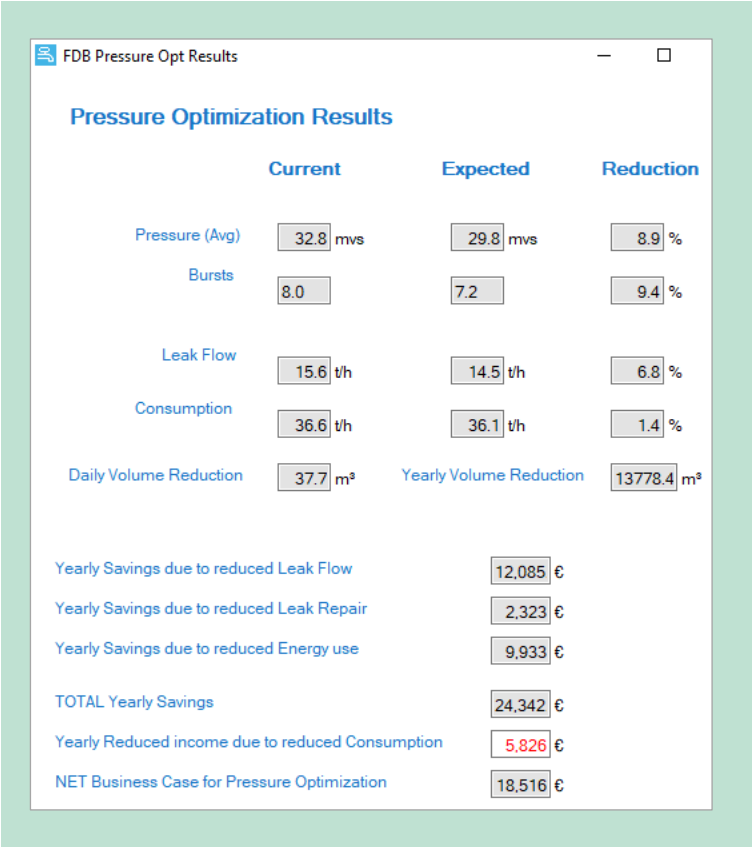
I forbindelse med implementeringen af trykoptimering, er der udviklet tilhørende dashboards til præsentation af data. I FIGUR 9 ses det udviklede dashboard, som viser aktuelt minimumstryk, aktuelt gennemsnitstryk og det minimumstryk, som trykoptimeringen sigter efter. Derudover er der angivet input-parametre til beregning af potentielle besparelser relateret til vandtab, vandproduktion, energiforbrug samt reduktion af CO2-udledning og fremtidig brudfrekvens. Teorien bag beregning af afledte effekter af trykoptimeringen er beskrevet nærmere i /5/. Anvendte værdier for antal brud, pris på vand og pris pr. reparation af brud er erfaringstal fra Novafos oplyst i 2020. De tre FAVAD-værdier er defineret som:

- N1: Enhedsløs eksponent for forholdet mellem lækageflow og trykreduktion.
- N2: Enhedsløs eksponent for forholdet mellem antal brud og trykreduktion.
- N3: Enhedsløs eksponent for forholdet mellem vandforbrug og trykreduktion.



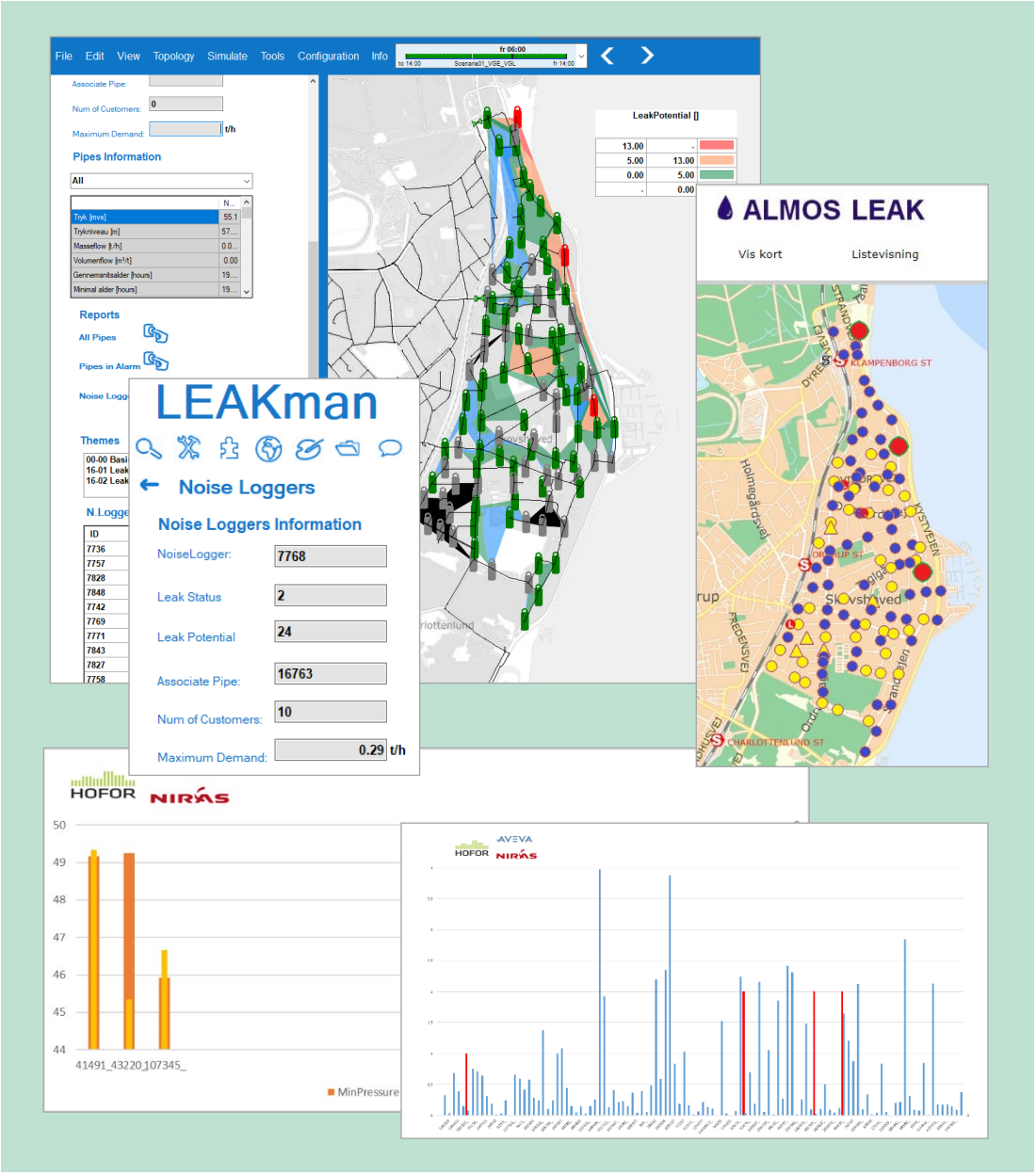
FIGUR 2.7. Aquis dashboard udviklet i forbindelse med implementering af trykoptimering (input).

De potentielle besparelser vises i et separat dashboard, som er vist i FIGUR 10. Øverst viser dashboardet de nuværende forhold i netværket, de forventede forhold ved anvendelse af trykoptimering og den estimerede reduktion som resultat af trykoptimeringen. Dette er nederst omsat til potentielle årlige besparelser.



FIGUR 2.8. Aquis dashboard udviklet i forbindelse med implementering af trykoptimering (output).

Udover udviklingen af dashboards til trykoptimering, er der også udviklet dashboards samt tematiseringer til visning af støjlogger data i Aquis-modellen. Støjlogger-data hentes fra en database, som dagligt opdateres med nye data fra støjloggerne. I FIGUR 11 er vist en tematisering, der viser placeringen af støjloggerne i Klampenborg kombineret med en farve, der viser støjloggerens lækagestatus. Et gråt symbol indikerer, at loggeren ikke er i drift (eller at der ikke er modtaget nye data), et grønt symbol indikerer ingen lækage, og et rødt symbol indikerer, at loggeren er i alarm. Dashboardet er konfigureret til at vise værdier for en valgt støjlogger herunder ID og lækagestatus. Derudover er der konfigureret georeferencer i modellen således, at det kan vises, hvilken ledning den valgte støjlogger er associeret med, hvor mange forbrugere der er tilknyttet ledningen, samt hvor meget forbrug der er tale om. Disse tal kan anvendes til at vurdere, hvor kritisk et brud vil være på den pågældende ledning. Der er desuden konfigureret dedikerede Excel-rapporter til visning af data associeret med støjloggerne.



FIGUR 2.9. Aquis tematisering, dashboard og Excel rapporter (lækagestatus vs. maksimum flow og lækagestatus vs. antal forbrugere og vs. minimum tryk) udviklet i forbindelse med visning af støjlogger data.

2.1.8 Softwareudvikling – kort-uploader til Almos Leak

Til Almos Leak (støjlogger software) er der udviklet funktionalitet, så baggrundskort med ledninger og ventiler fra GIS kan importeres i direkte i brugerfladen og dermed give bedre overblik ved montering af loggere og opsætning af systemet, da dette sikrer at loggerne placeret korrekt i kortet.

2.1.9 Almos Leak med lydfil

Traditionelt fungerer støjlogger teknologier ved, at støjloggere aflytter deres område hver nat for lækager og sender en status til Almos Leak hver morgen. Efterfølgende kan forsyningen så rykke ud og finlokalisere lækagen. De enkelte støjloggere er programmeret til at lytte efter lækager, men kan blive ”snydt” af andre støjkilder som eksempelvis pumpestøj, fjernvarme, el og lignende. For at optimere processen og mindske den tid forsyningerne bruger på ”falske” støjkilder, er det et ønske, at støjloggerne kan medsende en lydfil, så man manuelt kan aflytte,

hvad støjloggerne har hørt, inden man iværksætter en finlokalisering. Disse lydfiler vil også kunne bruges til at korrelere mellem to eller flere støjloggere der hører den samme lækage, så man kan opnå en forholdsvis præcis indikering af, hvor lækagen er før man sætter gang i finlokaliseringen.

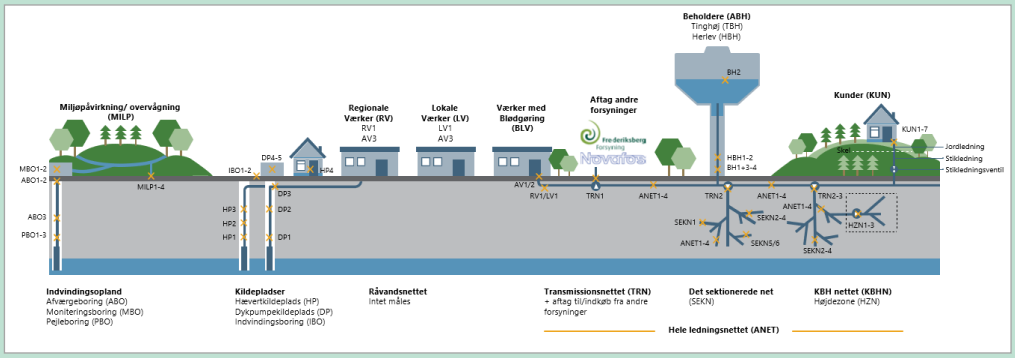
Der er derfor udviklet første udgave af et system, som støjloggerne kan sende lydfilerne til. Disse lydfiler bruges både som en "second opinion" af lyden og til korrelering. Desuden vurderes der her at være potentiale for fremtidig anvendelse af machine learning, hvilket dog ikke er udført under LEAKman.

FIGUR 2.10. Udsnit af PermaNETweb brugerflade, hvori lydfiler fra støjloggere kan tilgås, aflyttes og analyseres.

2.1.10 Datakortlægning i HOFOR

HOFOR har i sin nye koncernstrategi udpeget digitalisering som et af de fokusområder, der skal drive målopfyldelsen og udviklingen i selskabet frem mod 2025. Under titlen "Digitalisering som drivkraft" har HOFOR en ambition om at styrke vejen fra data til viden til handling. Vejen starter med data, og derfor er det særdeles vigtigt, at sikre et solidt datagrundlag, som kan være fundamentet for den datadrevne virksomhed, der ønskes.

HOFOR har derfor igangsat en kortlægning af, hvilke driftsdata virksomheden indsamler i dag og i hvilke systemer for at få et overblik over mængden af data, og hvad datakvaliteten er. Formålet med denne øvelse er at kunne præsentere et simpelt overblik over data således, at både fagmedarbejdere og ledere hurtigt kan danne sig et overblik over, hvilke data der indsamles og i hvilke systemer. Motivationen bag kortlægningen bygger på den grundpræmis, at de rigtige data i den rigtige kvalitet er nødvendige for løbende at overvåge, styre og forbedre forretningen til gavn for kunder og miljøet. En beskrivelse af datakortlægningen findes i Bilag 4. På FIGUR 13 ses oversigt over vandforsyningen samt angivelse af datapunkter.



FIGUR 2.11. Kortlægning af driftstekniske data i HOFOR's vandforsyning med angivelse af datapunkter (gule markeringer).

Analysen viste, at potentialet er stort, men der er nogle fundamentale ændringer, som bør indarbejdes i forsyningerne og i vandsektoren for, at det kan lykkes. Grundlæggende skal data i højere grad anses som et aktiv på lige fod med systemer, maskiner og anlæg. Det er igennem data, at operationelle og strategiske beslutninger bør træffes. Allerede i dag træffes mange store investeringsbeslutninger på baggrund af modelberegninger foretaget på baggrund af indsamlede data. Resultatet er derfor kun så godt, som de inputdata, der anvendes. Operationelle beslutninger styres i dag også i højere grad af data, som det er tilfældet i HOFOR, på baggrund af bl.a. HOMIS.

Strukturering af operationelle data fra forsyningerne er et meget aktuelt emne, da det er nødvendigt for at understøtte den digitale transformation, der pågår i hele branchen, og emnet er derfor også på dagsordenen i flere sammenhænge, blandt andet i Den Danske Vandklynge.

Analysen, der er udarbejdet under LEAKman, forventes at kunne bidrage til forståelsen og udviklingen på området samt være en del af et eventuelt LEAKman 2.0.

3. Teknologidemonstration

Et centralt element i LEAKman er etableringen af fuldskala demonstrationsområder. Områderne instrumenteres med fjernaflæste vandmålere, tryksensorer, intelligente trykstyringsventiler, zonegrænseventiler med positionsmelder, permanente støjloggere samt pumper med intelligent styring. Der opstilles online hydrauliske ledningsnetmodeller, og data fra disse systemer integreres i et holistisk ledelsesinformationssystem, der beregner og udstiller relevante nøgletal til brug i den daglige drift, overvågning og optimering af distributionssystemet

3.1 Fuldskala demonstration af lækage management

En stor del af de ansøgte tilskud anvendes til hovedaktiviteten at etablere fuldskala demonstrationsfaciliteter på dansk grund. Der etableres demonstrationsanlæg hos 3 forsyningsselskaber i 8 sektioner (DMA). Det er tilstrækbt, at de enkelte demonstrationsanlæg er en udvalgt del af et forsyningssystem, hvor der etableres en ambitiøs instrumentering, overvågning og dataanalysekapacitet med det formål at kunne simulere en lang række mulige fremtidssituationer med fordele og ulemper i relation til lækagemanagement og generel ledelsesinformation og styring af forsyningssystemer. Udover at demonstrere lækagemanagement i praksis har områderne derfor karakter af eksperimentarier for afprøvning af ny instrumentering, nye overvågningssystemer, nye analysemetoder mm.

Vandledninger holder ikke evigt. De svækkes og nedbrydes med tiden, hvilket fører til brud og lækager. Selv hvis man udregner ledningens levetid korrekt, og sørger for at udskifte den inden udløbsdatoen, kan lækager opstå. Ved vandledninger tæt på jordens overflade, er det ofte let at se. I nogle tilfælde kan der forekomme jordvandshuller, altså kollaps af fundament og overflade grundet erosion. I andre tilfælde vil man kunne se vandet flyde på overfladen såsom veje, fortov eller naturlige områder. I disse tilfælde vil vandforsyningen som oftest blive adviseret fra borgere eller via SRO-alarmer. Selvom der kan være et stort flow fra sådanne lækager, vil de ofte have en begrænset løbetid, da de netop opdages hurtigt, og dermed bliver det samlede vandtab ikke nødvendigvis så stort.

FIGUR 3.1. Eksempler på akutte brud, der er synlige på overfladen med stort flow men relativt kort løbetid.

Det er dog langtfra altid, at lækagerne er synlige. Hvis lækagen ligger dybt, eller jorden er meget drænende, kommer vandet ikke altid op til overfladen. De dybereliggende lækager kan derfor stå uberørte i lang tid, og føre til betydelige tab af vand.

FIGUR 3.2. Eksempler på sivende/ikke synlige brud. Lækagen til venstre har et lavt flow men potentiel lang løbetid, mens bruddet på billedet til højre løber til kloak med stort flow og ligeledes potentiel lang løbetid.

At opdage, lokalisere, prioritere og håndtere lækager betegnes i det følgende som lækage management. Lækage management baseres ofte på de fire klassiske/anerkendte discipliner; trykoptimering (pressure management), aktiv lækagekontrol (active leakage control), effektivitet og kvalitet af reparationer (speed and quality of repair) samt planlagt vedligehold (pipeline management and rehabilitation). Dette er også tilfældet i LEAKman. De fire discipliner vil ikke blive beskrevet i detaljer, da der findes masser af litteratur om disse emner. I FIGUR 16 er de fire grundlæggende søjler inden for lækagemanagement skitseret sammen med de tilhørende elementer, som er indeholdt i LEAKman.

FIGUR 3.3. The Four Pillars of Leakage Management, samt angivelse af, hvilke teknologier/metoder, der er en del af LEAKman.

Den sidste søjle ”4. Renovering og vedligehold” er markeret grå, da denne ikke direkte er omfattet af LEAKman. De øvrige discipliner giver dog værdifulde input til arbejdet med optimering af renoveringsindsatsen og asset management generelt. Pilen symboliserer, at disciplinerne hænger sammen, og data flyder mellem systemer.

3.2 Udvælgelse af demonstrationsområder

I det følgende beskrives processen omkring udvælgelse af demoområder og etablering af områderne med valgte teknologier.

Ved udvælgelse af egnede områder til teknologidemonstration er der i sagens natur nogle kompromisser mellem ideelle ønsker og reelle muligheder, men udvælgelsen er optimeret mest muligt via en intens, udviklingsorienteret dialog i samarbejdsorganisationen. De praktiske forhold afgør i således i et vist omfang karakteren af de enkelte demonstrations- og forsøgsanlæg, men det tilstræbes ved udvælgelsen, at der opnås et passende bredt spektrum af anlægstyper med fokus på forskellige typer af problemstillinger.

Der er lokaliseret områder, der både passer til den samlede tekniske løsning for alle partnere og de planlagte teknologier. Områderne er vurderet og udvalgt ud fra en række kriterier som f.eks. størrelse, estimeret vandtabsniveau, antal sektionsindgange mm. Samtidigt tilstræbes, at aktiviteter i demonstrationsområder ikke influerer negativt på igangværende arbejder og projekter hos forsyningerne og omvendt. Ud fra de opstillede udvælgelseskriterier er der lavet en basisanalyse for områder/sektioner med tilhørende data for både Novafos og HOFOR. Som eksempel er i TABEL 2 vist den afsluttende prioritering af sektioner i Gladsaxe/Gentofte det daværende Nordvand (nu Novafos).

TABEL 2. Endelig prioritering af sektioner i Novafos (Gentofte/Gladsaxe) udvalgt efter første screening af basisdata.

Sektion	ID	Gennemløb	Brud/lækage	Støjloggere	Materiale	Niveauforskel	Rating
Mørkhøj	MD09	+++	-	-	-	-	**-1**
Stengården	MD05	-	++	-	+	-	**0**
Gentofte Syd	MD15S	-		++	+++	+	**5**
Hellerup	MD18	-		++	+	+	**3**
Klampenborg	MD19	+++	+	-	++	+	**6**
Ordrup Syd	MD17S	-		++	+	+	**3**
Søndersø Syd	MD16S	-	+	-	+	-	**-1**

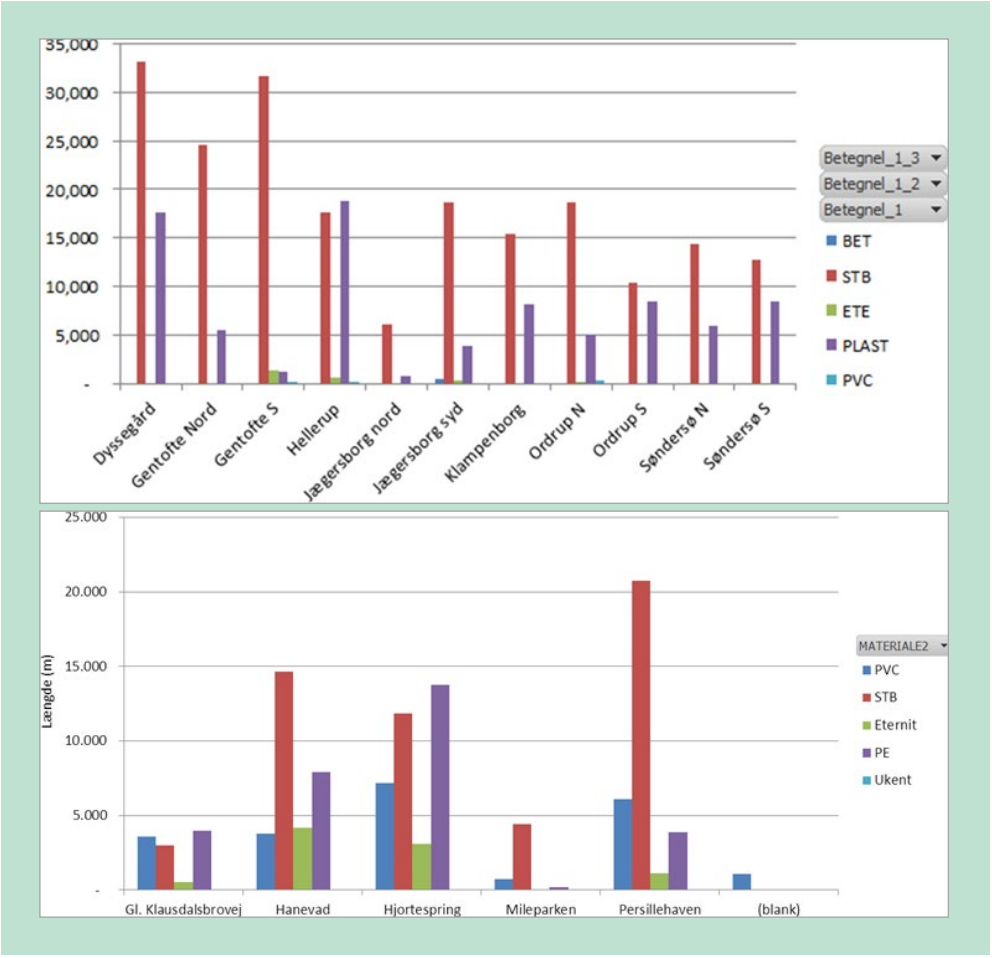
Tilsvarende metodik er anvendt ved udvælgelse af demonstrationsområder i HOFOR, hvor den første screening pegede på områderne Rødovre, Hvidovre og Herlev. Disse områder er efterfølgende vurderet ud fra en række nøgletal relateret til ledningsnettenes tilstand.

FIGUR 3.4. Normaliserede nøgletal for HOFOR's forsyningsområder (2016/2017).

Ved udvælgelsen er det et ønske, at de valgte sektioner som udgangspunkt har et "relativt højt" lækageniveau i områderne inden omdannelse til demonstrationsområde. Dette skal dog ses i lyset af, at både Novafos og HOFOR overordnet set har lækageniveauer under 10 %, hvilket er lavt, når der sammenlignes globalt.

Valget af demoområder faldt på de afgrænsede sektioner Gentofte Syd og Klampenborg i Novafos' forsyningsområde (Gentofte) samt fire sektioner i HOFOR´s forsyningsområde i Herlev. De tre sydligste sektioner; Herlev Hovedgade, Hanevad og Mileparken har været med fra projektets start, mens Gl. Klausdalsbrovej er tilføjet i 2020. Ved projektets start var Herlev Hovedgade og Hanevad én sektion. I 2020 blev sektionen opsplittet i to. De fire sektioner indeholder ca. 48 km forsyningsledning, hvilket svarer til ca. 45 % af forsyningsnettet i HOFOR Vand Herlev A/S.

De valgte sektioner i Novafos og HOFOR er karakteriseret ved at have et ældre ledningsnet uden overvægt af plastledninger. Materialesammensætningen af ledningsnettet i Gentofte/Gladsaxe og Herlev ses af FIGUR 18.



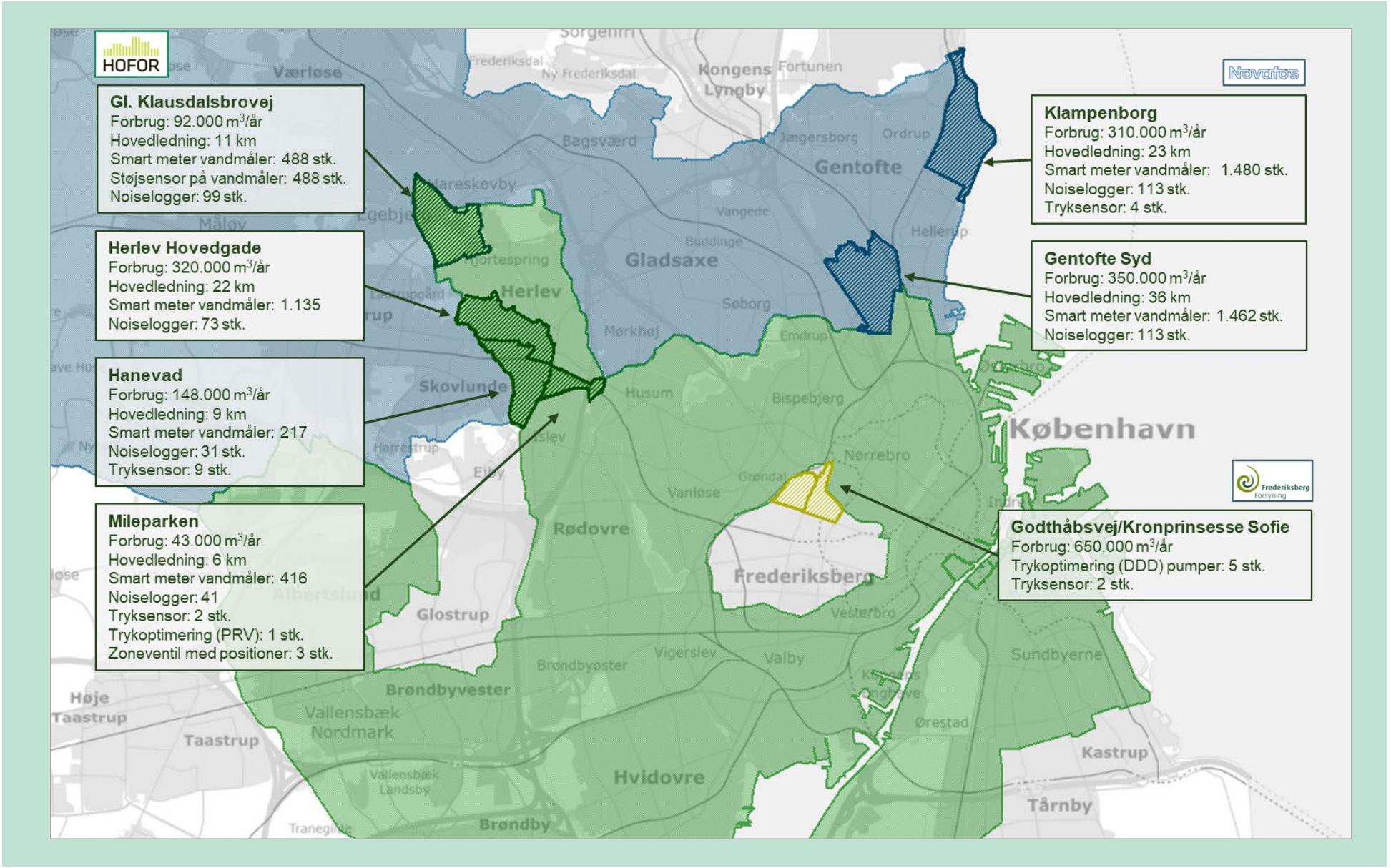
FIGUR 3.5. Fordeling af ledningsmaterialer i hhv. Gentofte og Herlev sektioner (opgørelse fra 2015).

Allerede i den første fase med udvælgelsen af demonstrationsområder har projektet haft det åbenlyst positive resultat, at de intensive diskussioner vedrørende den endelige udvælgelse af demonstrationsområder har skabt en fælles dybere forståelse for de andre partneres teknologier, og hvorledes samspillet skaber et stærkere ”produkt”.

At komme i mål med udvælgelse af demonstrationsområder hos forsyningerne krævede en del analyser af forskellige alternative områder og kombinationer af disse. Denne proces var meget tids- og ressourcekrævende og forsinkede opstarten af implementeringen med ca. 6 måneder.

Det lykkedes hverken hos Novafos eller HOFOR at finde en egnet lokalitet til implementering af intelligente pumper til dynamisk trykoptimering med Grundfos DDD. Hanevad området i HOFOR var som udgangspunkt valgt for yderligere undersøgelser, og der var her teknisk potentiale for implementering af løsningen. Dette blev dog afvist af HOFOR af organisatoriske årsager. Følgelig blev det besluttet at inddrage to sektioner hos Frederiksberg Forsyning som demonstrationsområder for Grundfos DDD-teknologi. Områderne forsynes fra HOFOR aftag ved Hillerødgade.

Af FIGUR 19 ses de valgte demonstrationsområder i hhv. Novafos, HOFOR og på Frederiksberg samt nøgletal for sektioner og implementerede teknologier.



FIGUR 3.6. Oversigt over demonstrationsområder i hhv. Novafos, HOFOR og på Frederiksberg samt nøgletal for sektioner og implementerede teknologier.

3.3 Demonstrationsområder før LEAKman

Sektionerne, som er udvalgt til at være fuldskala demonstrationsområder i LEAKman, er karakteriseret ved at:

1. Sektionering er etableret. Hvert demoområde kan betragtes som en DMA (district metered area). Hanevad sektionen blev dog senere splittet op i to sektioner Hanevad og Herlev Hovedgade. Sektioneringen på Frederiksberg var planlagt men ikke etableret.
2. Der er et eksisterende SRO-anlæg (Styring Regulering og Overvågning)
3. Sektionerne er som minimum udstyret med flowmåler og trykmåler ved samtlige ind- og udgange, og disse er tilkoblet SRO.
4. Der vurderes mulighed for at etablere dynamisk trykstyring/-optimering i Klampenborg, Mileparken og sektioner Godthåbsvej/Kronprinsesse Sofie på Frederiksberg. I disse sektioner er der et "relativt højt" trykniveau. Desuden er sektionerne ikke gennemstrømningssektioner, så trykoptimeringen kan foretages uden, at det influerer på andre sektioner.
5. Sektionerne indeholder ikke reservoirs.
6. Der var ved projektets opstart ikke planlagt større renoveringsarbejder af ledningsnettet eller større udbygning i sektionerne under projektets implementerings- og idriftsættelsesfase. Det viste sig dog ikke helt at holde stik grundet den lange projektperiode.
7. Der eksisterer allerede en online eller offline Aquis model, som er forholdsvis opdateret og kalibreret, og som kan anvendes ved planlægning og analyse af tiltag.
8. I Gentofte Syd er der allerede installeret permanente støjloggere ved projektets start. Disse loggere suppleres til fuld dækning og medregnes som en del af demonstrationsfaciliteterne.

Det overordnede lækageniveau i Herlev er af HOFOR vurderet til ca.11 % i 2015 med stigende tendens. Det er ved projektets begyndelse ikke muligt at estimere vandtabet på sektionsniveau pga. målerudfald- og fejl, men ledningsnettet både i Hanevad (inkl. Herlev Hovedgade området) og Mileparken sektionen vurderes at ligge i den "tunge ende" med høj andel af støbejernsledninger, høj brudfrekvens og relativt høje trykniveauer. Ved projektets start blev sektionernes nattimeforbrug overvåget via et ældre SRO-system.

I Klampenborg og Gentofte Syd er der ligeledes tale om ledningsnet med høj andel af støbejernsledninger. Der er i en årrække været monitoreret på nattimeflow for alle sektioner i Gentofte, men vandtabet er ikke opgjort på sektionsniveau. Det samlede vandtab i 2016 er af forsyningen opgjort til 7,9 %, og de udvalgte demonstrationsområder vurderes ligesom i Herlev at ligge i den "tunge ende".

3.4 Etablering af demonstrationsområder

Som udgangspunkt for planlægning og etablering af teknologier i demoområderne udarbejdes en projektplan og en implementeringsplan med sigte på fuld implementering af teknologier.

Der gennemføres design og nødvendig projektering med specifikationer, anskaffelseslister, tekniske analyser, projektøkonomi etc., og der leveres nødvendigt nyt udstyr til forsyningerne herunder komponenter, sensorer, materiel, IT-hardware og -software.

I vid udstrækning står forsyninger for udførelse og tilsyn med selve instrumenteringen samt efterfølgende indkøring og tests af demonstrationsfaciliteter.

Etablering af demonstrationsområder

Den oprindelige projektplan sigtede på etablering af demonstrationsfaciliteter i løbet af 1½-2 år. Design og implementeringsfasen viste sig dog at være mere tidskrævende for flere teknologier og projektet er udvidet med flere demonstrationsområder, hvorfor etablering har forløbet over hele projektperioden. Implementeringen af teknologier i demoområderne omfatter samlet set:

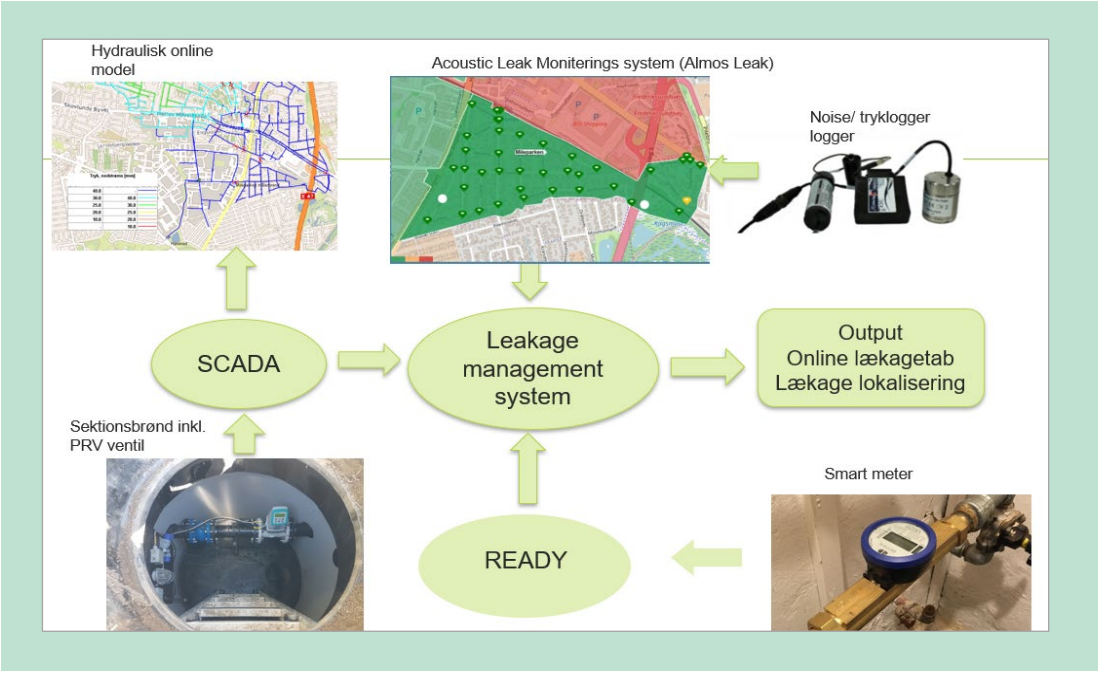
- Permanent etablerede støjloggere (Leif Koch): Ca. 470 stk.
- Specialdesignede ventildæksler (AVK): Ca. 350 stk.
- Fjernaflæste vandmålere, smart meters (Kamstrup): Ca. 5.200 stk.
- Antenner og koncentratorer (Kamstrup): 22 stk.
- Aktiv trykstyring med trykreduktionsventiler (AVK): 4 stk.
- Aktiv trykstyring fra udpumpning: Ét område, 5 pumper.
- Tryksensorer: 7 stk. (Almos Leak), 8 stk. (Kamstrup), 2 stk. (Grundfos).
- Online hydraulisk modellering med Aquis (Schneider Electric): Alle demoområder.
- Online kontrol og nøgletalsberegning med HOMIS (NIRAS): Alle demoområder (ekskl. Frederiksberg).
- Zonegrænse ventil med positioner (AVK): 3 stk. i HOFOR.

Der er indgået en fælles aftale mellem alle partnerne, så demonstrationsområderne drives videre hos forsyningerne i 5 år efter projektafslutning i det omfang, det er hensigtsmæssigt, og forsyningerne ønsker det.

3.4.1 HOFOR demonstrationsområder

I forbindelse med etablering af de fire demostationsområder Mileparken, Hanevad, Herlev Hovedgade og Gl. Klausdalsbrovej, er der installeret ca. 2.300 smart meters (intelligente vandmålere) hos forbrugerne. Derudover er det nedsat ca. 240 støjloggere på ventilerne i sektionerne samt installeret syv trykloggere, der sender data via Almos Leak (Leif Koch) og fire tryksensorer monteret hos forbrugere, der opsamler data via READy (Kamstrup) systemet. I forbindelse med etablering af støjloggere er ventildæksler skiftet for at give plads til støjlogger, batteri etc. og ifm. trykmålere er der etableret syv mindre målerbrønde. Ved indgangen til sektion Mileparken er der installeret en PRV-ventil i en nyetableret sektionsmålerbrønd. Derudover er der installeret tre VIDI positioners på lukkede nødindgange til sektionerne.

Data fra SRO-anlægget overføres til det centrale ledelsesinformationssystem HOMIS samt til en online Aquis-model. HOMIS modtager ligeledes data fra støjloggere og trykloggere via Almos Leak, fra smart meters via READy samt beregnede tryk fra Aquis modellen. På FIGUR 20 ses skitse af sammenhængen mellem systemerne. Data fra smart meters og VIDI positioners vises i HOFOR's interne GIS system KortInfo.



FIGUR 3.7. Sammenhæng mellem de enkelte systemer i HOFOR´s LEAKman demoområder

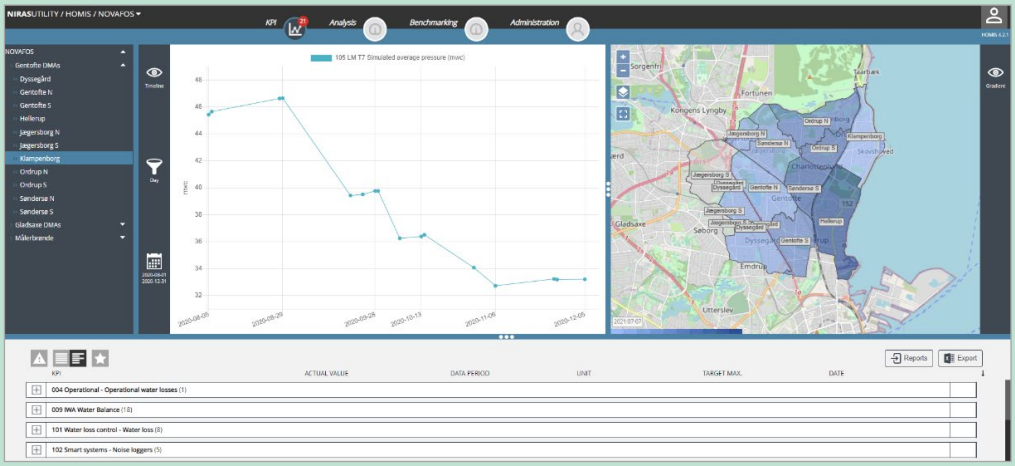
3.4.2 Novafos demonstrationsområder

I Novafos udgøres demonstrationsområderne af sektionerne Klampenborg og Gentofte Syd, hvor der er der installeret i alt ca. 3.000 smartmeters hos forbrugerne. Derudover er det nedsat ca. 220 støjloggere på ventilerne i sektionerne samt installeret fire tryksensorer, der opsamler data via READy (Kamstrup) systemet. I forbindelse med etablering af støjloggere er ventildæksler skiftet for at give plads til støjlogger, batteri etc.

I Klampenborg er der installeret PRV-ventiler (trykreduktionsventiler) på de tre sektionsindgange. Den nordligste indgang er lukket i daglig drift og åbnes alene i tilfælde af trykfald ek-

sempelvis ved brandhaneaftapning i sektionen. PRV-ventilerne er etableret i tre helt nye målerbrønde, der er placeret umiddelbart nedstrøms eksisterende målerbrønde med flow- og trykmåler.

Data fra SRO-anlægget overføres til det centrale ledelsesinformationssystem HOMIS samt til en online Aquis model. Aquis modellen er sat op for hele Gentofte/Gladsaxe området. HOMIS modtager ligeledes data fra støjloggere, smart meters via READy samt beregnede tryk fra Aquis-modellen.



FIGUR 3.8. Udsnit fra HOMIS, som modtager data fra SRO, smart meters, støjlogger samt simuleringsresultater fra Aquis online model. Graf viser simuleret gennemsnitstryk i sektionen under indkøring af trykreduktion.

3.4.3 Frederiksberg Forsyning demonstrationsområder

I Frederiksberg Forsyning er sektionerne Godthåbsvej og Kronprinsesse Sofie udvalgt til fuldskala demonstration af Grundfos DDD Control.

Frederiksberg Forsyning har et ønske om at få et mere stabilt tryk i deres ledningsnet, ligesom det har været et ønske at trykforøge i nogle områder. På nuværende tidspunkt forsynes forbrugerne på Frederiksberg fra forsyningens eget vandværk samt fra HOFOR. Vandet fra HOFOR leveres med et varierende tryk ind i Frederiksberg Forsynings forsyningsområde. Der er et ønske om at etablere en trykforøger i den nordlige indgang til forsyningen, hvor forsyningens selv kan styre trykket, og som kan fungere som nødforsyning for et større område. Der er derfor indgået aftale om etablering af denne trykforøger station på ledningsnettet med følgende bestykning:

- 1 stk. Hydro MPC-E med 5 stk. CRE45-1, 7,5 kW, IE5 med flanger, ventiler mv.
- 1 styreskab med CU354 med DDD-styring.
- 2 stk. sensorer til måling af tryk i ”kritiske punkter”.

Hillerødgade pumpestation på Frederiksberg
Bestykket med fem Grundfos pumper og styring med DDD Control efter to trykensorer i ledningsnettet.

Fuldskala

teknologi-demonstration

Fra venstre: Miljøminister Lea Wermelin, HOFOR Driftschef Ole Skytte, NIRAS Projektchef Klavs Høgh.
Foto: Miljø- og Fødevareministeriet

3.4.4 Udfordringer ved etablering af demoområder

Opsætning af smart meters og antennesites
Udskiftningen af vandmålere er overordnet forløbet godt i både Novafos og HOFOR. Udskiftningen har i kortere perioder været sat på pause pga. årsafregning samt skift af afregningssystem og aftale-bookingsystem hos forsyningerne, men dette er blevet indhentet ved efterfølgende opmanding hos forsyningernes målerskiftere. I Gl. Klausdalsbrovej er udrulningen sat på pause i flere omgange pga. restriktioner i forbindelse med COVID 19 pandemi, og leverance af store målere har været forsinket.

Etablering af antennesites til indsamling af data fra smart meters har derimod været en langt mere kompleks opgave end oprindeligt antaget. Der er brugt betydelige ressourcer på at finde egnede lokationer i begge forsyninger.

Det kan konstateres, at der er store regionale forskelle på, hvorvidt det er en udfordring at etablere antennesites. Dette er både bestemt af, hvor området er placeret, demografi og politik. Nogle kommuner giver konsekvent tilladelse til opsætning af antenner på deres bygninger stort set uden beregning og uden, at der skal gives særlig tilladelse, mens andre har særlige regler. Specielt for Novafos har projektet været udfordret, da Gentofte Kommune forlanger en antenneleje i samme størrelsesorden som for mobilbranchen (ca. 55.000 kr. pr. antenne pr. år). Placering af antenner på kommunale ejendomme under LEAKman projektet er derfor opgivet i dette område, og fokus rettet mod private boliger eller boligforeninger. Velvilligheden og interessen hos private boligejere og boligforeninger er dog erfaret at være beskeden.

Efter dialog med Herlev Kommune er størstedelen af koncentratorerne i HOFOR demoområder derimod placeret på kommunale ejendomme. Økonomi har ikke været i fokus i Herlev, men udfordringen er her relateret til overholdelse af lokalplaner med bl.a. krav til højdeforhold. Der er udarbejdet ansøgning til kommune om tilladelse til opsætning af antenner, og kommunen har hjulpet med udformningen af ansøgningen. Der er på baggrund heraf givet byggetilladelse og alle planlagte antenner er opført indenfor projektperioden.

Generelt er det en udfordring at finde frem til de personer hos kommuner, boligforeninger, bygningsejere mm. som reelt har beslutningskompetence i forhold montering af antenner og koncentratorer. I begge forsyninger har dialog frem og tilbage og lange svartider forsinket processen betydeligt.

Da udrulningen af smart meters i Klampenborg og Gentofte Syd overhalede etableringen af antennesites betydeligt, er der gennemført drive-by aflæsning af vandmålere i demoområderne siden 2019. Da vandmålerne imidlertid er konfigureret til at sende data via antenner, er sendefrekvensen ikke optimeret til drive-by. Det betyder, at det er nødvendigt at køre langsomt forbi målerne og indimellem holde stille, for at sikre aflæsningen, hvilket ikke er optimalt.

Validitet af måledata fra sektionsmålerbrønde
En vigtig forudsætning for at kunne opstille vandbalancer på sektionsniveau og for at få en velfungerende online model er, at sektionsgrænserne er tætte, og at flow og tryk i sektionsmålerbrøndene måles korrekt. Der har i Novafos demoområderne været usikkerhed omkring tryksensorernes nøjagtighed i sektionsbrøndene, hvorfor der er udført verificeringsmålinger i Klampenborg ved sektionsindgangene.

I HOFOR har der været usikkerhed omkring validitet at flowmålinger, hvorfor disse er verificeret yderligere, samt usikkerhed om hvorvidt sektionsgrænser er tætte. Dette er fortsat en udfordring i enkelte sektioner ved projektafslutning. I løbet af projektet er der flere gange konstateret åbne sektionsventiler samt en motorstyret sektionsventil, der ikke lukkede tæt.

Andre anlægsarbejder
I HOFOR's demonstrationsområder i Herlev har anlægsarbejder gjort det svært at have kontinuerlige data fra sektionsmålerbrøndene, da vandforsyningen til sektionerne af flere omgange er foregået umålt via nødindgange. Det betyder, at det samlede lækagetab for sektionen ikke kan opgøres på årsniveau i den periode demonstrationsfaciliteterne har været i drift.

I Novafos har ledningsrenovering betydet, at en lang række støjloggere er blevet demonteret løbende særligt i Gentofte Syd.

Svigtende dataforbindelser samt SRO-konvertering
I HOFOR har datakvaliteten fra SRO-systemet været svingende i løbet af projektet. Der har været perioder, hvor forbindelserne har været nede samt brønde, hvor datadækningen over døgnet har været svingende. Det har besværliggjort analysearbejdet. Undervejs i processen er SRO-systemet ligeledes blevet skiftet.

VIDI positioners
Der er installeret tre VIDI positioners. Signalet fra disse hjemtages via LoRaWan netværket. Det har vist sig, at signalet fra VIDI positioners ofte ikke er stærkt nok til at kunne hjemtages via eksisterende LoRaWan netværk, hvorfor det har været nødvendigt at opsætte en gateway. Dette har resulteret i, at to ud af tre signaler kommer hjem.

PRV-ventiler
I forbindelse med installering af PRV-ventil, har det vist sig, at første forslag til en mekanisk ventil til Mileparken ikke var den ideelle løsning. Der er derfor installeret en ventil, som kan styres via SCADA anlægget. Ventilen er desuden blevet skiftet undervejs til en anden model, da et lavt differenstryk gjorde det svært for ventilen at holde et fast afgangstryk.

Organisationsændringer hos partnerne
I første halvdel af projektet har der været flere større organisationsændringer blandt partnerne herunder fusioner, udflytning af softwarecenter og udskillelse af datterselskab, hvilket har medført midlertidige udfordringer og træghed i de respektive organisationer på grund af organisationsændringer, fysiske flytninger og omlægninger af IT-systemer.

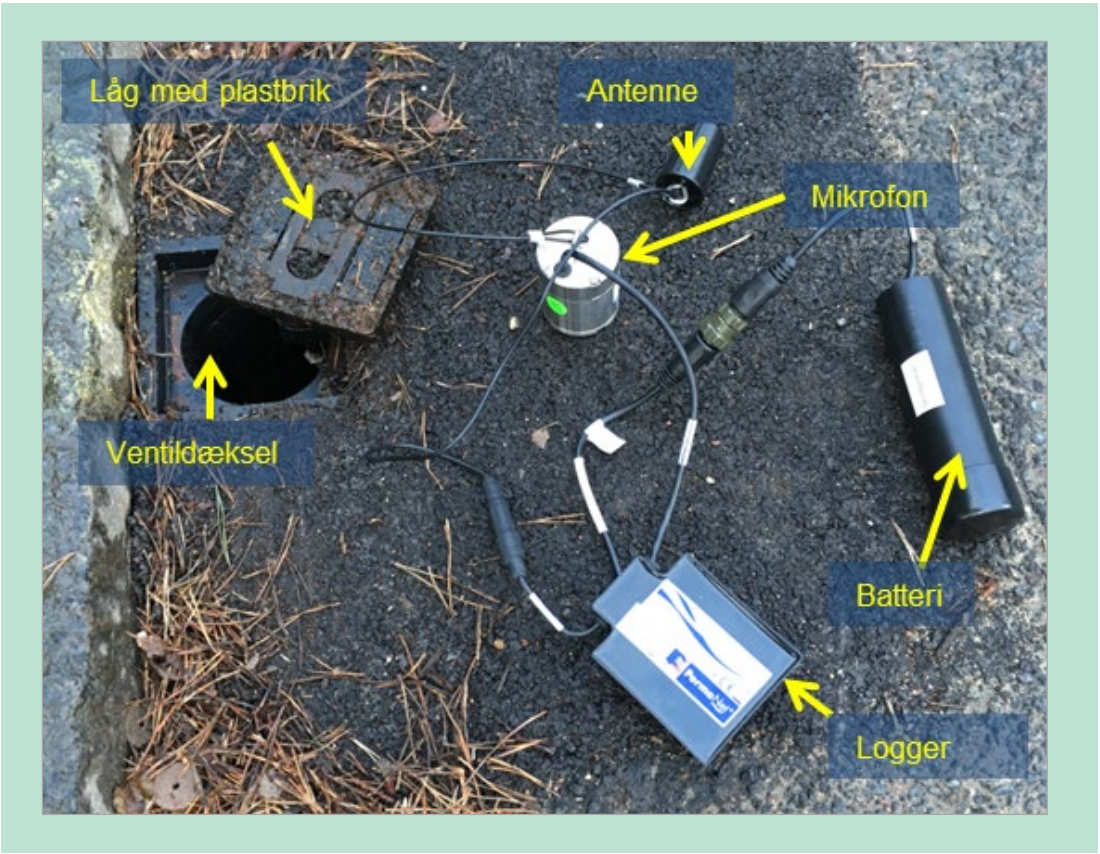
Persondata og IT-politik
Den nye persondataforordning GDPR, der trådte i kraft i maj 2018 har medført en del juridiske problemstillinger i forhold til indsamling og brug af data på detailniveau og mulige begrænsninger for vandforsyningerne. Gennem samarbejde med Energistyrelsen og Justitsministeriet er der kommet afklaring på, hvorvidt brug af hyppigere aflæsning af målerdata end faktureringsfrekvensen kræver samtykke fra forbrugerne. Der er udarbejdet databehandlingsaftale for HOFOR/NIRAS-LEAKman samt tilsvarende for Novafos/NIRAS-LEAKman.

Der har i forbindelse med etablering af systemservere til Aquis samt etablering af HOMIS servere/instanser været en del udfordringer i forhold til at sikre overholdelse af IT-politik hos HOFOR og Novafos. Det er dog lykkedes at lave et setup, der opfylder parternes krav.

3.5 Teknologier
I det følgende beskrives de forskellige teknologier/systemer kort, og hvorledes de er implementeret i demoområderne samt opnåede milepæle og resultater. For detaljeret information om teknologier henvises til de enkelte teknologileverandører.

3.5.1 Støjloggere og Almos Leak
I LEAKman er anvendt permanent monterede støjloggere placeret på ventiler suppleret med manuel lækagesporing til lokalisering af brud/lækage.

Beskrivelse af teknologi
Støjloggerne består af en mikrofon, en datalogger, et batteri og en antenne. De placeres ved vandledningens ventiler, hvor de kan forbindes direkte til vandledningen via ventilspindlen og opfange støj der transporters gennem rørvæggen og derved indikere lækager.

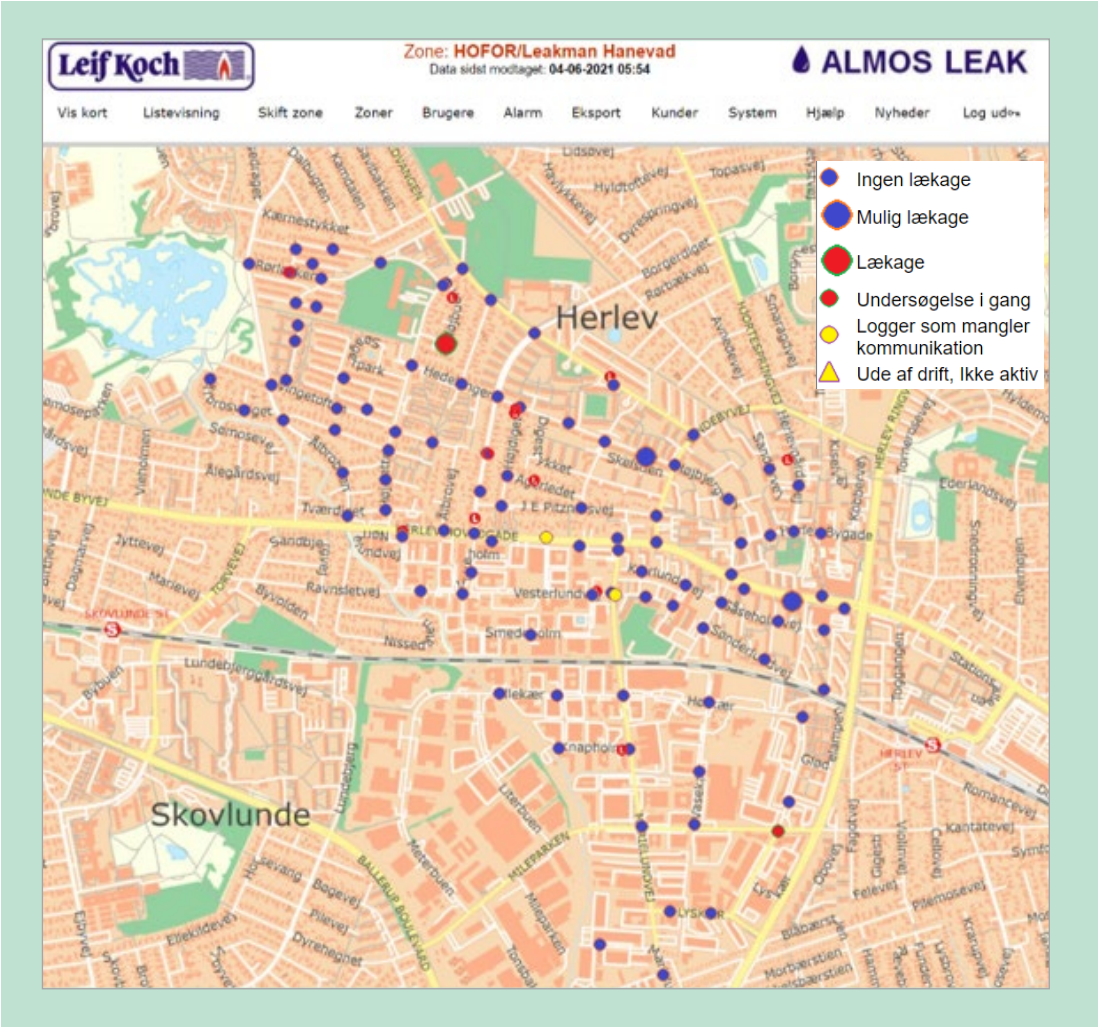


FIGUR 3.9. Støjlogger bestående af en mikrofon, data logger, batteri og antenne, der placeres i ventildæksel med kontakt til spindel.

Støjloggerne er udstyret med en kraftig magnet, så de kan sættes fast direkte på en ventilspindel under et ventildæksel. På den måde etableres direkte kontakt mellem støjlogger og rør, og vibrationer og støj i rørvæggen vil derfor nå frem til støjloggeren.

Støjloggerne aflytter deres område for lækager hver nat, hvor der er mindst baggrundsstøj, og sender data til Almos Leak databasen hver morgen. I Almos Leak kan den enkelte støjloggers status aflæses, så man kan tilrettelægge arbejdet med lækagesporing. Som udgangspunkt anbefales det at støjloggere, der har lyttet en lækage om natten, besøges dagen efter for finlokalisering af lækagen.

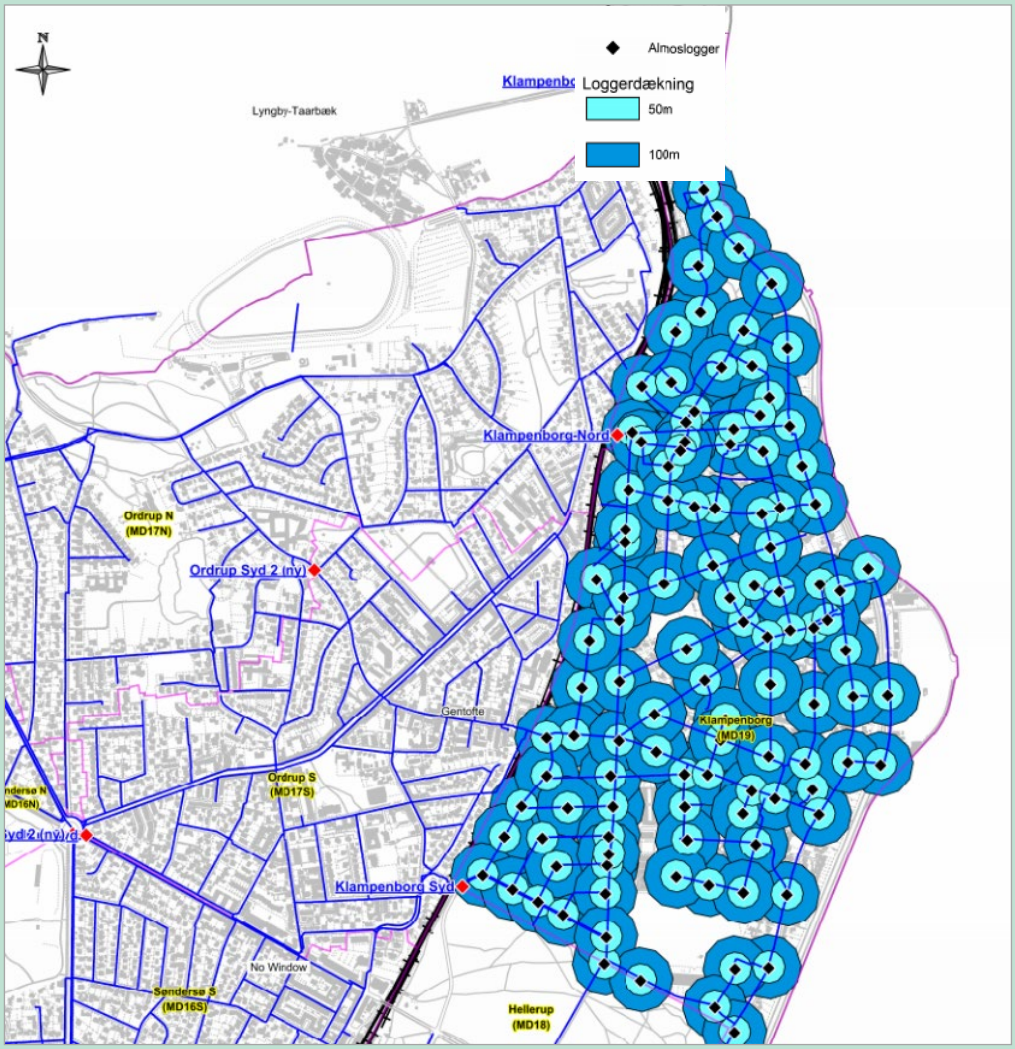
Almos Leak systemet opsamler, lagrer og viser data fra støjloggere i forsyningsnettet og information afledt heraf. Informationerne omfatter potentielle lækager, registrering af manuel lækageverifikation, udførte reparationer, falske alarmer etc. Som en del af LEAKman projektet er der skabt adgang til disse data for andre systemer så lækagealarmer fra støjloggere korreleres med hydrauliske beregninger og detaljeret viden om tryk- og flowforhold fra ledningsnetsmodellering samt nøgletalsvisning i HOMIS. Samtidig kan data fra Almos Leak anvendes aktivt til brudstatistik ved planlægning og prioritering af renoveringsarbejder.



FIGUR 3.10. Almos Leak (Acoustic Leak MOnitoring System) er et platforms uafhængigt onlinesystem, hvor data fra bl.a. støjloggere og trykloggere opsamles og visualiseres.

Hvor mange støjloggere, der skal installeres i et netværk, afhænger af rørtyper, samt hvor nemt det er at tilgå ledningerne, typisk via ventiler.

I støbejern og lignende kan støjloggeren typisk lytte op til 200 meter fra placering på ventil og i plastrør maksimalt op til 50 meter. I praksis er det ofte et spørgsmål om, hvor der er ventildæksler, som kan tilgås, og så der ud fra at vælge en kombination, der dækker bedst muligt. Som eksempel er der i Klampenborg sektionen ca. 15 km støbejernsledninger og ca. 8 km plastledninger. På baggrund heraf forventes de enkelte støjloggere at være i stand til at opfange lækager lokaliseret op til 50-100 meter fra loggeren. FIGUR 24 viser resulterende dækningskort udarbejdet i forbindelse med planlægning af støjloggerimplementering i Klampenborg sektionen. Med denne tæthed af støjloggere forventes hele ledningsnettet at være dækket.



FIGUR 3.11. Dækningskort for støjloggerimplementering i Klampenborg sektionen.

Da danske ventildæksler er en del mindre end udenlandske, måtte en del af dækslerne udskiftes af Novafos og HOFOR, før der var plads til støjloggerne. Som en konsekvens af dette, er designet af loggerne desuden videreudviklet, ved at størrelsen på støjloggerne er reduceret, så de passer ned i flere dækseltyper.

Ofte bliver lækager fundet ved manuelle undersøgelser af distributionsnetværket. Undersøgelser, der gennemføres systematisk med en fast frekvens f.eks. en gang om året. I værste fald kan der derfor gå rigtig lang tid, før en lækage opdages, med et stort vandtab til følge.

Montering af støjloggere i Klampenborg sektion

Resultater

Implementering af permanente støjloggere kan reducere responstiden i forbindelse med brudhændelser betydeligt. Kombinationen af støjloggere og Almos Leak, betyder i praksis, at der udføres lækagesporing hver nat – året rundt. Dette er en gevinst sammenlignet med, hvis der udføres manuel lækagesporing én gang om året eller måske hvert 2. eller 3. år, hvilket er tilfældet i mange danske forsyninger. Ved permanent monterede støjlogger sendes der automatisk en alarm til vandforsyningsselskabet, når der identificeres en mulig lækage. Lækagen kan derfor hurtigt lokaliseres og udbedres, hvilket igen betyder reduceret vandtab, mindre risiko for forurening af drikkevand gennem lækagen samt færre gener for forbrugerne.

Støjloggersystemet var fuldt implementeret i Mileparken, Klampenborg og Gentofte Syd i starten af 2017. Efterfølgende blev Hanevad inklusive Herlev Hovedgade instrumenteret, mens støjloggere i sektion Gl. Klausdalsbrovej først blev installeret i 2020-2021. Formålet med at sætte loggere op i Gl. Klausdalsbrovej var primært at opnå læring, vidensdeling og synergieffekt mellem støjloggere på ventiler kombineret med indbyggede støjsensorer i vandmålerne hos forbrugerne, som netop var blevet udviklet af Kamstrup.

I LEAKman er der således installeret permanente støjloggere i alle demonstrationsområder (udover Frederiksberg sektioner). Støjloggere og Almos Leak driftes i fællesskab mellem forsyningerne og Leif Koch. Der er identificeret følgende antal hændelser henførende til lækager i perioden 2017 – juni 2021:

TABEL 3. Opgørelse over installerede støjloggere i demonstrationsområder samt lækagehændelser detekteret af loggerne. Opgørelse for Hanevad indeholder både Hanevad området og Herlev Hovedgade området

Sektion	Loggere (antal)	Antal loggere (antal/km hovedledning)	Aktiv periode (år)	Lækager identificeret (antal)	Lækager i perioden (antal/logger/år)	Lækager/år/km
Gentofte Syd	113	3,1	4,25	31	0,065	0,203
Klampenborg	113	4,9	4,42	24	0,048	0,236
Mileparken	41	6,8	4,17	14	0,082	0,560
Hanevad	104	3,4	3,42	16	0,045	0,151
Gl. Klausdalsbrovej	99	9,0	0,33	0	0,000	0,000

Ca. halvdelen af de lokaliserede lækager er fundet på jordledninger eller anboringer, mens de øvrige er fundet på hovedledninger eller hovedventiler.

FIGUR 25 viser et eksempel fra Mileparken. Nattimeforbruget ind i sektionen stiger og en støjlogger går i alarm. Lækagen lokaliseres og udbedres i løbet af syv dage. Vandspildet er estimeret til ca. 320 m^3. Hvis lækagen havde stået et år, ville vandtabet have været ca.16.600 m^3.

FIGUR 3.12. Eksempel på lokalisering af en lækage vha. kombination af nattimeovervågning og permanente støjloggere. Støjloggeren går i alarm og nattime flowet ind i sektionen stiger. Lækagen detekteres, lokaliseres og udbedres i løbet af syv dage med minimalt vandtab til følge. Kombineret brug af permanente støjloggere samt et lækagemanagement software kan herved være en vigtig brik i forhold til at nedbringe lækagers samlede løbetid, også kaldet ALR (awareness location repair time).

HOFOR har som led i den almindelige lækagesøgning som standard løbende lift and shift støjloggere siddende på nettet. Disse anvendes ved manuelle gennemgange af nettene. I forbindelse med, at syv ud af otte net i HOFOR er blevet sektioneret, ønsker HOFOR at ændre denne manuelle gennemgang af nettene og dermed igangsætte lækagesøgning efter behov i

de enkelte sektioner. Permanent installerede støjloggere i sektionerne bliver derved et vigtigt redskab i overvågningen af sektionerne, da en alarm fra en støjlogger sammenholdt med en stigning i nattimeforbruget, kan anvendes til hurtigt at lokalisere en lækage.

Novafos har på baggrund af bruddata for en årrække foretaget en analyse af, hvorledes brud i deres forsyningsområde rapporteres, dvs. ikke kun i LEAKman demoområderne. Disse analyser peger på, at i størrelsesorden 10 % af brudene opdages med støjloggere, ca. 25 % ved systematisk lækagesøgning, og den resterende andel bliver synlige eller opdages på anden vis. Novafos har på baggrund af denne analyse vurderet, at støjlogger teknologien ikke er optimal i deres forsyningsområder og derfor besluttet ikke at anvende permanente støjloggere fremadrettet. Støjloggere i Novafos demoområder serviceres, udskiftes eller repareres derfor ikke efter projektafslutning.

Læringspunkter
En del akutte lækager på hovedledningsnettet eller på stikledninger detekteres ikke af støjloggerne. Dette skyldes, at loggerne alene lytter efter støj i nattimerne. En akut lækage, der bliver synlig på jordoverfladen, vil ofte blive repareret inden for få timer, og vil derfor sandsynligvis ikke være aktiv i nattimerne, hvor støjloggerne registrerer støjniveauet.

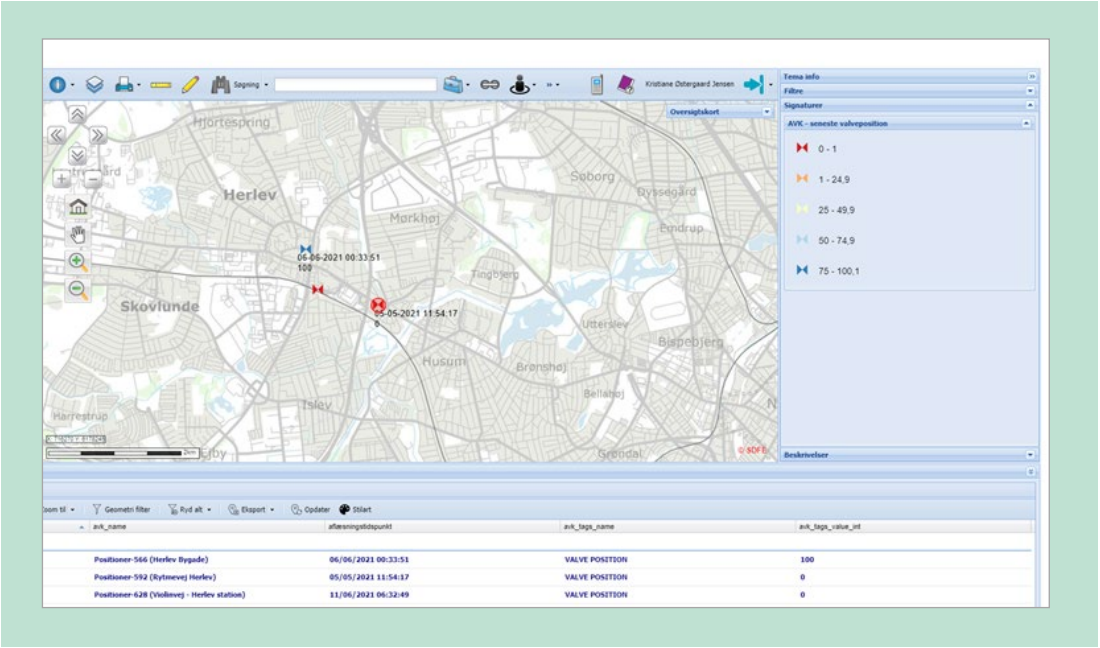
Der er en del drift og vedligehold forbundet med de installerede loggere, og det har været nødvendigt at gennemføre batteriskifte og softwareopdatering på en del loggere undervejs i projektperioden. Batteriskifte skyldes primært projektets forlængelse, da loggernes batterilevetid er ca. 5 år.

Det er vigtigt løbende at holde øje med, at loggere ikke mister forbindelse eller tages op i forbindelse med renoveringsarbejder i ledningsnettet. I den forbindelse er det også vigtigt at registrere, når en logger ikke er monteret i nettet. Desuden er det afgørende for succes, at der er en god arbejdsfordeling og kommunikation mellem lækagesøgningsfirma og forsyning, så lækager udbedres hurtigt.

For et ledningsnet, hvor lækager ofte bliver synlige på overfladen, vil gevinsten ved støjloggere formentlig være begrænset, da disse lækagetyper som oftest ikke lokaliseres med loggerne, men indrapporteres på anden vis.

For ledningsnet, der har en højere brudfrekvens, kombineret med lækager der typisk ikke når overfladen, før de har løbet længe og udviklet sig til større lækager, vil støjloggere være en oplagt mulighed som en del af programmet.

3.5.2 Ventil positioner
I Herlev er AVK´s VIDI positioner, der registrerer, om en ventil er åben eller lukket, afprøvet på tre zonegrænseventiler.



FIGUR 3.13. Placeringen af tre VIDI-enheder i Herlev.

Beskrivelse af teknologi
Enheden installeres ovenpå ventilen (ved spindlen) og kalibreres ind således, at enheden præcist kender ventilens åbningsgrad. VIDI-enheden sender data via LoRaWan netværket ind til AVK's VIDI Cloud løsning. Via en API sendes de tolkede data til HOFOR's webGIS system, KortInfo.

Udviklingen af positioner til zonegrænseventiler er beskrevet i afsnit 2.1.2 samt i Bilag 3.

Resultater
I KortInfo kan ventilens åbningsgrad følges. 0 -1 % åbne ventiler er røde. Når åbningsgraden stiger til over 1 % skifter ventilen farve til orange og ender med at være blå ved åbningsgrad 75-100 %. I KortInfo kan det desuden ses, hvornår der sidst har været dataforbindelse til ventilen. På FIGUR 26 ses de tre installerede VIDI positioners. Enheden længst mod øst har ikke haft forbindelse siden den blev sat ned grundet for dårligt signal.

Data fra zonegrænseventilerne kan bruges til at lave en struktureret plan for servicebesøg ved ventilerne, hvor man præcist kan se, hvornår ventilen sidst blev motioneret – dvs. bevæget. Derved kan man opnå et struktureret vedligehold af sine ventiler, og sikre en længere levetid. Desuden kan unødvendige servicebesøg undgås ved ventiler, der sætter sig fast og kræver reparation eller udskiftning, eller hvor man er usikker på ventilens position og må tjekke den manuelt på stedet.

Ved denne teknologi er man desuden (og for LEAKman vigtigst) sikker på, i hvilken positionen ventilen står. Derved kan man med sikkerhed vide om zonegrænseventilerne er 100 % lukket, og om flowmålinger og vandbalance på sektionsniveau er valide. Man har således elimineret en influerende faktor, der kan ødelægge brugen af de øvrige værktøjer og systemer.

Læringspunkter
En vigtig læring fra dette projekt er at finde et stabilt netværk, som kan anvendes til at sende data fra VIDI-enheden og ind til VIDI Cloud eller direkte frem til forsyningernes GIS systemer. Ved anvendelse af LoRaWan i Herlev, må gateway/antenne ikke være længere fra positioneren end ca. 900 meter, før forbindelsen bliver for dårlig. Dette er dog specifikt i Herlev området

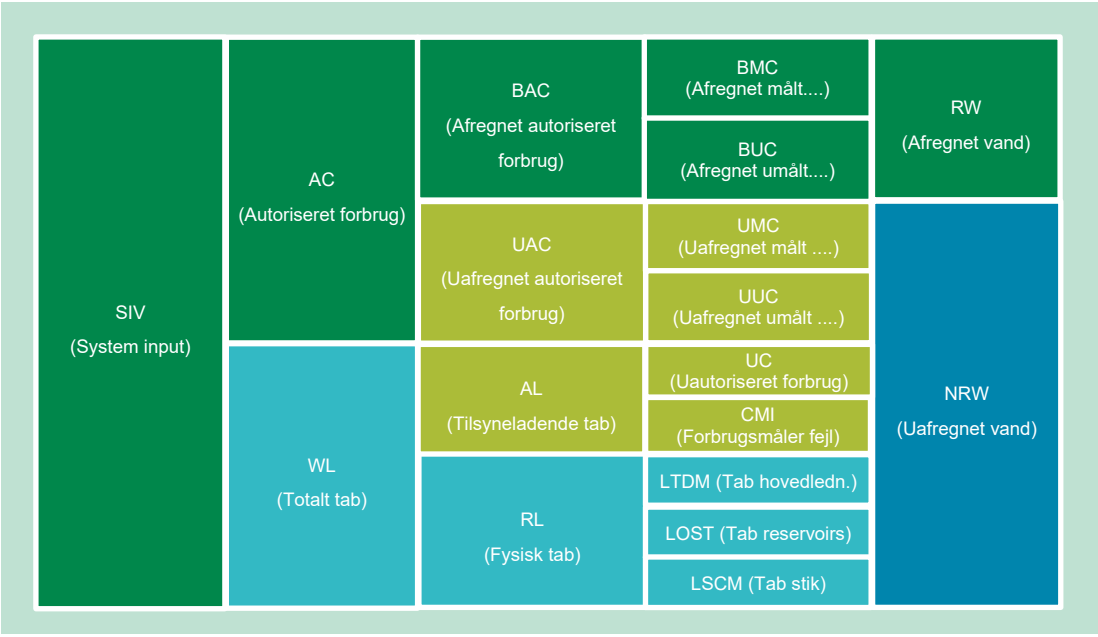
og kan/vil sikkert være afhængig af lokalområdet, bakker, bygninger osv. Når gatewayen fanger LoRaWan signalet fungerer teknologien/løsningen fint. Ændres positionen på ventilen, ses det hurtigt i VIDI Cloud og i KortInfo.

I forhold til at forbedre signalet er det at foretrække at bruge plast gadedæksler til LoRaWan radiokommunikation, dette er desuden et område hvor AVK vil fortsætte udviklingen og forsøge at forbedre datakommunikationen med VIDI positioner.

3.5.3 Smart meter vandmålere

Vandforbruget er en vigtig parameter, som påvirker alle dele af et distributionsnetværk. Når der skabes synlighed omkring vandforbruget ved implementering af smart meters (vandmålere), fås en ret præcis viden om forbrugsmønstre helt ned på timeniveau. Hændelser såsom lækager og brud vil "forstyrre" normalen og dermed indikere, at noget er galt.

For at kunne reducere lækager er det nødvendigt at kunne prioritere sin indsats. International Water Association (IWA) har udviklet en best practice metode til beregning af vandbalancen, som anvendes globalt. Med udgangspunkt i IWA´s vandbalance, kan man kategorisere vandtabet og vurdere, hvilke tiltag der kan implementeres for at bekæmpe vandspildet mest effektivt.

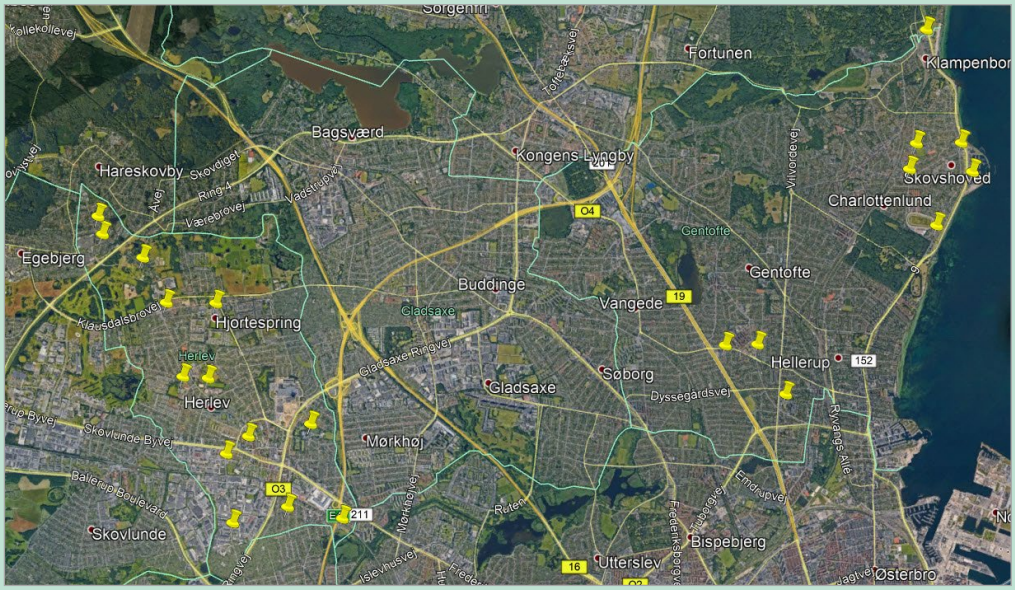


FIGUR 3.14. Simplificeret illustration af IWA's vandbalance.

For nærmere beskrivelse af IWA´s vandbalance henvises til litteratur på området samt til afsnit 2.1.5 og 2.1.6, hvor udvikling af vandbalancerapport i HOMIS samt udvikling af værktøj til beregning af vandbalance er beskrevet.

Installation af smart meters understøtter kategoriseringen i IWA vandbalancen, og medvirker direkte til en mere detaljeret og nøjagtig opgørelse af det målte forbrug og forbrugsmåler fejl, illustreret i komponenterne BMC, UMC og CMI. Samtidig fører dette indirekte til en forbedret estimering af det umålte forbrug, og dermed også opgørelsen af det fysiske vandtab. Det betyder, at forsyningen for et forbedret overblik over, hvor meget vand der går tabt, og hvorhen vandet forsvinder. Lidt forsimplet sat op, så skal man ikke bruge alle sine ressourcer på at skifte vandledninger, hvis det største vandtab sker som følge af umålt forbrug på f.eks. byggepladser.

I LEAKman er der installeret smart meters både i HOFOR´s og Novafos' forsyningsområder. Der er etableret ni antennesites i Novafos demonstrationsområder og 13 antennesites i HOFOR demonstrationsområder.



FIGUR 3.15. Antennesites (gul markør) i demonstrationsområderne.

Hos Novafos er der installeret 2.969 smart meters som aflæses via antennenetværket. I HOFOR er der installeret 2.255 smart meters.

Den nordlige del af området, Gl. Klausdalsbrovej, blev projekteret og installeret senere i projektet, da der kom en ny funktion i måleren, som passede ind i projektets scope. Den nye funktionalitet "Acoustic Leak Detection", er i stand til at detektere lækager på blandt andet jord- og stikledninger, som normalt er svært at få monitoreret.

Beskrivelse af teknologi
Smart meters er ultralydsmålere, som foruden en nøjagtig måling af vandforbruget indeholder mange andre funktioner, som er med til at belyse forholdene i distributionsnettet. Dette er blandt andet temperaturmålinger, visninger af maksimum og minimum flow samt infokoder. Infokoderne giver blandt andet information om lækager og brud efter måleren, hvis måleren fjernes fra installationen, tilbageløb samt sabotage af måleren. De nyeste målere, som installeres i Gl. Klausdalsbrovej sektionen indeholder desuden "Acoustic Leak Detection". Acoustic Leak Detection bruger ultralydssensorer til at detektere lækager før (og efter) måleren. Altså også ud i jord- og stikledninger. Målerne er henholdsvis MULTICAL® 21 samt flowIQ® 2200.

Smart meters indeholder desuden integreret radio, som leverer timeværdier og for udvalgte målere 5 minutters værdier. Radioteknologien er Wireless M-Bus, som er standardiseret i henhold til EN13757-4.

Antenne-sites er ligeledes baseret på denne standard og er tilpasset til de aktuelle geografiske områder. Tilpasningen er foregået via antal af sites samt valg af type (installation på gavl, skorsten, i flagstang osv.).

Data er hjemtaget i softwareplatformen READy, som foruden visning af data også eksporterer data videre til andre systemer såsom Aquis, HOMIS og KortInfo. Dette sker både via udveksling af tekstfiler samt via brug af API.

Resultater

Det har vist sig muligt at få op til ca. 98 % performance på dagsværdier i dette projekt. Øvrige projekter udenfor LEAKman viser, at det også er muligt at få samme performance for timeværdier med yderligere indsats i en "clean-up" proces, hvor de dårligste områder udbygges med f.eks. antenneforlænger på målerne, så installation af ekstra sites undgås.

98%

Performance på dagsværdier

På FIGUR 29 og FIGUR 30 ses dækningsgraden på dagsniveau for demonstrationsområderne i HOFOR og Novafos.

FIGUR 3.16. Dækningsgraden for områder i Herlev på dagsniveau. Grøn svarer til høj dækningsgrad (Periode 13/5 – 26/5 2021).

FIGUR 3.17. Dækningsgraden for Gentofte Syd og Klampenborg på dagsniveau. Grøn svarer til høj dækningsgrad (Periode 29/4 – 12/5 2021).

Både Novafos og HOFOR ønsker at udrulle fjernaflæsning til samtlige kunder for at lette aflæsningsprocessen og øge kundeservice, men også for løbende at kunne følge forbruget på sektionsniveau, da dette kan anvendes aktivt i lækagesøgningen.

READy opsamler forbrugsdata fra målerne og sender udvalgte data til HOMIS, som opsummerer forbrug og andre nøgletal på sektionsniveau. Dette sammenholdt med den forsynede vandmængde giver et samlet billede af tabet på sektionsniveau.

På FIGUR 31 ses døgnmængder for hhv. den forsynede del (blå) og den forbrugte mængde (orange) i Mileparken. Som det ses stiger både forsyningen og den forbrugte mængde signifikant i den varme sommerperiode. Differencen mellem de to grafer udgør dermed vandtabet. Forbruget for de kunder, hvor der ikke er modtaget data i perioden, er estimeret ud fra de øvrige målere i området. Differencen ligger på 15-20 m^3/døgn.

FIGUR 3.18. Viser den forsynede mængde (blå graf) og den forbrugte mængde (orange graf). Differencen kan henføres som vandtab i form af målerusikkerheder, estimeringsunøjagtigheder (2 målere uden forbindelse i eksemplet her) og lækage.

De mange forbrugsdata er yderligere bearbejdet i et underprojekt, som er beskrevet i Bilag 2 ”Consumption profiles”. Bilaget beskriver og diskuterer, hvordan disse data kan indgå i forsyningens planlægning og som input til hydraulisk modellering, og hvordan dybdegående analyser af både minimum nattimeflow og maksimalt forbrug kan bruges til at forudsige det forventede forbrug i et område. Sammenholdes data med informationer om boligtype fremgår det, hvordan forbruget varierer ikke bare fra forsyning til forsyning men også fra boligtype til boligtype.

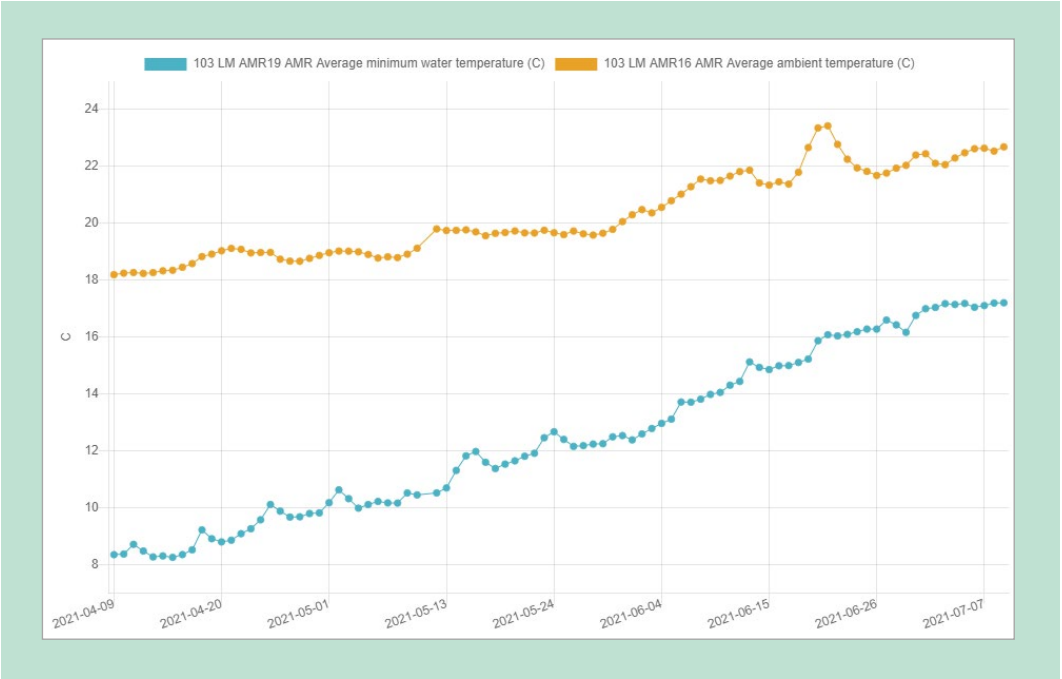
Det betyder, at forsyningens planlægning, produktion og drift kan basere deres beslutninger på faktisk forbrug helt ned på timeniveau. Det giver nye perspektiver både i form af driftsoptimering og kundeservice.

Ud over at anvende forbrugsmålerne til at beregne vandbalancen online for de enkelte sektioner, kan støjdata fra vandmålerne samt infokoder også anvendes til aktiv lækagesøgning.

I sektion Gl. Klausdalsbrovej har de installerede smart meters indbygget en funktion til at lytte efter støj på jordledningerne via ultralyd. Denne enhed er indbygget for at overvåge eventuelle lækager på jord- og stikledning, som bidrager til det samlede lækagetab. Målerne har desuden indbygget diverse infokoder, som anvendes i andre sammenhænge herunder b.la. temperaturmåling af medie og omgivelsestemperatur.

Der er i skrivende stund ikke fundet lækager i Gl. Klausdalsbrovej ved brug af støjdata fra forbrugsmålerne. Novafos har derimod udenom projektet påbegyndt en udskiftning af deres målerpark til denne type målere. I den forbindelse er der fundet en del lækager i de installationer, hvor måleren er installeret.

Afhængig af målertype er det desuden muligt at få medietemperatur og omgivelsestemperatur fra måleren. Denne info er nyttig viden til vandkvalitetsmæssige formål. Temperaturen kan følges over tid for den enkelte måler og i HOMIS er døgnværdier beregnet ud fra alle målere i hver sektion. På FIGUR 32 ses udviklingen af gennemsnits omgivelsestemperatur (Multical21/Multical31, men ikke flow IQ2200) samt minimum vandtemperatur (Multical21/flow IQ2200, men ikke Multical31) i Mileparken.



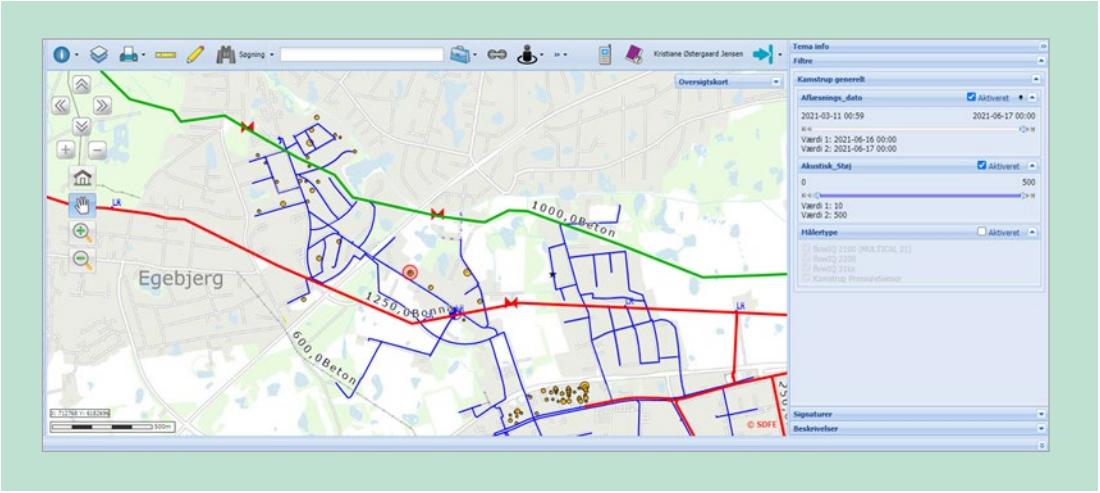
FIGUR 3.19. Temperaturudvikling i Mileparken-sektionen. Gennemsnitlig omgivelsestemperatur ved vandmåleren (orange) og minimum vandtemperatur (blå).

Af figuren ses, at omgivelsestemperaturen stiger støt fra ca. 18 °C i april til ca. 23 °C i juli, med periodevise variationer. Vandtemperaturen stiger fra ca. 8 °C til ca. 17 °C i samme periode. Det bemærkes, at der er en tydelig tendens til, at vandets temperatur er højere søndag og mandag end på ugens øvrige dage. Årsagen hertil er dog ikke undersøgt nærmere, men er formentlig relateret til forbrugsmønstret.

Integration af smart meter data i webGIS

HOFOR ønsker at samle alle data i få kendte systemer, som anvendes af så mange (alle) medarbejdere som muligt. I HOFOR´s webGIS miljø KortInfo er der etableret et lukket visningsmiljø for disse data under hensyntagen til gældende GDPR-regler. I systemet kan flow, temperatur og diverse alarmer følges over tid og sted. Dette gør det dermed muligt at følge vandtemperaturen over året og evt. indkredse kilder til opvarmning af vandet. Diverse alarmkoder kan desuden assistere med at finde lækager på jord- og stikledninger både før og efter måler samt overvåge diverse fejlkoder fra målerne f.eks. manglede batteri, tilbageløb, tørløb, hærværk mod måler osv.

Denne webGIS integration bidrager til at få det fulde udbytte af de ekstra data, som de fjernaflæste målere leverer. På FIGUR 33 vises støjdata fra målerne i sektionen Gl. Klausdalsbrovej. Støjtallet fra målerne følges og kan anvendes til at vurdere, om der skal igangsættes en lækagesøgning ud fra støjtallet. Erfaringer fra Kamstrup indikerer, at støjtal over 100 er interessante i forhold til lækager.



FIGUR 3.20. Visning af støjmålinger fra målerne i sektion GI. Klausdalsbrovej i HOFOR´s web-GIS KortInfo. Det er muligt at indkredse målere med højt støjniveau og derved høj sandsynlighed for brud på jordledningen ved at indstille bjælken til højre på det ønskede interval. Derudover kan støjen fra hver enkelt måler følges over tid.

Støjtallet kan anvendes sammen med infokoder fra vandmålerne til at vurdere, om lækagen ligger før eller efter måler, da vandmålere ved kontinuerligt forbrug angiver en infokode for "lækage efter måler".

Læringspunkter

Installation af antennesites kan være en ressourcekrævende indsats i de tilfælde, hvor forsyningen ingen anlæg har, man kan benytte. Private lodsejere har ikke samme interesse i at få sat et antennesite op, som forsyningen eller alternativt kommunen. Der var dog også stor forskel på villigheden til installation af antennesites fra kommune til kommune. Udfordringer ifm. etablering af antennesites i demonstrationsområderne er nærmere beskrevet i afsnit 3.4.4.

Den mest effektive fremgangsmåde er, hvor leverandøren og forsyningen arbejder sammen og bruger hinandens erfaringer og kontakter for at søge den mest effektive myndighedshåndtering og planlægning.

Selvom data fra Kamstrups system er baseret på en vel kendt standard, så har der været en udfordring i at få data udvekslet med andre systemer, som ikke "kender" disse data. Dette har krævet en længere dialog, hvor parterne har arbejdet med forståelse for hinandens systemer. Fuld udrulning af API vil i den forbindelse klart forbedre eksport/import af data mellem de forskellige systemer.

En vigtig viden fra disse processer er, at kvaliteten af data er altafgørende, ligesom det er vigtigt, at kravspecifikation for alle data bliver specificeret inden opstart, da man ellers kan stå tilbage med forskellige datapakker, som gør data sværere at sammenholde og anvende i praksis.

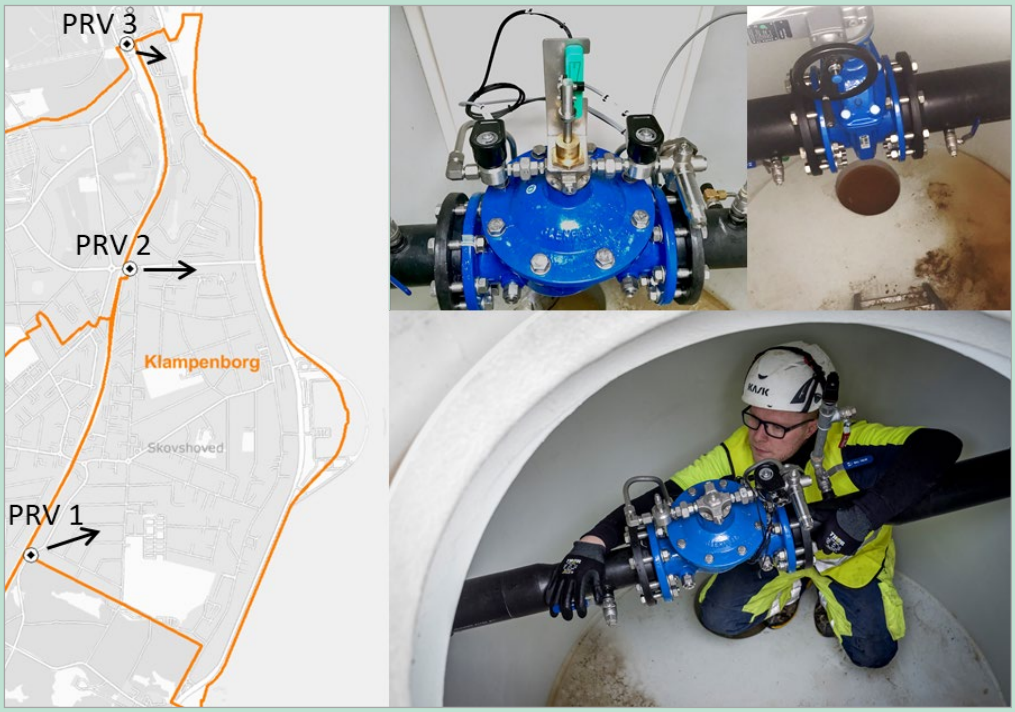
3.5.4 Trykoptimering ved sektionsindgange (PRV)

Trykstyring er én af de bærende elementer til at reducere vandspild i vandforsyningsnetværk, idet et for højt tryk er lig med unødig brug af energi, ligesom et for højt vandtryk bidrager til forøget lækage ved eksisterende utætheder. Jo højere tryk, jo mere vand presses ud gennem utætheder i rørnettet. Kommer vandet op til jordoverfladen (vej, fortov osv.) er der en stor sandsynlighed for, at forsyningen hurtigt opdager lækagen og sender et reparationshold ud for at tage hånd om denne. Men forsvinder vandet derimod i undergrunden eller løber til kloak, og lækagen ikke på anden måde bliver opdaget, bidrager et højt tryk til en øget lækagemængde,

som kan løbe ubemærket i årevis i grelle tilfælde. Problemet kan under gunstige forhold ”bare” relateres til energispild, men i områder, hvor vand er en knap ressource, kan det have alvorlige konsekvenser.

Ved at reducere trykket i ledningsnettet kan vandtabet og brudfrekvensen reduceres. Kan trykket reduceres med for eksempel 10 procent, vil den tabte vandmængde som en generel regel også falde med 10 procent, dette er dog afhængig af ledningsnettets materialesammensætning og andre eksterne faktorer.

Et moderne distributionsnet er ofte opdelt i sektioner, også kaldet DMA’ere (District Metered Area). Det er også tilfældet hos både HOFOR i omegnskommunerne og hos Novafos som beskrevet tidligere. I projektet er der arbejdet med trykreduktion med reduktionsventiler i to sektioner henholdsvis Klampenborg i Novafos og Mileparken i HOFOR.

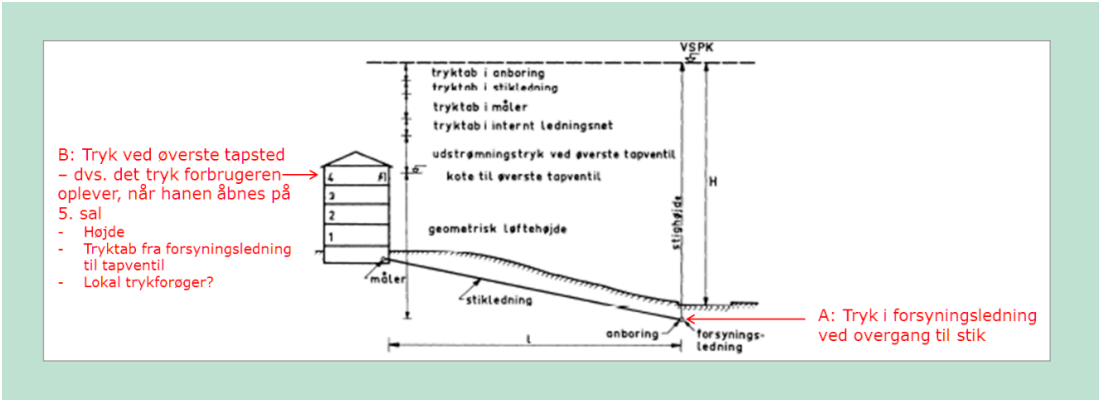


FIGUR 3.21. Sektionsmålerbrønde og PRV-ventiler (Pressure Reduktion Valves) i Klampenborg demonstrationsområde.

Mileparken har én indgang til sektionen, hvorimod Klampenborg har hele tre indgange jf. FIGUR 34, hvoraf den ene dog er lukket og kun skal åbnes i tilfælde af, at der er brug for større mængder vand eller hvis trykket falder for meget i sektionen.

Hvilke trykforhold, der er optimale i et givent forsyningsområde, afhænger af mange faktorer som terrænforhold, forbrugssammensætning, bebyggelsestype, særligt sårbare forbrugere, krav og ønsker til brandberedskab og sprinkleranlæg samt ledningsnettets materialesammensætning og tilstand. Det er som udgangspunkt den enkelte forsyning, der beslutter, hvilke trykforhold, der ønskes i et område. Som udgangspunkt for trykoptimeringen er der i Klampenborg (Novafos) defineret et trykkrav på 20 mVS ved øverste tapsted, når der ikke tages højde for tryktab i stik og jordledninger samt internt i bygninger, illustreret ved punkt B på skitse i FIGUR 35. I dette krav tages bygningshøjder i betragtning, hvilket er indarbejdet i de hydrauliske simuleringer, der er foretaget.

I Mileparken (HOFOR) er der ved forundersøgelserne taget udgangspunkt i at trykkrav på 20 mVS i gadeplan. Dette er dog undervejs ved indkøring af trykoptimeringen ændret til ca. 30 mVS i gadeplan efter ønske fra HOFOR.



FIGUR 3.22. Skitsering af trykforhold ved A – gadeplan ved overgang til stik. Og B – ved øverste tapsted.

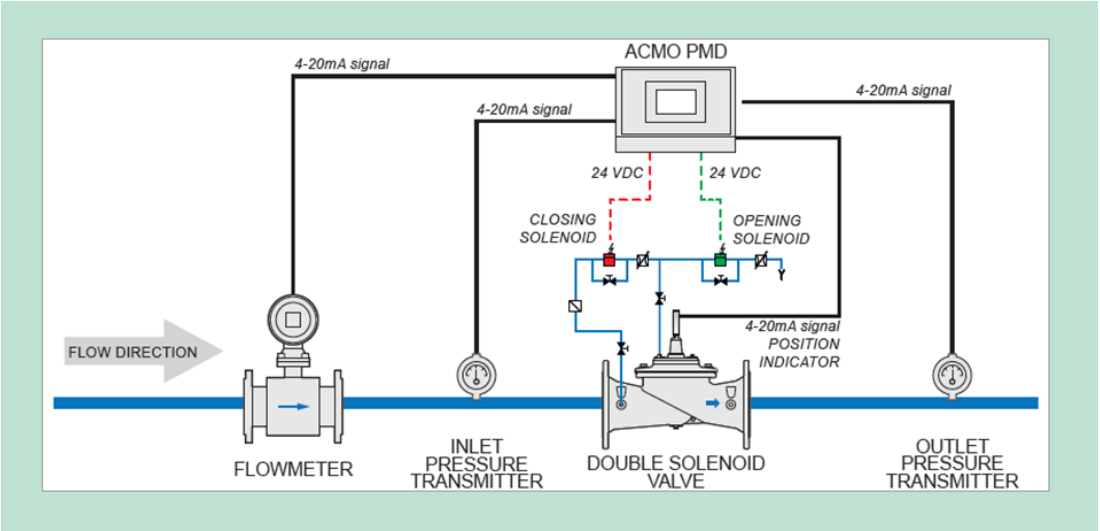
Beskrivelse af teknologi

Traditionel trykstyring foregår ved at indstille reguleringsventilen til et fast afgangstryk. Ventilen er konstrueret på en sådan måde, at trykket bliver holdt konstant uanset andre påvirkninger som svingende indgangstryk eller svingende forbrug af vand. Så længe tilgangstrykket er højere end det indstillede afgangstryk, vil afgangstrykket være stabilt. Ventilen kræver dog et vist differenstryk (forskel på tilgangstryk og afgangstryk) for at kunne regulere stabilt.

I et distributionsnet er der et tryktab i rørene. Lige efter trykreguleringsventilen er trykket som sagt konstant, men i de yderste dele af sektionen, længst væk fra trykreguleringsventilen, hvilket kan være flere kilometer væk, vil trykket fluktuere i forhold til forbruget. En typisk døgnrytme af vandforbruget i distributionsnettet er et højt forbrug morgen og aften, når der skal tages bad, koges kaffe, laves mad, vaskes op eller vaskes tøj og lignende huslige gøremål, hvorimod der er et lille vandforbrug i dagtimerne, hvor de fleste er på arbejde og om natten, hvor alle sover. Som følge af tryktab i ledningsnettet indvirker vandforbruget (flowet til sektionen), på vandtrykket ude i sektionen, og trykket stiger og falder derfor hen over døgnet. Se evt. Bilag 2, som omhandler forbrugsvariation i demoområderne.

Det svingende tryk kan være uhensigtsmæssigt. Typisk vil en vandforsyning levere et højere minimumstryk for at være sikker på at kunne levere vand til enhver tid. Dette tryk ligger ofte betydeligt over det nødvendige minimumstryk. Desuden kan trykvariationer have en negativ indvirkning på vandrørenes levetid. De bliver udsat for øget stress som følge f trykvariationer, som med tiden kan føre til rørbrud, og dermed lækager og vandtab, for ikke at tale om de følgeskader store rørbrud kan forårsage. Opgaven består derfor i at vende dette forhold således, at trykket yderst i sektionen er konstant, og variere trykke umiddelbart efter trykreduktionsventilen, afhængigt af forbruget. Dette har AVK valgt at kalde ”Demand Driven Pressure Management”.

For at skifte fra manuel indstilling af en trykreduktionsventil til en automatisk regulering, skal ventilen være udstyret med udstyres med en elektronik kontrol, der kan kommunikere med det nødvendige målerudstyr og reguleringshardware, dette er skitseret på FIGUR 36.



FIGUR 3.23. Skematisk opbygning af en ”intelligent” trykreduktionsventil, som den vil se ud ved indgangen til en forsyningssektion.

Styreenheden ”ACMO PMD” modtager signal fra flowmåleren og fra en tryksensor placeret på ventilens afgangsside. Derved er styreenheden i stand til at sammenholde flowet med trykket, og justere på reguleringsventilens åbningsgrad. Indgangen fra tryksensoren på tilgangssiden udfylder to funktioner. Først og fremmest giver den input til, hvor hurtigt styringen med de to magnetventiler skal reagere. Jo højere tilgangstryk, jo hurtigere reaktionstid, da det er indgangstrykket, der bruges som styretryk til at få reguleringsventilen til at gå mod åben henholdsvis lukket position. Yderligere kan den samme tryksensor udfylde en sikkerhedsfunktion ved at melde ind til SRO-anlægget. Falder trykket til under et fastsat sætpunkt for afgangstrykket, og reguleringsventilen står helt åben, kan dette skyldes enten et rørbrud eller en fejl ved den pumpe, der leverer tilgangstrykket. Ved at melde ”for lavt tilgangstryk” kan forsyningen sætte ind og finde årsagen til det lave tryk i området.

I SRO-anlægget kan der også indbygges en funktion, der stepvis regulerer trykket i forhold til flow indenfor nogle foruddefinerede intervaller. Dette er i det følgende benævnt ”flowstyring”. Flowstyring bevirker, at ventilen kan holde trykket ude i sektionens kritiske punkt konstant, hvorved der er langt større mulighed for succes i forhold til de tidligere beskrevne tryksvingninger.

Hverken i Klampenborg eller i Mileparken er trykreduktionen imidlertid opbygget helt på denne måde, idet forsyningerne har haft et ønske om, at deres egen styring via SRO-anlæg kom i spil. I praksis betyder det, at alle informationer fra sektionen går via SRO-anlægget til trykreduktionsventilen.

Trykreduktion i Klampenborg

Klampenborg sektionen ligger ved kysten og er et lavtliggende område hvor der er høje trykniveauer i ledningsnettet, da forsyningskilderne er beliggende terrænmæssigt højere. I Klampenborg sektionen er der som tidligere nævnt to aktive indgange (altid åbne) og en nødindgang, som altid er lukket, men som kan fjernstyres til åben i tilfælde af, at der er behov for øget flow, eller at trykket bliver for lavt.

Trykreduktionsventilerne i de to aktive indgangsbrønde er forsynet med, magnetventiler, se skitse på FIGUR 36, der styres fra SRO-anlægget, og som styrer efter et trykfølepunkt placeret ude i ledningsnettet, ved Skovshoved Havn. Magnetventilerne spærrer en lille mængde vand inde i et kammer, hvor vandtrykket virker på en membran med det højere indgangstryk på den ene side af membranen, og det lavere afgangstryk på den anden side af membranen.

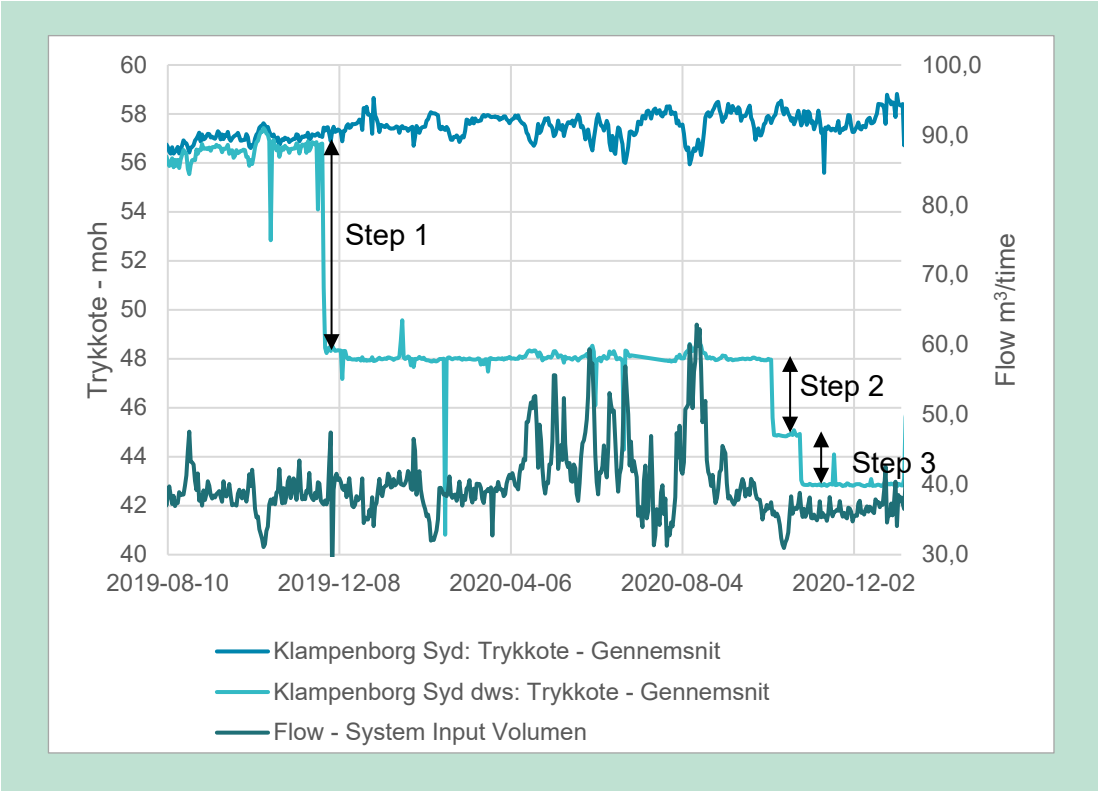
Forskellen i de to tryk (differenstrykket hen over ventilen) bruges som kraft/energi til åbne eller lukke hovedventilen en smule, og dermed regulere tryktabet hen over ventilen og fastholde et afgangstryk.

Denne konstruktion betyder, at der ikke skal bruges hverken 230/400 volt elforsyning men blot 24 volt til magnetventilerne. Standardudgaven af trykreduktionsventilen er forsynet med en hydraulisk pilotventil, der ikke kræver strømforsyning overhovedet. Aktivitetsniveauet på de to magnetventiler er ret højt i Klampenborg, eftersom de hele tiden vil forsøge at holde det indstillede afgangstryk, uanset hvad der sker af udefrakommende flow og tryk påvirkninger.

PRV-ventilerne i Klampenborg blev etableret i marts 2019 og selve trykreduktionen udrullet i tre steps herefter.

- Step 1 af trykreduktionen blev sat i drift i maj 2019. Efter at have kørt et par måneder med en reduktion på ca. 8 mVS mistede ventilen imidlertid differenstrykket og dermed evnen til at arbejde sig mod lukkeposition. Hermed blev ventilerne "efterladt" i åben position uden mulighed for at regulere. Styringen blev herefter justeret og Step 1 genudrullet i november (28-11-2019).
- Step 2 på ca. 3 mVS blev gennemført i oktober 2020 (07-10-2020).
- Step 3 på ca. 2 mVS blev gennemført efter ca. en måned (26-10-2020).

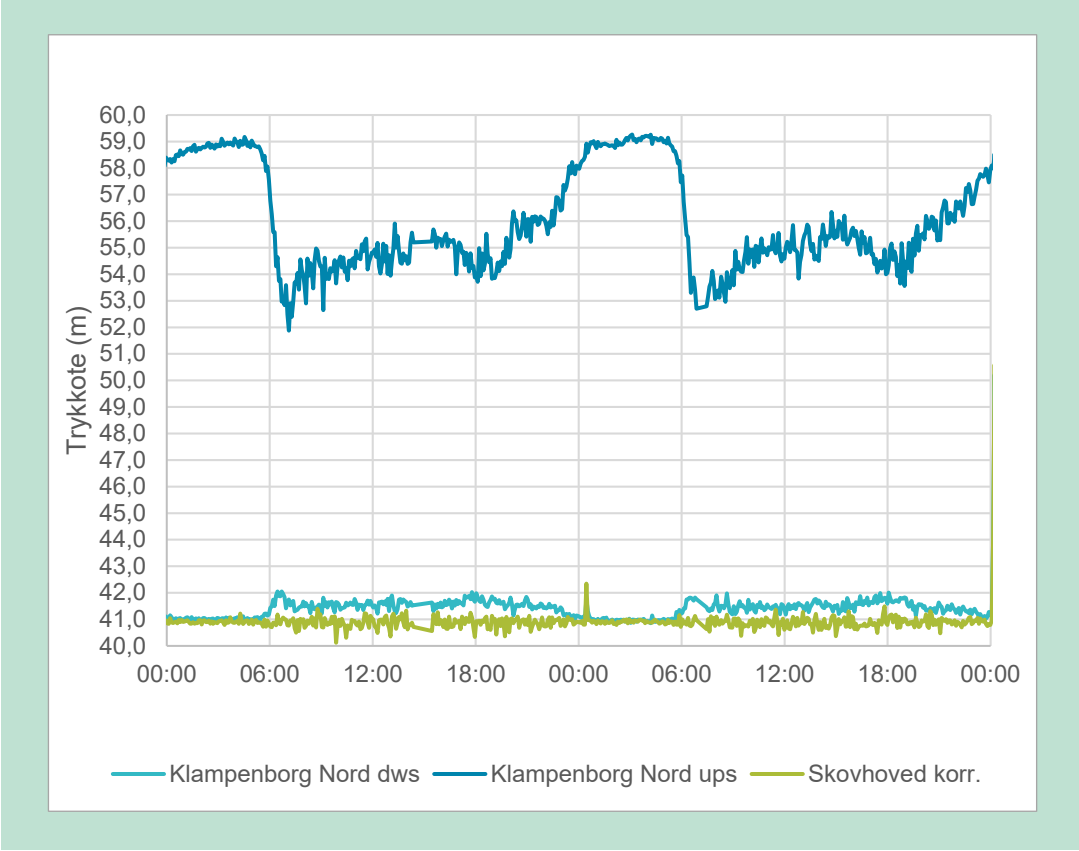
Det er beregnet, at for at kunne holde et minimums overtryk på 20 mVS (ved øverste tapsted) over døgnet i det kritiske punkt i sektionen, så skal der styres efter at holde et tryk på 41 mVS ved trykmasteren ved Skovshoved. Dette upåagtet om der regnes på minimum eller maksimum forbrugsdøgn. FIGUR 37 viser trykkote opstrøms reduktionsventil ved sektionsindgang Klampenborg Syd (PRV 1 på FIGUR 34), trykkote nedstrøms ventilen samt det samlede flow til sektionen.



FIGUR 3.24. Trykreduktion i Klampenborg er udrullet i tre steps. Step 1 trykreduktion på ca. 8 mVS (28-11-2019). Step 2 ca. 3 mVS (07-10-2020). Step 3 ca. 2 mVS. (26-10-2020).

Der ses en tydelig stabilisering af trykforholdene nedstrøms ventilen. Selvom tilgangstrykket varierer, og der desuden ses større variationer i flowet til sektionen, er afgangstrykket fra ventilen stabilt uden større variationer.

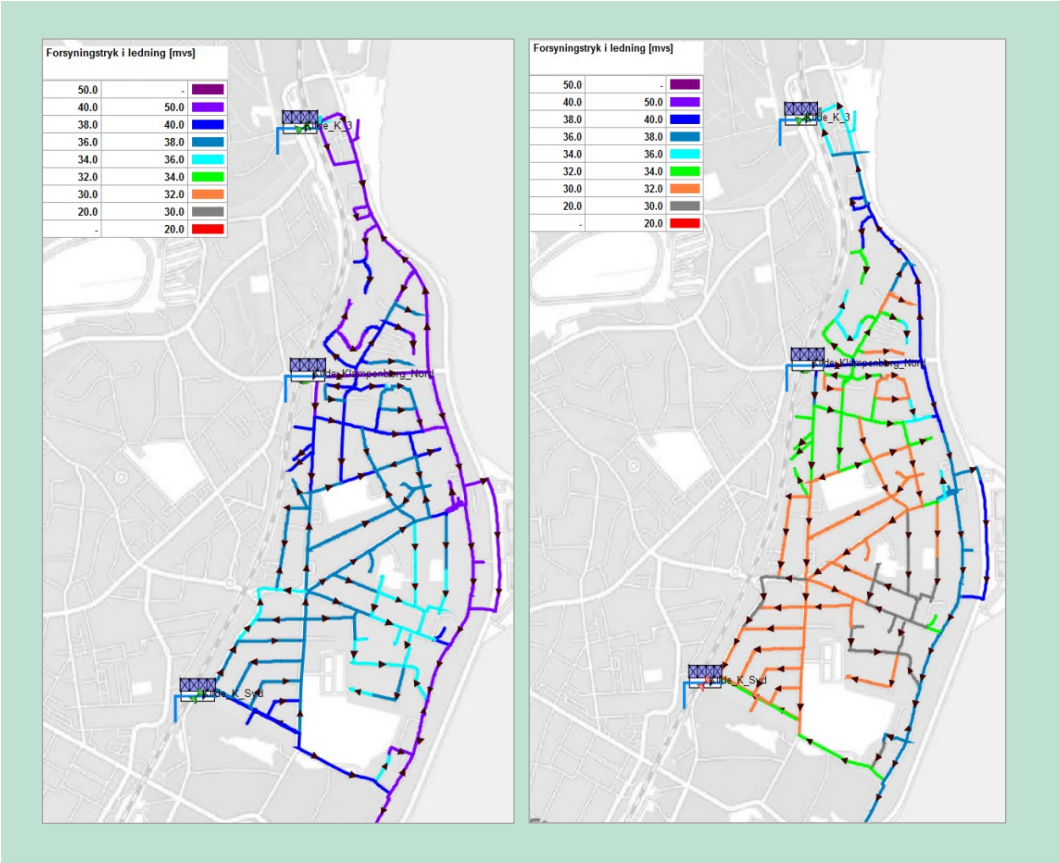
I perioden april til september 2020 ses relativt store variationer i flow til sektionen. Baggrunden herfor kendes ikke. Der er ikke kendskab til hverken brudhændelser eller renoveringsarbejder i denne periode, men det er muligt, at flowvariationerne er relateret til COVID-19 og tilhørende nedlukning af samfundsaktiviteter hen over sommeren 2020.



FIGUR 3.25. Trykkote ved indgang (Klampenborg Nord ups) til sektionsmålerbrønd (PRV 2 på FIGUR 34), afgangstryk fra PRV-ventil (Klampenborg Nord dws) samt trykkote ved trykmålepunkt ved Skovshoved. Trykkote ved Skovshoved er korrigeret med -2,1 m, som følge af kote/målerfejl. Udsnit dækker 5 minuts-værdier fra 2/11 til 4/11 2020.

På FIGUR 38 ses udsnit af måledata (5 minuts-værdier) fra SRO-systemet over to døgn i november 2020, hvor trykreduktionen er fuldt udrullet. Det ses, at tilgangstrykket varierer over døgnet som følge af tryktab i ledningsnettet opstrøms sektionen. Tilgangstrykket er lavest i morgentimerne (ved maksimalt forbrug), mens trykket er højest om natten, hvor forbruget er lavt. Variationen på tilgangstrykket er ca. 7 mVS.

Tryk nedstrøms ventilen varierer i langt mindre grad over døgnet (ca. 1 mVS), mens trykkoten ved trykmåleren på ved Skovshoved er helt stabil over døgnet – præcis som ønsket. PRV-ventilerne styrer netop efter at holde et fast tryk ved Skovshoved, som sikrer optimalt tryk i hele sektionen, og dette er således opfyldt.



FIGUR 3.26. Simulerede forsyningstryk kl. 7.00 i Klampenborg ledningsnet før trykreduktion (venstre) og efter trykreduktion (højre)

Af TABEL 4 fremgår nøgletal for den gennemførte trykreduktion i Klampenborg. Beregningerne er gennemført med Aquis online-model for et repræsentativt døgn før (7/1 2019) og efter (9/11 2020) udrulning af trykreduktionen.

TABEL 4. Nøgletal for trykreduktion i Klampenborg sektion

Over hele døgnet som gennemsnit	Før (7/1 2019)	Efter (9/11 2020)	Ændring
Middel forsyningstryk mVS	46,7	33,3	-29 %
Maksimum tryk mVS	53,3	40,0	-25 %
Minimum tryk mVS	42,0	28,5	-32 %
Gennemsnit flow m^3/h over døgnet	40,1	35,1	-13 %
Sum volumen m^3 24 timer	963,0	842,4	-123 %
Minimum nattimeflow m^3/h (MNF)	11,4	7,2	-37 %

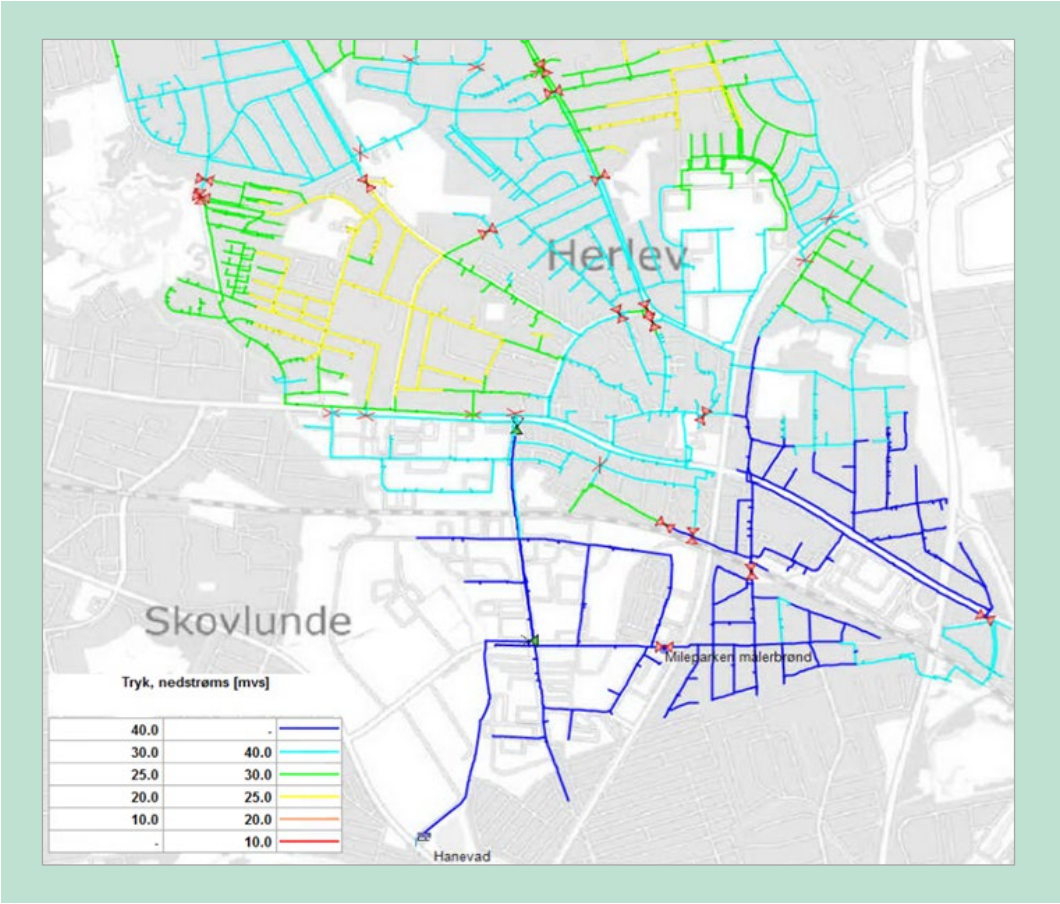
29 %

Reduktion af forsyningstryk i Klampenborg sektion

Der ses at være opnået en gennemsnitlig reduktion af trykket over døgnet på ca. 13 mVS svarende til en reduktion på 29 % i forhold til det gennemsnitlige trykniveau i sektionen før reduktionen blev etableret. Der ses desuden en reduktion i flowet til sektionen på ca. 12 %, samt en reduktion i minimum nattimeflowet til sektionen på ca. 37 %. Flowreduktionen kan dels skyldes reduktion i lækage og reduktion i enhedsforbrug som følge af lavere tryk, men det bunder formentlig også i forskellige generelle forbrug i sektionen i de to perioder. Der er dels tale om forskellige årstider, og yderligere må COVID-19 nedlukningen i 2020 forventes at påvirke forbruget betydeligt. Da der i 2019 endnu ikke var fuld dækning på fjernaflæste forbrug i sektionen, er det ikke muligt at afgøre, hvor stor en del, der er relateret til forbrugsændringer og hvor stor en del, der er relateret til reduceret vandtab i ledningsnettet.

Trykreduktion i Mileparken

De tre sydligste sektioner i Herlev; Hanevad, Herlev Hovedgade og Mileparken forsynes fra Hanevad trykforøger. Da terrænet stiger med ca. 22 m fra syd mod nord, er trykket mod syd højt, mens trykket mod nord er lavt, se FIGUR 40.



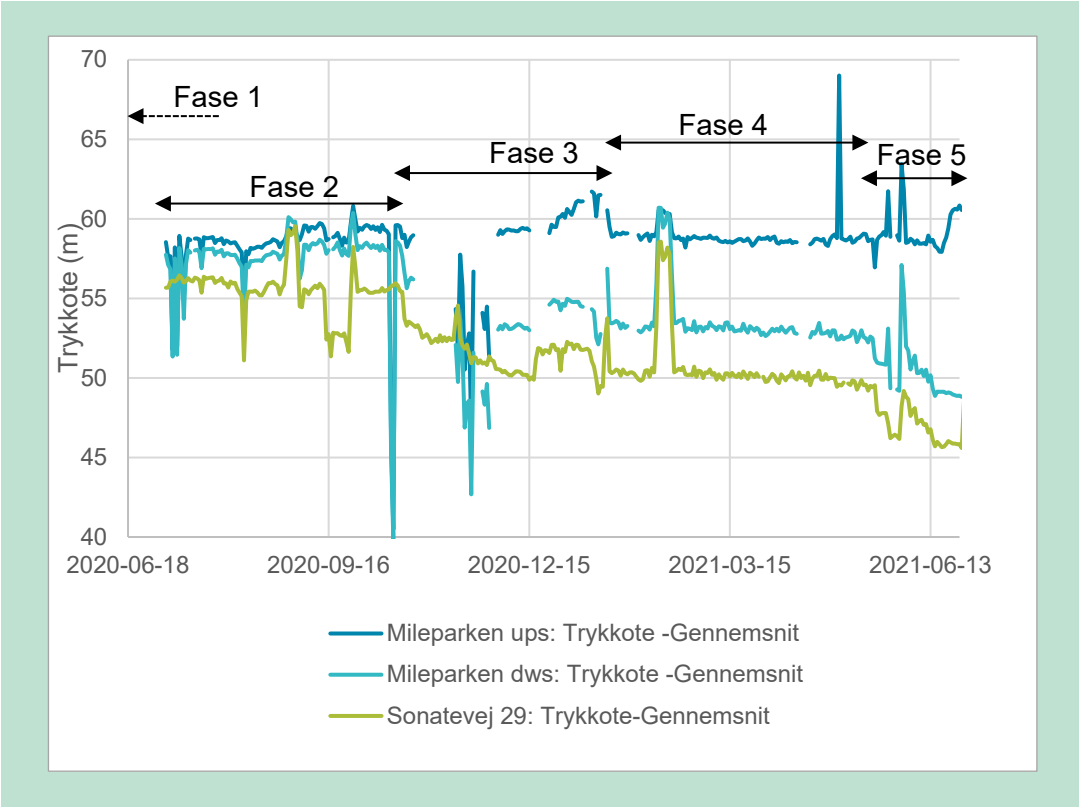
FIGUR 3.27. Udsnit fra forsyningens Aquis ledningsnetmodel (før trykoptimering), hvor trykket er beregnet i de tre sydligste sektioner i Herlev: Hanevad, Herlev Hovedgade og Mileparken. Alle tre sektioner forsynes via Hanevad trykforøger, som ligger mod syd. Trykket de i tre sektioner varierer fra 20 mVS til 50 mVS afhængig af sted og tidspunkt på døgnet.

Sektion Mileparken ligger længst mod sydøst. Sektionen er karakteriseret af lav bebyggelse i maksimalt 1½ plan og består af boliger og småerhverv. Trykket i sektionen er højt og ligger nogle steder om natten på 48-49 mVS. I nogle punkter kan trykket variere omkring 10 mVS hen over døgnet. Størstedelen af forsyningsledningerne i sektionen er ældre støbejernsledninger med høje brudfrekvenser. For at minimere vandtabet ved brud, ønskes der foretaget en trykreduktion i sektionen. I Mileparken er der kun én indgang til sektionen, der er åben i daglig drift. Reserveindgange til sektionen udgøres af lukkede sektionsventiler. Ved indgangen til sektionen installeres derfor en PRV-ventil. Ventilen kan enten reducere trykket til et fast afgangstryk efter ventilen eller styres efter flow. Ventilen styres i begge tilfælde via SRO-anlægget, men kan også indstilles manuelt.

I Mileparken sektionen bruges en hydraulisk pilot til regulering af trykreduktionsventilen i stedet for magnetventiler. Dette er AVK's standardudgave. Den hydrauliske pilot virker ved en membran med afgangstryk (vand) på den ene side, og et fjedertryk på den anden side. Fjedertrykket justeres i forhold til det ønskede afgangstryk og holder på denne måde konstant balance i afgangstrykket. Hvis der ønskes et andet afgangstryk, skal fjederpåvirkningen ændres ved hjælp af et simpelt håndtag. Som før nævnt har denne konfiguration ikke brug for strøm til

selve reguleringen og dermed ikke samme risiko for ”overstyring” som i Klampenborg. I Mileparken er der imidlertid også et ønske om at kunne kontrollere afgangstrykket via HOFOR´s SRO-anlæg. Derfor indgik AVK i et samarbejde med firmaet AUMA om at finde en elektrisk aktuator, der via SRO-anlægget kan fjernstyre fjedertrykket, så dette ikke skal gøres manuelt. Denne opbygning bruger udelukkende strøm, når SRO-anlægget et par gange i døgnet beder aktuatoren om at ændre fjedertrykket/afgangstrykket. Skulle strømforsyningen falde ud, vil ventilen fortsat regulere i forhold til den indstilling, der var gældende ved strømudfaldet. Den valgte løsning blev en AUMA Profox aktuator med Profibus kommunikation, som blev monteret på standardventilen, og dermed blev HOFOR's ønske om fjernkontrol opfyldt.

Implementeringen af trykreduktion i Mileparken har været præget af en del udfordringer relateret til både den fysiske sektionering, komponenter, software, dataoverførsler og udefrakommende faktorer. Implementeringen kan groft inddeles i fem faser som skitseret på FIGUR 41, hvor trykkoten ved tilgang til Mileparken sektionsindgang (Mileparken ups), trykkote nedstrøms PRV-ventil (Mileparken dws) samt trykkote ved det kritisk punkt i sektionen ved Sonatevej er vist. Huller i grafen skyldes dataudfald eller data, der ligger udenfor sandsynligt interval.



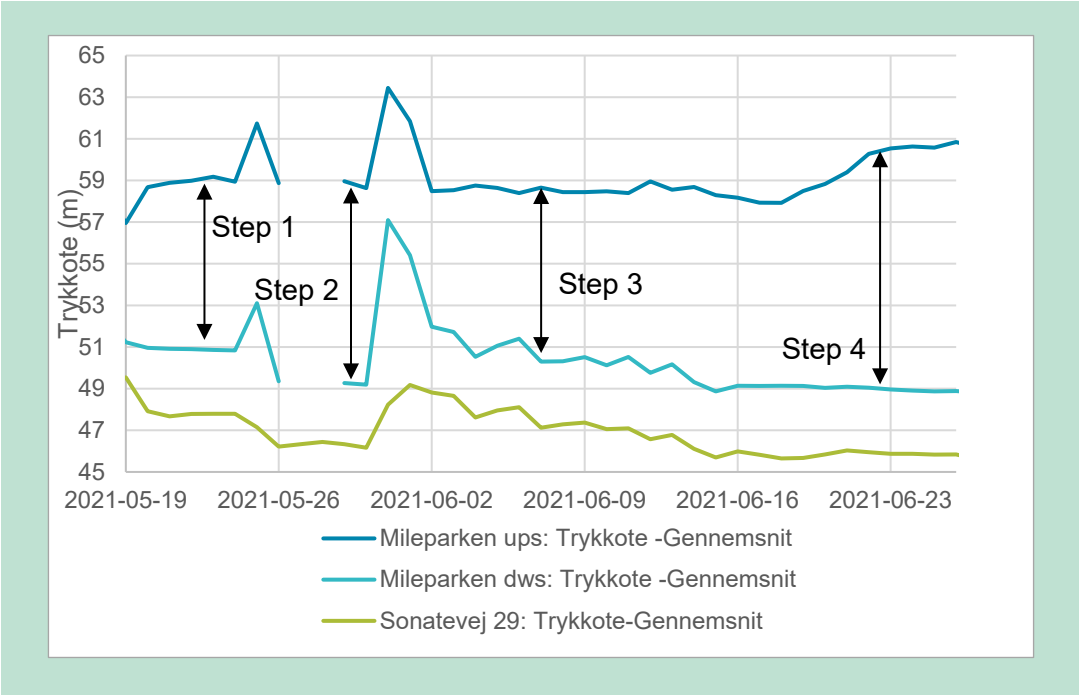
FIGUR 3.28. Implementering af trykreduktion i Mileparken med markering af fem forskellige faser.

- I fase 1, er målerbrønden etableret med PRV-ventil. I denne fase var der udfordringer med BUS-kommunikationen mellem den lokale PLC ventilstyring og HOFOR's SRO-anlæg. Inden den problemstilling var løst, blev PLCen og hele styreskabet desuden ramt af en forulykket bil, og måtte derfor genopbygges fra bunden.
- I fase 2 er styreskab og kommunikation genetableret og trykreduktion sat i drift.
- I fase 3 er regulering i drift, men der er udfordringer i forbindelse med renoveringsarbejder, hvor sektionsgrænsen åbnes i perioder. Vandbalancen i fase 3 er derfor ikke valid.
- I fase 4 viser det sig, at differenstrykket er for lavt til en stabil regulering med den monterede ventil. Derfor bliver ventilen (d. 20/5 2021) skiftet til en full bore udgave, der regulerer bedre ved lavt differenstryk. Udfordringen med BUS-kommunikationen løses

ved at installere den før omtalte AUMA Profox aktuator på den hydrauliske selvvirkende pilot. Denne løsning kommer i stand efter omfattende afprøvninger i testlab hos AVK. Det smarte ved AUMA Profox på AVK's selvvirkende hydrauliske pilot er, at Profox ikke skal regulere (det sker hydraulisk) men blot aktiveres når sætpunktet skal ændres. Nu kommunikerer HOFOR's SRO-anlæg direkte med AUMAs Profox aktuator uden det oprindelige PLC-mellemled, og selve reguleringen foregår rent hydraulisk. Det betyder, at SRO-anlægget blot skal give kommandoer et par gange i døgnet, når afgangstrykket/sætpunktet skal ændres.

- I fase 5 er der efter at have fået installeret det nye udstyr opnået fine resultater med et stabilt tryk i sektionen.

I fase 5 er trykoptimeringen forsøgt yderligere optimeret i 4 steps skitseret på FIGUR 42. I step 1 reduceres trykket med styring efter fast afgangstryk på ca. 40 mVS (trykkote 51), hvilket svarer til en reduktion på ca. 8 mVS. I step 2 blev trykket sænket yderligere to meter. I step 3 forsøges at implementere flowstyring på ventilen. Det viser sig dog, at dette forårsager uhensigtsmæssige trykvariationer, da flowet til sektionen er meget begrænset. Det er derfor besluttet at køre videre med fast afgangstryk i step 4, der sikrer et minimums trykniveau i gadeplan ved det kritiske punkt (Sonatevej) på 28 mVS, svarende til trykkote 45 m.



FIGUR 3.29. Fase 5 af Implementering af trykreduktion i Mileparken med angivelse af stepvis trykreduktion.

På FIGUR 43 ses trykket ved Sonatevej 29 for perioden midt maj til midt juni 2021.

FIGUR 3.30. Trykket ved Sonatevej 29. Adressen er beliggende i sektion Mileparken. De perioder, hvor ventilen er sat til at styre efter fast afgangstryk, er markeret med gult.

Som det ses, er trykket meget stabilt ved Sonatevej i perioden den 22. -24. maj, hvor PRV-ventilen er indstillet til et fastholdt tryk på 40 mVS. Den 25. maj sættes trykket ned til 38 mVS. Herefter er trykket stabilt frem til 31. maj, hvor ventilen sættes over i flowstyring. Denne styringsform viser sig ikke at være særlig hensigtsmæssig i denne sektion grundet hyppige og hurtige skift i flow. Efter forsøg på at kalibrere ventilen bliver den som beskrevet sat i fastholdt tryk den 15. juni, hvorefter trykket bliver mere stabilt.

På FIGUR 44 ses simulerede trykforhold i Mileparken sektionen med og uden PRV-ventil på sektionsindgangen.

FIGUR 3.31. Simulerede forsyningstryk kl. 07.00 i Mileparkens ledningsnet før trykreduktion (øverst) og efter trykreduktion (nederst).

Af **TABEL 5** fremgår nøgletal for den gennemførte trykreduktion. Beregningerne er gennemført med Aquis online-model for et repræsentativt døgn (25/6 2021). I "før" beregningen er det antaget at ventilen er fuldt åben (intet tryktab), og det målte opstrøms tryk er brugt som randbetingelse. I "efter" beregningen er det målte nedstrøms tryk brugt som randbetingelse. I begge beregninger er det antaget at flowet er det samme, selvom trykforskellen må forventes reelt at have betydning for vandforbruget. Det er valgt at gennemføre "før" og "efter" beregningerne på denne måde, da der er uklarhed om sektionens tæthed før installation af ventilen.

TABEL 5. Nøgletal for trykreduktion i Milepark sektion

Over hele døgnet som gennemsnit	Uden PRV	Med PRV	Ændring
Middel forsyningstryk mVS	47,3	35,8	-47 %
Max. tryk mVS	49,7	38,2	-49 %
Min. tryk mVS	40,3	28,8	-40 %
Gennemsnits flow m^3/h over døgnet	6,9	6,9	-
Sum volumen 24 timer	165	165	-

21%

Reduktion af forsyningstryk i Milepar-ken sektion

Den resulterende trykreduktion i Mileparken pr. juni 2021 er ca. 10 mVs, som sammenholdt med et gennemsnits trykniveau i sektionen før implementering af PRV på 47 mVS svarer til en reduktion på 21 %.

Læringspunkter

Som før beskrevet er der etableret to indgange til Klampenborg sektionen, der er åbne i daglig drift. Trykreduktionen i disse to indgange er derfor afhængige af hinanden, og skal kunne "tale" sammen. De vil dog også kunne påvirke hinanden internt. To indgange har givet flere udfordringer. Hvis ventilen i indgang A åbner for meget, vil trykket på afgangen på ventilen i indgang B stige over sætpunktet, og ventilen mister dermed differenstryk og dermed evnen til regulere. Derfor bør det overvejes at skifte pilot-delen ud til en løsning som i Mileparken, da de automatisk vil lukke ned ved stigende afgangstryk, og ikke som i Klampenborg, skal afvente et signal fra SRO-anlægget.

Det er konstateret, at det er vigtigt, at der er et differenstryk til stede for at anvende en hydraulisk membran aktiveret ved pilotstyrede reguleringsventiler, og at reguleringen bliver ret dårlig ved lavt eller intet differenstryk. Dette kom til udtryk hos Novafos ved, at når de ikke-selvvirkende ventiler ikke lukkede sammen med et nedadgående flow, mistede ventilerne differenstrykket, og dermed muligheden for at kunne aktiveres. Havde ventilerne hos Novafos været af Aksial reguleringsventil typen, kunne ventilerne aktueres på plads ved brug af en elektrisk aktuator med direkte kontakt til sædet.

Trykreduktionen i Klampenborg og Mileparken har ikke givet anledning til klager på kundesiden. Dels har trykreduktionen været implementeret stepvis, hvorved forbrugerne gradvist har vænnet sig til forholdene, og dels opretholdes generelt et konstant, tilfredsstillende tryk hos forbrugerne også efter reduktionen.

Novafos har kunnet overvåge trykket ude i "den bagerste" ende af sektionen, hvor trykstyringspunktet er placeret, og samtidigt simulere trykforholdene online i den hydrauliske model. For år tilbage forsøgte Novafos at sænke trykket i et andet område. Dette blev gennemført i ét step, hvilket afstedkom ganske mange klager over manglende vand. Der var dog ikke reelt tale om "manglende vand", men blot den psykologiske faktor, at der lige pludseligt ikke kommer så meget vand ud af vandhanen som tidligere. Et læringspunkt er derfor, at trykoptimering bør udføres stepvis.

I tillæg til opbygning af styrefunktionen var der fra Novafos' side et ønske om at kunne se åbningshøjden på selve reguleringsventilen, da dette var en parameter, man ville implementere i styringen. Dette gav nogle udfordringer i praksis, eftersom en fuld åben ventil mister differenstrykket og dermed evnen til at arbejde sig mod lukkeposition. Hermed blev ventilerne "efterladt" i åben position uden mulighed for at regulere. Et vigtigt læringspunkt er, at en selvregulerende trykreduktionsventil netop skal være selvregulerende, og hvis andet er ønsket, som i tilfældet hos Novafos, er en AVK Aksial reguleringsventil med elektrisk aktuator, der har direkte fat i ventilsædet, et bedre valg.

I Mileparken er differenstrykket hen over ventilen ret lavt (5–10 mVS), og dette betød, at det var ret svært ved at få en fornuftig regulering i første omgang. Først da ventilen blev udskiftet til en model med større membranoverflade, blev reguleringen som ønsket og forventet. Ved samme vandtryk på membranens nu større overflade fås en større kraft, og dermed en bedre og mere stabil regulering.

Et vigtigt læringspunkt er derfor vigtigheden af valg af korrekt ventiltype, og at opfølgning og efterfølgende tilpasning kan være nødvendigt, når der arbejdes med reguleringsventiler.

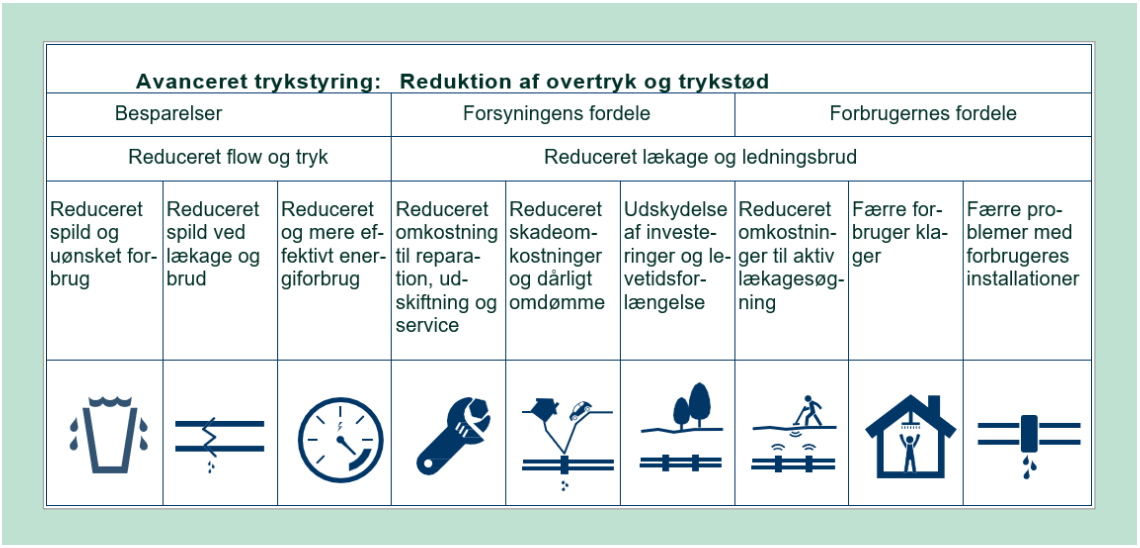
Det er desuden konstateret, at metoden med selvvirkende pilot fungerer rigtig godt til formålet med trykregulering, og i kombination med elektrisk aktuator opnås optimal mulighed for trykstyring med henblik på konstant lavt tryk i det kritiske punkt.

Fra andre installationer uden for LEAKman projektet er der tidligere konstateret, at en effektiv og stabil trykstyring også kan være med til at dæmpe tryksvingninger på tilgangssiden af en sektion. Altså pumpetrykket fra transmissionsledningen. En sådan effekt er dog ikke konstateret i hverken Mileparken eller Klampenborg.

3.5.5 Trykoptimering ved udpumpning (DDD)

Demand Driven Distribution kan forståelsesmæssigt oversættes med ”Flow proportional trykstyring”. Ved stigende flow forøges trykket, hvilket giver god mening, da den hydrauliske modstand/modtryk i rør, ventiler med mere, stiger ved højere flow. Omvendt vil trykket kunne reduceres ved faldende flow, da den hydrauliske modstand i denne situation er lavere.

Grundfos pumper og styring udnytter ovenstående på den måde, at man i stedet for at køre et konstant tryk uafhængigt af flowet, gør trykket afhængigt af den flowmængde, der pumpes på det givne tidspunkt. Ude hos forbrugerne vil det opleves, som et mere konstant vandtryk uafhængig af tiden på dagen. Særligt i de kritiske punkter, som er der, hvor man ikke oplever tilstrækkeligt tryk i højlastperioder med stor udpumpning, vil man opleve, at den flowproportionale trykforøgelse vil give det nødvendige ”boost”. I de samme kritiske punkter vil man i perioder udenfor højlast opleve at have et højere tryk end nødvendigt, hvis man kører konstant tryk uafhængig af flowet. Således er ideen med DDD, at man sænker trykket til det nødvendige niveau i lavlastsituationer og hæver trykket med stigende flow. Fordelene er skitseret i FIGUR 45.



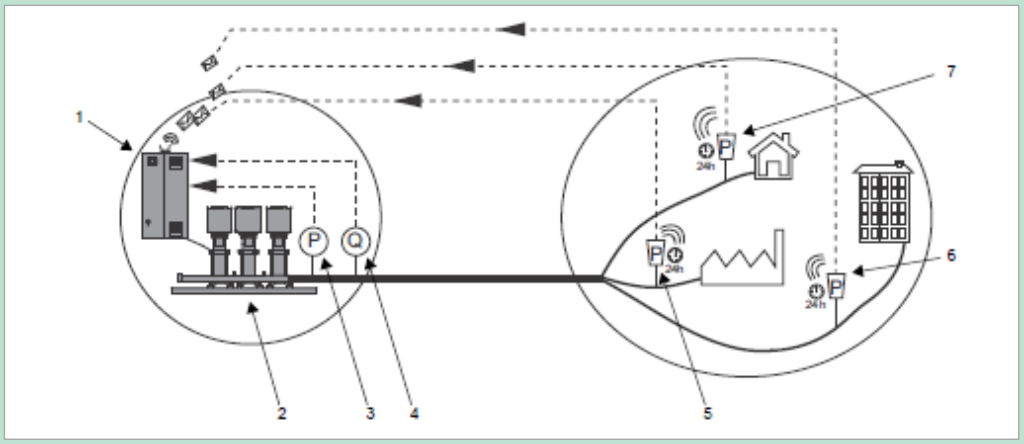
FIGUR 3.32. Skematisk oversigt over fordele ved avanceret trykstyring med reduktion af overtryk og trykstød.

Beskrivelse af teknologien

Grundfos Control DDD anvendes til styring og overvågning af anlæg under tryk i vandforsyningsnet. Control DDD består af et styreskab med en indbygget styring, CU354. Styreskabet indeholder alle nødvendige komponenter såsom hovedafbryder, kontaktorer, I/O-moduler, kommunikationsmoduler og kabling.

På pumpestationen regulerer styringen pumpehastigheden på baggrund af det aktuelle flow og tryk. For at optimere proportionaltrykkurven, som styringen bruger, er der installeret et antal fjernsensorer (op til ti) på kritiske steder i forsyningsnettet, hvor der kræves et stabilt tryk.

Fjernsensorerne registrerer trykket i løbet af dagen og sender de loggede data til styringen en gang i døgnet. Hver dag opdaterer og tilpasser styringen automatisk proportionaltrykkurven for at sikre et stabilt tryk ved de kritiske punkter. Når vandbehovet er lavt, sænker styringen afgangstrykket ved pumpestationen for at spare energi og reducere lækager og slitage af rør.



Pos.	Beskrivelse
1	Control DDD
2	Trykforøgerpumper
3	Primær afgangstryksensor
4	Flowmåler ved pumpestation
5	
6	Fjernsensorer
7	

FIGUR 3.33. Skitsering af vandforsyningssystem med Grundfos Control DDD implementeret på udpumpning

Fjernsensorer logger trykket i vandforsyningsnettet ved udvalgte kritiske punkter. Én gang i døgnet sendes de loggede data som sms til styringen via GSM-netværket. Dataene kombineres for at danne en model af forsyningsnettet. Sensorerne kan indstilles til at give en advarsel, hvis trykket kommer under en brugerdefineret grænse.

Styring med Control DDD er karakteriseret ved:

- Control DDD opretholder trykket ved de kritiske punkter i anlægget ved trinløs tilpasning af pumpernes hastighed.
- Anlæggets ydelse reguleres efter behovet ved ind- og udkobling af det nødvendige antal pumper og ved parallel regulering af pumperne i drift.
- Pumpeskift sker automatisk og afhænger af belastning, driftstimer og fejl.
- Alle pumper i drift kører med samme hastighed.
- Antallet af pumper i drift afhænger også af pumpernes energiforbrug. Hvis kun én pumpe er nødvendig, vil to pumper køre ved en lavere hastighed, hvis dette giver et lavere energiforbrug. Dette kræver at pumpens differenstryk måles, og at pumpekurvedata er til rådighed for styringen.

Styringen indstilles til funktionen "Manuel tilpasning" for at tilpasse sætpunktet automatisk til det aktuelle flow for at kompensere for flowafhængige dynamiske tab. I anlæg med CR-pumper kan pumpekurverne bruges til at beregne det maksimale flow ved det valgte sætpunkt. Der kan indstilles en filterfaktor for at forhindre udsving. Tilpasningen kan være lineær eller kvadratisk, men da den hydrauliske modstand i vandrørene er eksponentielt stigende med flow vælges "kvadratisk".

Et alternativ er at vælge automatisk tilpasning. Denne funktion optimerer automatisk proportionaltrykkurven ved hjælp af de loggede trykdata fra fjernsensorerne og sikrer et konstant tryk ved de kritiske punkter. Trykket ved pumpestationen varierer afhængig af forbrugsmønstret i de kritiske punkter. Anlægstrykket bliver tilpasset automatisk, når der registreres en ændring af vandbehovet ved pumpestationen. Styringen sørger for, at en ændring af anlægskarakteristikken ved kritiske punkter resulterer i en ændret kurvekarakteristik baseret på de loggede data, der modtages dagligt fra fjernsensorerne. Anlægget ændrer proportionalkurven med maksimum ± 0,2 bar pr. dag for at sikre et stabilt tryk i hele nettet. Der kan derfor gå flere dage, inden en ændring i f.eks. vandforsyningsnettet eller forbrugsmønstret har opnået fuld virkning.

Hvis automatisk tilpasning er aktiveret, indstilles det ønskede minimumstryk. Dette sikrer et minimalt afgangstryk ved pumpestationen. Tilpasning sker inden for et givent ydelsesområde afhængig af pumpen og anlægskarakteristikkerne.

Resultater
Trykforøger er sat i drift i slutningen af 2020. Da der er tale om et ledningsnet med relativt stor kapacitet og dermed lave trykfald under almindelige forsyningsforhold, forventes effekten af DDD i det aktuelle demonstrationsområde at være begrænset. Herudover er tilgangstrykket fra HOFOR i størstedelen af døgnet tilstrækkelig til at forsyne de to sektioner, uden at trykforøgeren løfter trykket yderligere, og det er derfor valgt ikke at gennemføre audit for at evaluere effekten af DDD styringsformen.

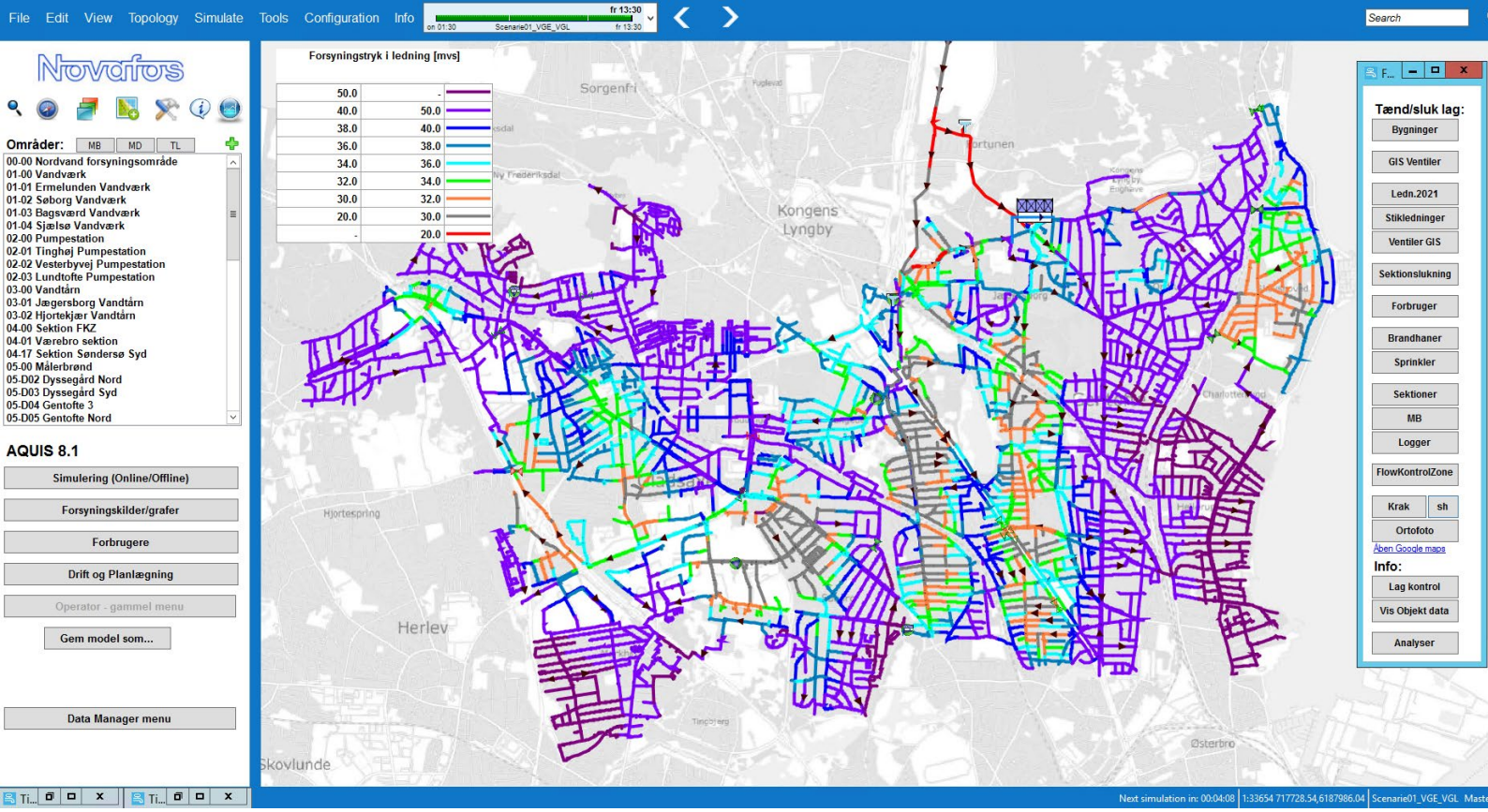
Læringspunkter
Den teknologiske læring har i stor udstrækning handlet om udfordringerne med at implementere ny teknologi i eksisterende systemer. Dels at beskrive og bestykke de tekniske grænseflader, og dels mentalt at ”overgive sig til” og forstå konsekvenserne af indførelsen af nye teknologier hos forsyningerne. Dette forhold må i alle tilfælde tillægges stor betydning og er måske den vigtigste læring.

3.5.6 Online hydraulisk modellering
Der er under LEAKman konfigureret online hydrauliske modeller for både Herlev området hos HOFOR og for Gentofte/Gladsaxe området hos Novafos. Formålet med implementeringen er at videreudvikle og demonstrere Aquis-funktionalitet, som er relevant for projektet, samt at demonstrere synergi med de øvrige værktøjer, som er en del af projektet. De hydrauliske modeller er anvendt både ved udvælgelse af demoområder, forundersøgelser, planlægning af implementering og til evaluering af resultater.

Beskrivelse af teknologi
Online modeller benyttes til i realtid at simulere og vise de hydrauliske forhold i hele netværket. En online model anvender kontinuert opdaterede målingsværdier som input til beregningerne. Vandbalancer samt diverse nøgletal beregnes automatisk for hver enkelt zone ud fra de faktiske forhold. Derudover er det muligt at følge vandkvalitetsparametre herunder vandalder, og det er muligt at spore, hvor igangværende forureninger bevæger sig hen, og hvor forureninger potentielt er opstået.

De to online modeller, som blev konfigureret i forbindelse med projektet, er kort beskrevet i det følgende.

Novafos Gentofte/Gladsaxe
En eksisterende og verificeret online-model er anvendt som grundlag, da denne var fuldt opdateret og anvendes i forsyningens daglige drifts- og planlægningsarbejde. Konfigurationen af modellen er udvidet til at omfatte visning af støjloggerdata for demonstrationsområdet Klampenborg, og til at omfatte Aquis trykoptimeringsmodul- og dashboard. Derudover er data fra



Online Aquis ledningsnetmodel simulerer tryk og flow forhold i Gentofte/Gladsaxe. Modellen er konfigureret med NIRAS' standard brugerflade

Kamstrup-trykloggere, gjort tilgængeligt i modellen via dataoverførsel fra READy. Undervejs i processen er relevante supplerende data indsamlet i samarbejde med Novafos.

HOFOR Herlev

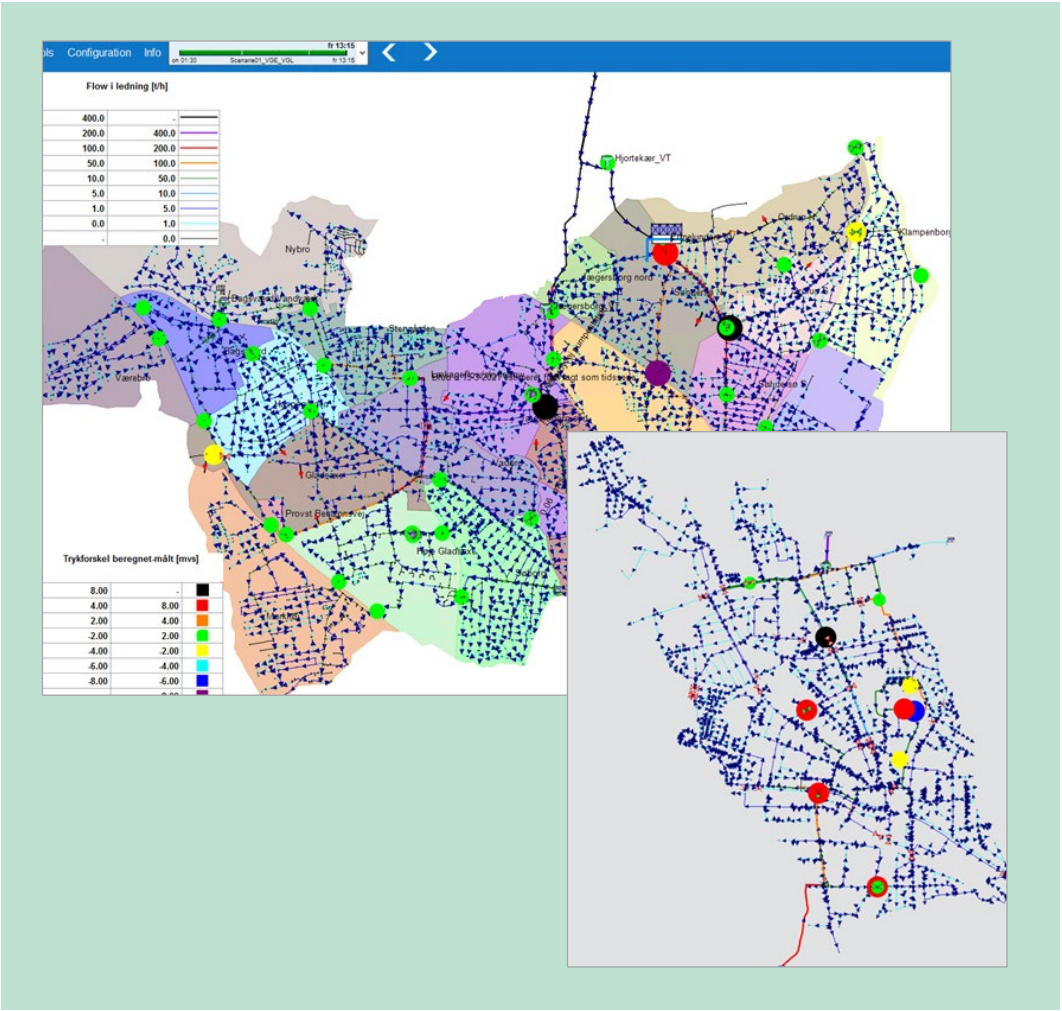
Der var ved opstart af LEAKman en eksisterende offline model til rådighed opstillet af HOFOR. Denne model har dannet basis for konfigurering af en online-model ved tilkobling af SRO-målinger til modellen samt ved tilkobling til Almos Leak tryklogger data. Modellen er konfigureret til at eksportere relevante resultater, som anvendes til beregning og visning af nøgletal i HOMIS.

Resultater

Import af tryklogger data og støjlogger data viser, at det muligt, automatisk at opdatere Aquis modellen med data fra hhv. READy og Almos Leak, og gøre disse tilgængelige sammen med simulerede af tryk og flowforhold.

Opsætningen af trykoptimering for Klampenborg zonen hos Novafos viser med de givne forudsætninger, at der er et besparelsespotentiale som følge af reduceret lækageflow energiforbrug samt forekomst af nye ledningsbrud, ved yderligere sænkning af trykket.

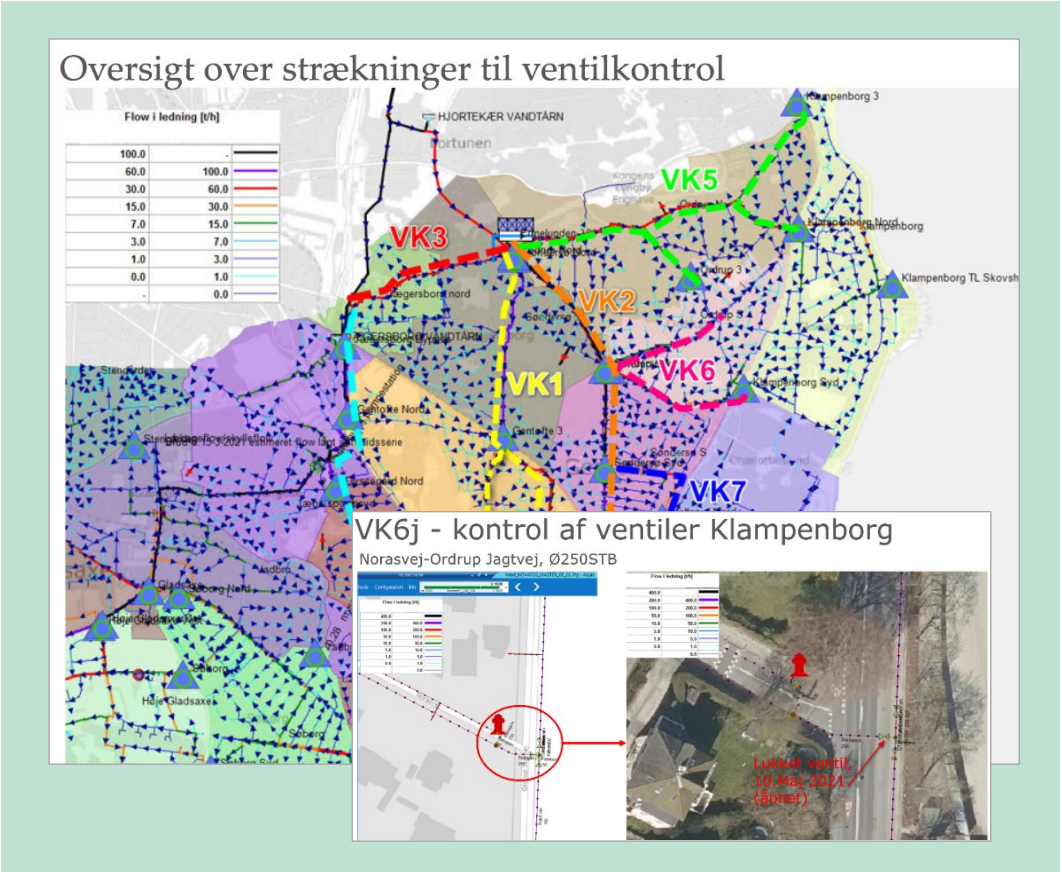
Validiteten af en online-model forudsætter at modellens resultater er verificeret op mod målingsdata og eventuelle forskelle er afklaret. Når modellen er verificeret, kan online-modellen anvendes til kontinuert overvågning af nettet og som et dynamisk driftsværktøj. Hvis f.eks. målte og beregnede værdier pludselig ikke stemmer overens, indikerer det, at der er sket noget uventet i netværket (et brud eller andet), eller at der er ledninger, som er helt eller delvist lukkede. For at lette den løbende verificering af modellen og for hurtigt at kunne få overblik over, om måle værdier stemmer overens med simulerede, er der udviklet en temavisning, hvor afvigelsen mellem målt og simuleret tryk fremgår og opdateres hele tiden. Denne temavisning ses af FIGUR 47.



FIGUR 3.34. Temavisning med forskel på målt og simuleret tryk i ledningsnettet i hhv. Gentofte/Gladsaxe og Herlev.

I temavisningen anvendes data fra målerbrønde og øvrige målepunkter, der er koblet til SRO. Der er oprettet tilsvarende temavisning til sammenligning af simulerede trykforhold med Kamstrup tryksensorer i Klampenborg.

Novafos har sideløbende med LEAKman opstillet og konfigureret online Aquis modeller for alle forsyningsområder og ikke kun Gentofte/Gladsaxe. Der foregår et større arbejde med verificering af disse modeller. Ledningsstrækninger gennemgås for lukkede ventiler, retninger på flowmålere kontrolleres, målere kalibreres osv. Der er fundet flere eksempler, hvor virkeligheden ikke helt stemmer med det, der er registreret i GIS eller SRO. Den meget grundige gennemgang af modeller kontra virkelighed gør, at forsyningen får forbedret den digitale registrering, og at modellerne dermed gradvist bliver mere og mere valide. Det har gentagne gange vist sig, at afvigelser mellem målinger og simuleringer bunder i uregelmæssigheder i ledningsnettet, og når disse udbedres, stemmer simulering med virkelighed.



FIGUR 3.35. Eksempler på gennemgang af ledningsstræk for lukkede ventiler i Gentofte/Gladsaxe samt detektering og udbedring af en lukket ventil, der burde være åben.

Herlev online-modellen er endnu ikke taget i anvendelse af forsyningen, og grundig verificering udestår derfor. Offline-modellen er i sin tid kalibreret, men online målinger kan erfaringsmæssigt højne modelkvaliteten betydeligt, da det nærmest svarer til at gennemføre en daglig kalibrering i alle mulige forbrugssituationer.

Der er også i Herlev online-modellen oprettet temavisninger til visualisering af forskelle på målte og simulerede tryk, se FIGUR 47. Til denne visning anvendes data fra målerbrønde og Almos Leak trykloggere. De betydelige afvigelser skyldes, at modellen ikke er tilpasset virkeligheden i forhold til åbne sektionsgrænser.

Læringspunkter

Implementeringen af online-modellerne, kombineret med erfaring fra andre projekter viser, at det fulde udbytte ved en online-model kun opnås med en grundig verifikation af modellen samt kontinuerlig anvendelse og vedligeholdelse af modellen.

3.5.7 Online ledelsesinformationssystem

Mange forsyninger har investeret massivt i sektionering af ledningsnettet herunder etablering af målerbrønde, nyanlæg af ledninger og udskiftning af vandmålere med det formål at få overblik over og eventuelt kunne reducere vandspild i ledningsnettet. Det kniber dog ofte med at få det fulde overblik over de store datamængder, som indsamles, og få den viden, der opnås, forankret og brugt i planlægning og drift af forsyningen.

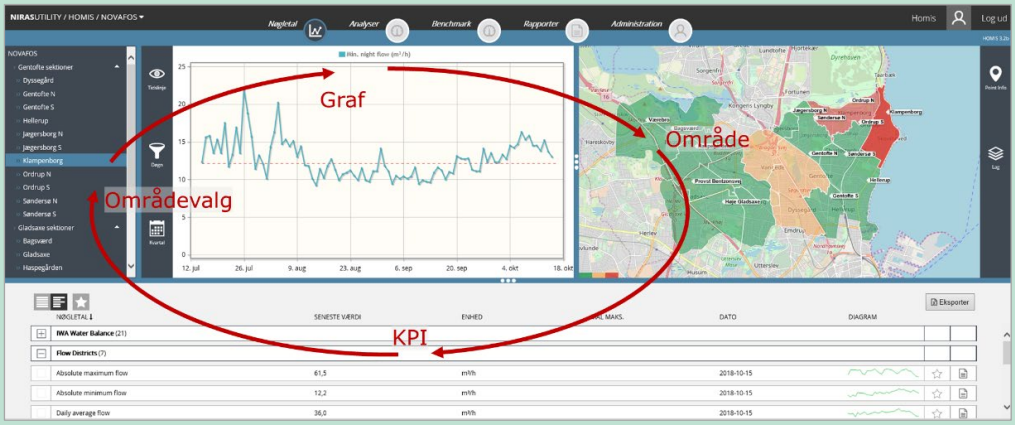
HOMIS – Holistic Management Information System er et færdigudviklet og afprøvet software udviklet af NIRAS som ledelsessystem til forsyningsbranchen. HOMIS er et komplet værktøj, der kan hjælpe med at holde fokus og opnå veldefinerede mål. Systemet henter og bearbejder

automatisk data fra andre systemer og beregner foruddefinerede nøgletal med mulighed for analyser, benchmarking og rapportering af nøgletallenes udvikling. Dermed skabes indsigt og overblik på tværs af systemer, og hermed kan eksempelvis lækagesøgning eller renovering målrettes til de områder, hvor potentialet er størst.

Et sådan overblik vil almindeligvis kræve adgang til flere underliggende systemer som SRO, Almos Leak, Aquis, READy, Navision, PC Jupiter mm., men kan med HOMIS opnås med ét sted. HOMIS erstatter ikke de øvrige systemer, som det fortsat vil være hensigtsmæssigt at anvende, hvis specifikke forhold skal undersøges i detaljer.

Beskrivelse af teknologi

HOMIS er at webbaseret værktøj til analyse og sammenligning på tværs af områder og nøgletal. HOMIS konfigureres til at vise nøgletal fra andre systemer f.eks. SRO, støjloggere, fjernaflæste forbrugsmåler osv. via standardiserede interfaces. Dataindsamling, processering og beregning foretages på forskellige niveauer (anlæg, sektioner, områder mm.) og der er mulighed for rapportering af nøgletal på daglig, ugentlig, månedlig, kvartal eller årsbasis – eller for en specifik periode. Systemet brugertilpasses, så den enkelte bruger, kun har adgang til specifikke områder, funktioner, nøgletal eller administrationsrettigheder. Kernefunktionaliteten er visualisering via grafer og kort.

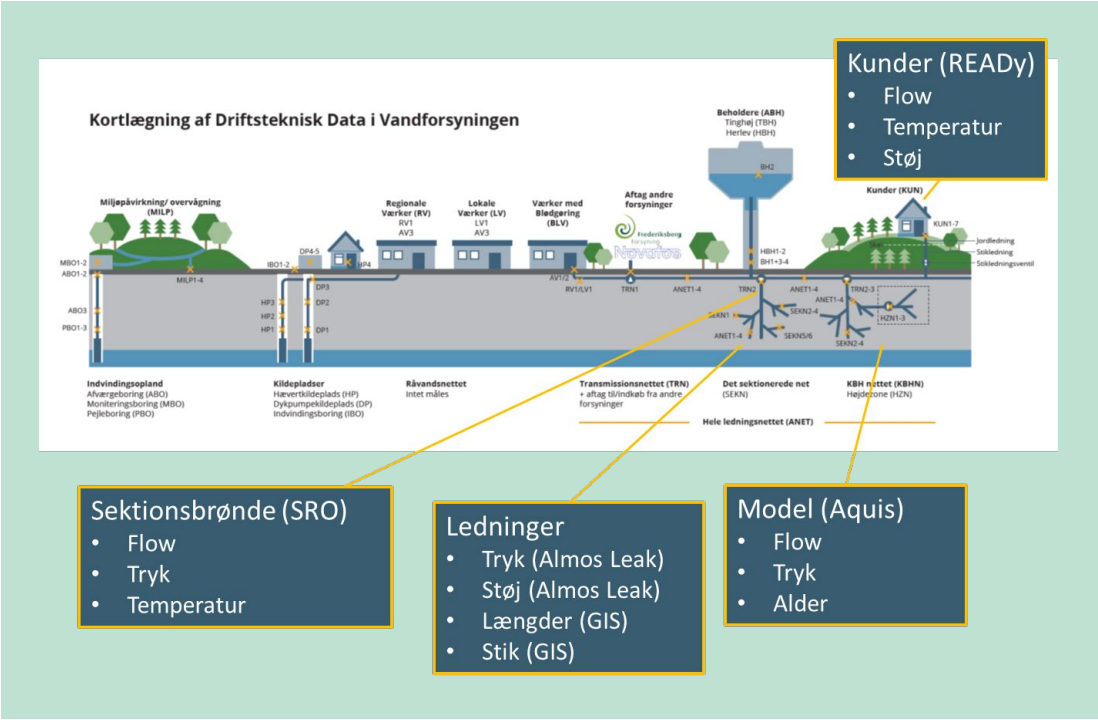


FIGUR 3.36. HOMIS' brugerflade er bygget op med forskellige moduler til visning af nøgletal, analyser, benchmark og rapporter samt dynamisk beregning og visualisering via grafer og kort samt mulighed for eksport af data til Excel.

Resultater

Der er konfigureret en dedikeret HOMIS LEAKman opsætning for henholdsvis Gentofte/Gladsaxe i Novafos og Herlev i HOFOR. LEAKman instansen er sat op med det formål at være demonstrationsplatform, og brugerflade og nøgletal er derfor på engelsk og de definerede nøgletal følger en fælles standard baseret på IWA vandbalance og terminologi suppleret med en række nøgletal og variable relevante for LEAKman.

HOMIS er sat op med integration til en række systemer, som skitseret på FIGUR 50.



FIGUR 3.37. Skitse over datapunkter i forsyning med angivelse af, hvilke data, der har interface til HOMIS for beregning af nøgletal.

Udover LEAKman instansen er HOMIS konfigureret for alle forsyningsområder og underliggende sektioner i både Novafos og HOFOR og ikke kun LEAKman demonstrationsområderne. Disse instanser er på dansk og indeholder en lang række nøgletal (KPI). Nogle nøgletal er identiske med nøgletal i LEAKman instanser, mens andre er sat op efter ønske fra forsyningerne.

Begge forsyninger anvender HOMIS aktivt som et led i overvågning af de sektionerede net og forskellige KPI følges dagligt.

Operationelt brug af HOMIS i Novafos
I Novafos anvendes HOMIS til overvågning af nattimeforbruget i vandledningsnettet på sektionsniveau. I det omfang, det er muligt, sammenstilles data fra flowmålere placeret ved indgange til sektioner og data fra afregningsmålere hos den enkelte forbruger. Data indlæses og udstilles på dagsbasis med mulighed for at følge vandforbruget for den enkelte sektion. Ved overvågning af nattimeforbruget er anvendes gennemsnitlige timeværdier.

Der foretages ugentlig opfølgning på sektioner med behov for fokus, og hvor en trend i nattimeforbruget indikerer et eventuelt brud. Opfølgningen distribueres til både drift og ledelse, hvor der i driften træffes afgørelse om, hvilke aktioner der skal sættes i værk i henhold til den fastlagte strategi.

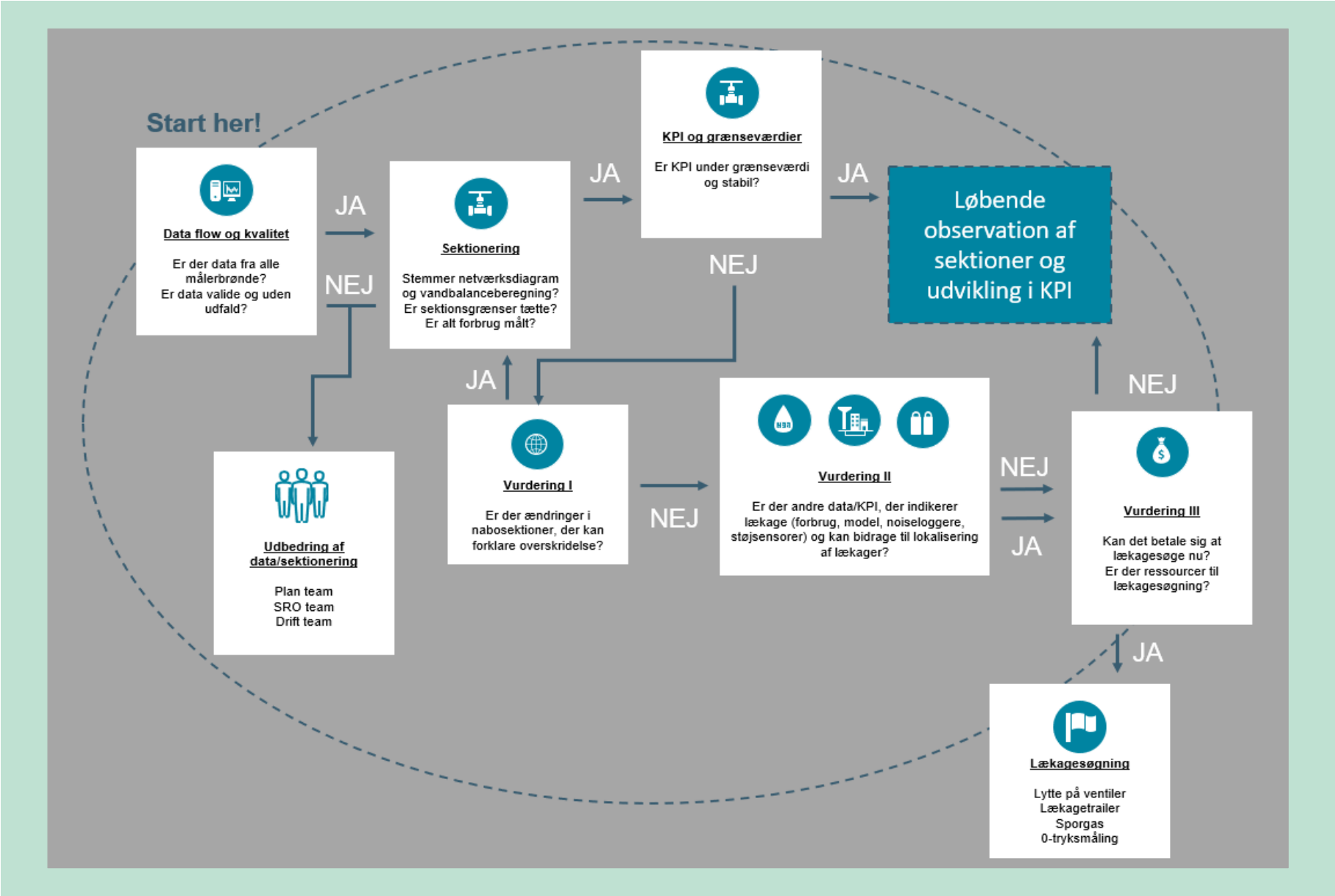
HOMIS anvendes i Novafos i tæt samspil med Aquis onlinemodellen, hvor de hydrauliske forhold simuleres hvert kvarter. Modellen vedligeholdes, verificeres og kalibreres løbende, og da Aquis og HOMIS i stor udstrækning anvender de samme SRO-data og dataoverførsler, medfører dette en sideløbende ajourføring af HOMIS' opsætning og konfiguration.

Operationelt brug af HOMIS i HOFOR
I HOFOR anvendes især minimum nattimeflow, specifikt vandtab og system input pr. døgn, som er baseret på tællerstand fra målere, i sektions- og lækageovervågningen. Derudover anvendes forbrugsdata fra de fjernaflæste målere både opgjort som dagligt forbrug pr. sektion

samt minimum nattimeforbrug. Når flow og forbrug kendes både på døgnniveau og i minimum nattime, kan dette anvendes til at prioritere, hvilke sektioner der skal gennemgås for lækager. Som et ekstra input kan støjloggerne opsat på ventilerne i sektionen også anvendes til at se, om der mulige lækager i sektionen. Nedenfor ses dette for sektion Mileparken. Som det ses, er der en støjlogger i alarm og en difference mellem forbrug og flow på døgnniveau på ca. 25 m^3/døgn. Dette kan indikere, at der er opstået et brud i sektionen, og området omkring støjloggeren bør undersøges yderligere.

FIGUR 3.38. Øverst: Eksempel fra brug af HOMIS hos HOFOR. Døgnflow og -forbrug i sektion Mileparken. På kortet til højre ses desuden, at der er en støjlogger, der er i alarm. Nederst: HOMIS LEAKman instans med beregning af Non-Revenue Water på døgnbasis

På baggrund af operationelt brug af HOMIS og nøgletalsstyring i HOFOR´s driftsafdeling er der skitseret et beslutningstræ for håndtering og igangsætning af lækagesøgning. Beslutningstræet er vist på FIGUR 52.



FIGUR 3.39. Beslutningstræ for lækagemanagement og lækagesøgning i HOFOR´s driftsafdeling.

Læringspunkter

Det er vigtigt, for at få succes med brugen af HOMIS, og at der på tværs af organisationen skabes viden om teknologien allerede i implementeringsfasen, så der fra start skabes viden om formål, anvendelse, forudsætninger, muligheder og begrænsninger. Aktioner relateret til systemet skal indarbejdes i en aktuel strategi, så der skabes synlighed om fremdrift og resultater på aktionerne, og så systemet er en del af forsyningens ledelsessystem. Det er samtidig vigtigt at tilpasse brugen til de roller og kompetencer, der er i organisationen, så systemet er overskueligt og skaber indsigt i de data, der er behov for hos den enkelte bruger.

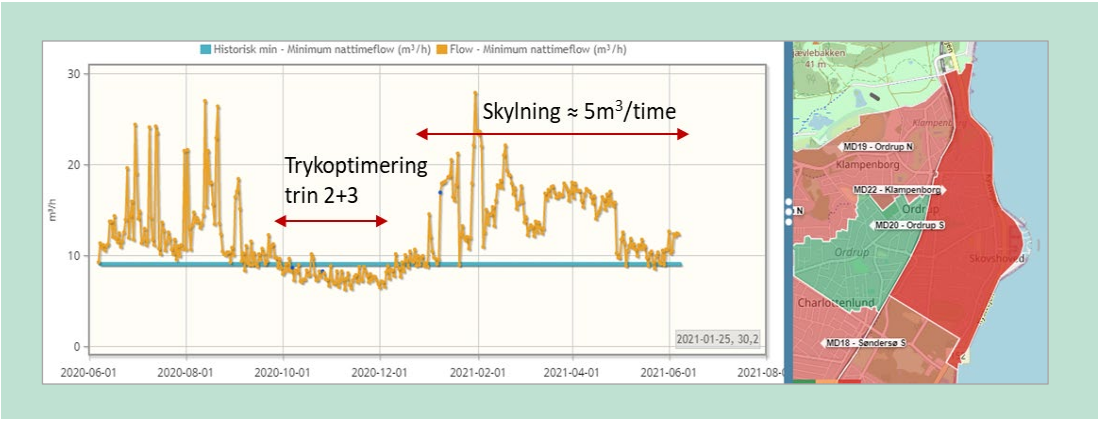
Driften er en vigtig del af teknologiens anvendelse og robusthed, da de oftest sidder med den relevante viden om øvrige aktiviteter på vandledningsnettet, der kan give afvigelser i en stabil nattimeovervågning.

Ved den operationelle brug er det erfaret, at det er tilstrækkeligt at følge op på lækageovervågningen i HOMIS på ugebasis, da aktioner afhænger af at kunne identificere en trend i nattimeforbruget og afklaring om eventuelle øvrige aktiviteter skal kunne ske på et robust grundlag.

HOMIS er ”sidste led i kæden”, og de nøgletal der vises og beregnes, er fuldstændig afhængig af de data, som andre systemer opsamler og udstiller. Hvis data er mangelfulde eller ikke er valide, eller hvis datatilgangen fra andre systemer svigter, vil det, der vises i HOMIS, være mangelfuldt eller fejlbehæftet.

En læring fra projektet er især vigtigheden at eliminere influerende faktorer, som kan gøre anvendelsen af vandbalancedata og nøgletal usikker. Influerende faktorer kan eksempelvis være usikkerhed om en sektion er tæt, udfald på signaler, ringe datakvalitet, skylninger på nye vandledninger, der skal sættes i drift, tilsyn på sektionsbrønde, ændrede ventilstillinger i sektionsafgrænsningen eller beredskabshændelser.

- Signaler: Stabiliteten af signaler er utrolig vigtigt ift. at få kontinuerlige og valide data. Svigtende signaler/dataudfald skaber ofte usikkerhed om, hvorvidt data er retvisende, da manglende signaler f.eks. om natten, kan give et forkert billede af det reelle nattimeforbrug. Der er ofte konstateret udfordringer med dataflow fra SRO, READy, målere i sektionsindgange, skift mellem sommer/vintertid samt forskel mellem ”0” værdier i stedet for ”NULL” (forskel mellem fysisk nul og manglende data).
- Datakvalitet: En anden fejlkilde kan være målerens nøjagtighed, specielt ved lave flow. I forbindelse med dimensionering af målerbrønde skal der tages højde for både maksimalt flow igennem måleren samt, hvor usikre data bliver i de lave intervaller. Når der anvendes minimum nattimeforbrug som et nøgletal til prioritering, er det uhyre vigtigt, at måleren har valide data i de lave intervaller. Dette er ikke altid praktisk muligt for sektioner med en stor difference mellem nat- og dagtimeforbrug. Dertil kan komme skaleringsfejl på SRO-anlægget eller kalibreringsfejl på måleren, som kan give et forkert billede af forbruget i sektionen.
- Datamangel: manglende etablering af SRO-dataflow fra nye målere eller udfald på antennesite, så READy dataflow ikke er komplet
- Utætte sektioner: Åbne eller halvåbne sektioner kan give et forkert billede af nettoflow til sektionen. Sektionsgrænser skal være tætte, og det skal registreres, hvis en nødindgang åbnes ind til en sektion eller en målerbrønd bypasses.
- Umålt forbrug: Umålt forbrug kan gøre vandbalancen usikker, hvis mængderne er betydelige f.eks. ifm. skylning ved renoveringsarbejde eller vanding af boldbaner.



FIGUR 3.40. Eksempel på monitering af nattimeflow i Klampenborg, hvor skylning i forbindelse med renoveringsarbejder forstyrrer vandbalancen

En vigtig læring af er, at data bliver bedre af at blive brugt. Det er først, når man virkelig forholder sig til de forskellige værdier i konkrete områder, at det bliver tydeligt, hvor der er noget galt, og hvor målinger, databearbejdning eller beregning skal tilpasses.

3.6 Demonstrationsområderne efter LEAKman

I forsyningerne indgår demonstrationsområderne som en integreret del af både drift og planlægning, og i de kommende år skal sektioneringen og brug af de installerede komponenter fortsætte således, at processer for gennemgang af sektioner optimeres, og medarbejdere oplæres i brug af diverse systemer.

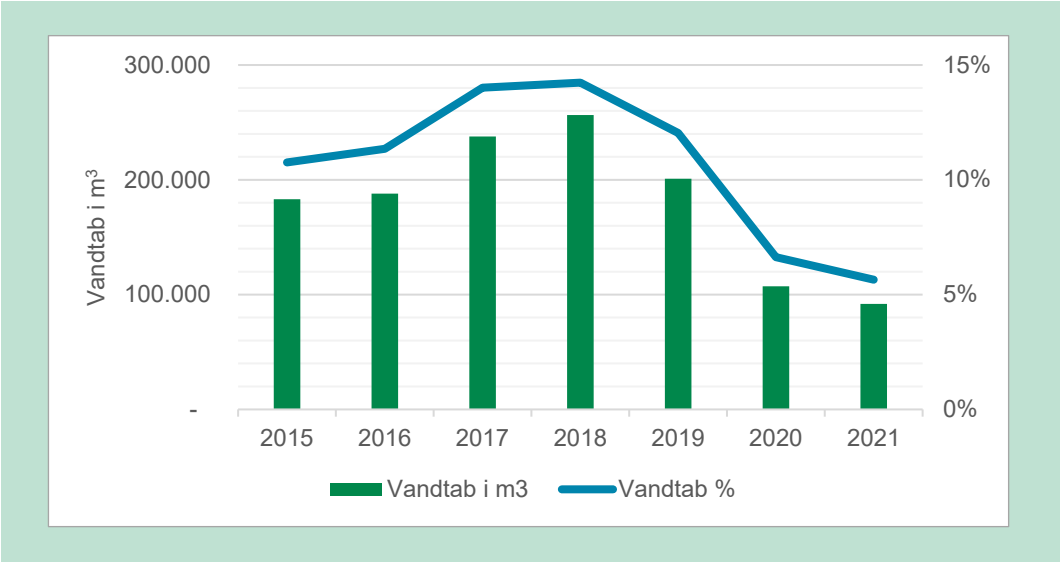
Demonstrationsområderne med implementerede teknologier og systemer driftes og vedligeholdes og holdes operative til fremvisning i forbindelse med IWA World Water Congress i København i 2022, og der er indgået aftale mellem partnerne i LEAKman, at demofaciliteterne så vidt det er muligt, skal fortsætte som fremvisningsområder 5 år efter projektafslutning. I denne periode er der planlagt at fortsætte indsamling af både data og erfaringer til brug for fortsat læring og udvikling. Det forventes her, at data vil kunne danne basis for både innovations- og udviklingsprojekter, studenterprojekter (praktikforløb), afgangsprojekter, Ph.D. samt oplæring og efteruddannelse af medarbejdere hos forsyningerne.

Alle syv forsyningsområder i Novafos er i dag fuldt sektioneret og der er nye projekter i gang som vil sikre at flere af teknologierne fra LEAKman vil blive yderligere implementeret i hele forsyningsområdet. Demonstrationsområderne i Gentofte kører videre som etableret med fortsat erfaringsopsamling og vidensdeling om effekter og resultater ved løbende overvågning. Novafos har dog besluttet ikke at vedligeholde og drifte støjloggersystemet fremadrettet.

I HOFOR´s otte selskaber er syv netværk fuldt sektionerede og samme procedure for drift og overvågning af sektionering udrulles over alle syv områder. Dog vil fjernaflæsning blive implementeret løbende over de næste fem år, og der er ikke taget stilling til, om permanente støjloggere skal installeres i de øvrige sektioner. I HOFOR vil samtlige komponenter i LEAKman områderne blive vedligeholdt i en demonstrationsperiode på minimum 5 år efter projektafslutning.

3.6.1 Effekt på lækage og brudfrekvens i HOFOR

Den samlede lækage for forsyningsområdet i Herlev ses i FIGUR 54, mens antallet af brud fremgår af FIGUR 55.

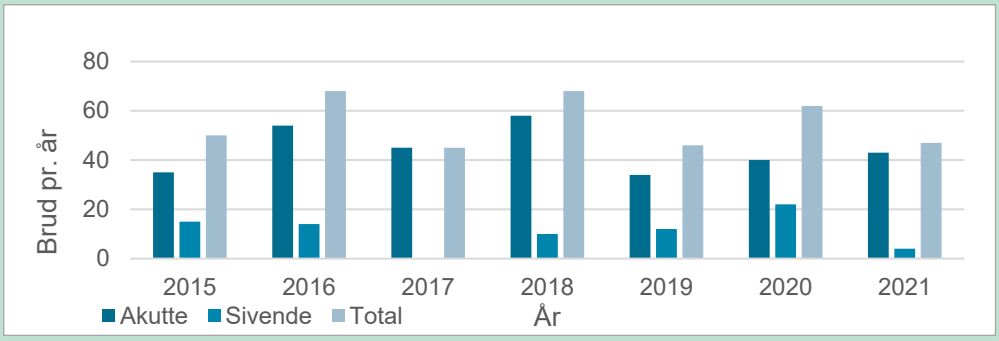


FIGUR 3.41. Samlede årlige vandtab i Herlev i årene 2015-2021

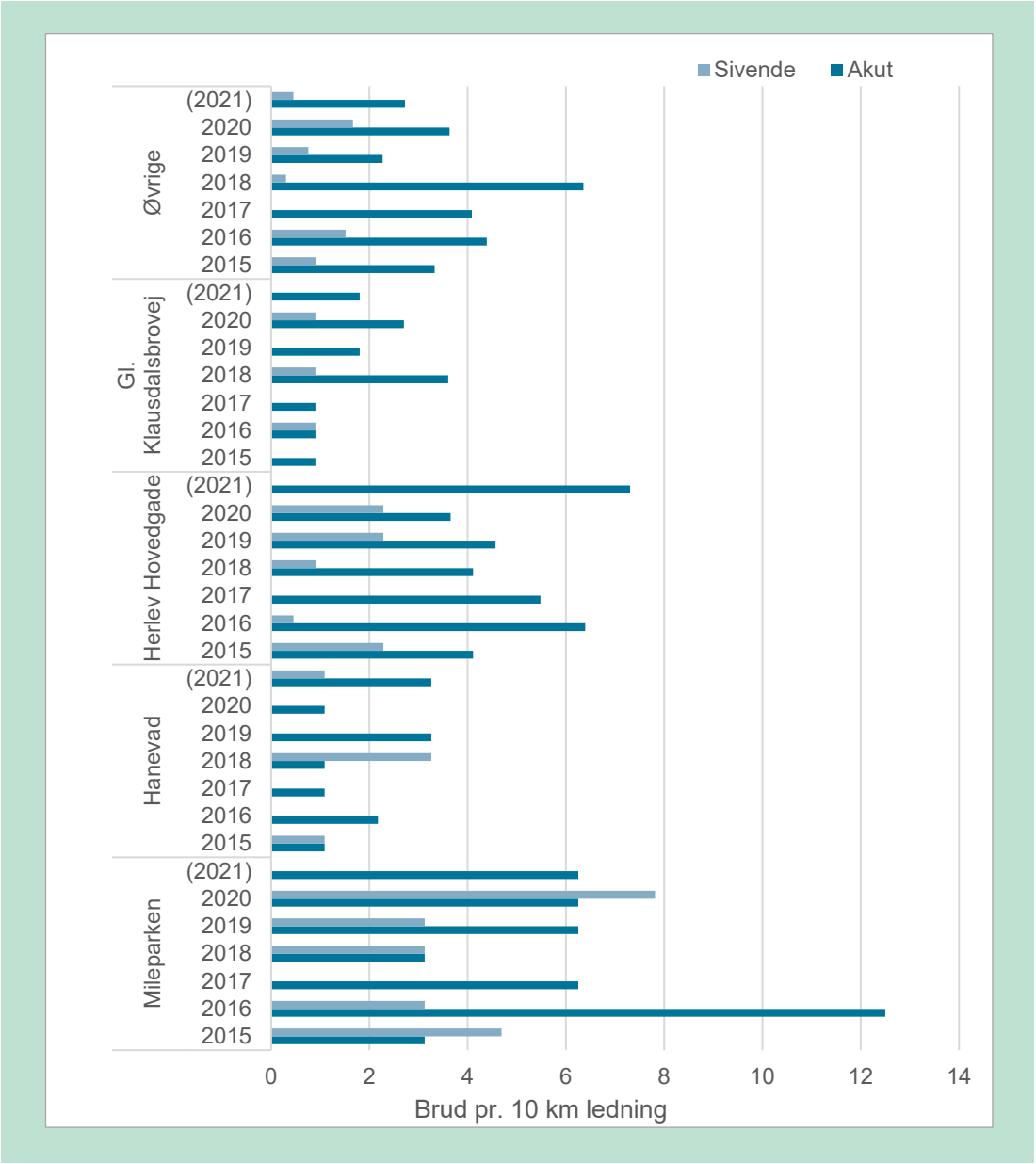
Som det ses, har vandtabet i Herlev i årene 2015-2019 været over 10 %, mens vandtabet i 2020 og 2021 var på ca. 5 %. Faldet skyldes, at man fra 2020 har haft øget fokus på vandtab og erfaringsopsamling i Herlev og derudover i 2020 har gennemført en komplet lækagesøgning af ledningsnettet. Desuden er en hovedmåler til området skiftet i december 2019.

Grundet dårlig datakvalitet og andre anlægsarbejders indvirkning på opgørelsen af vandbalancen har det ikke været muligt at følge udviklingen i vandtab i de fire LEAKman sektioner (Mileparken, Hanevad, Herlev hovedgade, Gl. Klausdalsbrovej) på årlig basis. Dataopsamling fra målerbrønde og SRO har været ude af drift i perioder ligesom sektionsgrænser har været åbnet grundet diverse omlægninger og fraskæringer. Vandtabet er derfor kun opgjort i kortere perioder og anvendt til at prioritere igangsætning af lækagesøgning lokalt.

På FIGUR 55 ses udviklingen af brud registreret i hele Herlev forsyningsområde i perioden 2015 til og med maj 2021. På FIGUR 56 ses, hvordan udviklingen af brud har været i de fire sektioner, der har været demonstrationsområder i LEAKman, sammenlignet med de øvrige sektioner i Herlev. Bruddene er fordelt på hhv. sivende lækager, som er opdaget via lækagesøgning, og akutte brud.



FIGUR 3.42. Udviklingen af brud i hele Herlev forsyningsområde fordelt på sivende og akutte brud i perioden 2015 til og med maj 2021.



FIGUR 3.43. Brudfrekvens (brud pr. 10 km ledning pr. år) i perioden 2015 til og med maj 2021 for demonstrationsområder samt "øvrige" sektioner i Herlev.

Forskellen mellem de fire demoområde-sektioner i LEAKman regi og de fire øvrige er, at der i LEAKman områderne som beskrevet tidligere er opsat permanente støjloggere på ventilerne samt, at der er fjernaflæsning på forbruget. I Mileparken arbejdes der desuden med trykreduktion, hvilket dog ikke har været sat i drift før april 2021. Effekten af trykreduktionen kan endnu ikke ses af brudfrekvensen. Brudfrekvensen i Mileparken er høj (ca. 6 brud pr. 10 km pr. år alene for akutte brud i 2019 og 2020) sammenlignet med de øvrige sektioner. Hele Herlev har en markant højere forekomst af brud sammenlignet med andre vandforsyninger i Danmark, hvor den gennemsnitlige brudfrekvens i 2019 er opgjort til ca. 0,6 jf. Vand i Tal 2020. Dette skyldes jordbundsforholdene i Herlev (mosejord) kombineret den høje forekomst af støbejernsledninger.

Umiddelbart viser resultaterne ikke, at de implementerede teknologier i projektperioden har øget antallet af lokaliserede sivende brud eller reduceret forekomsten af akutte brud. Det må dog forventes, at disse resultater først kan opgøres efter nogle år.

Der kan ikke opgøres vandtab på sektionsniveau for Hanevad og Herlev Hovedgade, de sektionsgrænserne er åbne mod nabosektioner på grund af igangværende ledningsprojekter.

I Gl. Klausdalsbrovej udestår opsætning af ca. 25 smart meters, og da flere af de berørte forbrugere er storforbrugere, med et betydeligt større forbrug, end de andre målere, kan vandbalancen endnu ikke opgøres ud fra fjernaflæst forbrug i dette område. Opgørelse af nøgletal for vandtab i Gl. Klausdalsbrovej er derfor estimeret ud fra minimum nattimeflow fratrukket målt nattimeforbrug. Vandtabet vil ved denne fremgangsmåde typisk være overestimeret med op til 25 %.

TABEL 6. Nøgletal for forbrug og vandtab i Mileparken og Gl. Klausdalsbrovej opgjort som gennemsnit i perioden 1/6 2021 til 1/7 2021

Nøgletal	Enhed	Mileparken	Gl. Klausdalsbrovej
Minimum nattimeflow	m3/time	1,9	2,7
System input volume	m3/døgn	163	347
Forbrug (fjernaflæst)1	m3/døgn	139	(193)
Vandtab	m3/døgn	24	29
Vandtab	%	15	8
Specifikt vandtab	m3/km/døgn	3,8	2,5
Gennemsnitstryk	mVS	36,7	30,2
ILI	-	0,9	-

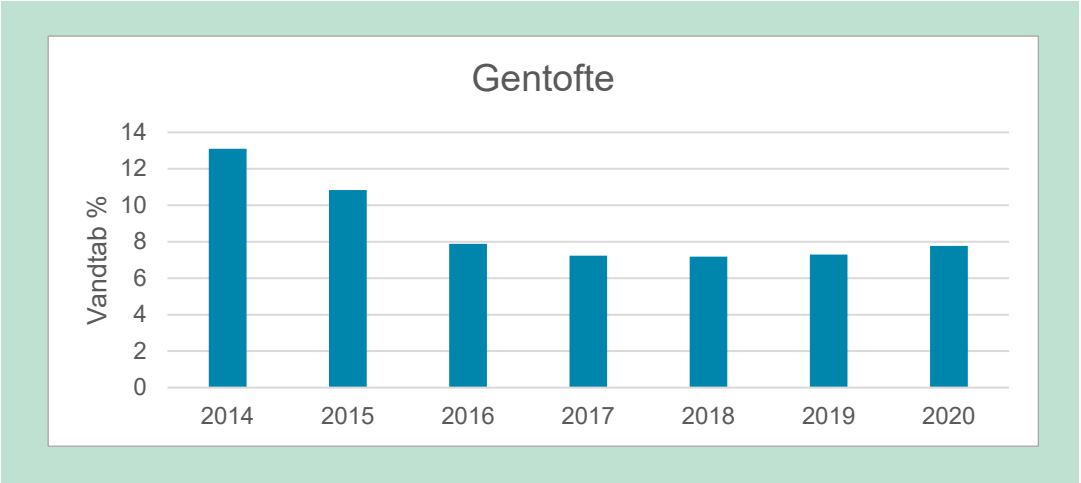
[1]Fjernaflæst forbrug er korrigeret med estimeret forbrug for målere, som endnu ikke er skiftet til fjernaflæste målere, eller hvor data ikke er kommet ind i den betragtede periode.

Det specifikke vandtab i Mileparken og Gl. Klausdalsbrovej opgøres til hhv. 3,8 og 2,5 m^3/km/døgn, hvilket er lavere end det samlede specifikke vandtab for hele Herlev, der for 2019 er opgjort til ca. 4,5 for HOFOR Herlev jf. Vand i Tal 2020.

Bemærk desuden, at ILI (Infrastructure Leakage Index) for Mileparken er opgjort til 0,9, hvilket i international målestok indikerer, at sektionen ligger lige under det teknisk optimale lækageniveau.

3.6.2 Effekt på lækage og brudfrekvens i Novafos

Det samlede lækageniveau for forsyningsområdet i Gentofte ses i FIGUR 57, mens antallet af brud registreret i de forskellige områder fremgår af TABEL 7.



FIGUR 3.44. Samlede årlige vandtab i Gentofte i årene 2016-2020.

I Novafos (Gentofte) har der årligt været gennemført systematisk lækagesøgning i hele forsyningens opland og i tillæg været fokus på at lokalisere og udbedre brud, samt at private brud ikke fik lov at ligge uden aktion fra ejer af jordledningen. Nattimeflowet til sektionerne følges på ugebasis, og der tages aktion i henhold til de aktionsgrænser, som fra start er formuleret og indarbejdet i forsyningens strategi for reduktion af vandtab. Vandtabet i Gentofte har derfor været jævnt stabilt omkring i flere år, og der ses overordnet set ikke nogen ændring, der kan henledes til aktiviteter i demonstrationsområderne alene.

Novafos har udarbejdet opgørelse over brudstatistik og udvikling over en årrække, og hele forsyningsområdet Gentofte/Gladsaxe er gennemsøgt for lækager én gang årligt. I TABEL 7 er brudhændelser opgjort på sektionsniveau. De registrerede brud omfatter både brud på forsynings-, stik- og jordledninger og både sivende og akutte lækager. Novafos har i deres hændelsesbillede set, at der ofte ligger en større udfordring i at finde de lækager, der ligger på privat grund og i brudregistreringen udgør brud på privat grund cirka en tredjedel af den samlede brudregistrering. Det bemærkes at for 2017 og 2018 er graveskader ikke sorteret fra i brudregistreringen, og antallet af brud er i disse år derfor relativt højere end i de efterfølgende år.

TABEL 7. Opgørelse over brudhændelser i Gentofte sektioner i perioden 2017-2020.

Sektion	2017[1]	20181	2019	2020
VGE Dyssegård	28	31	16	13
VGE Gentofte N	21	16	8	11
VGE Gentofte S	10	16	17	11
VGE Hellerup	13	22	19	10
VGE Jægersborg N	4		1	6
VGE Jægersborg S	7	17	12	8
VGE Klampenborg	17	27	13	6
VGE Ordrup N	13	13	8	12
VGE Ordrup S	4	10	5	6
VGE Søndersø N	5	6	11	4
VGE Søndersø S	13	12	3	5
Hovedtotal	**135**	**170**	**113**	**92**

[1]I 2017 og 2018 er graveskader ikke sorteret fra i brudregistreringen, hvilket de er i 2019 og 2020.

Der ses overordnet set en reduktion i antal brud fra 2017 til 2020. Da de to første år imidlertid også indeholder graveskader, kan disse ikke sammenlignes direkte med data fra 2019 og 2020. Fra 2019 til 2020 ses en reduktion i flere sektioner herunder demonstrationsområderne Klampenborg og Gentofte Syd. På sigt kan der laves sammenstilling af forskellige sektioner mod hinanden for at se, om udviklingen i Klampenborg, hvor trykforholdene er ændret i 2019-2020, er anderledes sammenlignet med andre områder. Det er dog for tidligt at konkludere på dette for nuværende.

Der har i projektforløbet været en del udfordringer med at skabe et stabilt databillede på sektionsniveau, at træffe beslutninger ud fra. Udfordringerne er skabt af mange øvrige aktiviteter på vandledningsnettet som beskrevet i afsnit 3.5.7 under læringspunkter og at Novafos i perioder har måttet prioritere indsatsen i andre sektioner og områder i Novafos.

I det følgende opgøres forskellige nøgletal relateret til vandtab i demonstrationsområdet Klampenborg i Novafos ved projektperiodens afslutning i juni 2021. For Gentofte Syd område vurderes det ikke muligt at opgøre valid vandbalance som følge af influerende faktorer, hvorfor nøgletal relateret til vandtab ikke er opgjort for dette område.

TABEL 8. Nøgletal for forbrug og vandtab i Klampenborg opgjort som gennemsnit i perioden 1/6 2021 til 1/7 2021.

Nøgletal	Enhed	Klampenborg
Minimum nattimeflow	m3/time	13,7
System input volume	m3/døgn	1.165
Forbrug (fjernaflæst)1	m3/døgn	1.068
Vandtab	m3/døgn	97
Vandtab	%	8
Specifikt vandtab	m3/km/døgn	4,2
Gennemsnitstryk	mVS	33
ILI	-	1,3

[1]Fjernaflæst forbrug er korrigeret med estimeret forbrug for målere, som endnu ikke er skiftet til fjernaflæste målere, eller hvor data ikke er kommet ind i den betragte periode

Det specifikke vandtab i Klampenborg opgøres til 4,2 m^3/km/døgn, hvilket er højere end det samlede specifikke vandtab for hele Gentofte, der for 2019 er opgjort til ca. 2,6 for Gentofte jf. Vand i Tal 2020.

Bemærk desuden, at ILI for Klampenborg er opgjort til 1,2, hvilket i international målestok indikerer, at sektionen ligger lige over det teknisk optimale lækageniveau.

4. Vidensopbygning og kompetenceudbredelse

Den nye viden, der er opnået i LEAKman, er både teknologisk og organisatorisk. Den er knyttet til integrationen af teknologier og produkter til en samlet produkt- og servicepakke og den naturlige videre innovation, dette bringer.

4.1 Vidensopbygning

Den nye viden der er opnået i LEAKman er både teknologisk og organisatorisk. Den nye viden er i første omgang ikke knyttet til de enkelte produkter, da disse jo allerede eksisterer og er beskyttet af patenter, copyrights m.v., men til integrationen af disse til en samlet produkt- og servicepakke og den naturlige videre innovation dette bringer. Herudover er den nye viden især opstået i relation til forløbet af hele organiseringen og samarbejdsprocessen gennem projektet, erfaringerne og resultaterne med dette, samt naturligvis som følge af idriftsættelse og brug af demonstrationsprojekter og -faciliteter.

Samarbejdet har bidraget konkret til flere kandidatspecialer og givet praktiske eksempler til undervisningen af miljøingeniørstuderende. Følgende Ph.D. og kandidatspecialer er gennemført under eller i relation til LEAKman:

- Ph.D. projekt hos DTU, som direkte understøtter LEAKman projektet som en del af DTU's deltagelse i projektet. Ph.D. studerende er Jonas Kirstein og projektets titel er "Optimized water distribution using high-resolution data sources and novel data analysis methods".
- Der er blevet tilknyttet et Master projekt hos DTU, som indirekte understøtter LEAKman projektet som en del af DTU's deltagelse i projektet. Studerende er Pavlos Pavlou og projektets titel er " Analysis of Water Distribution Network's Behavior Under Intermittent Water Supply Operations".
- Der er blevet tilknyttet et Master projekt hos DTU, som indirekte understøtter LEAKman projektet som en del af DTU's deltagelse i projektet. Studerende er Rosa Marie Mathiasen og projektets titel er " Dynamic leak detection and localization on transmission pipeline systems".
- Astrid Friborg Kjeldgaard har afsluttet sit M.SC. speciale "Optimizing water distribution networks based on new demand profiles from smart meter data" som har været tilknyttet LEAKman.

Aarhus Universitet (WATEC – Centre for Water Technology) har i samarbejde med en række danske virksomheder og vandaktørerne skabt en "sommerskole" "Advanced Water Cycle Management Course". Sommerskolen har et holistisk perspektiv i forhold til vandets tur igennem samfundet, fra grundvand over distribution til opsamling og rensning af spildevandet, inden det ledes tilbage til naturen. Sommerskolen blevet afholdt første gang i august måned 2019, og forventes også at fortsætte i årene fremover. Kurset er målrettet studerende på master-, bachelor- og Ph.D.- niveau, samt nyuddannede ingeniører og teknikere indenfor vandsektoren. Kurset afvikles over to uger og er ECTS pointgivende (5 point).

På sporet omkring vanddistribution er der taget udgangspunkt i den viden og erfaring, som er blevet opbygget igennem hele LEAKman projektforløbet. Det drejer sig især om NRW Management, Water Loss Control, DMA-design, lækagesporing, vandbalanceopgørelse inklusiv forbrugsopgørelse, opbygning af intelligente trykstyringssystemer, hydrauliske modeller og ledelsesinformationssystemer.

Den første sommerskole blev afholdt i august 2019 med 46 deltagere fra 14 forskellige nationer: Spanien, Finland, Litauen, Indonesien, USA, Slovakiet, Malaysia, Sydafrika, Portugal, Indien, Italien, Norge, Tyskland og Danmark. I 2020 blev kurset ikke gennemført på grund af Corona-restriktionerne, men i august 2021 bliver kurset igen gennemført med 33 studerende. Det forventes at deltagerantallet vil stige igen når Corona-relaterede rejserestriktioner bliver ophævet.

Kurset er udbudt af Aarhus Universitet i et samarbejde med bl.a. AVK, Grundfos, Kamstrup, NIRAS, I-GIS, DHI, Aarhus Vand, Skanderborg Forsyning og Aarhus Universitet Watec center for bioscience.

4.2 Kommunikation og formidling

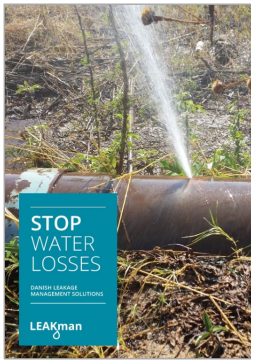
I forbindelse med driften af demonstrationsanlæggene og tilhørende forsøg og analyser er der løbende formidlet til vores kunder og omverden om både processen med integration af 1) services, systemer, produkter og indkøring og forsøg med demonstrationsfaciliteterne, herunder konkrete tekniske resultater f.eks. vedrørende hydraulisk modellering, sensor- og måleteknik etc. og 2) med organiseringen og samarbejdsforløbet.

Kommunikation og formidling omkring projektet er forankret i en kommunikationsgruppe med deltagere fra alle partnervirksomheder.

Der er udarbejdet fælles LEAKman PowerPoints, brochure og en videopræsentation af projektet, som er anvendt ved diverse møder, messer og konferencer og, der er etableret en hjemmeside til projektet: www.leakagemanagement.net. Herunder er der også reserveret domænerne www.leakman.net, www.leakagemanagement.dk og www.leakman.dk, som alle peger på hovedadressen. Der er lagt basisindhold på siden samt nyheder fra partnerne og projektets fremdrift. Herudover er der oprettet en LEAKman LinkedIn profil, som løbende publicerer store og små nyheder relateret til projektet, og guider læsere videre til hjemmesiden.

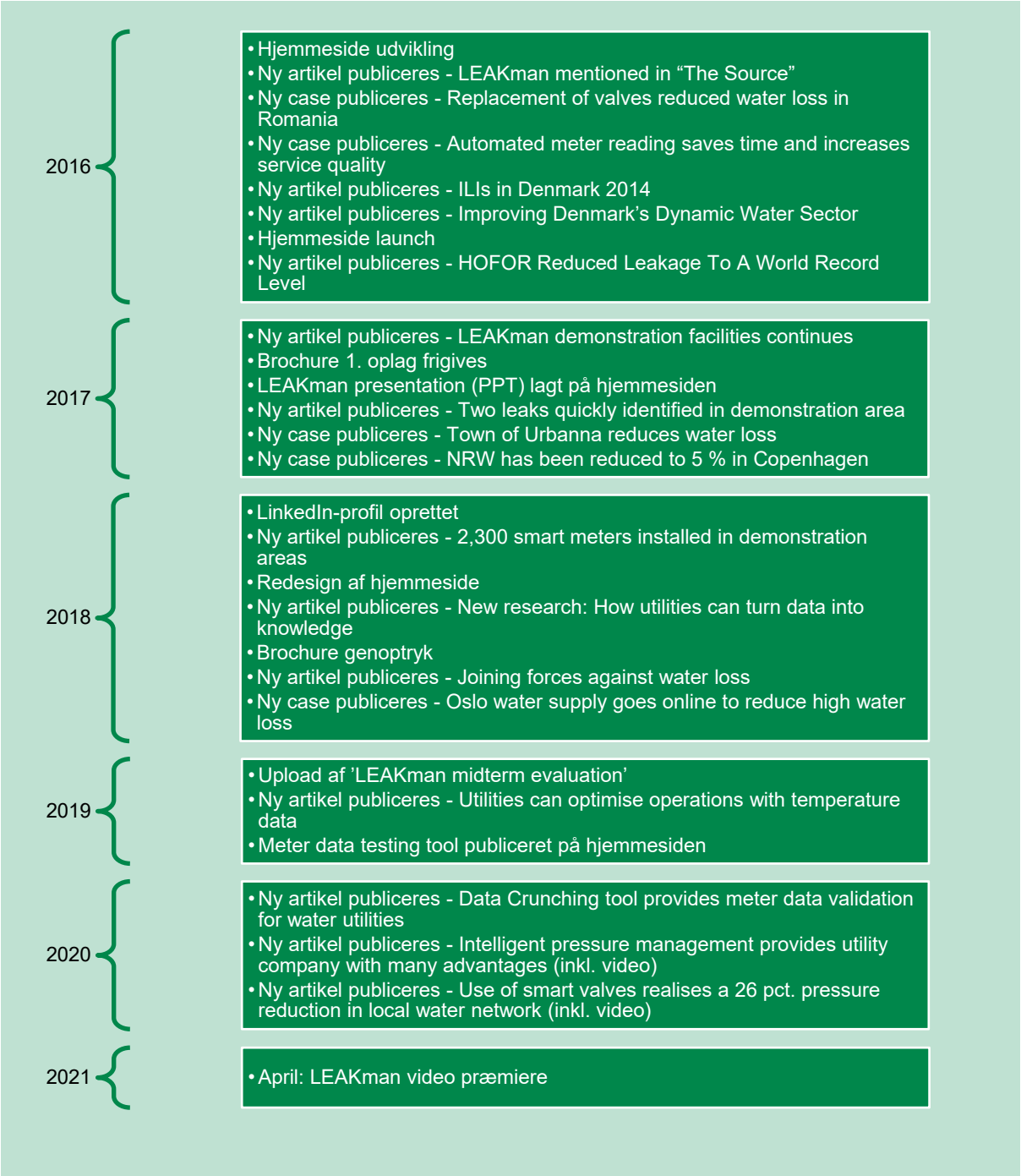
Baseret på tal fra Infomedia i perioden 1. januar 2016 til 30. juni 2021 er LEAKman blevet omtalt i 46 artikler i den danske presse samt to artikler på IWA's hjemmeside (https://www.thesourcemagazine.org, https://iwa-network.org).

I FIGUR 58 ses en oversigt over aktiviteter på hjemmesiden fordelt på år.



Brochure

Videopræsentation



FIGUR 4.1. Oversigt over aktiviteter på hjemmeside leakman.net under projektet indtil 30/6 2021.

4.2.1 Konferencer og messer

LEAKman partnerskabet har løbende haft fokus på formidling af projektets fremdrift og resultater på konferencer og temadage i både Danmark og udlandet. I TABEL 9 er opsummeret en række konferencer og messer, hvor LEAKman har været repræsenteret med deltagelse og præsentationer.

TABEL 9. Deltagelse ved konferencer og messer

Årstal	Konference	Beskrivelse
2021	Digital World Water Congress	Poster præsentationer vedr. lækagereduktion i Oslo med LEAKman principper.
2020	Water Platform Sweden	Webinarer arrangeret af den danske ambassade i Stockholm.
2019	Water Platform Sweden	Præsentationsmøder arrangeret af den danske ambassade i Stockholm.
2019	Dansk Vand Konference	Brug af data, foreløbige resultater og udfordringer
2018	Vann Miljø. AVK konference i Sandefjord	NIRAS indlæg om smart cities.
2018	Norsk Vann fagtreff i Oslo	Præsentation af LEAKman og HOMIS.
2018	IWA World Water Congress & Exhibition i Tokyo	To indlæg
2018	Singapore International Water Week	Tilstedeværelse. Flere af partnerne havde stand og LEAKman var repræsenteret derigennem.
2018	NORDIWA i Oslo	To indlæg. Et om LEAKman, HOMIS og brug af nøgletal, samt et vedr. validering af data (Ph.D. Projekt).
2017	Water Loss Europe i København	Præsentation af LEAKman samt stand, hvor udstyr og teknologier blev fremvist.
2016	DMT Årsmøde	LEAKman præsenteret med en Roll-up.
2016	VandTek i København	Præsentation
2016	Global Leakage Summit i London	Præsentation. HOFOR´s tilgang til NRW Management, og hvorledes LEAKman konceptet forventes at bringe dem videre.
2016	Dansk Vand Konference	Initielle resultater fra Ph.D. projektet blev præsenteret.
2016	WISA i Sydafrika	Præsentation af LEAKman konceptet med fokus på Danske Løsninger og effektiv og dokumenteret nedbringelse af NRW.
2016	Miljøteknologisk topmøde	Projektets formål og visioner blev præsenteret med fokus på eksport.
2016	NORDIWA i Island	Posterpræsentation, hvor der fokuseres på det ”nye” og innovative ved LEAKman konceptet.
2016	DANVA Forsyningstræf	Projektets formål og visioner blev præsenteret.

Fra 2019 har der været intenst fokus på planlægning og præsentation af LEAKman på IW-konferencen i København, som oprindeligt var planlagt til afholdelse i efteråret 2020. Grundet den globale COVID-19 pandemi er konferencen dog udskudt til efteråret 2022. LEAKman er på baggrund af ansøgning blevet udvalgt som Site Visit under konferencen med følgende lokationer/visits:

- HOFOR’s hovedkontor: Introduktion til LEAKman og demosites samt Aquis og HOMIS.
- Frederiksberg: Pumpestation (DDD).
- Klampenborg: Antennesites, smart meters, støjloggere og trykstyring.

Udover Site Visit forventer LEAKman partnerne at præsentere projektet på en stand i den Danske Pavillon.

I 2020 og 2021 har der været begrænset deltagelse på konferencer pga. COVID-19.

4.3 Marketing og salg

Der er under LEAKman nedsat en eksport gruppe med repræsentanter fra de kommercielle partnere. Marketingaktiviteter drives dog primært af de enkelte partnere individuelt og bilateralt, da det har vist sig ikke at være praktisk muligt med centralt styrerede salgs- og marketingsaktiviteter.

Den indledende markedsføringsindsats har primært bestået i at kortlægge de områder, hvor parterne allerede er aktive i en eller anden konstellation, og der ud fra at udvælge og fokusere en fælles indsats i de områder (lande eller regioner) hvor potentialet for en LEAKman løsning vurderes størst. Hermed kan udnyttes eksisterende salgskanaler, netværk og kundekontakter.

Indsatserne omfatter bl.a.:

- Udenlandske delegationsbesøg på forskellige niveauer (ministerier, forsyninger og virksomheder) fra bl.a. Saudi Arabien, Portugal, Sverige og UAE.
- NIRAS, Grundfos, AVK og Kamstrup samarbejder lokalt i Mellemøsten, med involvering af den danske vandalliance der drives af det danske konsulat i Dubai. I den forbindelse er der foretaget flere fælles salgsindsatser, bl.a. med udgangspunkt i LEAKman, som er begyndt at føre til konkrete projekter. Her skal Sharjah Electricity & Water Authority (SEWA) specielt fremhæves, da Grundfos, Kamstrup og NIRAS alle har opnået et øget salg via dette samarbejde, og NIRAS er i maj 2021 startet på den seneste opgave for SEWA hvor der skal udarbejdes en opdateret Water Master Plan, som skal indeholde en plan for hvorledes SEWA før etableret en LEAKman løsning i fremtiden.
- Deltagelse i erhvervsfremstød, konferencer og seminarer med markedsføring af samlet LEAKman koncept.
- Præsentation af LEAKman for forsyninger i bl.a. Belgien, USA, England, Norge.
- NIRAS har desuden brugt LEAKman som en aktiv del af flere tilbud til større internationale vandforsyninger, og hvor netop dette har været en medvirkende parameter til at vinde opgaver for blandt andet Oslo Vann, Al Ain Distribution Company og Air Selangor (Kuala Lumpur).

LEAKman repræsenterer et dansk koncept der ligger i det faglige/tekniske spænd mellem ”NRW Management”, ”Water Loss Control”, ”Smart Water Systems” og ”Digital Twins” som alle er områder, der har været øget fokus på internationalt parallelt med udviklingen af LEAKman og etableringen af de tilhørende demosites. Netop eksport af dansk vandteknologi med blandt andet disse overskrifter har samtidig udviklet sig til at være en del af det strategiske arbejde for de danske Trade Councils tilknyttet danske ambassader og konsulater. Flere Trade Councils bruger i dag LEAKman materiale aktivt i det nationale/regionale arbejde de udfører i de forskellige lande for at støtte den danske eksport, og dette har ført til konkrete salg og ordrer for flere af partnerne.

5. Konklusioner og perspektivering

Danmark har nogle globale styrkepositioner indenfor vand- og miljøområdet. Én af dem er distribution af drikkevand, og LEAKman har nu sikret fastholdelse og videreudvikling af denne position.

5.1 Betydningen for de deltagende virksomheder

Danmark har nogle globale styrkepositioner indenfor vand- og miljøområdet. Ét af dem er effektiv distribution af drikkevand. Danmark er verdenskendt for vores kompetente renoverings- og investeringsplanlægning og vores høje kvalitet i den håndværksmæssige udførelse. Vi er forsat det land i verden – sammen med Holland og Singapore – som har det laveste tab af drikkevand fra vores distributionsnet. LEAKman projektet har bidraget til fortsat udvikling og eksport af dansk vandteknologi og MUDP-støtten har bidraget til at forløse dette udviklingspotentiale ved at opbygge nødvendige demonstrationsområder samt at bringe ni vigtige selskaber sammen om en fælles tilgang til reduktion af vandtab fra drikkevandssystemer.

Projektet har bl.a. medvirket til at:

- Kamstrups løsninger i dag er endnu mere datadrevet med bl.a. API-platform
- AVK leverer nyt tilbehør til ventiler i form af gadedæksler med plads til støjlogger samt automatisk (online) registrering af ventilstillinger for zonegrænseventiler, som er vigtige komponenter i en integreret løsning.
- AVK har fået udviklet forbedringer til dynamisk trykstyring således at trykstyringen optimeres mest muligt.
- Grundfos kan fremvise automatiseret trykstyring i på hjemmemarkedet hos en større forsyning.
- Schneider Electrics Aquis-software og NIRAS' HOMIS kan levere en online IWA-vandbalance med CO2-footprint integreret med data fra de øvrige teknologier.
- HOFOR og Novafos har digitaliseret og effektiviseret deres drikkevandsdistribution og tilhørende asset management.
- Leif Koch har videreudviklet dataopsamling og systemer, så disse kan anvendes i relation til online vandbalancemonitering og modellering samt tilføjet funktionalitet således at støjlogger-filer kan sendes til central server for yderligere analyser.
- DTU har løftet det danske forskningsniveau indenfor data relateret til drikkevandsdistribution.
- Øget samarbejde mellem de industrielle partnere og DTU i forbindelse med deltagelse og vejledning i afgangsprojekter.

Hele den danske drikkevandsbranche kan anvende LEAKman til forretningsgørelse af projektets innovation for yderligere at understøtte udviklingen og eksporten af dansk vandteknologi i direkte forlængelse af Vandvisionen.

At være partner i LEAKman projektet har betydning for alle deltagende virksomheder. Nogle har fået hul igennem til nye ydelser og nye markeder med afledte kommercielle projekter,

mens samarbejdet i andre virksomheder har været katalysator for – særligt digital – udvikling og vækst.

I det følgende beskriver hver partner kort med egne ord, hvilken betydning deltagelse i LEAKman har haft, og fortsat har, for netop deres virksomhed.

Kamstrup
Kamstrup anvender mange ressourcer til udvikling af nye løsninger til drikkevandsektoren. En tæt kontakt til vores kunder og viden om deres udfordringer er essentiel for, at vi anvender disse ressourcer mest optimalt – selvfølgelig til glæde for os selv, men så sandelig også til glæde for både den danske og den internationale vandsektor. I LEAKman har vi haft et forum, hvor vi kunne prøve ideer af i stor skala. Vi har haft tæt samarbejde med de deltagende forsyninger om udrulning af radionetværk, tolkning og implementering af data i f.eks. HOMIS samt brug af data. Denne adgang til "kundeforståelse" og vandsektorens udfordringer har været givtig, hvilket tydeliggøres ved den brede deltagelse i projektet, hvor mange forskellige typer af medarbejdere fra Kamstrup har været involveret som f.eks. udviklingsingeniører, data scientists, product managers, business development managers, projektledere, radioplanlæggere og key account managers. Deltagelse i et MUDP-projekt som LEAKman giver derfor, foruden støtten til at prøve ting af, også et uvurderligt samarbejde med de øvrige parter i vandbranchen.

Vores vækst baseres på at kunne løse vandsektorens udfordringer ved øget brug af data. Vi har brugt LEAKman til at få en dybere forståelse af de reelle behov, og hvordan vi hjælper med at løse dem mest optimalt. I LEAKman projektperioden har vi oprustet på kampen mod lækager med løsninger, der finder lækager på jord- og stikledninger i form af både målere og analyseværktøjer, analyseværktøjer til vandbalancer på sektionsniveau samt forbedret vores kommunikationsnetværk så data bliver endnu mere tilgængelige. LEAKman har klart været en inspirationskilde til dette arbejde.

Leif Koch
LEAKman-projektet har både nationalt og internationalt været af stor betydning for Leif Koch A/S. Som SMV-firma har det givet en unik platform for øget demonstration af vores del af projektet (støjloggere); Et udstillingsvindue det ikke havde været muligt at etablere uden MUDP-midler. At vi nationalt har kunnet fortælle nuværende og potentielle kunder om projektet, har styrket vores position, og vi har via projektet nået kunder, vi ellers ville have haft meget svært ved at fange.

Internationalt har det gjort en kæmpe forskel for et SMV-firma, der (endnu) ikke er repræsenteret i udlandet og derfor ikke ville have mulighed for at nå kunder forskellige steder i verden. I LEAKman-projektets løbetid, har vi fået opgaver i både Kina og Californien - Disse opgaver er ikke mindst kommet i hus fordi, at vi har kunne henvise til at vi deltog i "Globale vandtab, danske løsninger". Ligeledes har vi fået mange spændende internationale leads, at arbejde videre med.

Internt hos Leif Koch A/S har det været en meget lærerig oplevelse at skulle arbejde sammen med andre firmaer på måder, vi ikke før havde været vant til. Synergieffekten og erfaringerne fra samarbejdet har gjort, at vi i dag står et helt andet sted end vi gjorde før projektet.

Vi forventer os også meget af den kommende IWA World Water Congress & Exhibition i København, hvor LEAKman partnerne vil gøre en samlet indsats til at brande den videre markedsføring af den danske løsning. Her forventer vi at møde potentielle kunder og samarbejdspartnere på udstillingen såvel som på demo-faciliteterne hos Novafos og HOFOR. Ligeledes forventer vi at kunne bruge demo-sites samt data fra LEAKman-projektet i årerne fremover i kommunikationen med nye kunder.

Grundfos
Grundfos har tillagt det stor betydning at kunne deltage i et forum, hvor en bred vifte af teknologier fra forskellige virksomheder kan repræsentere et løsningskoncept for bekæmpelse af vandspild. Ligeledes forventer Grundfos at kunne anvende erfaringerne fra dette projekt i forbindelse med eksportfremme på globale markeder, hvor vandtab udgør et væsentlig større problem end herhjemme.

Udvikling af DDD-algoritmen i kontrolleren er sket sideløbende med udviklingen af Grundfos CU354 enheden, som har været på markedet i hele LEAKman projektperioden. Det kan således ikke tilskrives LEAKman projektet at algoritme, kontroller og pumpeudrustning er udviklet, men at LEAKman projektet har favnet teknologien kan være med til at udbrede kendskab og anvendelse i forbindelse med lækagebekæmpelse.

I forhold til at opnå konkrete gevinster af partnerskab, samarbejde og inspiration har denne del været hæmmet af, at det ikke lykkedes at finde et egnet demonstrationsområde hos de direkte partnere Novafos eller HOFOR. Grundfos DDD-teknologi blev derimod implementeret hos Frederiksberg Forsyning, hvor de øvrige teknologier ikke er repræsenteret. De synergier, der kunne have været opnået ved at have flere teknologier kørende i samme område, blev derfor ikke indfriet til fulde.

Schneider Electric
Schneider Electric har bidraget med udvikling af specifikke LEAKman funktionaliteter, temaer og dashboards til vores Aquis opsætning of håndtering af hydrauliske modeller. Herved har vi fået erfaring med anvendelse af data fra hardwareleverandører (smart meter-, støjlogger-, ventil- og pumpeproducenter), som alle kan anvendes til vores optimeringsmoduler. Med valide og optimerede data er det muligt at optimere driften og derved reducere energiforbruget og vandtabet (NRW), hvilket vi i forbindelse med LEAKman har kunnet afprøve i praksis og bevise med modellerne fra HOFOR og Novafos.

Vi har ved at have kontakt med rådgiver og forsyninger fået erfaring med, hvad man som kunde lægger vægt på, hvilket vi har stor fokus på i vores videre udvikling af værdiskabende optimering og overvågning af driften. De visualiseringer og dashboards, vi har udviklet til Novafos og HOFOR, har vi kunnet anvende som en del af vores implementeringer hos andre tilsvarende kunder og i vores standard skabeloner.

LEAKman har som demo-site også givet nogen synlighed i markedet – primært gennem NIRAS - idet NIRAS er systemintegrator af vores løsning. Vi har herigennem fået taletid overfor nogle internationale forsyninger, der har været på besøg i Danmark og besøgt LEAKman forsyningerne og partnerne.

DTU
For DTU har LEAKman især bidraget til, at vores forskere er kommet tættere på både teknologileverandører og slutbrugerne i forsyningerne. Da DTU's rolle især har været at udvikle nye metoder til analyse og evaluering af data høstet i LEAKman, har det været nødvendigt med en meget tæt dialog med dataleverandørerne om mulighederne for dataopløsning og placering af sensorer, men også mulige fejlkilder og usikkerhed på målinger. Dialogen med slutbrugerne og deres rådgivere (her NIRAS) har givet en unik indsigt i nuværende begrænsninger for dataanalyse og mulighederne for at udvikle nye algoritmer der direkte støtter den fremtidige drift af lækagemanagement, såvel som vandkvalitetsovervågning i drikkevandssystemet. Derudover har samarbejdet bidraget konkret til gennemførelse af et Ph.D. projekt samt flere kandidatspecialer og givet praktiske eksempler til undervisningen af miljøingeniørstuderende. LEAKman har dog på samme tid også vist, at branchen har et stort og voksende behov for kompetencer til at håndtere og evaluere data til gavn for vandbranchen. Der er især et behov for at uddanne

flere ingeniører med stærke kompetencer (inklusive Ph.D. niveau) på datahåndtering, modellering og evaluering af drikkevandssystemer. Den stigende datamængde og komplekse datasammenhænge kræver nye indsigter i datahåndtering, som ikke var en del af undervisningen blot få år tilbage, men som er et væsentligt fokus nu og i fremtidens ingeniør- og Ph.D. uddannelse på vandområdet.

Novafos
LEAKman har for Novafos været en vigtig platform for inspiration og givet afsæt for en række frugtbare diskussioner om, hvordan man kan optimere overvågningen af vores distributionsnet. Med etableringen af fjernaflæste vandmålere i tre af vores sektioner, fik vi meget værdifulde erfaringer, der var med til at danne grundlag for at formulere betingelserne for den smartmeter udrulning, som nu er i gang, og som digitaliserer og effektiviserer vores arbejde væsentligt. Arbejdet med implementering af Aquis-online synliggjorde, at der var behov for væsentlig kompetenceudvikling i vores organisation, før det reelt kunne anvendes og dermed give værdi for os. Vi har i dag nået et niveau for implementering, hvor vi begynder at høste gevinsterne.

HOFOR
Deltagelse i LEAKman har givet HOFOR muligheder for at afprøve forskellige teknologier hver for sig og i samspil i mindre demoområde. Det har givet HOFOR erfaring med håndtering af data fra forskellige kilder som online modeller, smart meters, intelligente ventiler og støjloggere samt at sammenstille data i udvalgte systemer (HOMIS og KortInfo webGIS system). Realiseringen af en online vandbalance på sektionsniveau med afsæt i IWA-standarder er dermed kommet et skridt nærmere. Projektet har bidraget til øget digitalisering og indsigt i egne data samt implementering af arbejdsgange i forbindelse med håndtering, visualisering og brug af disse data. HOFOR vil anvende erfaringerne fra LEAKman til den kommende udrulning af fjernaflæsning i hele HOFOR, til implementering af sektionering samt til det videre arbejde med trykreduktion og lækagemanagement.

Generelt har samarbejdet partnerne imellem hævet niveauet for løsningerne, da input og viden om, hvordan data anvendes, hjælper med at målrette udviklingen af systemer og ikke mindst udviklingen af medarbejderne og deres indsigt i forsyningsforholdene.

AVK
LEAKman projektet har, og har haft, en positiv betydning for AVK's udvikling af sensorer til at monitorere sektionsventilernes åben/lukket position, og dermed udvikling af intelligente ventiler. Ved et tæt samarbejde med forsyningerne og ved at stille faciliteter til rådighed for fieldtests, har LEAKman projektet været med til at accelerere udviklingsprocessen. Det har givet værdifuld dialog og feedback med hensyn til LoRaWan radionetværkets muligheder og begrænsninger, når signalet kommer fra ventiler under jorden i en større by som København.

Samarbejdet har betydet oprettelse af nye arbejdspladser både i Danmark og England inden for digitalisering med fokus på digital udvikling af (IoT) sensorer.

LEAKman har også hjulpet AVK med værdifuld information omkring intelligent trykstyring af afgrænsede sektioner i et forsyningsnet. På baggrund af erfaringerne fra LEAKman projektet, har AVK fået udviklet et "Demand Driven Pressure Management" koncept, hvilket sammen med de fremhævede IoT-tiltag har skabt nye forretningsmuligheder.

NIRAS
NIRAS har på forsyningsområdet en partnerskabsstrategi, hvor vores mål er at være den rådgiver, som bedst evner at danne forpligtigende samarbejder, også med vores konkurrenter. Målet med denne strategi er at skabe de mest værdifulde løsninger og projekter – også selvom det måtte betyde mindre omsætning og udvikling for NIRAS. NIRAS har ligeledes en

internationaliseringsstrategi, hvor vi går til få velvalgte internationale geografier med få velvalgte styrkepositioner, hvor vi mener, at vi har international topklasse. Denne strategi betyder, at vi i dag arbejder med forholdsvis projekter indenfor Non-Revenue Water, hydraulisk modellering og optimering af drikkevandsdistributionssystemer samt ”smart water systems” generelt.

Siden 2014 har vi aktivt arbejdet med forretningsudvikling og eksport af ovennævnte ydelser i Mellemøsten og Sydøstasien (og delvis Norge), med basis i henholdsvis De forenede Arabiske Emirater og Malaysia, og det var med udgangspunkt i de første erfaringer herfra, kombineret med vores partnerskabsstrategi, vores internationaliseringsstrategi og den danske styrkeposition på drikkevandsdistribution at vi i 2015 tog initiativ til at samle førende aktører i Danmark omkring det der siden blev til MUDP-fyrtårnsprojektet LEAKman.

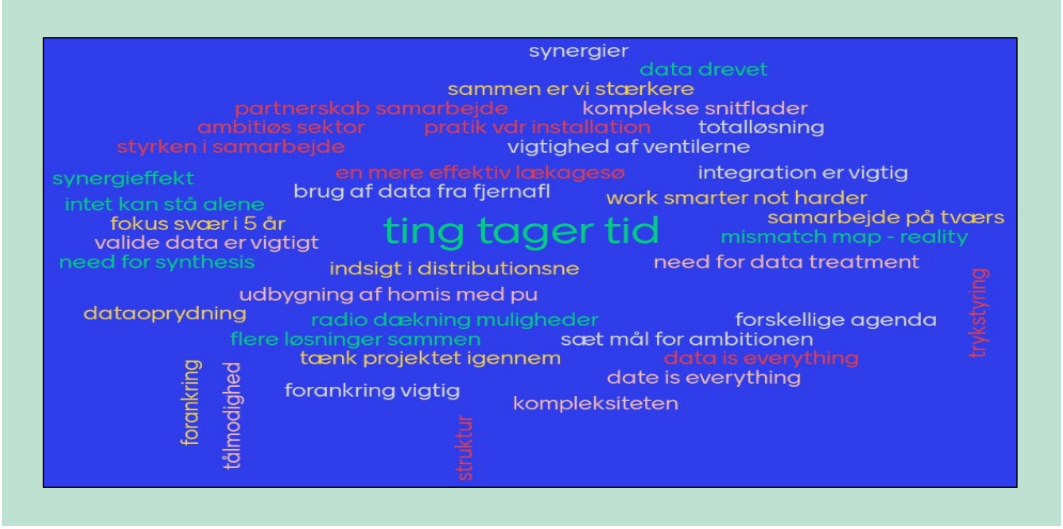
Vi har parallelt med LEAKman opbygget en international projektportefølje der er gået fra 1-2 fuldtidsstillinger til 8-10 fuldtidsstillinger indenfor de nævnte områder, og deltagelsen i LEAKman har været en vigtig komponent i denne ekspansion, da LEAKman konceptet har skabt en tydelig interesse fra flere større forsyninger.

I NIRAS har vi i LEAKman desuden haft fokus på at lave en online overvågning af nøgletal baseret på IWA Best Practice for Water Supply Services. Dette er implementeret i LEAKman specifikke HOMIS-opsætninger for både HOFOR og Novafos, og har vist sig at være en vigtig parameter i markedsføringen af LEAKman, da mange internationale forsyninger netop ofte læner sig op ad IWA-standarder og best practices.

Workshop i projektgruppen afholdt i juni 2021 hos Novafos
Deltagelse af LEAKman partnere (teknikergruppe og styregruppe) med præsentation og diskussion af teknologier og resultater samt refleksion over projektforløb og fremtidige samarbejdsmuligheder

5.2 Læring fra projektet til vandbranchen

I det sidste halvår af LEAKman, blev der afholdt to workshops for projektpartnerne, hvor en del af dagsordenen, var at komme med bud på, hvad der er lært af LEAKman, hvordan effekten af projektet kan måles over tid og at samle gode råd til fremtidig opfølgning på LEAKman. Desuden var der fokus på, hvorledes demonstrationsområdernes funktion og formidling sikres i de kommende år. FIGUR 59 viser LEAKman deltagernes umiddelbare respons på spørgsmålet: ”Hvad har du lært af LEAKman?”.



FIGUR 5.1. Brainstorm over spørgsmålet: ”Hvad har du lært af LEAKman?”. (Fra temadag 11. maj 2021).

Betydning af tid
LEAKman har strakt sig over mere end fem år, hvilket både har vist at det er enormt vigtigt at have tid til at koordinere, implementere og dokumenterer, men modsat også at det kan føre til at nogle teknologier overhaler projektet indenom.

LEAKman var blandt andet bygget op omkring driften og analyse af målinger fra demonstrationsområderne. Fem år viste sig nødvendigt for at planlægge udrulningen af f.eks. smart meters med fast antennenetværk, trykstyring, håndtering af "børnesygdomme" og etableringen af tidsserier, der var lange nok til både kalibrering og verificering af resultater. Først i projektets sidste år var der samlet data nok til at understøtte avancerede analyser af eksempelvis forbrugsprofiler, nattimeforbrug, trykforhold mm., som forventes at få stor betydning for de involverede forsyninger og branchen som helhed. På den baggrund har det været en vigtig læring, at udvikling og demonstration kan tage tid, og det er nyttigt, at projekter har denne tid til rådighed.

På den anden side påpegede flere af teknologileverandørerne, at de i nogle tilfælde oplevede at projektet blev overhalet indenom af ny teknologi fra deres egne udviklingsafdelinger. F.eks. har både Kamstrup med deres ”lyttende” vandmålere og Grundfos’ DDD-algoritme flyttet mulighederne for lækagesporing og trykoptimering parallelt med LEAKman. Læringen er her, at ud over tid til den langsigtede implementering af ny teknologi i vandbranchen er det nødvendigt, at fremtidige partnerskaber som LEAKman kan omfavne og flytte fokus, når en teknologisk udvikling giver nye potentialer.

En udfordring i forhold til den relativt lange projektperiode har rent organisatorisk været, at det har været vanskeligt at prioritere projektet og holde fokus i fem år. Der har været betydelig udskiftning i bemanding hos en række partnere og også fusioner og opkøb af firmaer undervejs, hvilket har forstyrret kontinuiteten og også bremset fremdriften i perioder. Læringen er her, at det er vigtigt at opdele projektet i mindre bidder med faste milepæle og leverancer, så projektet i mindre grad hægtes op på enkeltpersoner.

Kobling af dagsordener
Partnerne i LEAKman kom med egne dagsordener, målsætninger og teknologier. Det har skabt muligheder for nye integrerede løsninger, hvor flere parallelle teknologier kan spille sammen, som for eksempel ved at Leif Kochs støjloggere kan dække et hovedledningsnet og komplementeres af Kamstrups støjsensorer i vandmålerne, som dækker stikledningerne, og dermed skabe bred dækning af vanddistributionen. Omvendt giver de individuelle ambitioner også en udfordring med at se udover virksomhedens egne udviklingsbehov og sikre en fælles dagsorden på tværs af deltagerne.

Læringen er her, at der skal arbejdes med at få projektdeltagerne til tidligt i forløbet at ”lægge uniformskasketten” og arbejde på tværs af teknologier og virksomheder, herunder at være generøse med egen erfaring og bygge på andres. Teknikere og udviklere, der lægger størstedelen af arbejdet i et projekt som LEAKman, har ikke nødvendigvis del i beslutningsprocessen omkring etableringen af partnerskabet. Der er derfor en særlig ledelsesudfordring ved at få alle medarbejdere frigjort til at løfte den fælles dagsorden på tværs af virksomheder, fremfor at forfølge den enkelte virksomheds egne målsætninger. En sådan forankring på alle organisationsniveauer kræver først og fremmest forankring på topledelsesniveau, og at der skabes sammenhæng mellem projektets mål og virksomhedernes individuelle udviklingsstrategier. Forankringen skal især have fokus på at skabe klare sammenhænge mellem projektets mål, leverancerne og den enkelte virksomheds ressourcer og kompetencer.

Det foreslås specifikt, at der ved projektstart skabes en samlet beskrivelse, for eksempel i form af en figur, der giver et billede af hele systemet, der skal bygges. Figuren skal være detaljeret

beskrevet, så de enkelte virksomheder, kan se deres egne og andres rolle i processen. Dermed vil det være tydeligere, hvordan den enkelte teknologiudvikling og demonstration bidrager til det overordnede mål. Den samlede figur kan også vise sammenhænge med andre systemer, hvor der er mulighed for synergier eller potentielle konflikter. Indenfor lækagemanagement kunne det eksempelvis være sammenhængen med asset management.

Det foreslås derudover, at lignende partnerskaber fremover opbygges med mulighed for indlejrede "sprint", hvor en defineret teknologiudvikling eller implementering gennemføres på kort tid og med et klart sigte mod at bidrage til den langsigtede målsætning for partnerskabet. Det vil kræve tid og budget til at købe folk fri til at udføre kortere men intensive forløb, som ikke nødvendigvis kan være planlagt i detaljer fra starten af projektet.

Data skal bruges for at give værdi

Det kan virke selvfølgeligt, men det har været en væsentlig læring af LEAKman, at data skal bruges, før de kan skabe værdi. Data der ikke bruges, vil ofte være fejlbehæftede og være et spild af ressource.

I løbet af de seneste år har mange forsyninger brugt betydelige summer på at installere dataindsamlende enheder i deres ledningsnet. Særligt flow-, temperatur- og trykdata er blevet indsamlet i stigende grad for at overvåge ledningsnettet og blandt andet fremskynde sporing og udbedring af lækager. Værdien af data ligger dog ikke kun i en realtidsovervågning af ledningsnettet. De med tiden store mængder af historiske data kan også benyttes til træning af maskinlæringsalgoritmer, detaljerede forbrugsanalyser og hydrauliske modelkørsler for at optimere driften og planlægningen af forsyningernes ledningsnet. En optimal anvendelse af målerdata kræver dog også, at de indsamlede data viser et reelt billede af, hvad der foregår i nettet. Hvis selve dataene ikke er pålidelige, er det vanskeligt for forsyningerne at vide, om en uventet hændelse virkelig er sket ude i nettet, eller om observationen blot skyldes en dårlig kvalitet af målerdataene eller andre influerende faktorer.

Forsyningernes fremtid peger i én fælles retning: der bliver installeret flere og flere målere og indsamles større mængder af data. Dette fører til, at forsyninger bliver mere 'datadrevne' og afhængige af de indsamlede data.

Generelt har både LEAKman og det tilknyttede Ph.D. projekt /4/ vist, at mange fejl i forsyningernes ledningsdatabaser og sensordata kun opdages når man rent faktisk begynder at anvende data.

> **" Så længe forsyningerne ikke kan opretholde en høj datapålidelighed, er det tvivlsomt om flere sensorer vil øge forsyningernes forståelse af deres system. Først når der kan sikres en højere pålidelighed af data, kan deres sande og fulde potentiale udnyttes."**
>
> Jonas K. Kirstein /4/

I Jonas Kirsteins Ph.D. arbejde påpeges bl.a., at den til dels sporadiske anvendelse af de store mængder af data (der allerede er til rådighed) og den i fremtiden voksende datamængde også gør det betydeligt sværere for forsyninger at vedligeholde deres data. For eksempel viste Ph.D. arbejdet, at lange arkiverede tidsserier kan være ubrugelige, når de ikke løbende verificeres og korrigeres for fejl. Fejlene findes ofte først, når tidsserierne anvendes. Idéen om at

opsamle alle data og gemme dem til fremtidigt brug kræver en omhyggelig, løbende kvalitetssikring af data. Kvalitetssikringen skal række ud over at sikre en intakt tidsserie med kalibrerede data. Det skal blandt andet også sikres, at data måles det korrekte sted og kan relateres korrekt til en hydraulisk model af systemet. Det er afgørende, om der måles på den ene eller anden side af sammenkoblinger i ledningsnettet, med eller uden åben ventil med videre. Her kan visualisering og tilgængelighed af data være en nøgle til succes. I fremtiden skal data i endnu højere grad gøres til viden, der fører til bedre handlinger. Derfor skal data også vedligeholdes og kvalitetssikres i højere grad, end hvad der er tilfældet i dag. Det kan kun ske ved brug af automatiske og effektive værktøjer, da mængden af indsamlede data er for stor til, at der effektivt kan ske en manuel kvalitetssikring.

Det foreslås, at der startes med en kortlægning af datastrømme, typer og kvalitet på tværs af forsyningen, som HOFOR eksempelvis har gjort det (Bilag 4). Kortlægningen skal også angive, hvem der ejer data, vedligeholder data og bruger data. Det vil være optimalt at starte med at visualisere små mængder data og udbygge efterhånden, som data kommer i anvendelse. Visualiseringen og dataanvendelsen kræver tid og prioritering af ressourcer til at arbejde med data, som vil række ud over den daglige drift.

Adgangen til data skal gøres nemmere. I dag lagres data ofte i mange systemer, hvilket giver udfordringer, når der skal skabes løsninger på tværs systemer, arbejdsfunktioner og fagområder. Der findes flere løsninger på dette såsom at arbejde med Data Warehouse, Data Lake eller Integration Services. Her kan data, som samles, udstilles og beskrives med henblik på at give adgang til dem. Herefter kan medarbejdere og samarbejdspartnere tilgå data i et uniformt format, og hvor datavalidering er udført centralt og datakvaliteten kan tilknyttes data i form af en statuskode. Det er vigtigt at pointere behovet for, at data let kan deles med eksterne samarbejdspartnere således, at disse kan udvikle løsninger på baggrund af forsyningens målinger. I forhold til datalagring og -adgang er der dog en række principper, som bør tilgodeses.

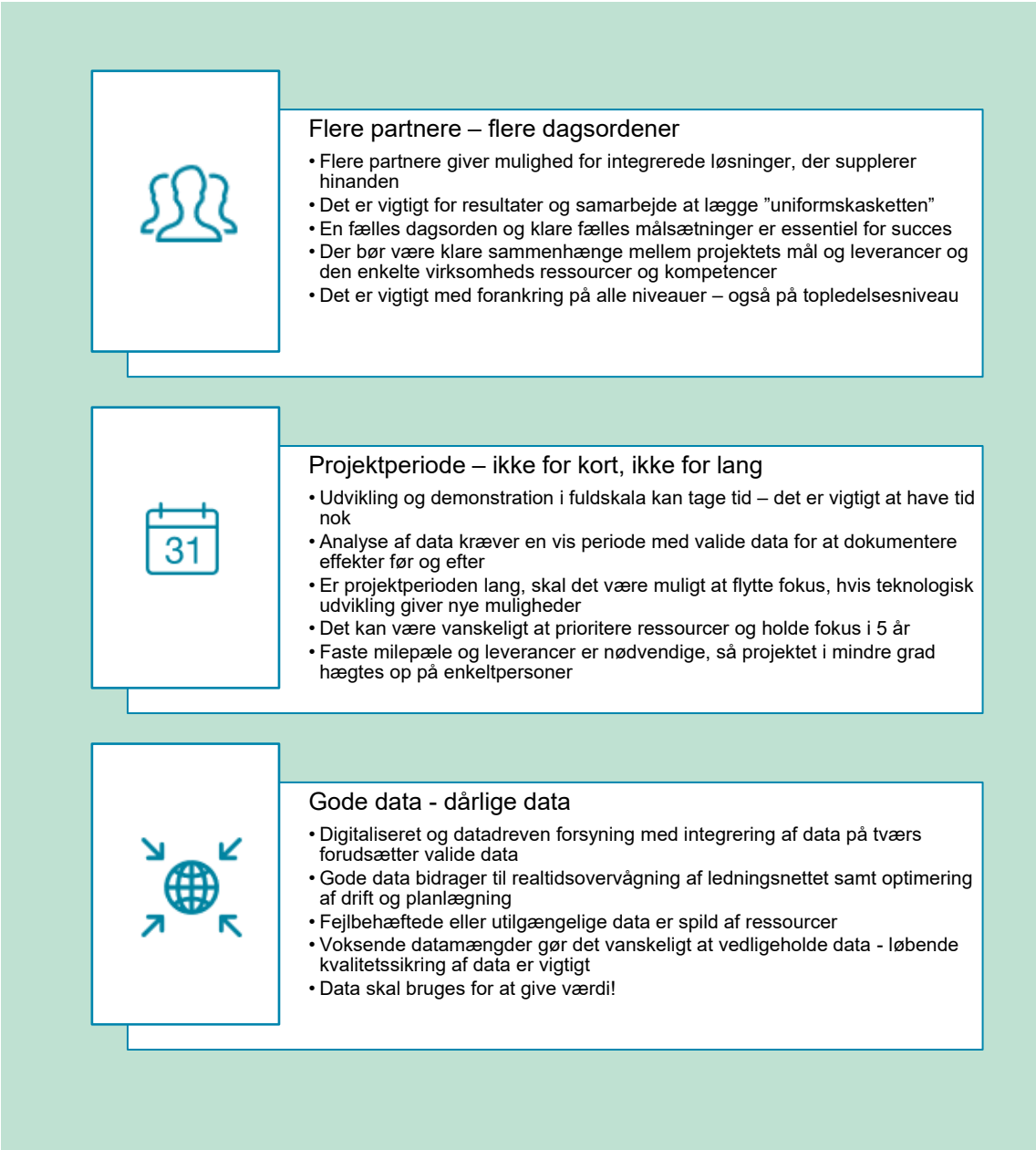
Datalagring og -adgang bør være uafhængigt af leverandører. Ved åbne protokoller kan forsyningerne sammenstille data fra forskellige leverandører og fra forskellige dele af systemet. Dette muliggør holistiske analyser og sammentænkning af hele vandkredsløbet. Ved udarbejdelse af mange små lukkede systemer vil forsyningerne være nødt til at ofre unødvendig tid og foretage store omveje for at sammenstille data og gøre det tilgængeligt for forretningen. Ofte har de digitaliserede forsyninger egne GIS-systemer og database-systemer. Derfor er det optimalt for leverandører af nye produkter, hvis de giver mulighed for åben integration med forsyningernes eksisterende systemer.

Der børe være tænkt datakvalitetssikring og dokumentation af signal-, batterifejl og lignende ind i komponenter og software. Herved sikres, at der opnås den højest mulige kvalitet af data fra starten. Skal forsyningen først implementere kvalitetssikring efter indkøb, kan det gøre udbyttet ved en ny sensor mindre. Disse sikringer bør også indgå i den åbne integration til forsyningernes egne systemer. Et nationalt arbejde med at standardisere kvalitetssikring og fejlmeddelelser kan gøre arbejdet lettere for forsyninger såvel som leverandører.

” Potentialet er stort for forsyningerne, men det forløses ikke før der arbejdes med åbne systemer, hvor data kan integreres på tværs, data vedligeholdes og kvalitetssikres, og der i højere grad sikres kompetencer til at tænke på tværs af de enkelte underdele af forsyningssystemerne.”

Thor Danielsen, HOFOR /Bilag 4/

I FIGUR 60 opsummeres hovedlæringspunkter relateret til partnerskabsformen, projektperioden og brug af data. Disse læringspunkter kan være nyttige at have med ved planlægning af kommende projekter.

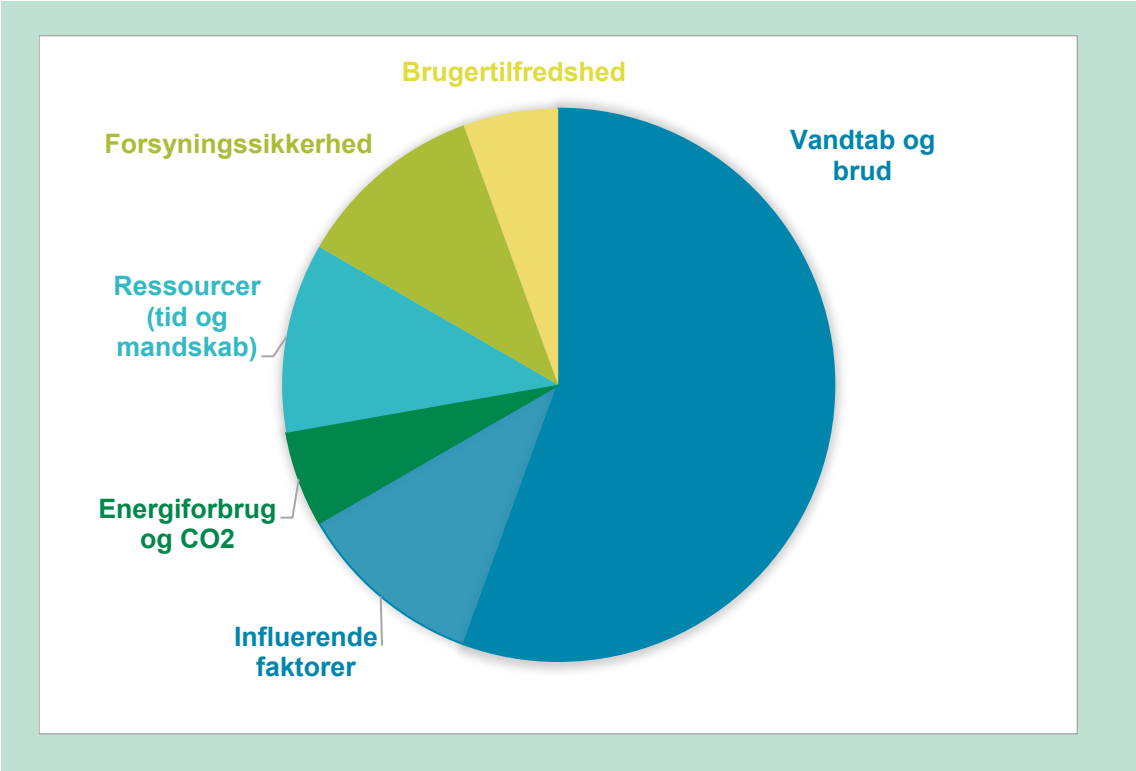


FIGUR 5.2. Opsummering af udvalgte læringspunkter fra LEAKman til vandbranchen.

5.3 Effekt af lækagemanagement og influerende faktorer

Effekten af LEAKman og lignede initiativer kan tænkes målt på flere niveauer, dels i indikatorer på det aktuelle vandtab og dels indikatorer, der går på ressourceforbruget til lækagemanagement. Mest oplagt er kvantificerbare mål for mængden af tabt vand og omfanget af brudhændelser og direkte omkostninger forbundet hermed. Det blev imidlertid påpeget på workshops i partnerskabet, at danske forsyninger er meget optagede af at ligge under 10 % lækage i distributionen, men derudover har begrænsede incitamenter for at nedbringe lækage yderligere, eller at nedbringe lækage i f.eks. i råvandsledninger. Det betyder, at måltal for begrænsning af vandtab især har betydning i områder udenfor Danmark, med væsentligt større tab at håndtere. For danske forsyninger er den mest interessante målbare effekt af lækagemanagement derimod ofte at se på reduktionen i de ressourcer, der indgår i lækagesporingen. Ressourcer

dækker over både den tid, der går til arbejdet, samt teknologier der installeres, men også tiden der går fra en anomali findes, til den er udbedret.



FIGUR 5.3. Mål for effekt af lækagemanagement. Samlet lækagemanagement, som implementeret i LEAKman, kan måles på flere niveauer. Nogle er direkte relateret til vandtabet, mens andre er indikatorer på ressourceforbrug hos forsyningen eller påvirkning af forbrugerne.

Vandtab og brudhændelser

En væsentlig udfordring ved at måle effekten af lækagemanagement på vandtab og brudhændelser er, at der er mange influerende faktorer, som kan gøre opgørelsen af vandtab og brudforekomst vanskelig. For eksempel har pålideligheden af flowmålere stor betydning ved opgørelse af vandtab på sektionsniveau. Her er det essentielt, at vandbalancen er valid – det vil sige, at sektionsgrænserne er tætte, at alt vand ind og ud af området måles med relativt høj nøjagtighed, og at der ikke er større umålte eller ukendte forbrug i området. Desuden er det yderst vigtigt, at dataopsamling og dataoverførsel kører kontinuert og stabilt uden udfald og afbrydelser. Udfald eller fejl på én enkelt flowmåler til et område kan ødelægge hele vandbalancen og gøre opgørelserne ubrugelige. Dårlig datakvalitet kan i værste fald føre til fejltolkninger der i sidste ende føre til forkerte beslutninger.

En faktor som brudfrekvens er, udover ændringer i trykniveau og trykvariationer, også påvirket af eksempelvis vejrforhold (temperaturer og nedbør), trafikbelastning eller nærliggende gravearbejder, hvilket kan gøre det vanskeligt at evaluere den direkte effekt af implementerede teknologier. Da der desuden er relativt få brud og det statistiske grundlag dermed begrænset, vil det ofte kræve data over en længere årrække at vurdere tendenser og afledte effekter.

Opgørelse af den samlede lækagemanagements effekt i LEAKman demoområderne er netop udfordret af disse influerende faktorer, som vanskeliggør opgørelse af effekten af teknologier både hver for sig og i samspil. Der er dog ikke nogen tvivl om, at teknologierne og de gennemførte tiltag har en betydelig effekt, da der findes solid teoretisk og videnskabelig dokumentation for dette, men det er blot vanskeligt at dokumentere med data fra de konkrete områder på nu-

værende tidspunkt. Dette forhold bliver desuden mere udtalt i Danmark hvor der kun er ganske få forsyningsområder med store vandtab. Effekten af implementering af LEAKman vil med stor sandsynlighed være nemmere at måle og opgøre i lande og områder der lider under store vandtab.

Der er behov for i fremtidige projekter at have et endnu skarpere og særskilt fokus på at kortlægge og om muligt fjerne effekten af sådanne "influenter", så der i højere grad kan måles isoleret på effekten af lækagemanagement.

Det skal fremhæves, at det er nyttigt og motiverende for lækagesporingen både hos driftsfolk, planlæggere og ledelse, når resultaterne visualiseres. Derfor bør der fortsat arbejdes på at skabe visuelle overblik over vandtab og lækager og give organisationen indblik i datastrømmen og analysemulighederne. I et senere trin kan en del af datastrømmen endda visualiseres offentligt og dermed gøre kunderne interesserede i den aktuelle drift, hvis dette vurderes hensigtsmæssigt.

Ressourcer
En læring af LEAKman har været, at det kræver en tidlig indsats og tilstrækkelige ressourcer, at planlægge og gennemføre en sammenligning af forsyningens effektivitet før og efter implementering af nye lækagemanagementtiltag. Uden denne indsats vil det ikke være muligt at dokumentere, hvor vigtige de enkelte tiltag er for forsyningens drift.

Sektionering af netværk og overvågning af vandtabet er klart en gevinst for vandforsyningerne. HOFOR har i sin businesscase for sektionering konservativt forudsat en tilbagebetalingstid på 15-20 år afhængig af nettenes aktuelle vandtab og tilstand. Samkøring af data fra forskellige kilder i et managementsystem letter overskueligheden af data og hæver vidensniveauet.

Gevinsten for Novafos ligger på nuværende tidspunkt i at data er samlet i et ledelsessystem og dermed har forsyningen fået en fælles platform til at få indsigt i data og dele informationer dermed et grundlag at igangsætte aktioner ud fra. Novafos forventer, at omkostningerne og ressourceforbruget er mindre end tidligere, da der skal bruges væsentlig mindre tid på at sammensætte data, analysere og udpege aktionsområder.

Generelt medfører reduktion af vandtab og optimering af tryk besparelser til vandproduktion, energiforbrug samt reduktion af CO_2 udledning og fremtidig brudfrekvens.

Forbrugere og forsyningssikkerhed
Der er ved trykoptimeringen i både Mileparken og Klampenborg opnået en betydelig stabilisering af forsyningstrykket. Forbrugerne har nu i begge områder et langt mere stabilt tryk over døgnet, hvor krav til minimumstryk til stadighed er opfyldt. Trykket er reduceret stepvis og der har ikke været forbrugerhenvendelser eller klager i forbindelse med trykreduktionerne.

Under hele projektets forløb har der ikke kunnet påvises nogen negative effekter på forsyningssikkerheden. En positiv effekt skal søges i en formodet reduktion i rørbrudsstatistikken og mindre risiko for forureningshændelser som følge af utætte rør dermed forbrugerafbrydelser.

5.4 Det videre liv med demofaciliteterne

LEAKman har etableret demonstrationsområder med mange teknologier, der har interesse for både den danske vandsektor og især internationalt. Det er planlagt, at LEAKman følges op med en række initiativer for at sikre tilgængelighed af demonstrationsområderne i årene fremover. Det er besluttet at:

1. Der udarbejdes et antal standard ture og præsentationer, så forskellige parter i LEAKman kan vise hele partnerskabets faciliteter frem. Dermed fordeles ansvaret for at fortælle om LEAKman bredt.
2. Det aftales, hvilke dele og hvordan de skal holdes i live som demonstrationsfaciliteter
3. Formidlingen arrangeres som uafhængige pakker, så formidling ikke bliver afhængig af at bestemte LEAKman parter står til rådighed hele tiden.

5.5 Fremtidige udviklingsområder

LEAKman har synliggjort en lang række mulige udviklingsområder og potentielle emner for fremtidige partnerskaber:

- NRW influencers skal kortlægges og kategoriseres, hvorefter der skal prioriteres, laves procedure og udvikles nye metoder og teknologier til monitorering og kvalificering/kvantificering. Målet er, at influerende faktorer skal kunne identificeres og isoleres, så det bliver tydeligt, hvilke initiativer der har den største påvirkning af lækagetabet.
- Der er sket en rivende udvikling i udbuddet af IoT netværk og devices, og der er et væsentligt potentiale for at udvikle og tilbyde nye sensorer til yderligere indsamling af driftsdata fra forsyningsnettene.
- Udvikling af en Data hub. En fælles database som udstiller data til rådighed for analyser i alle systemer. Dette kombineret med forskellige standardiserede analyser til validering og kvalitetssikring af data samt algoritmer til optimeringsberegninger og driftsprognoser. Dette kan blandt andet ske ved hjælp af maskinlæring og kunstig intelligens.
- Der skal arbejdes videre med at udbygge det udviklede ”LEAKman Water Auditing Tool”, således at flere parametre kan indgå i den dynamiske beregning af det økonomisk optimale lækageniveau. Konkret skal erfaringer fra implementering af smart metering og støjloggere inkluderes i modellen.
- Sammenhænge mellem trykstyring, lækagesporing og asset management skal undersøges, så lækage kan optimeres i sammenhæng med reinvesteringer i ledningsnettet. En standardiseret metode til beregning af konsekvenser af at lade stå til i forhold til at reparere en lækage/aldrende rørledning skal udvikles. Dermed kan det optimale tidspunkt for ledningsrenovering bestemmes.
- I forbindelse med LEAKman-projektet er der nu tidsserier med forbrugsdata i meget høj opløsning og fra forskellige boligområder. Dansk vandforsyning har i årtier baseret sig på en række gamle antagelser om forbrugsfaktorer og spidsbelastninger, som det er oplagt at genbesøge og evaluere betydningen af for den fremtidige design og drift af ledningsnettet.
- Der er allerede gennemført fire afgangsprojekter på DTU med udgangspunkt i LEAKman, og der er oprettet et yderligere antal i DTU’s projektbank. Dette initiativ og samarbejde mellem DTU og især NIRAS skal videreføres med en målsætning om at opnå 1-2 afgangsprojekter årligt med udgangspunkt i LEAKman demonstrationsområderne og data herfra.

Fremtidige partnerskaber omkring vandtab forventes forankret i Den Danske Vandklynge, hvor hovedparten af LEAKman partnerne allerede er medlem. Vandklyngen arbejder med at accelerere innovation af vandteknologier i et samarbejde mellem klyngens medlemmer og med inspiration fra best practice fra både vandområdet og andre brancher. Der arbejdes med udfordringsbaseret åben innovation med udgangspunkt i konkrete udfordringer, hvor medlemmer og videnspersoner inviteres til åbne innovationsprocesser, så der både sikres videndeling og udvikling af nye løsninger – både teknologiske og forretningsmæssige. Ét af 5 fokusområder i vandklyngeregi er netop ”Den effektive vandforsyning”.

Referencer

/1/ The World Bank, Washington, DC. Water Supply and Sanitation Sector Board Discussion Paper Seriespaper No. 8. December 2006. The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries. How the Private Sector Can Help: A Look at Performance-Based Service Contracting. Bill Kingdom, Roland Liemberger, Philippe Marin.

/2/ McKinsey Quarterly. 2010 Number 1. The business opportunity in water conservationFor many companies, water efficiency is a long-term requirement for staying in business, a big commercial opportunity, or both. Giulio Boccaletti, Merle Grobbel, and Martin R. Stuchtey

/3/ Kirstein, J.K., Høgh, K., Rygaard, M. & Borup, M. (2019). A semi-automated approach to validation and error diagnostics of water network data. Urban Water Journal, 16(1), 1–10 , doi:10.1080/1573062X.2019.1611884

/4/ Kirstein, J.K. (2020). Data-driven water distribution system analysis – exploring challeng-es and potentials from smart meters and beyond. Ph.D. Thesis. DTU Environment, Technical University of Denmark.

/5/ Fantozzi M and Lambert A - Including the effects of pressure management in calculations of Short Run Economic Leakage Levels. IWA International Specialised Conference 'Water Loss 2007', Bucharest, September 2007.

Bilag 1. Værktøj til beregning af vandbalance og ELL

Bilag 1.1 **IWA Water Balance Report i HOMIS**

Bilag 1.2 **LEAKman Water Auditing Tool – Udfyldt med testdata fra Al Ain Distribution Company**

Bilag 2. Consumption profiles

Bilag 3. Zonegrænseventil

Bilag 3.1 Produktblad: AVK Smart Water VIDI Cloud
Bilag 3.2 Produktblad: AVK Smart Water VIDI Positioner

Bilag 4. Datakortlægning i vandforsyningen

Globale vandtab, danske løsninger
Danmark har et af verdens laveste vandtab, og vi har samtidig nogle af verdens bedste teknologikomponenter til begrænsning af vandtab. Eksportpotentialet er derfor meget stort for de danske teknologiproducenter.

I projektet LEAKman er ni virksomheder og institutioner gået sammen for at demonstrere, hvordan man med forskellige teknologier effektivt kan kontrollere vandtab i vandforsyningen. De ni partnere har hver især leveret løsninger og viden inden for vandteknologi i adskillige år, men under LEAKman etableres to state-of-the-art demonstrationsprojekter på dansk grund i tæt samarbejde med de danske forsyningsvirksomheder Novafos og HOFOR. Desuden etableres en facilitet til demonstration af trykoptimering hos Frederiksberg Forsyning.

Demonstrationsprojekterne fremviser en vandtabsløsning med fuld integration af intelligente pumper, ventiler, målere, sensorer, datasystemer, hydrauliske modeller og ledelsesinformationssystemer.

Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk

Bilag 1. Værktøj til beregning af vandbalance og ELL

Bilag 1.1 **IWA Water Balance Report i HOMIS**

Bilag 1.2 **LEAKman Water Auditing Tool – Udfyldt med testdata fra Al Ain Distribution Company**

3 Mileparken

Report period
2021-06-01 - 2021-06-30

CARL
22.5 m³ (2021)

UARL
21.06 m³ (2021)

ILI
1.07 index (2021)

<table>
<tr><td rowspan="6">System Input Volume
4,896 m³
(100%)</td><td rowspan="3">Authorized Consumption
4,172 m³
(85%)</td><td rowspan="2">Billed Authorized Consumption
4,172 m³
(85%)</td><td>Billed Metered Consumption
4,172 m³
(85%)</td><td rowspan="2">Revenue Water
4,172 m³
(85%)</td></tr>
<tr><td>Billed Unmetered Consumption
0 m³
(0%)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Unbilled Authorized Consumption
0 m³
(0%)</td><td>Unbilled Metered Consumption
0 m³
(0%)</td><td rowspan="5">Non Revenue Water
723.8 m³
(15%)</td></tr>
<tr><td>Unbilled Unmetered Consumption
0 m³
(0%)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Water Losses
723.8 m³
(15%)</td><td rowspan="2">Apparent Losses
208.6 m³
(4%)</td><td>Unauthorized Consumption
0 m³
(0%)</td></tr>
<tr><td>Customer Meter Inaccuracies, Billing And Accounting Errors
208.6 m³
(4%)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Real Losses
515.1 m³
(11%)</td><td>Leakage On Transmission And Distribution Mains
0 m³
(0%)</td></tr>
<tr><td>Leakage And Overflow At Reservoirs
0 m³
(0%)</td></tr>
<tr><td>Leakage on service connections up to metering point
0 m³
(0%)</td></tr>
</table>

Introduction

Company input

Skal opdateres med nye faner og funktioner

Short description of purpose and possibilities

This tool is designed to be used during a water audit. It provides a simple and dynamic framework which in the end presents a water balance. Furthermore, it can be used as a database containing information regarding multiple areas (Regions or District Metering Areas (DMAs)) for different periods of time.

The tool consists of five input sheets and two sheets containing the results. The input sheets are *Company input, DMA input, Data input, Setup* and *SRELL* . The sheet *setup* can be accessed through the sheet *DMA input.*
In the sheet *Company input* general information can be registered. Here, a list of regions can be created and a list of options is available for creating a new area (DMA or Region) or collecting data from earlier reported areas.
The sheet *Area input* contains general information regarding the specific area such as the name, the time of the audit and the associated region. From here it's possible to access the sheet *Setup. Inside this sheet* it is possible to change the default flow unit, pressure unit or currencies to predefined units or to create custom units. Moreover it is possible to define the energy mix in the geographical area of the DMA/Region and a list of options are given. It is possible to define a specific area if it is not found in the list. Furthermore, the user should report the production type of the water distributed inside the DMA/Region. Here it is possible to choose between groundwater, surface water and desalination.
The audit results can be entered in the sheet *Data input* . Information regarding supplied water, water consumption, water losses and different cost data can be reported in this sheet and the information is used to create the water balance measured in terms of volume, costs and carbon footprint.

The sheet SRELL contains information about the Short Run Economic Level of Leakage (SRELL). Information about rise in water losses, leakage control costs and number of breaks can be registered. This information is used to calculate the SRELL.

The results are shown in four sheets: Water balance, Water balance – list, SRELL – list and Results. The first shows a visual presentation of the water balance in terms of volume, costs and carbon footprint from the specific DMA and from here it is possible to create a PDF-version. The second shows the water balance in volume presented in a table from all the registered areas. The third shows the results of the 'Short Run Economic Level of Leakage'-analysis presented in a table from all the registered areas. The fourth sheet consolidate the findings of the Water Balance and SRELL. The findings are presented in figures and charts.

Introduction to workflow

The sheet *Company input* works as a dashboard in this tool. From here it is possible to load earlier reported data, delete earlier reported data or report data in a new area (DMA/Region).
An arrow is located at the top of each sheet and it presents the intended workflow and can be used to go from one sheet to the next. It is possible to switch between the different sheets.

Under the sheets *Area input, Data input* and *SRELL* it is important to save data when data have been edited using the relevant controls. If the data aren't saved, they may be lost in the following processes.

Setup

Company Input

Flow unit

	Unit	Factor		
Default flow unit	m^3/year	1		
Choose other unit from list			Apply unit	Delete chosen unit
Currently selected unit	m3/year	1,00		
Add unit to list			Save new unit	

Currency

	Currency	Exchange rate		
Default currency	DKK	1		
Choose other currency from list			Apply currency	Delete chosen currency
Currently selected currency	AED	0,60		
Add currency to list			Save new currency	

Pressure unit

	Unit	Factor		
Default pressure unit	mwc	1		
Choose other unit from list			Apply pressure unit	Delete chosen unit
Current selected unit	bar	0,0981		
Add unit to list			Save new unit	

Energy mix - Create new area

Area	
Electricity generated from oil (%)	
Electricity generated from coal (%)	
Electricity generated from natural gas (%)	
Electricity generated from renewable energy (%)	
Electricity generated from other sources (%)	

Save area

Company input

Information

Company	AADC
Contact person	WOMD
Telephone	
E-mail	
User	JKI

Region

	Name
Region 1	Sarouj
Region 2	
Region 3	
Region 4	
Region 5	
Region 6	
Region 7	
Region 8	
Region 9	
Region 10	
Region 11	
Region 12	
Region 13	
Region 14	
Region 15	

Units

Flow unit	m3/year
Currency	AED

Pressure unit	bar

Change units

Energy mix

Energy mix, area	Middle east
Electricity generated from oil (%)	25,65
Electricity generated from coal (%)	0,06
Electricity generated from natural gas (%)	71,75
Electricity generated from renewable energy (%)	1,87
Electricity generated from other sources (%)	0,67

Distribution of production methods

Groundwater (%)	0
Surface water (%)	0
Desalination (%)	100

Cost data

Area Input - DMA_101 R SAR

Create new area or choose existing area

Region	Sarouj
DMA	DMA_101 R SAR

Area Information	Value
Audit start date (DD.MM.YYYY)	01.01.2019
Audit end date (DD.MM.YYYY)	31.12.2019
Input level	DMA
DMA name	DMA_101 R SAR

Water supplied	Input	Value	Unit		Uncertainty	Comments
Volume from own sources		927.658	m3/year	±	5,00%	
Water imported		0	m3/year	±	5,00%	
Water exported		0	m3/year	±	5,00%	
Total supply of water		927.658	m3/year	±	5,00%	

Authorized consumption	Input	Value	Unit		Uncertainty	Comments
Billed metered		597.477	m3/year	±	5,00%	
Billed unmetered		54.824	m3/year	±	5,00%	
Unbilled metered		45.486	m3/year	±	5,00%	
Unbilled unmetered		0	m3/year	±	5,00%	
Authorized consumption		697.787	m3/year	±	5,00%	

Water losses	Input	Value	Unit	Uncertainty	Comments
Water losses (Water supplied - Authorized consumption)		229.872	m3/year		
Apparent losses					
Unauthorized consumption	% 5,00%	46.383	m3/year	± 5,00%	
Customer metering inaccuracies	% 1,00%	-6.430	m3/year	± 5,00%	According to 2020 Leakage report, test results average meter accuracy is ~ 1%
Apparent losses		39.953	m3/year		
Real Losses		189.918	m3/year		
Leakage and overflows at utility's storage tanks		0	m3/year	± 5,00%	
Leakage on service connections	% 90%	170.926	m3/year		
Leakage on mains	% 10%	18.992	m3/year		

Non-revenue water	Value	Unit	Uncertainty	Comments
Non-revenue water	275.357	m3/year		

System data	Value	Unit	Uncertainty	Comments
Length of mains	2,18	km	± 5,00%	
Number of active and inactive service connnections	598		± 5,00%	
Service connection density	274,31	conn/km		
Length of customer service line	16,50	km	± 5,00%	
Average operating pressure	2,27	bar	± 5,00%	

Cost data	Value	Unit	Uncertainty	Comments
Operational cost in given area, fixed costs	5.872.076	AED/year	± 5,00%	

Emission and energy data	Value	Unit	Uncertainty	Comments
Total energy consumption in water production	9.601.262	KWh		
Emission from energy production in geograhical area	0,57	Kg. CO2-eq/KWh		
Emission from water production	3,01	Kg. CO2-eq/m3		

Water Balance

The results of this analysis will be shown in four different versions of a water balance. The first tabel will be the classic waterbalance with key figures such as CARL, UARL, ILI and EARL. The second and third water balance will illustrate economic results and the fouth water balance will show the associated carbon footprint.

Water Balance - Volume

This water balance shows the water supplied in the DMA and the flow of the water. This balance is a result of the given data input and it shows the share of the total supply of water which is lost and hence does not generate revenue.

Water Balance - Volume

Region	Sarouj
DMA	DMA_101 R SAR
Start date	01.01.2019
End date	31.12.2019
Unit	m3/year

Water Supplied ***927.658*** ***100%***	**Authorized Consumption** ***697.787*** ***75,2%***	**Billed Authorized Consumption** ***652.301*** ***70,3%***	**Billed Metered Consumption (water exported is removed)** ***597.477*** ***64,4%***	**Revenue Water** ***652.301*** ***70%***
			Billed Unmetered Consumption ***54.824*** ***5,9%***	
		Unbilled Authorized Consumption ***45.486*** ***4,9%***	**Unbilled Metered Consumption** ***45.486*** ***4,9%***	**Non-Revenue Water (NRW)** ***275.357*** ***30%***
			Unbilled Unmetered Consumption ***0*** ***0,0%***	
	Water Losses ***229.872*** ***24,8%***	**Apparent Losses** ***39.953*** ***4,3%***	**Unauthorized Consumption** ***46.383*** ***5,0%***	
			Customer Metering Inaccuracies ***-6.430*** ***-0,7%***	
		Real Losses ***189.918*** ***20,5%***	**Leakage and Overflows at Utility's Storage Tanks** **0** ***0,0%***	
			Leakage on Service Connections **170.926** ***18,4%***	
			Leakage on mains **18.992** ***2,0%***	

Table 1 - Volume Figures

Current Annual Real Losses (CARL) (m3/year)	189.918
Unavoidable Annual Real Losses (UARL) (m3/year)	7.870
Infrastructure Leakage Index (ILI)	24,13

Water Balance - Costs

This water balance shows the associated financial costs with the water flow. The water balance is only a measure of costs and the costs are calculated on the basis of the water volumes and the given cost input as both variable and fixed costs.

Water Balance - Costs

Region	Sarouj
DMA	DMA_101 R SAR
Start date	01.01.2019
End date	31.12.2019
Currency	AED

<table>
<tr><td rowspan="7">Water Supplied
10.658.792
100%</td><td rowspan="3">Authorized Consumption
8.017.568
75,2%</td><td rowspan="2">Billed Authorized Consumption
7.494.938
70,3%</td><td>Billed Metered Consumption (water exported is removed)
6.865.005
64,4%</td><td rowspan="2">Revenue Water
7.494.938
70,3%</td></tr>
<tr><td>Billed Unmetered Consumption
629.932
5,9%</td></tr>
<tr><td>Unbilled Authorized Consumption
522.630
4,9%</td><td>Unbilled Metered Consumption
522.630
4,9%</td><td rowspan="5">Non-Revenue Water (NRW)
3.163.854
29,7%</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Water Losses
2.641.224
24,8%</td><td>Unbilled Unmetered Consumption
0
0,0%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Apparent Losses
459.063
4,3%</td><td>Unauthorized Consumption
532.940
5,0%</td></tr>
<tr><td>Customer Metering Inaccuracies
-73.876
-0,7%</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Real Losses
2.182.161
20,5%</td><td>Leakage and Overflows at Utility's Storage Tanks
0
0,0%</td></tr>
<tr><td>Leakage on Service Connections
1.963.945
18,4%</td></tr>
<tr><td>Leakage on mains
218.216
2,0%</td></tr>
</table>

Water Balance - Revenues and losses

This water balance reflects the earned revenue and the associated lost revenue given water losses. A green number illustrates a revenue and a red number illustrates lost revenue due to the loss of water which could have been sold to the customer.

Water Balance - Revenues and losses

Region	Sarouj
DMA	DMA_101 R SAR
Start date	01.01.2019
End date	31.12.2019
Currency	AED

<table>
<tr><td rowspan="8">Water Supplied
533.543</td><td rowspan="4">Authorized Consumption
1.620.197</td><td rowspan="2">Billed Authorized Consumption
1.741.644</td><td>Billed Metered Consumption (water exported is removed)
1.595.262</td><td rowspan="2">Revenue Water
1.741.644</td></tr>
<tr><td>Billed Unmetered Consumption
146.381</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Unbilled Authorized Consumption
121.447</td><td>Unbilled Metered Consumption
121.447</td><td rowspan="6">Non-Revenue Water (NRW)
1.208.100</td></tr>
<tr><td>Unbilled Unmetered Consumption
0</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Water Losses
1.086.654</td><td rowspan="2">Apparent Losses
106.675</td><td>Unauthorized Consumption
123.842</td></tr>
<tr><td>Customer Metering Inaccuracies
-17.167</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Real Losses
979.978</td><td>Leakage and Overflows at Utility's Storage Tanks
0</td></tr>
<tr><td>Leakage on Service Connections
881.981</td></tr>
<tr><td>Leakage on mains
97.998</td></tr>
</table>

Water Balance - Carbon footprint

This water balance shows the carbon emission from the water volumes. The emission are calculated based on coefficient of emission for distribution of water, production of water and the supply network and they depend on the production methods.

Water Balance - Carbon footprint

Region	Sarouj
DMA	DMA_101 R SAR
Start date	01.01.2019
End date	31.12.2019
CO2 unit	Kg. CO2-eq

<table>
<tr><td rowspan="6">Water Supplied
8.268.713,0
100%</td><td rowspan="3">Authorized Consumption
6.219.745
75,2%</td><td rowspan="2">Billed Authorized Consumption
5.814.307
70,3%</td><td>Billed Metered Consumption (water exported is removed)
5.325.628
64,4%</td><td rowspan="2">Revenue Water
5.814.307
70,3%</td></tr>
<tr><td>Billed Unmetered Consumption
488.679
5,9%</td></tr>
<tr><td>Unbilled Authorized Consumption
405.438
4,9%</td><td>Unbilled Metered Consumption
405.438
4,9%</td><td rowspan="4">Non-Revenue Water (NRW)
2.454.406
29,7%</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Water Losses
2.048.968
24,8%</td><td rowspan="2">Apparent Losses
356.125
4,3%</td><td>Unbilled Unmetered Consumption
0
0,0%</td></tr>
<tr><td>Unauthorized Consumption
413.436
5,0%</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Real Losses
1.692.843
20,5%</td><td>Customer Metering Inaccuracies
-57.311
-0,7%</td></tr>
<tr><td>Leakage and Overflows at Utility's Storage Tanks
0
0,0%</td></tr>
<tr><td>Leakage on Service Connections
1.523.559
18,4%</td></tr>
<tr><td colspan="3">Leakage on mains
169.284
2,0%</td></tr>
</table>

Short Run Economic Level of Leakage

DMA - DMA_101 R SAR

Region	Sarouj
Choose DMA	DMA_101 R SAR

Input data	Value	Unit	Comments
Natural rate of rise in real water losses	1,70	m^3/day/year	Based on DNV-GL report
Active leakage control cost	9.291	AED	829 AED/km service pipes and mains (based on DNV-GL report)
Number of reported breaks in mains	0,1308	Breaks/year	6 bursts per 100 km main (based on AADC leakage '18 report)
Number of reported breaks in service connections	129,766	Breaks/year	217 sevice pipe bursts / 1000 conn. (ref. AADC leakage '18 report)

EURL for unreported breaks	Value	Unit	Comments
Economic Intervention Frequency (EIF)	28,91	Months	
Economic percentage of survey (%)	41,51	%	
Annual Budget for Intervention (ABI)	3.857	AED/year	
Economic Unreported Real Losses	747	m3/year	

Real losses from reported burst	Value	Unit	Comments
Leakage from burst in mains	93	m3/year	
Leakage from burst in service connections	37.044	m3/year	
Total leakage from reported burst	37.137	m3/year	

Estimated Background leakage	Value	Unit	Comments
N1-faktor	1,5	Factor	
Unavoidable background leakage (m3/day)	0,18	m3/day	

Unavoidable background leakage (m3/year)	67	m3/year	

Short Run Economic Level of Leakage	Value	Unit	Comments
SRELL for unreported breaks	747	m3/year	
SRELL for reported bursts	37.137	m3/year	
SRELL for unavoidable background leakage	67	m3/year	
Total SRELL	37.952	m3/year	

Long Run Economic Level of Leakage with Pressure Management

DMA - DMA_101 R SAR

Region	Sarouj
Choose DMA	DMA_101 R SAR

Pressure management - Input	Value	Unit	Comments
Pressure		bar	
N3-factor			
Percentage change in pressure		%	
Expected change in water consumption		m3/year	
Reduction in energy		KWh	
Expected change in reported breaks in mains & service connections		%	

SRELL with pressure management	Value	Unit	Comments
SRELL for unreported breaks		m3/year	
SRELL for reported bursts		m3/year	
SRELL for unavoidable background leakage		m3/year	
Total SRELL with PM		m3/year	
Reduction in Non-Revenue Water		m3/year	

Investment	Value	Unit	Comments
Investment cost		AED	
Energy costs		AED/KWh	
Interest		%	
Expected life of the investment		Year	
Annual operating costs		AED/year	
Annual net present value of investment		AED/year	

Effects on revenue and costs	Value	Unit	Comments
Reduction in Non-Revenue Water		m3/year	

Lost revenue from lower water consumption		AED/year
Potential savings in costs		AED/year
Total reduction in costs		AED/year

Results from Pressure Management	Value	Unit	Comments
Net present value		AED/year	
Reduction of CO_2-emissions		Kg. CO_2	

Calculations

Results

The results of the 'Short Run Economic Level of Leakage'-analysis are compared to the Real Losses. The results will be shown in a three section. The first two sections 'Figures' and 'Charts' contains the overall results. The third section 'Economic Unreported Real Losses' shows the results of the SRELL-analysis in more detail. Under the section 'Figures' it is possible to change the area or unit of the data. This will change the data in all sections.

Results - Figures

Region	Sarouj
DMA	DMA_101 R SAR
Start date	01.01.2019
End date	31.12.2019
Unit	m3/year

		Unit
Real Water Losses	**189.918**	**m3/year**
Short Run Economic Level of Leakage (SRELL)	**37.952**	**m3/year**
Potentially Recoverable Real Losses	**151.967**	**m3/year**

SRELL		
SRELL for unreported breaks	747	m3/year
SRELL for reported bursts	37.137	m3/year
SRELL for unavoidable background leakage	67	m3/year

Real water losses		
Leakage and Overflows at Utility's Storage Tanks	0	m3/year
Leakage on Service Connections	170.926	m3/year
Leakage on Mains	18.992	m3/year

Results - Charts

Chart 1 - Real Water Losses & SRELL

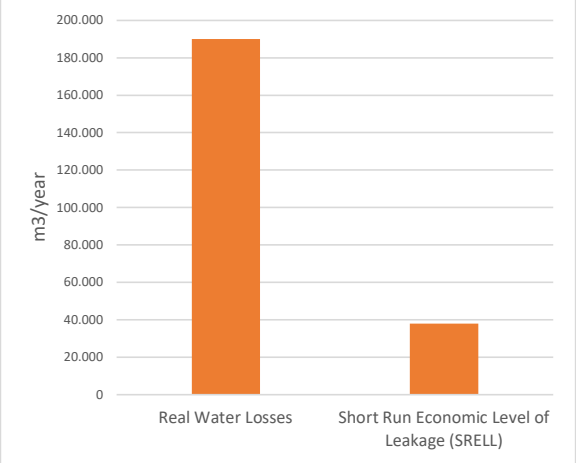
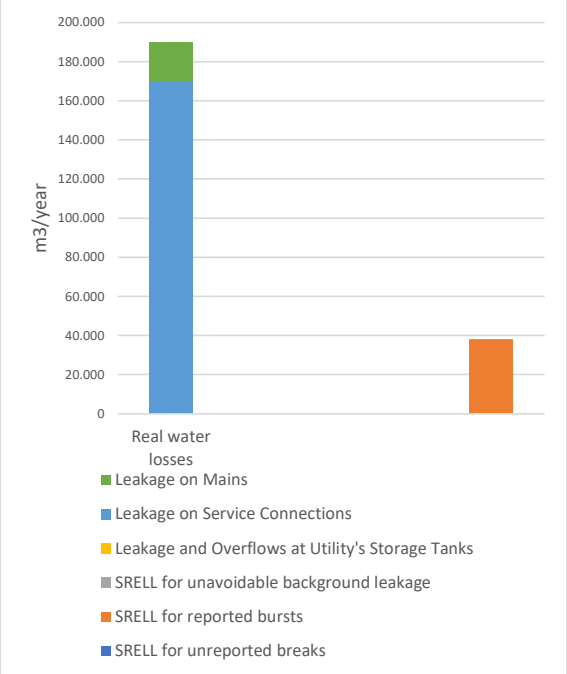


Chart 2 - Real Water Losses & SRELL (detailed)



Results - Economic Unreported Real Losses

Table 1 - Key Figures EURL		Unit
Economic Intervention Frequency (EIF)	28,91	Months
Economic percentage of survey	41,51	%
Annual Budget for Intervention	3.857	AED/year
Economic Unreported Real Losses	747	m3/year

Table 1 recaps the figures for Economic Unreported Real Losses. The Economic Intervention Frequency reflects the number of months it is economically viable to spend on surveying the entire system. The Economic Percentage of survey (EP) is the economic percentage of the system to be surveyed annually. The Annual Budget for Intervention (ABI) is the economic annual budget for intervention excluding the repair costs. The Economic Unreported Real Losses is the annual economic amount of unreported losses.

Chart 3 -Potentially Recoverable Real Losses

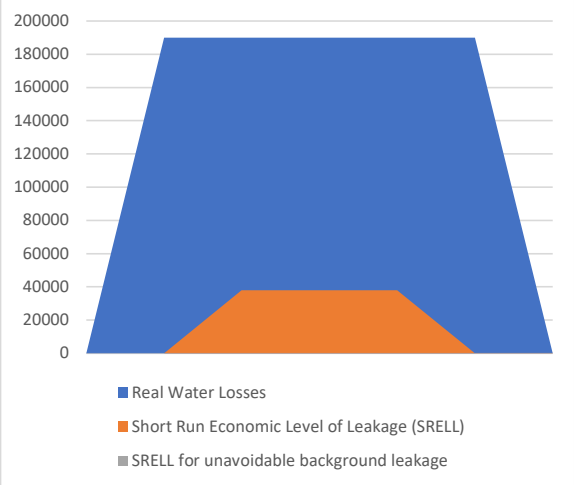


Table 2 - Potentially Recoverable Real Losses		
Real Water Losses	189.918	m3/year
Economic Level of Leakage	37.952	m3/year
Unavoidable Leakage Control	67	m3/year

Chart 3 shows the current water losses, the economic level of leakage and the unavoidable background leakage. The blue area is the potentially recoverable real losses which also is the difference between the real water losses and the short run economic level of leakage. The orange area is the difference between the unavoidable background leakage and the economic level of leakage. The grey area is the level of unavoidable backgroup leakage.

Bilag 2. Consumption profiles

LEAKman Consumption Profiles

As a part of the LEAKman project in Denmark, two residential areas, consisting of five District Metered Areas (DMAs), have been fully equipped with smart meters, acoustic noise loggers and more. In this report we wish to investigate and present the consumption profiles logged and determine key parameters that are relevant in connection to planning, sizing and optimization of distribution networks and in relation to water consumption.

Initially we describe the data validation and filtering process and the analysis performed on the consumption data measured at all consumers. We investigate multiple parameters including peak consumption per meter and the total peak consumption. The minimum night flows are investigated together with the time of the minimum consumption. Consumption profiles are calculated for each area and premise type and compared between the two areas. Finally; coincidence factors are calculated as a function of the number of customers. The results and their possible applications are discussed. The two residential areas are located at HOFOR (Copenhagen Water Supply) where the smart meters are installed in three DMAs in Herlev and at Novafos (Norther Copenhagen Water Supply) where the smart meters are installed in two DMAs.

Data preparations

The data used for this analysis are all gathered as part of the LEAKman project. For each water meter hourly volume readings are received from the meters in an unsynchronized fashion, where data gaps may occur in case of disturbance in the data transmission. To make sure that the analysed data is of good quality, only data collected throughout the year 2019 has been used, since the installation was still ongoing in 2018 and the dataset from 2018 is thus not complete. Further, we have not used data from 2020, since these are generally heavily influenced by the corona pandemic and therefore do not represent a standard scenario.

HOFOR

In HOFOR 1,800 meter are installed I 2019 (1,626 in January 2019 – 1,793 in December 2109). The number of data points received per day in 2019 is shown in Figure 1. It is clear that there is a significant increase around the 1st of April probably related to installation of antenna site. The reason for the peak in February is not investigated.

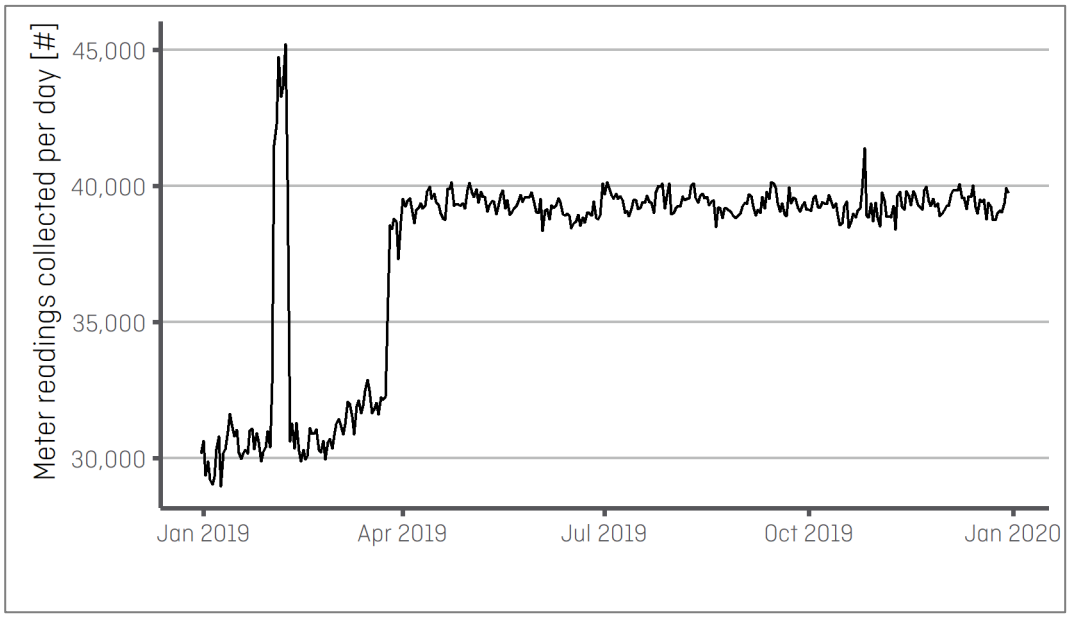


Figure 1: Meter readings received per day throughout 2019 for HOFOR.

The average data coverage in 2019 for HOFOR is shown in Figure 2. For the analysis we only use meters with a coverage above 95 %, which corresponds to maximum one missing reading per day per meter.

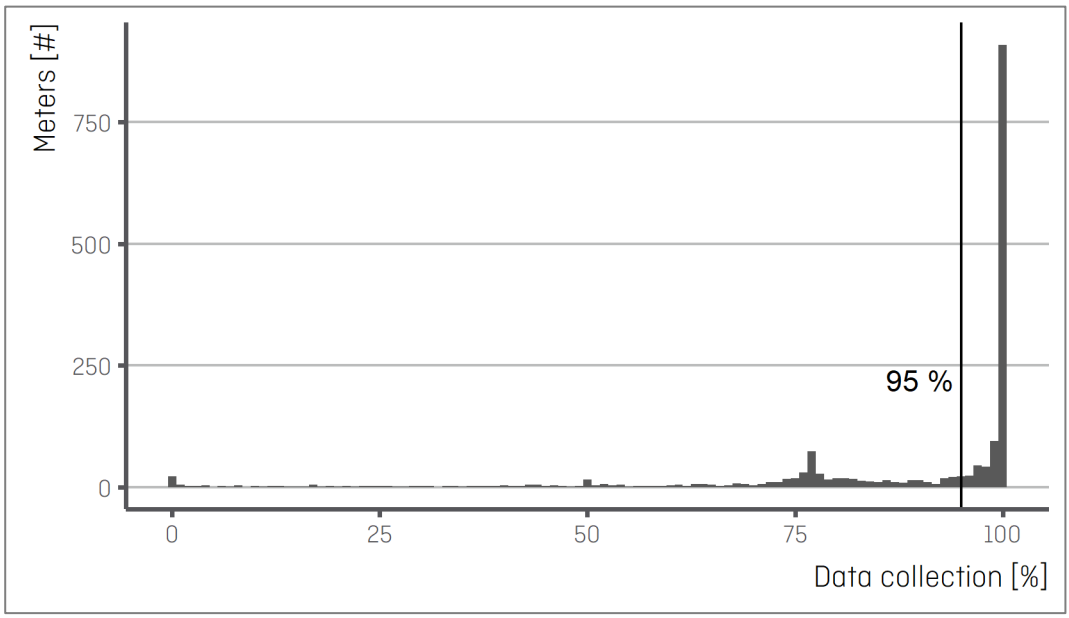


Figure 2. Data reception for HOFOR meters in 2019

In total 657 meters are located below the 95 % mark.

Besides from the average data reception we also want to make sure that the missing data are spread evenly over the year and not concentrated over specific periods. Therefore we calculate the number of times we have not received data from a meter for more than 3 hours. This is visualized in Figure 3. Only meters with less than 50 instances are included in the analysis, which means that there are less than 2 % of all 3-hour periods during the year without any data collected.

The first criteria removes 657 meters from the data set and the second removes 413 meters. However, most of the meters are removed by both criteria and in total 669 meters are removed.

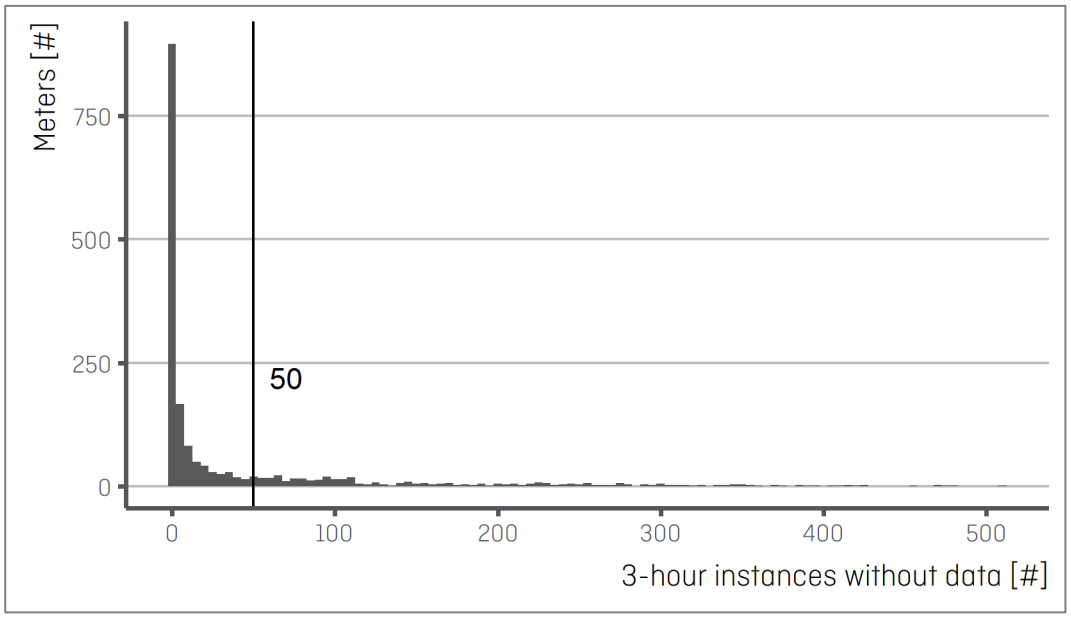


Figure 3. Number of times no data were received from a meter over a 3 hour interval for HOFOR.

After this data pre-processing we end up with the figures shown in Table 1. Most meters in apartment buildings cover multiple apartments. To get a more accurate consumption per unit (where a unit is an apartment, a house, etc.) we have divided the consumption measured by meters in apartment buildings with the number of apartments behind the meter. The total number of apartments behind the 52 meters are 1,246. The same has been done for linked houses and single family houses. In the latter case only a very small difference is seen. This means that individual data are not available for each individual apartment and each individual linked house which means that the variation in demand pattern is somewhat damped, which is most dominant for the apartments, as one meter can represent a high number of apartments, 24 on average as seen from Table 1. This effect is not considered in the following analysis.

Table 1. Number of meters and units

Type	Number of meters	Number of units	Units per meter
Single-family houses	473	481	1.02
Apartment buildings	52	1,246	23.96
Linked houses	445	923	2.07

Since we only use meters with a high data collection coverage it is considered a valid approach to use linear interpolation to estimate the readings at all full hours. This is required since the meters are read in a random fashion and not exactly at every full hour. Previous experience has shown that as long as the interval without data is shorter than 3 hours it is an adequate approach to use linear interpolation. For longer intervals it is more accurate to use a weighted interpolation, or more advanced algorithms, but this has not been included here.

NOVAFOS

An identical analysis has been performed for Novafos where data from 2,550 meters are analysed. Figure 4 shows the number of data collected per day throughout the year. Around mid-September and start-November a clear increase in the number of readings are seen. This coincides with additional concentrators being installed. The data collection and number of instances with no data for more than 3 hours are shown in Figure 5 and Figure 6. It is clear that a high number of meters have a very low data coverage. This is mainly due to the data collection infrastructure being rolled out all the way up to October 2019. There are still data collection infrastructure that are not yet installed in this area, meaning that several meters have a poor data reception throughout the year and the peaks around 20 % and 30 % in Figure 5 corresponds to the increase in mid-September and start-November.

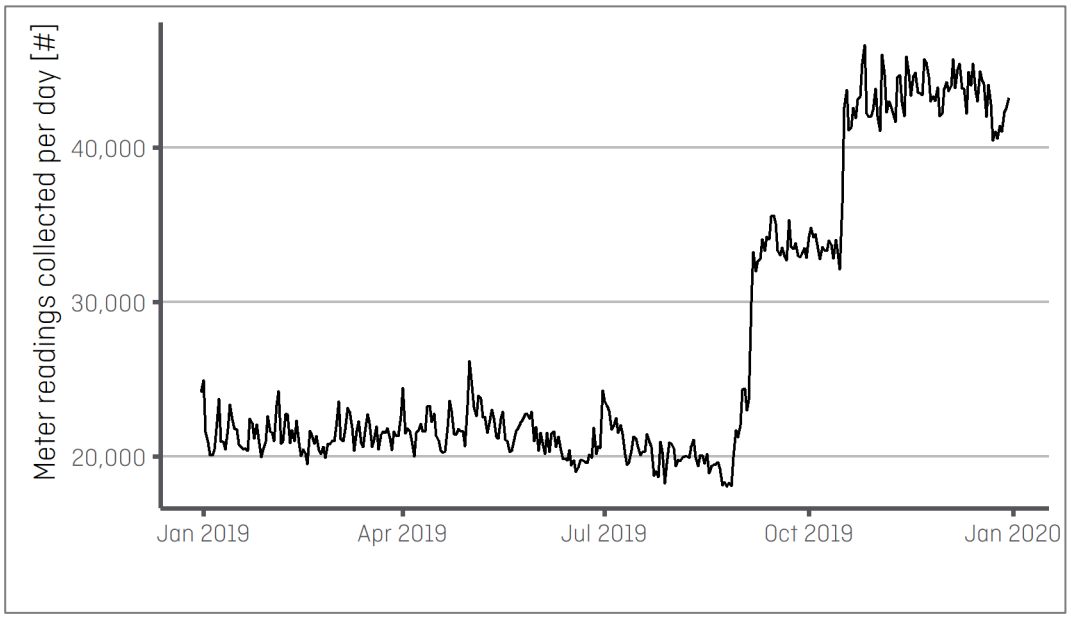


Figure 4. Data received throughout 2019 for Novafos.

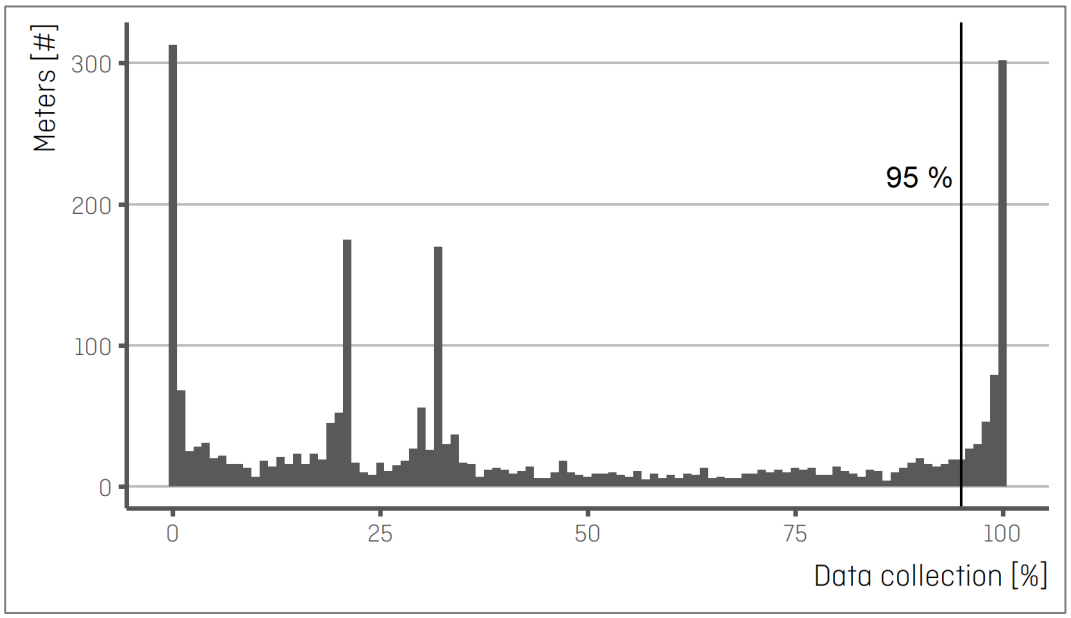


Figure 5. Data reception for Novafos meters in 2019.

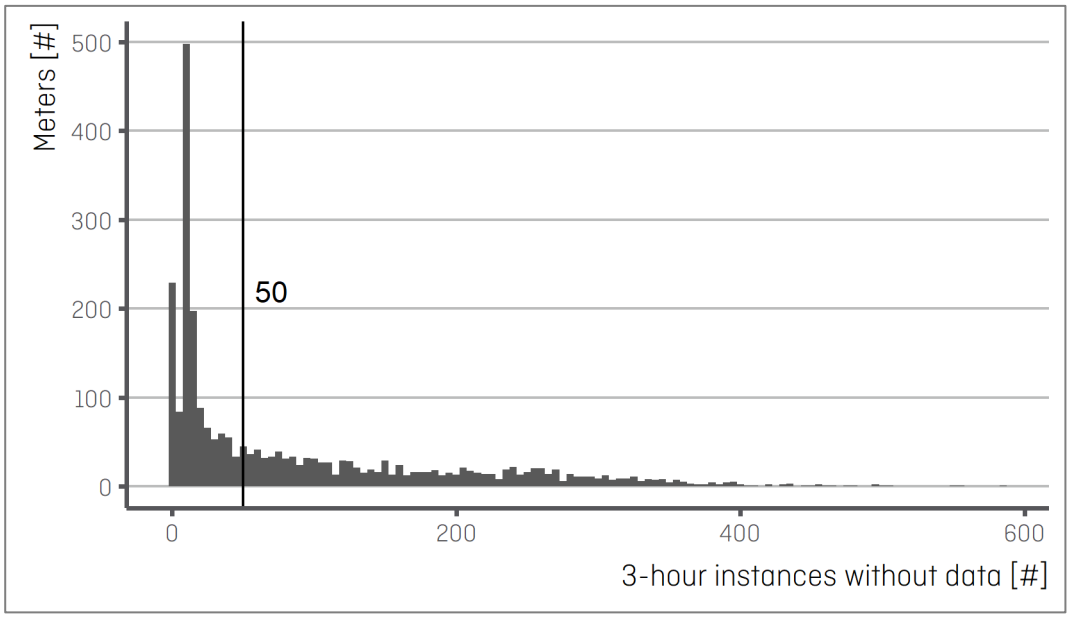


Figure 6. Number of times no data were received from a meter over a 3-hour interval for Novafos.

The total number of meters analysed in Novafos is 2,554. 2,062 are removed due to the 95 % limit and 1,162 meters are removed by the second criteria. In total 2,072 meter are removed by the two criteria. The final data set consists of 461 meters that are all classified as ”households”. For the Novafos data we have not looked into the number of units behind the meters and assume that it is always 1.

The interpolation is performed like for the HOFOR data.

Daily consumption, minimum night flow and other relevant key values

HOFOR

Daily consumption

The average daily consumption per meter is calculated and shown in histograms for the 3 major groups in the data set in Figure 7. For the two large groups (single-family houses and linked houses), the data are close to normally distributed with a tail towards large values like a log-normal distribution. We have removed the meters above 1,000 l/day consumers in the linked houses group since these probably have more units behind them. The average daily consumptions are listed in Table 2. For each meter we have calculated the average daily consumption over the year and the associated standard deviation.

Table 2. Average daily consumptions for HOFOR meters.

Type	Mean daily consumption ± standard deviation (l/day)
Single-family houses	245 ± 116
Apartment buildings	162 ± 67
Linked houses	191 ± 115

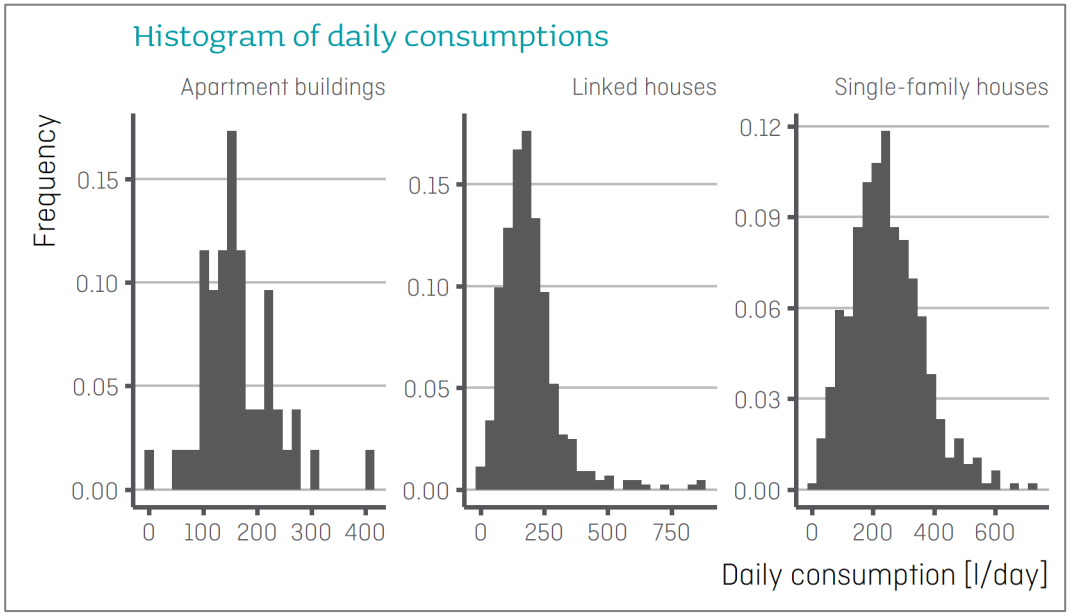


Figure 7. Average daily water consumption per consumer type for HOFOR.

Night consumption

The customer night consumption (CNC) and the metered consumption, is interesting, since the utilities often monitor their minimum night flow (MNF) calculated as total flow into a DMA, corrected for the legitimate night use (LNU) to determine if there are any leaks or bursts occurring in the DMA. However, the LNU is often based on very poor estimates due to lack of data. With the increased amount of smart meters available more accurate and descriptive reference values of CNC can be estimated based on customer type, region and other parameters and thus create better estimates of LNU. It is generally accepted to use the period between 2 and 5 in the night as the default period where the minimum night flow occurs. Table 3 shows the average night consumption for each meter during this period and accompanied by the standard deviation. Except for apartments the standard deviations are very high and the underlying distribution is not normal.

Table 3. Average night consumption.

Type	Mean night flow ± standard deviation (l/h)	Mean night flow / average flow	Mean night consumption / daily consumption
Single-family houses	1.8 +/- 3.0	17 %	2.1 %
Apartment buildings	1.8 +/- 0.9	28 %	3.5%
Linked houses	1.4 +/- 1.8	19 %	2.3 %

It has further been investigated for each day of the week the minimum consumption occur, Figure 8 , and the results clearly show that the minimum consumption typically occurs 1-2 hours later during weekend days compared to weekdays.

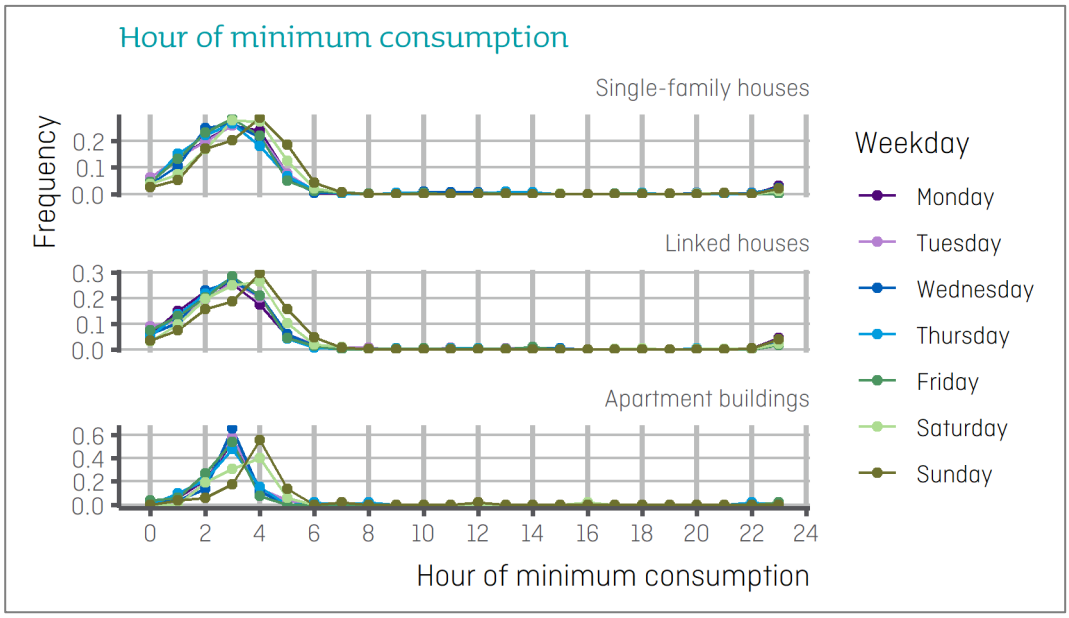


Figure 8: Distribution of minimum consumption hours for HOFOR meters.

Maximum consumption

The maximum consumptions are considered when determining the pipe sizes in a distribution area. The average maximum hourly consumption per meter is shown in

Table 4, which also includes the 25 % and 75 % quantiles. The differences are pronounced as apartments are considerably lower than for the other two groups. However, the underlying distribution is highly asymmetric since the mean value is outside the 25-75% quantile range and one should remember that the apartment consumptions are effectively pre-averaged by not having individual meters for all units.

Table 4. Maximum hourly consumption per meter for HOFOR.

Type	Average maximum hourly consumption per meter (25 %, 75 % quantile) (l/h)
Single-family houses	378 (199, 502)
Apartment buildings	66 (30, 62)
Linked houses	248 (123, 358)

Maximum coincident consumption

Whereas the above figures focus on how a single customer behaves, we can also consider the maximum coincident consumption which is more interesting in relation to planning and production optimization. We initially determine the average weekly profile for each meter and then afterwards calculate the average of these profiles. We investigate the maximum consumption as a function of the day of the week and visualize the distribution of when the peak consumption occurs for each meter. This is shown in Figure 9 and Figure 10. Single house units are by far the largest consumers. Almost twice the consumption of the apartment units. The hour where the maximum consumption occurs is almost identical for single houses and linked houses and

generally occurs in the morning during the weekdays and around 10 during the weekend days. For apartments one can almost observe three peaks. One for Monday to Wednesday, one for Thursday and Friday and a weekend peak. For all types there are also an afternoon or dinner peak, but this is generally smaller than the morning peak.

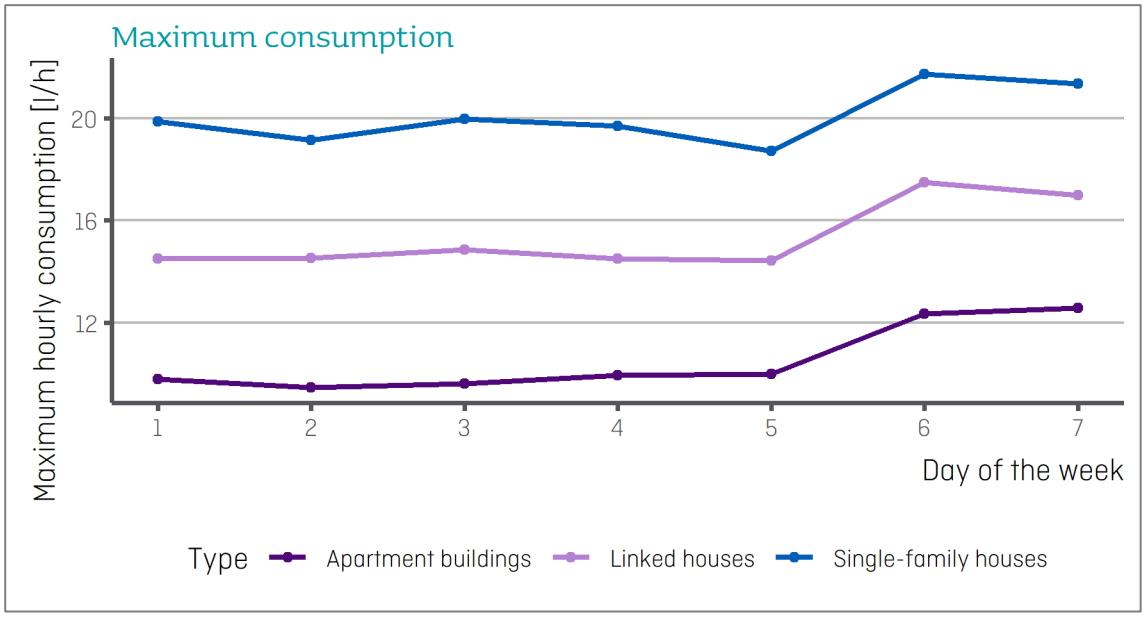


Figure 9. Maximum daily consumption for HOFOR meters.

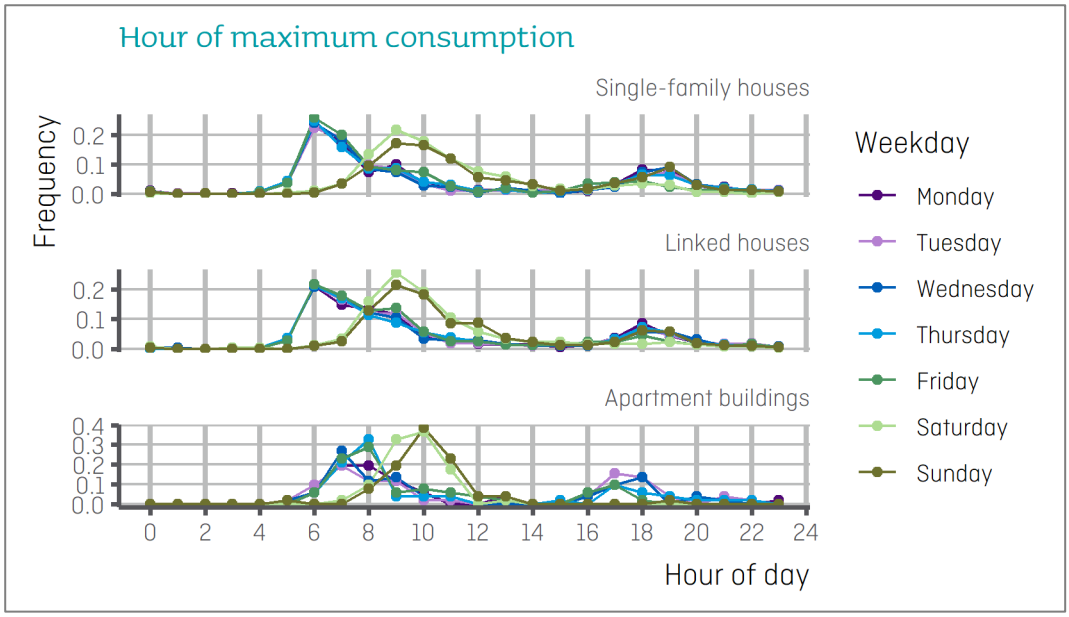


Figure 10. Distribution of which hour of the day where the maximum daily consumption occurs for HOFOR meters.

Coincidence factor

The coincidence factor is defined as:

$$S = \frac{\max(\sum_i Q_i)}{\sum_i (\max Q_i)}$$

In other words we compare the coincident peak consumption to the sum of single consumer peaks. For any single consumer this is exactly 1. When more consumers are added the consumption peaks generally do not occur at the same time and thereby the peak coincident consumption drops below the sum of the individual peaks. We investigate the coincidence factor as a function of the number of units. This is shown in Figure 11. For all three types the coincidence factor seems to reach an asymptotic value after approximately 30 units. For apartments the coincidence factor stabilizes around 0.8, whereas the other two groups both stabilizes around 0.55. However, since the apartment meters on average represents 24 units the results for apartments are non-conclusive.

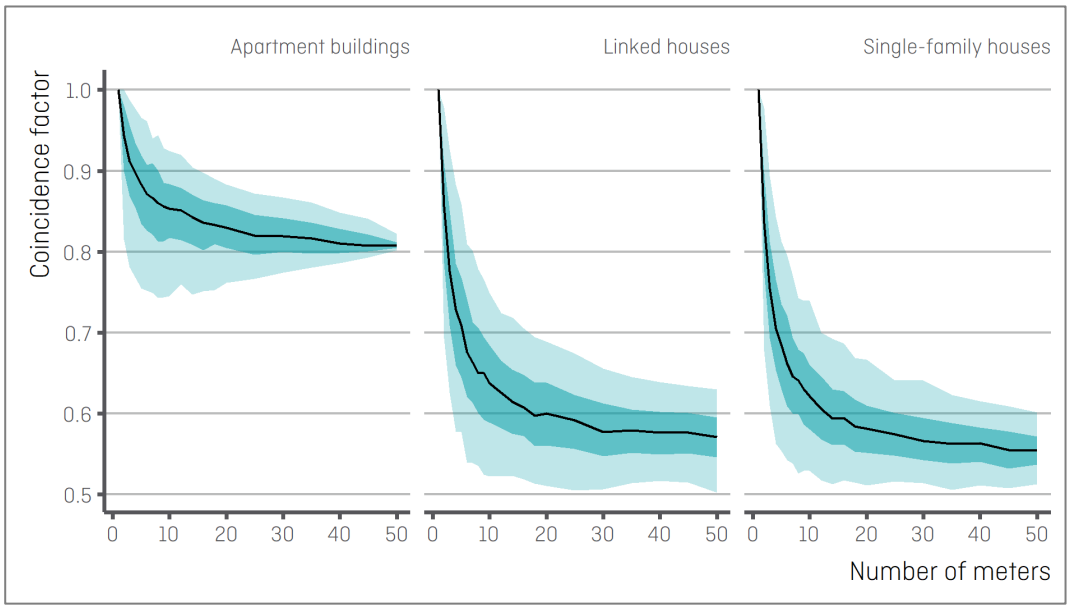
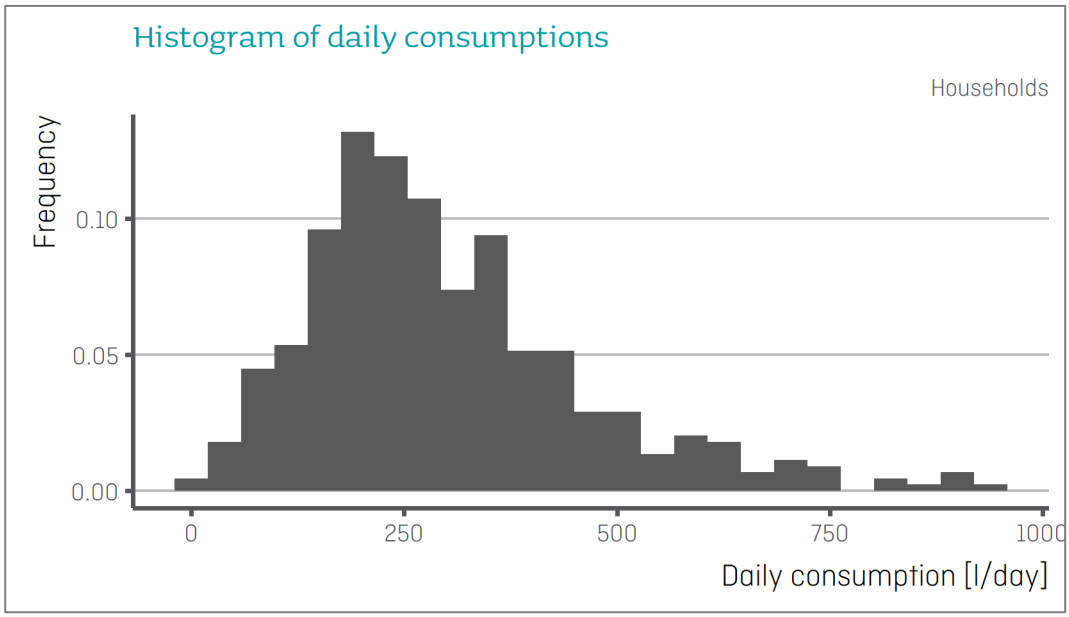


Figure 11: Coincidence factors for HOFOR as a function of the number of meters. The central line is the median and the two bands are for 5 to 95% and 25 to 75% quantiles.

Novafos

Similar investigations have been performed for Novafos. Remember that for Novafos we always assume that there is 1 unit per meter. Again we remove outliers by removing meters with more than 1,000 l/day on average. 13 meters are removed by this. The distribution of daily consumptions looks like a skewed normal distribution similar to the single house distribution for HOFOR. It is shown in Figure 12. The average daily consumption is 300 +/- 164 l/day, the minimum night flow is 2.0 +/- 2.12 l/hour corresponding to 16 % of the average daily flow and the night consumption is 2 % of the total consumption over a day. The minimum night flow consistently occurs slightly earlier in the weekdays compared to the weekends as shown in Figure 13. The maximum hourly consumption per unit is on average 415 l/h and the 25% and 75% quantiles are 228 l/h and 541 l/h. Again there is a consistent change between the weekdays and the weekends in connection to the maximum flow. The maximum coincident consumption and the time of the maximum consumption is shown in *Figure 13*. All the above figures are slightly higher than the HOFOR figures for single houses. The coincidence is shown in *Figure 14*. This is similar to HOFOR but slightly higher at around 0.6.



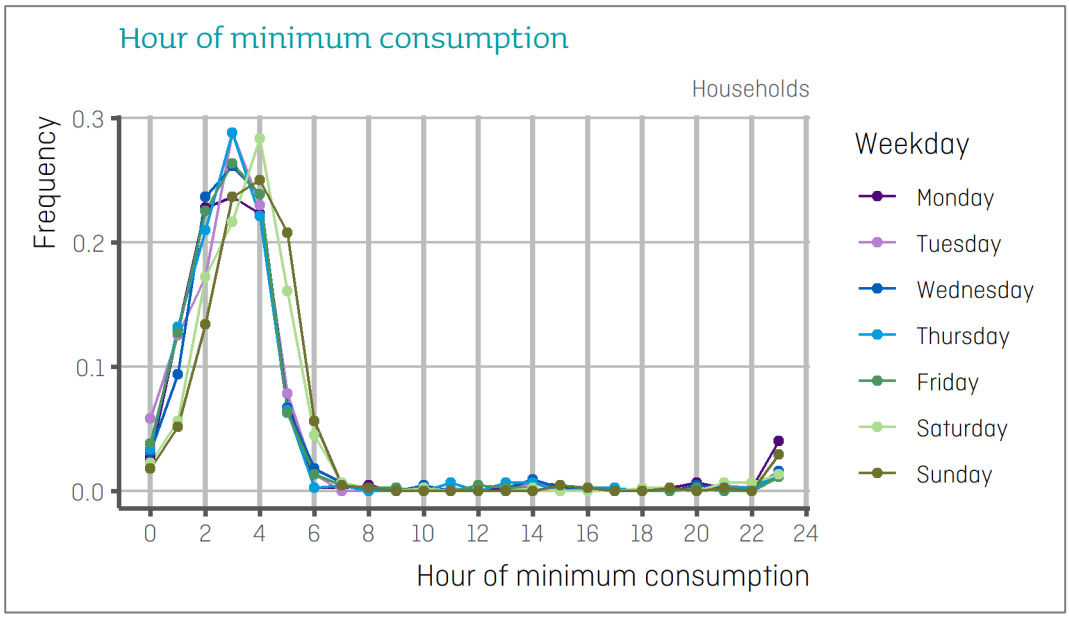
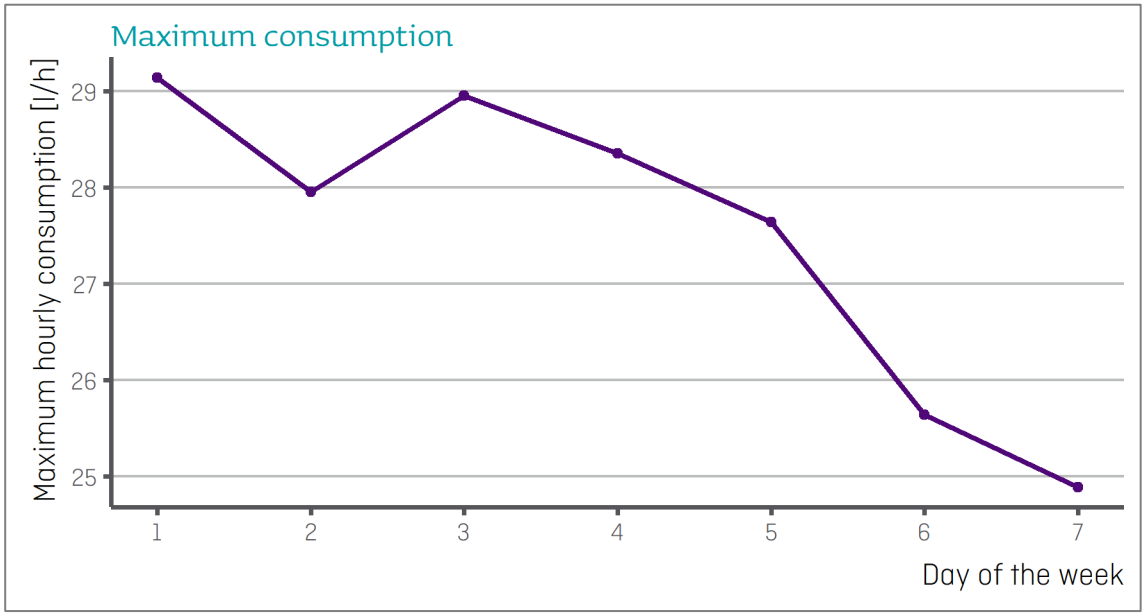


Figure 12: Distribution of daily consumptions and hour of the minimum night flow for Novafos.



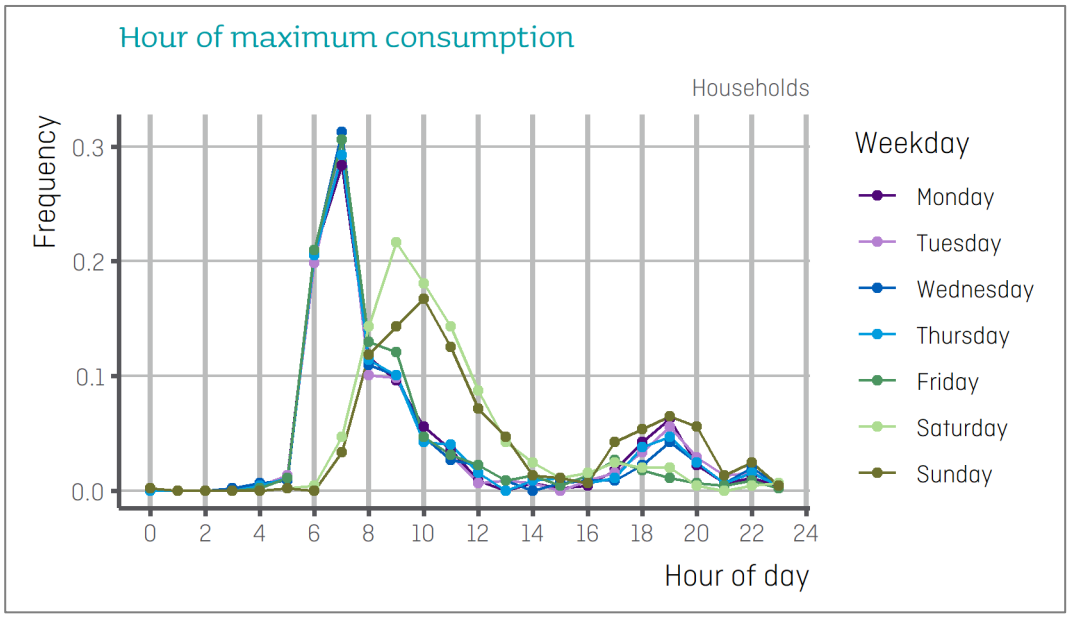


Figure 13. Maximum consumption and the time of the maximum consumption for Novafos.

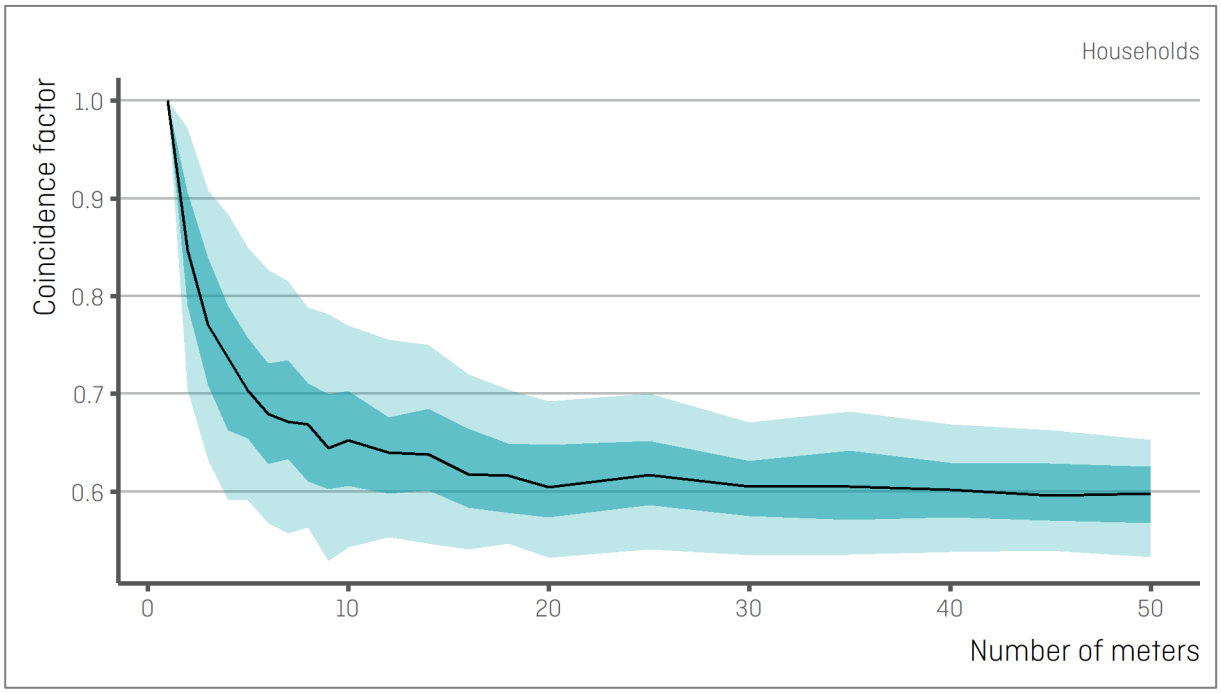


Figure 14: Coincidence factor for Novafos as a function of the number of meters. The central line is the median and the two bands are for 5 to 95% and 25 to 75% quantiles.

Consumption profiles

Based on the hourly consumption we can also create average consumption profiles per consumer type and weekday. Again for each meter we find their average profile over the year or month and then create the consumption profiles by averaging these and calculating standard deviations and quantiles.

HOFOR

The results for HOFOR are shown in Figure 15. The differences between the three types are significant. For example the peak consumption for apartments is almost the same in the morning and in the afternoon except in the weekend where one can only talk about a midday peak and no evening peak. On the contrary the two other types have a larger morning peak than afternoon peak and a double peak structure for all days in the week. The shapes of the consumption profiles for single houses and linked houses are almost identical. Only the scaling is different. This is also in agreement with the results shown in Figure 9 and Figure 10.

For apartments where there are two peaks during weekdays, the morning and afternoon peaks are almost equal in size. Generally the morning peak is marginally higher except for Wednesday where the afternoon peak is highest. This explains the jump seen in Figure 10.

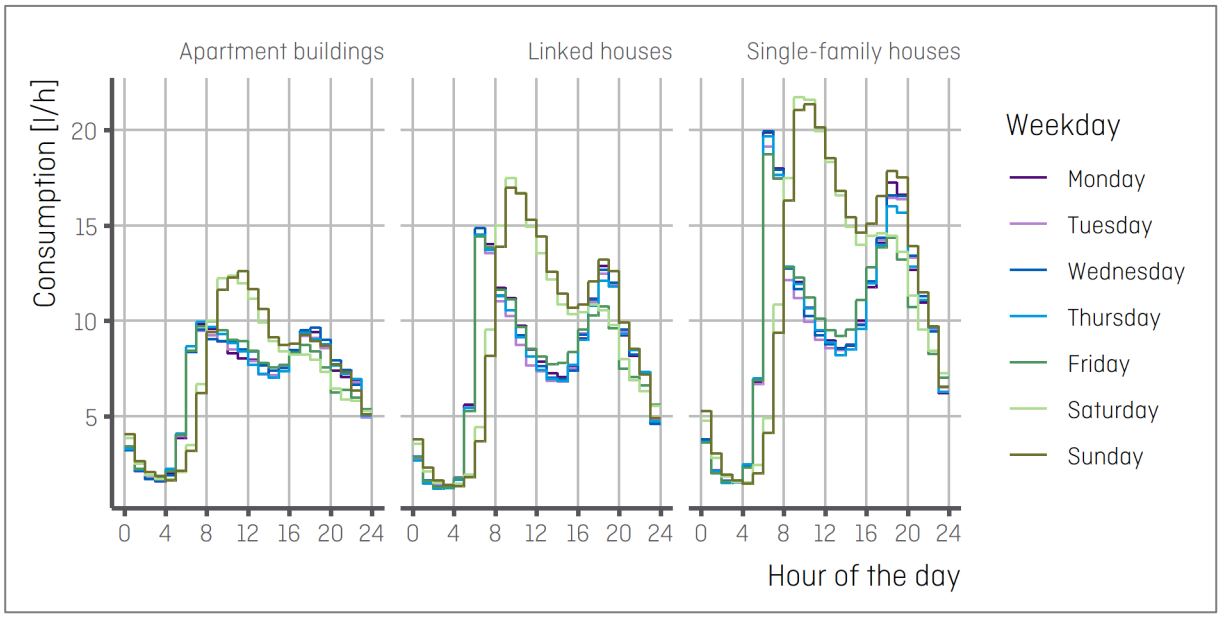


Figure 15. Consumption profiles for HOFOR.

The consumption profiles in Figure 15 hide significant changes over the year. These are shown in Figure 16. These changes are most pronounced for the single house group. The 2 holiday months (July and December) have significantly lower consumption in the mornings compared to the other months and the evening peak also varies significantly.

However, despite the norming peak being lower in July and December, this does not lower the average flow level of the those months since for example the evening peak is larger. The mean flow factor is plotted in Figure 17. Surprisingly it is clearly largest in June for all types. The reason for this is unclear to me and the same pattern is only partially seen for Novafos where the mean flow factor in June is also high. On a weekly basis the flow is 5-15 % higher in the weekends compare to the weekdays. This effect is most pronounced for single-family houses.

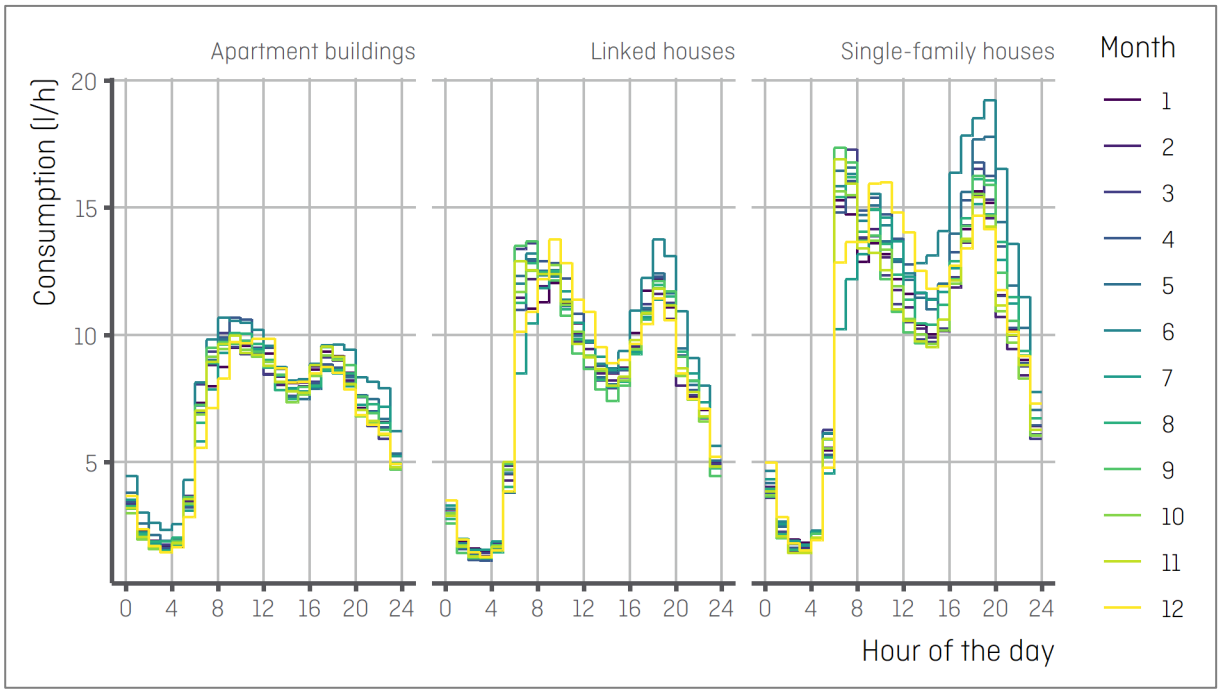


Figure 16. Consumption profiles for each month in 2019 for HOFOR.

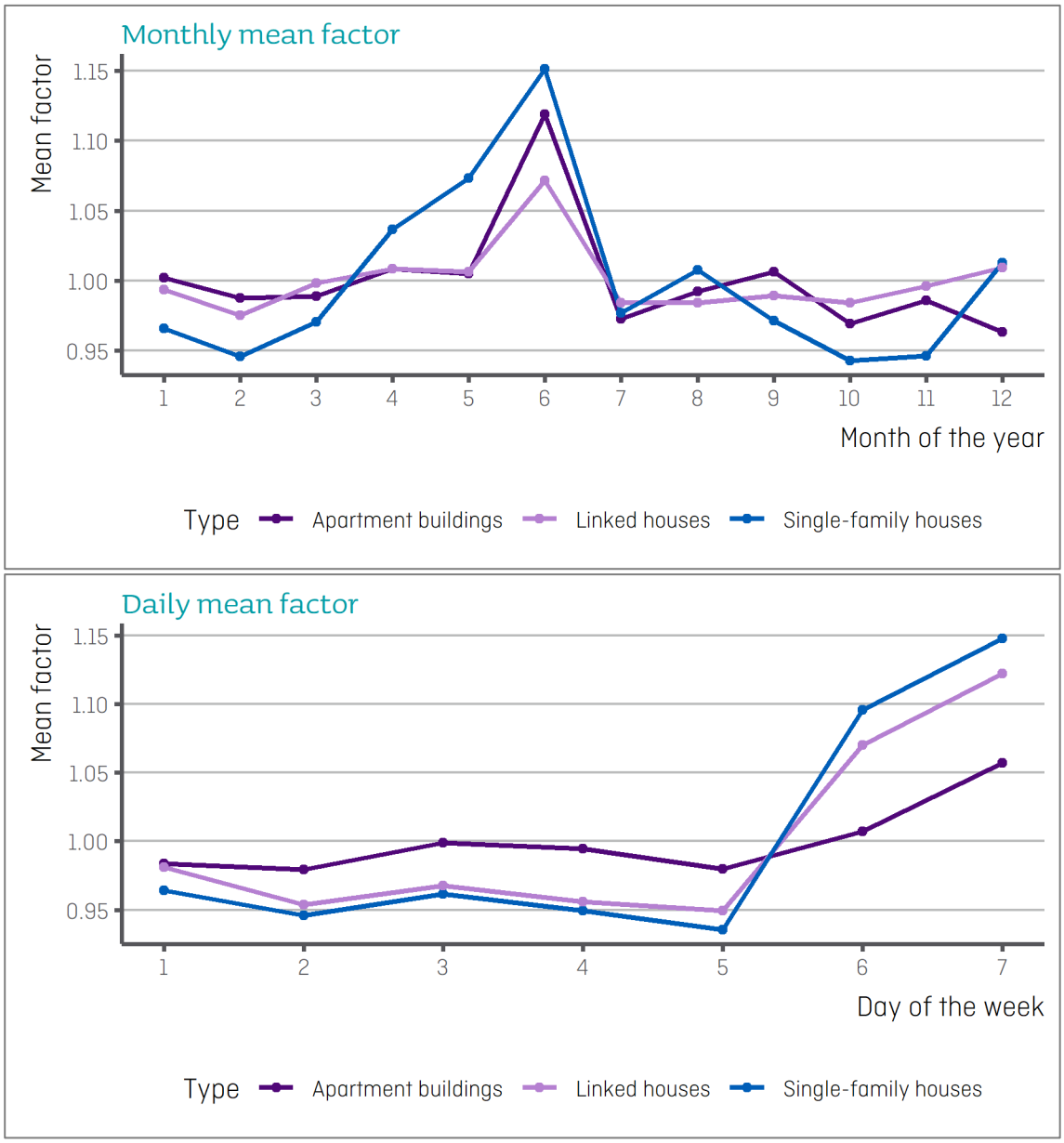


Figure 17: Mean flow factor defined as the average flow of the month divided by the average flow of the year and average daily flow divided by the weekly average flow for HOFOR.

The profiles above are shown without uncertainties. In Figure 18 we have the full week and 2 error bands. One for 25% to 75% quantiles and one for 5 to 95% quantiles. This clearly shows the large differences between consumers in the groups since the quantile bands are wide.

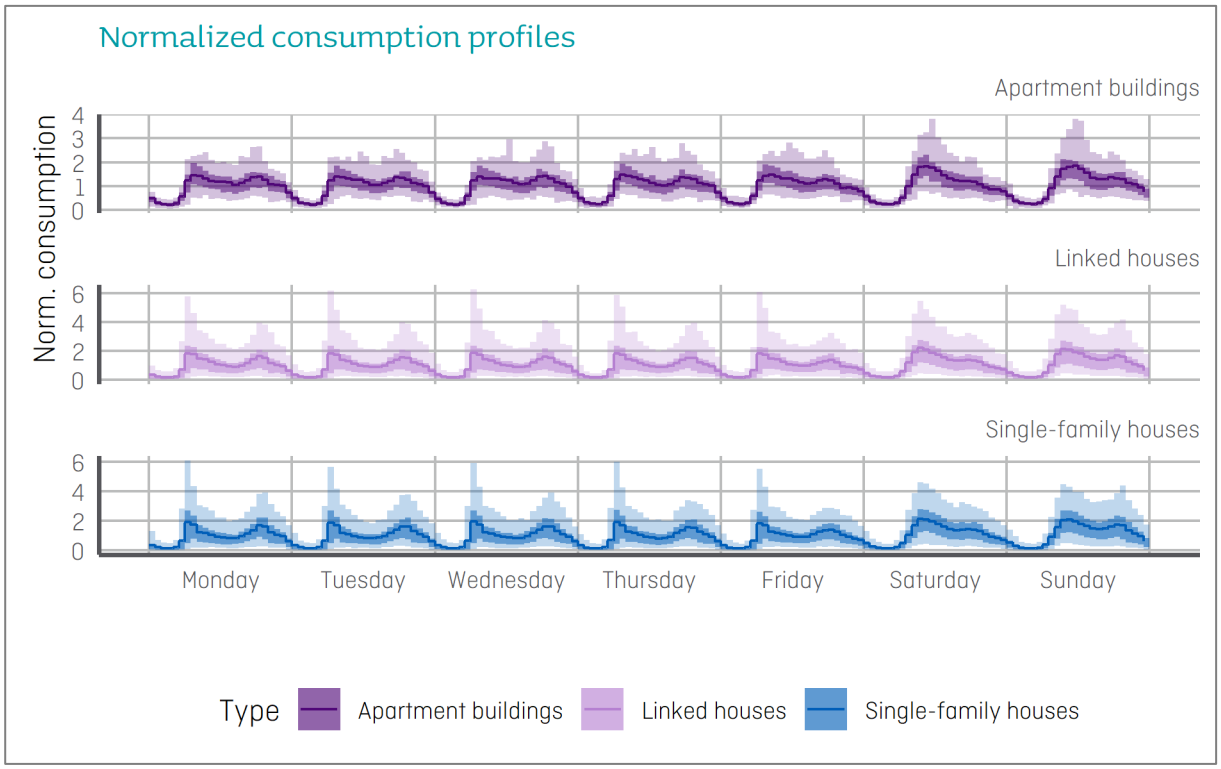


Figure 18: Normalized consumption profiles showing the average consumption, and the 5-95 % quantiles and the 25-75% quantiles for HOFOR.

Novafos

The consumption profiles for each weekday for Novafos meters is shown in Figure 19. This look similar to single family houses for HOFOR. For variations across the year is shown in Figure 21. The variations are less pronounced compared to HOFOR. The main difference is the smaller morning peak for July.

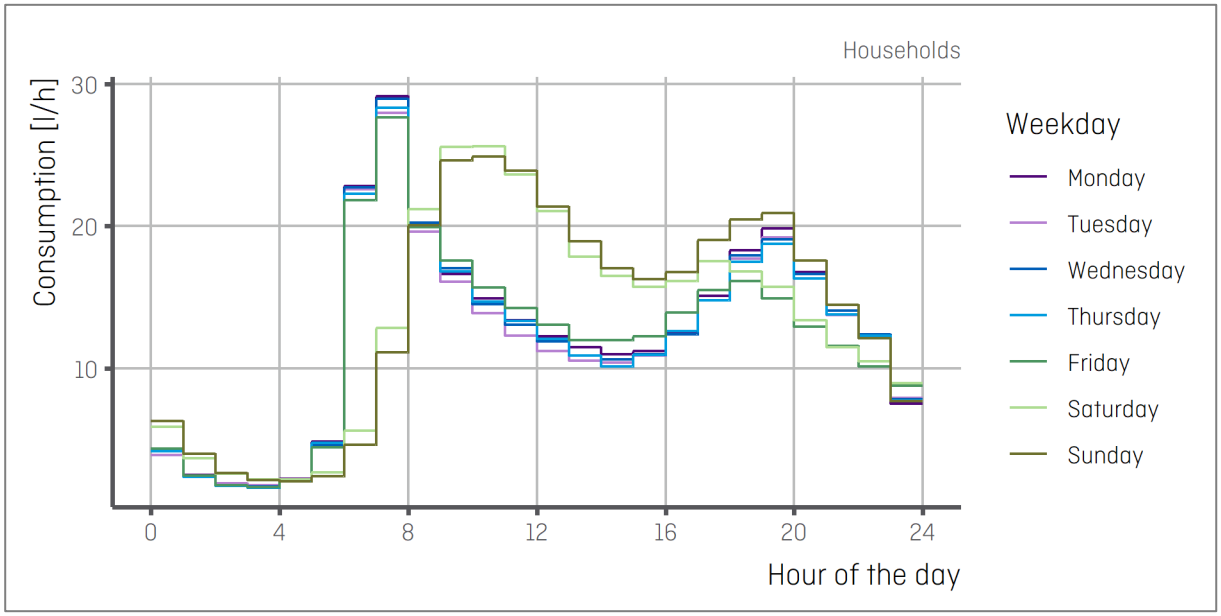


Figure 19. Consumption profiles for Novafos.

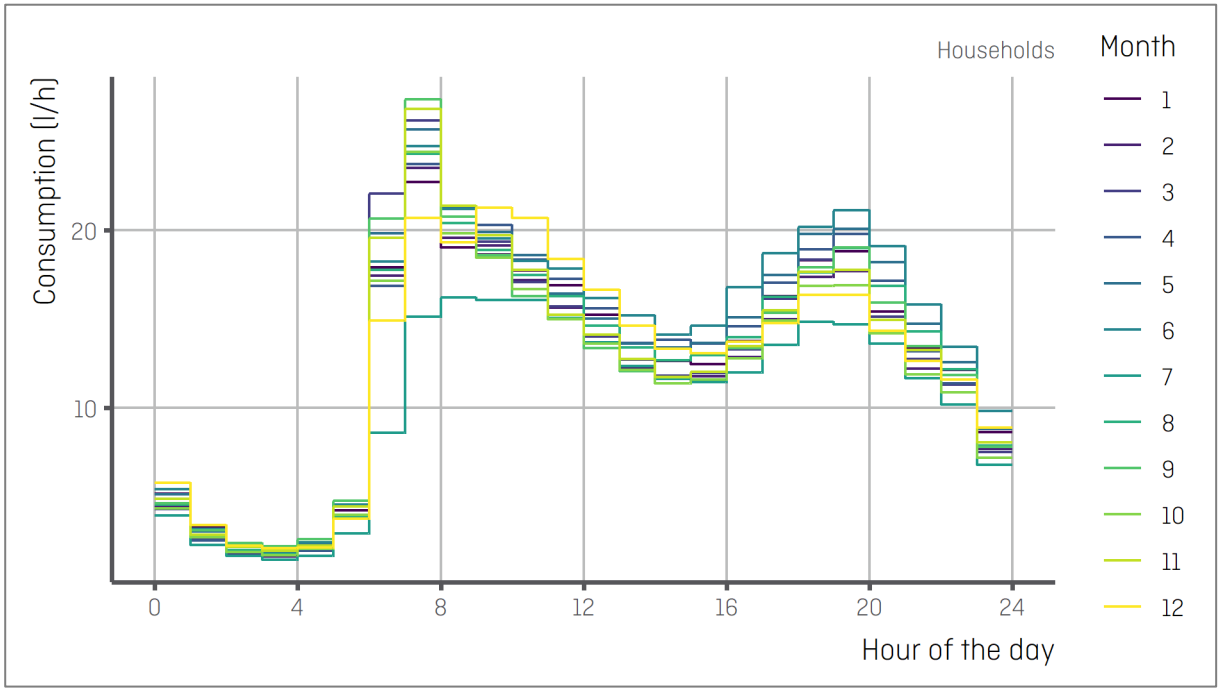


Figure 20:Consumption profiles for each month in 2019 for Novafos

The mean flow factors for months and weekdays are shown in Figure 21. They have the same tendencies as for HOFOR.

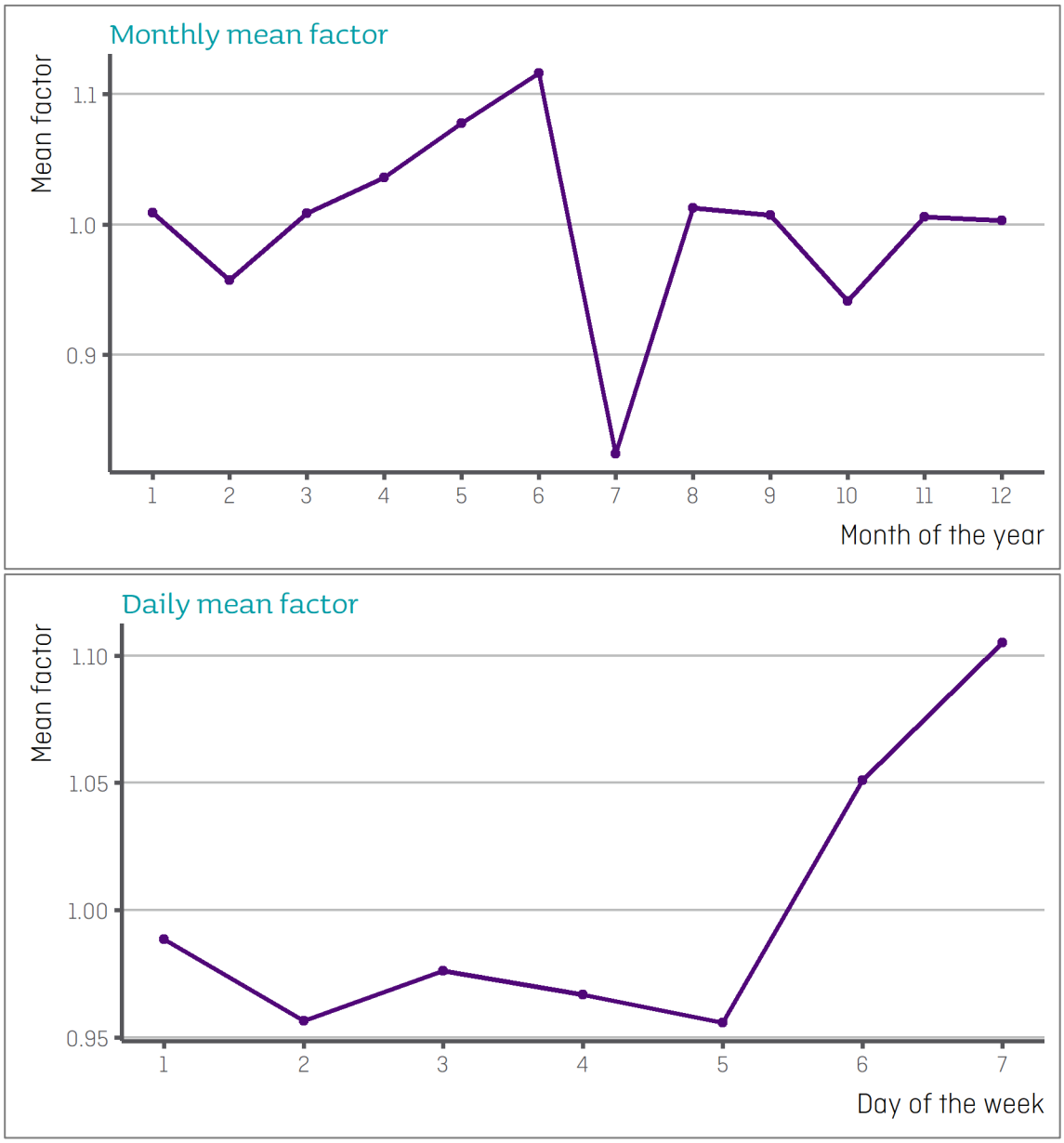


Figure 21: Mean monthly and daily flow factor for Novafos.

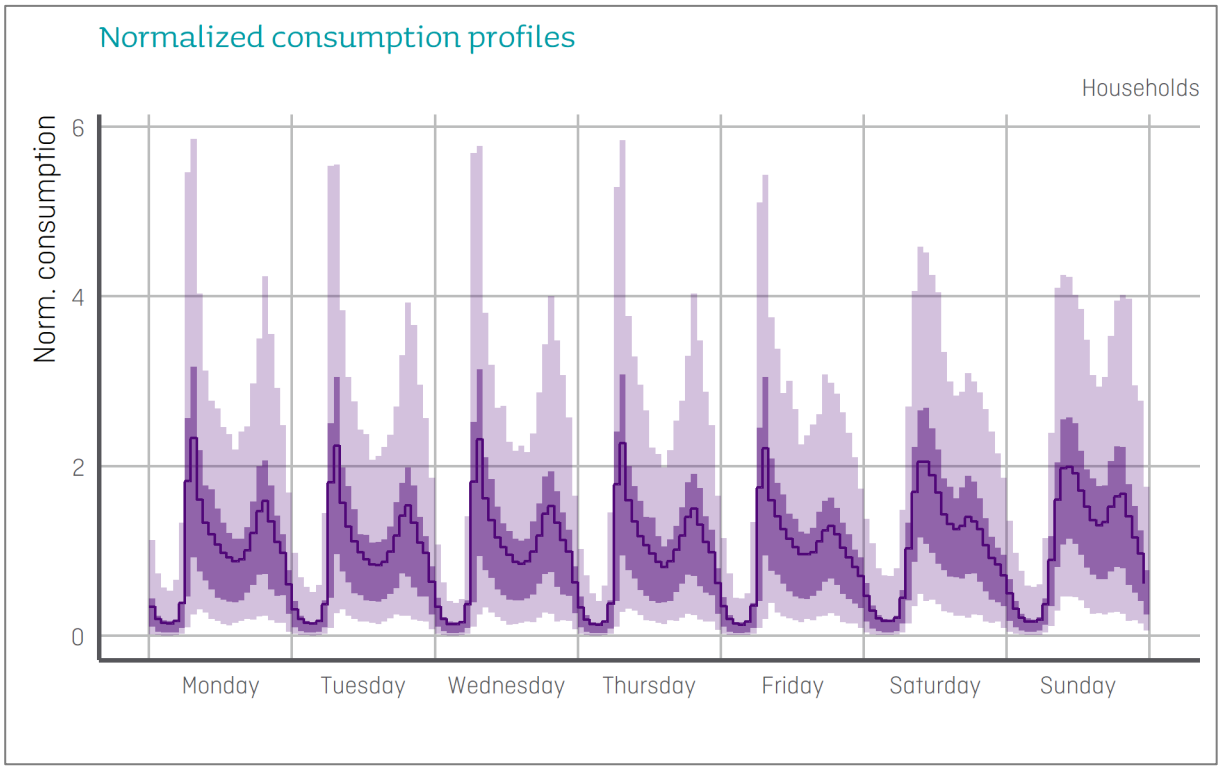


Figure 22: Normalized consumption profiles showing the average consumption, and the 5-95 % quantiles and the 25-75% quantiles for Novafos.

Discussion

A rule of thumb for estimating the night flow is 20% of the average daily flow. For single houses and linked houses in HOFOR this fits well since the values are just below 20. However, for apartments it is too low where we find a value of almost 30%. For Novafos we get 16 % which is a little lower than the estimate but not far.

It is also very interesting to see how one can almost group the profiles for each day into two groups: A weekday group and a weekend group. However, instead of changing at 00.00 Saturday night from weekday to weekend and 00.00 Monday night one has to change at 18.00 on Friday and Sunday. This makes good sense. At 18.00 on Fridays, people behave like in weekends since they do not have to get up in the morning the next day. Similarly on Sunday at 18.00 they begin to behave like a weekday evening since they have to get up in the morning Monday. Despite this it is recommended to use a 7-day profile when forecasting, since it is the easiest and most consistent and generic to work with.

The normalised consumption profiles for single houses in HOFOR and the Novafos data look similar. Lets make a closer comparison. In Figure 23 one sees that the profiles are very similar, especially in the weekends. For weekdays the consumption peaks slightly earlier for HOFOR meters compared to the Novafos meters. Consistently HOFOR peaks between 6 and 7 whereas Novafos peaks between 7 and 8 in the morning. Actually it seems like the HOFOR pattern is shifted by 30 to 60 min in the weekdays compared to Novafos. In Figure 24 is shown the ratio in percent between the two utilities. The ratio is between the unnormalized consumptions highlight the differences. It is clear that Novafos is generally around 20% above HOFOR. Furthermore the HOFOR consumers get up earlier in the morning during the week but not during the weekend. In the afternoon HOFOR also peaks earlier than Novafos.

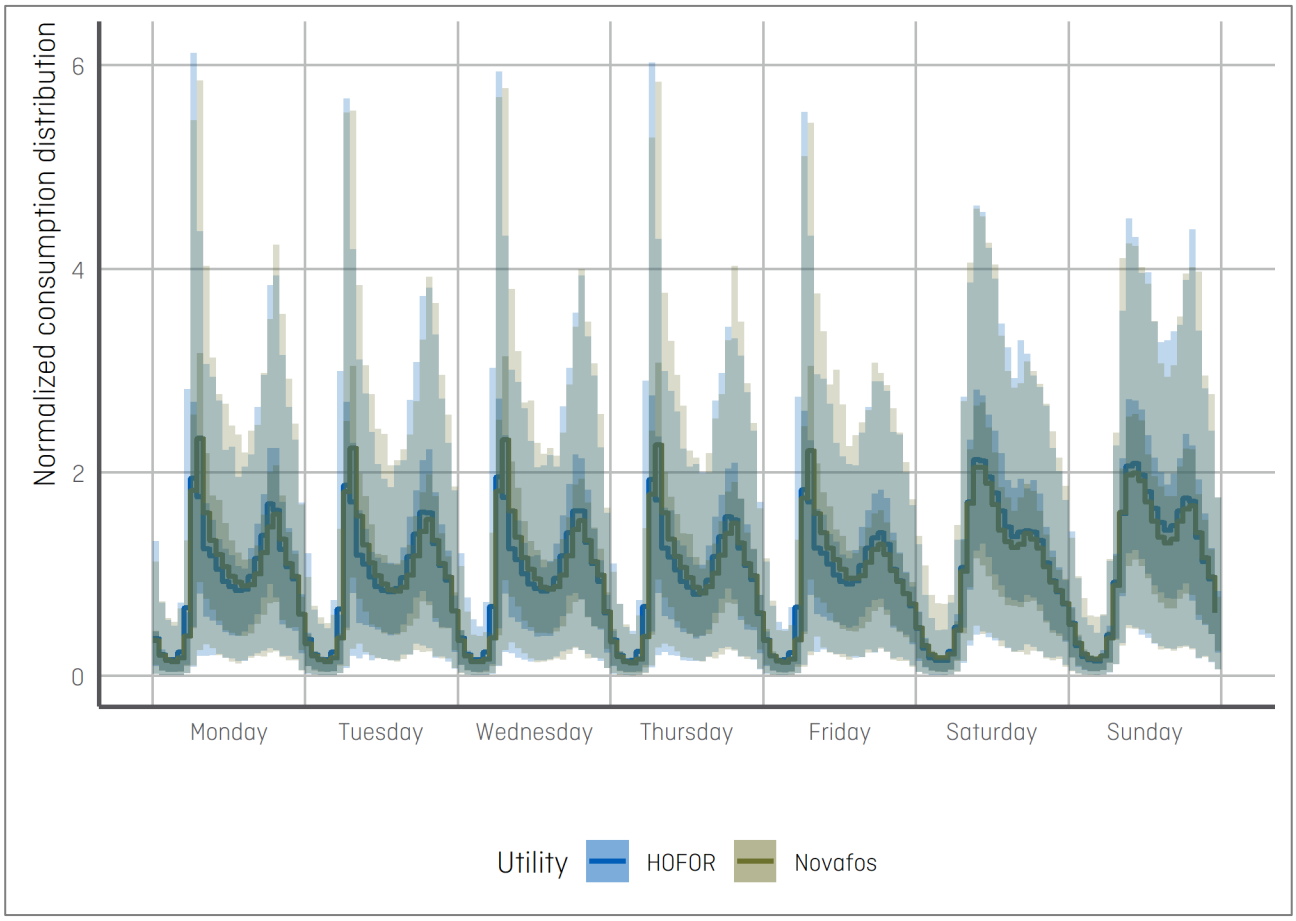


Figure 23. Normalized single house profiles from HOFOR and profiles from Novafos for comparison.

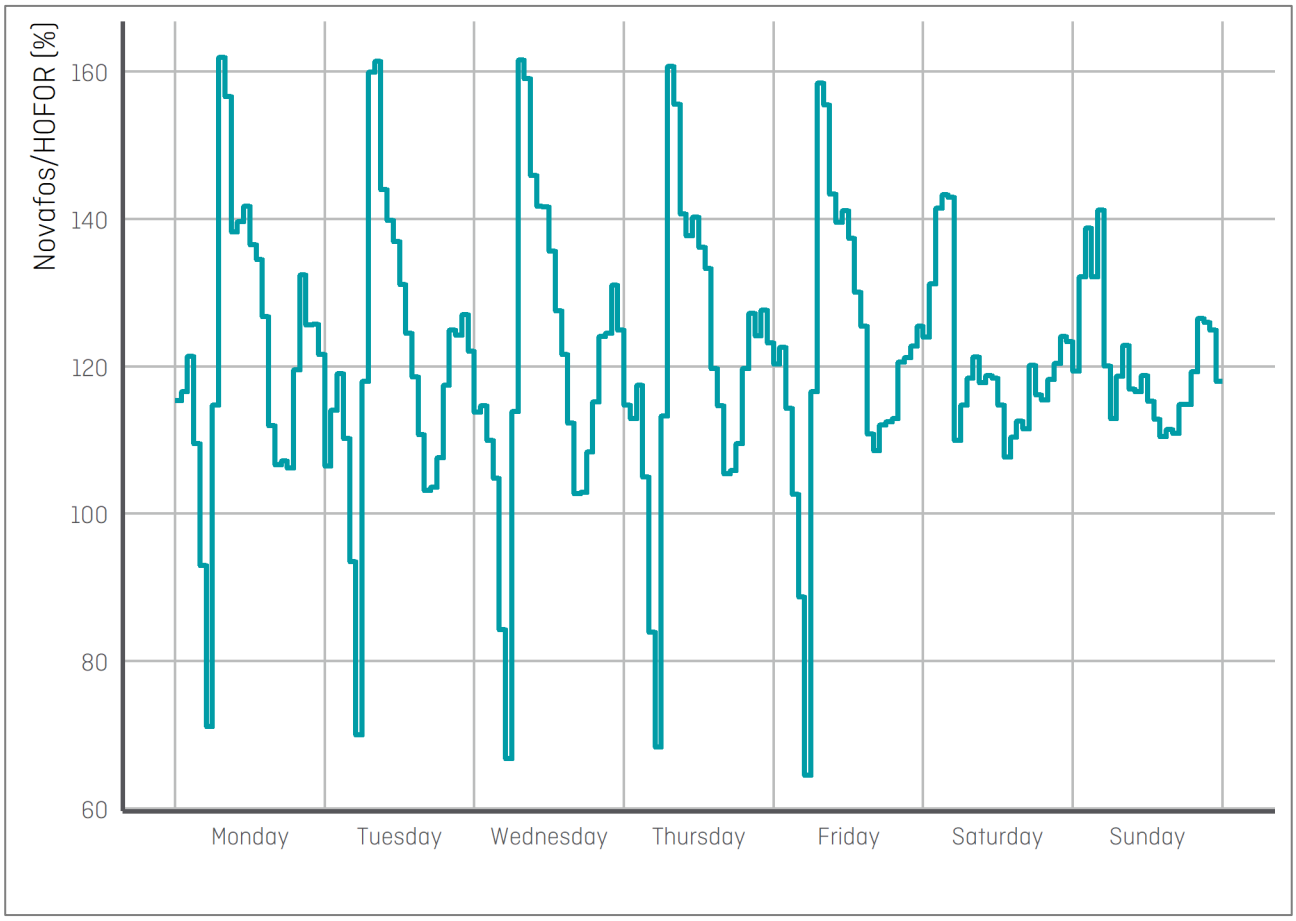


Figure 24: Ratio between the consumption profiles of Novafos and HOFOR. The emphasizes the differences between the two utilities.

Conclusion

Based on around 1,000 meters installed in Herlev for HOFOR and 500 meters installed in Hellerup for Novafos we have calculated consumption profiles. These can be used for planning and in hydraulic modelling. Furthermore they bring valuable insights in regards to the minimum night flow and maximum consumption. We find that the profiles vary between different consumer types in Herlev. Especially between apartments and other. There are only minor differences between the flow pattern of single houses in Herlev and in Hellerup. However, the general consumption is higher in Hellerup compared to Herlev and in weekdays the consumption pattern in Herlev is slightly earlier than in Hellerup. It would be interesting if this could be related to other demographic features like age and income.

Bilag 3. Zonegrænseventil

Bilag 3.1 Produktblad: AVK Smart Water VIDI Cloud
Bilag 3.2 Produktblad: AVK Smart Water VIDI Positioner

AVK SMART WATER, VIDI CLOUD

3005/002-001

Cloud-løsning til monitorering af forsyningsnet

Produktbeskrivelse:
VIDI Cloud er en visualiserings- og styringsplatform, der indsamler, lagrer og visualiserer data fra VIDI-transmittere, positionsindikatorer til ventiler og dæksler til brandhaner. Platformen er en cloud-baseret løsning, der er tilgængelig fra en standard webbrowser.

Fordele:
- Kort- og ikonbaseret oversigt over distributionsnettet
- Simpel oversigt over transmittere, ventiler og brandhaner
- Let at navigere og anvende
- Brugerdefinerede alarmer og setpunkter
- Første opsætning er inkluderet
- Træningsvideoer til opstart
- 13 måneders data
- Opdateringer er inkluderet

Expect... AVK

Som følge af en løbende produktudvikling, forbeholder AVK sig retten til at ændre design, materialer og specifikation uden varsel.

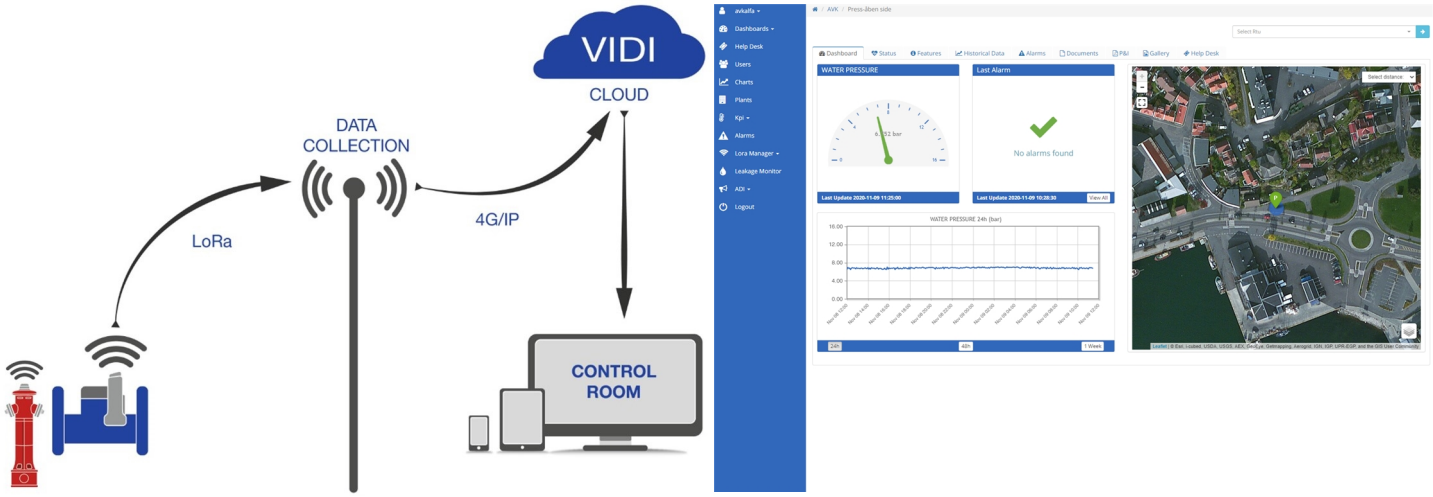
COPYRIGHT©AVK GROUP 2021

chra - 14-Jan-2021 14:46

AVK SMART WATER, VIDI CLOUD

3005/002-001

Cloud-løsning til monitorering af forsyningsnet



Referencenumre og dimensioner:

AVK nr.	User(s)	Units	Cloud
3005-002-001-000 (1)	1	10	TRIAL
3005-002-004-000 (1)	5	30	SMALL
3005-002-007-000 (1)	5	100	MEDIUM
3005-002-010-000 (1)	5	300	LARGE
3005-002-013-000 (2)	UNLIMITED	UNLIMITED	XTRA LARGE

(1) Årlig softwarelicens

(2) Pris på forespørgsel

Som følge af en løbende produktudvikling, forbeholder AVK sig retten til at ændre design, materialer og specifikation uden varsel.

COPYRIGHT©AVK GROUP 2021

chra - 14-Jan-2021 14:46

AVK SMART WATER, VIDI POSITIONER

3004/002-001

Statusindikator til skydeventiler

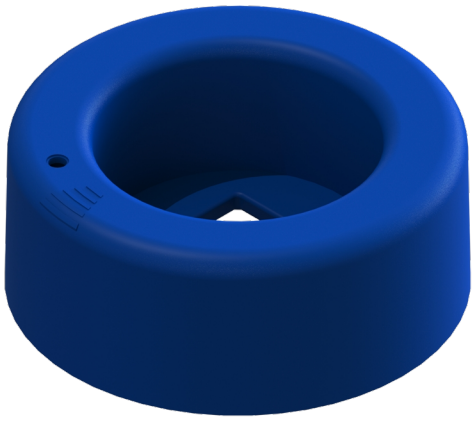
VIDI Positioner anvendes til angivelse af åbningsgraden for skydeventiler. Den bruger LoRa®-radiokommunikationsteknologi, som har lang rækkevidde og lang batterilevetid.
Enheden kan installeres sammen med en AVK-garniture på en skydeventil. Efter installation og aktivering sender den information om ventilens åbningsgrad til VIDI Cloud-platformen, hvor data lagres. VIDI Positioner leverer nøjagtige data direkte fra forsyningsnettet ved regelmæssigt at monitorere ventilens åbningsgrad og er derfor ideel til sektioneringsventiler, hvor oplysninger om ventilens åbningsgrad normalt er baseret på antagelser.

Produktbeskrivelse:
VIDI Positioner registrerer skydeventilens åbningsgrad og overfører data via LoRa®-radiokommunikationsteknologi.

Standarder:
Data er beskyttet af AES128-krypteret protokol med checksum

Fordele:
Positionsindikator:

- Registrerer ventilens åbningsgrad og overfører data til VIDI Cloud
- Indbygget batteri med 10 års levetid
- Robust plastdæksel, IP68
- Let at installere
- Passer på AVK-garniturer
- Præcision = en kvart omdrejning (90°)
- Driftstemperatur fra -40 °C til 65 °C



Expect... AVK

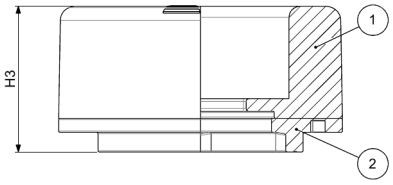
Som følge af en løbende produktudvikling, forbeholder AVK sig retten til at ændre design, materialer og specifikation uden varsel.

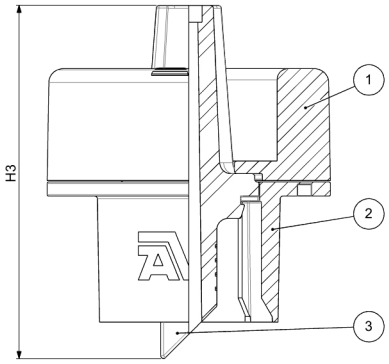
COPYRIGHT©AVK GROUP 2021

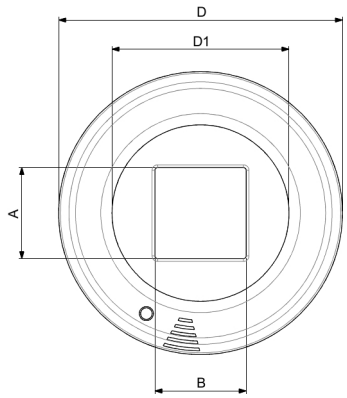
AVK SMART WATER, VIDI POSITIONER

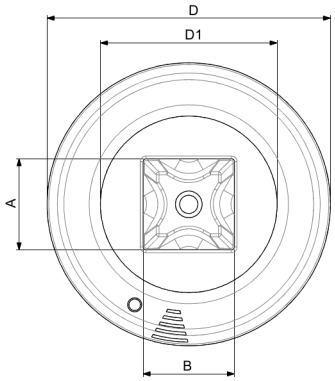
3004/002-001

Statusindikator til skydeventiler









Komponentliste:

1.	Positionsindikator	Luran S 778T (ASA)
2.	Fikseringsplade	Luran S 778T (ASA)
3.	Betjeningsfirkant	Støbestål

Komponenter kan erstattes af lignende eller højere materialeklasse uden forudgående meddelelse.

Referencenumre og dimensioner:

AVK nr.	Kommuni-kation	Garniture Type	Betjeningnøgle mm	H3 mm	D mm	D1 mm	A mm	B mm	Teoretisk vægt / kg
3004-002-003-000 (1)	LORA	FL	22	126	101	63	22	22	0,7
3004-002-004-000 (1)	LORA	FL	32	126	101	63	32	32	0,7
3004-002-005-000 (2)	LORA	T	22	52	101	63	22	22	0,2
3004-002-006-000 (2)	LORA	T	32	52	101	63	32	32	0,2

(1) FL: Fast længde

(2) T: Teleskopisk

Som følge af en løbende produktudvikling, forbeholder AVK sig retten til at ændre design, materialer og specifikation uden varsel.

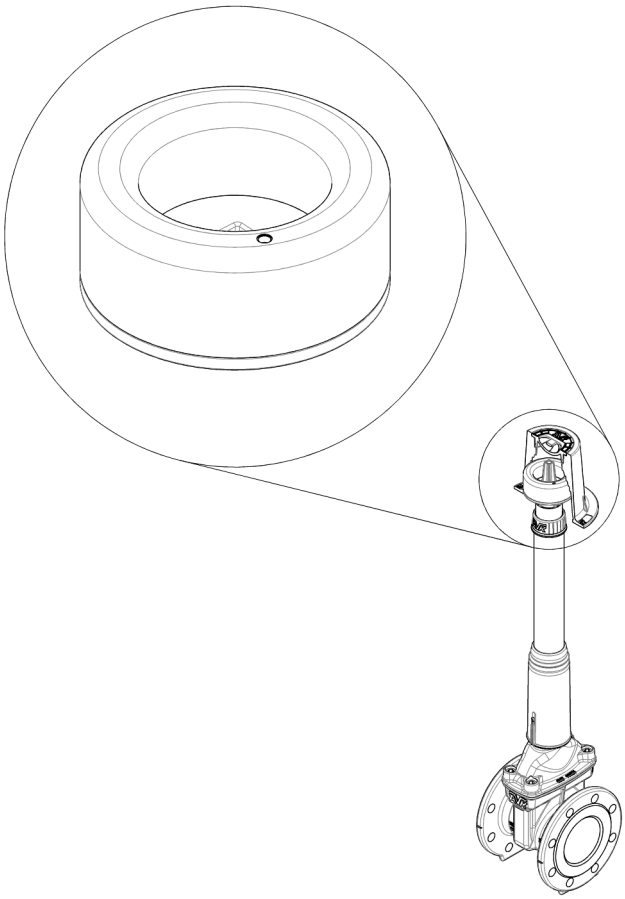
COPYRIGHT©AVK GROUP 2021

chra - 14-Jan-2021 14:35

AVK SMART WATER, VIDI POSITIONER

3004/002-001

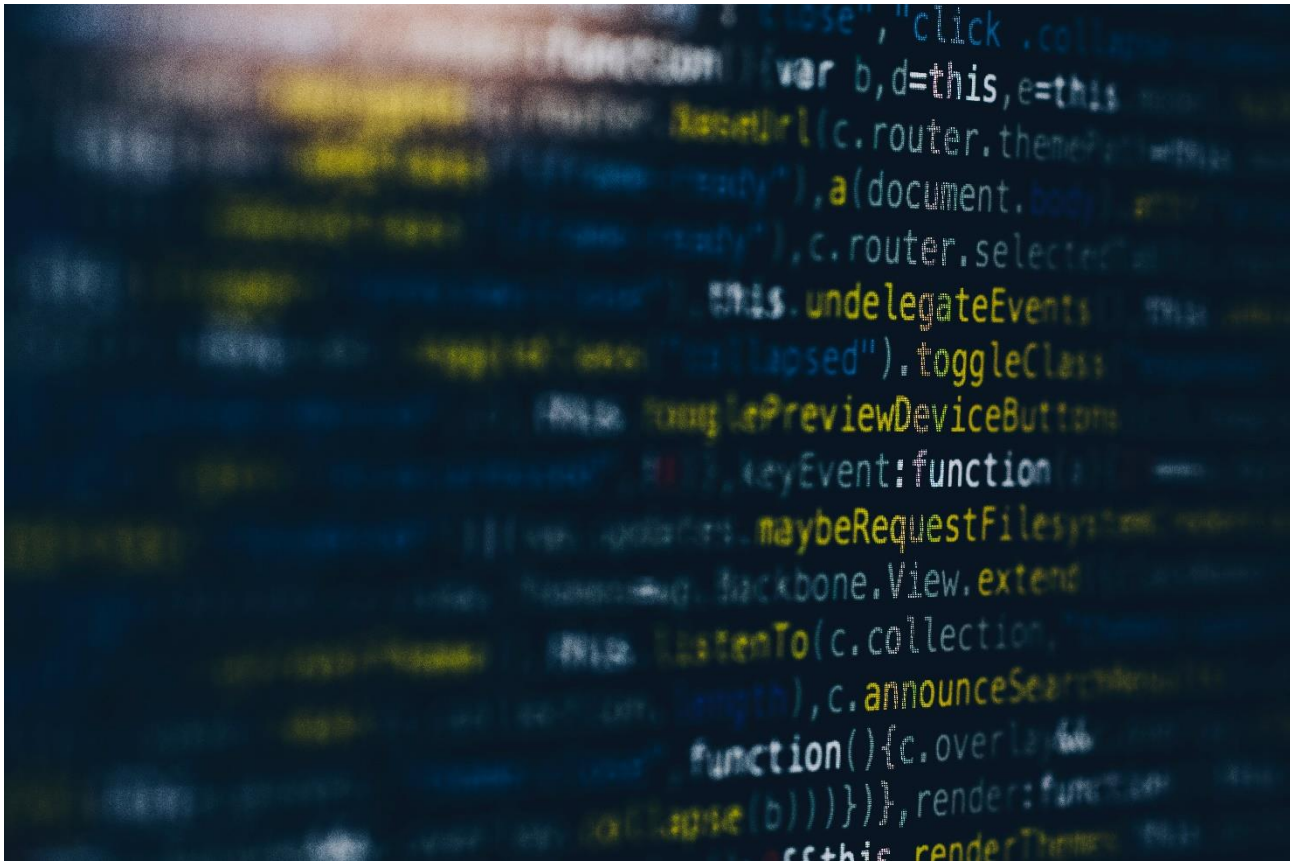
Statusindikator til skydeventiler



Som følge af en løbende produktudvikling, forbeholder AVK sig retten til at ændre design, materialer og specifikation uden varsel.

COPYRIGHT©AVK GROUP 2021

Bilag 4. Datakortlægning i vandforsyningen



Datakortlægning i vandforsyningen

HOFOR A/S

Modtager: LEAKman Projektet
Afsender: Thor Danielsen, HOFOR A/S
Version: 1.0

1 Indholdsfortegnelse

2 Introduktion 3
3 Metode 4
4 Dataoverblik 4
4.1 Ledningsdata 5
4.2 Driftsteknisk data 5
4.2.1 Indvinding 5
4.2.2 Transmissionsnettet 7
4.2.3 Distributionsnettet 8
5 Systemoverblik 9
6 Perspektiver for datadrevet forsyning 10
7 Referencer 11

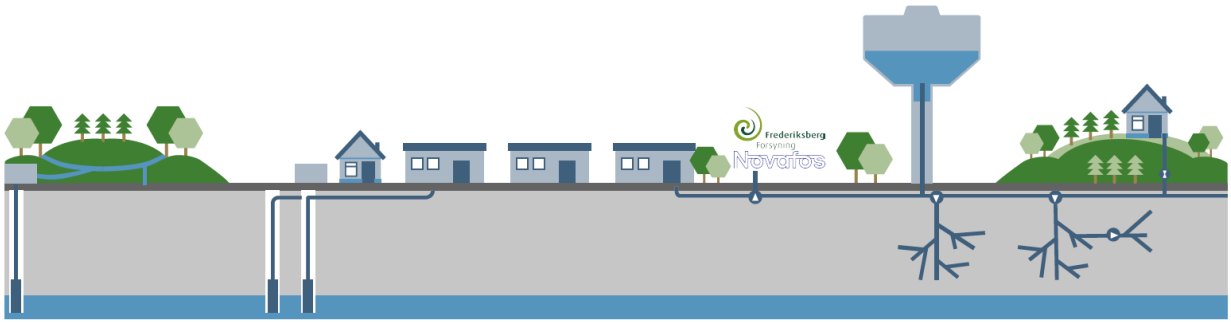
2 Introduktion

Der sker på nuværende tidspunkt et ryk i teknologiudviklingen og implementeringen af digitale løsninger i vandforsyninger i Danmark og på verdensplan. Flere rapporter peger på digitalisering som en af de væsentligste drivkræfter for effektivisering og forsyningssikkerhed i de kommende år [1,2,3]. Der produceres store mængder data i moderne forsyningsvirksomheder. Det kan generelt siges, at det store potentiale, der ligger i den indsamlede data, ikke udnyttes til fulde i dag. Det store potentiale ligger både i optimering af driften og de interne processer i forsyningen, men det ligger også i at bruge data til at udvikle nye forretningsmodeller og skabe bedre services for vandkunderne.

HOFOR har sin nye koncernstrategi udpeget digitalisering som et af de fokusområder der skal drive målopfyldelsen og udviklingen i selskabet frem mod 2025. Under titlen *"Digitalisering som drivkraft"* har HOFOR en ambition om at styrke vejen fra data til viden til handling. Vejen starter med data, og derfor er det særdeles vigtigt at sikre et solidt datagrundlag, som kan være fundamentet for den datadrevne virksomhed, der ønskes.

Desuden danner data i forsyningerne grundlag for forskning og udvikling i vandsektoren. Derfor er det vigtigt, at der er klarhed om, hvilke data forsyningen lagrer, hvilket format de lagres på, hvilket system de lagres i, og hvilke usikkerheder data er behæftet med. Viden om førnævnte vil kunne understøtte samarbejdet om digital løsninger på tværs af vandsektoren og gøre det nemmere for fageksperter at udtænke innovative løsninger på baggrund af data. Overblikket vil understøtte dette, da man nemmere og mere sikkert vil kunne anskueliggøre, om det nødvendige data er til rådighed, eller om nye målere eller målemetoder er nødvendige for at kunne løse en given problemstilling.

Denne rapport præsenterer et simpelt overblik over de driftstekniske data, der indsamles i HOFORs vandforsyning. Overblikket er baseret på et kortlægningsarbejde foretaget i foråret 2020 med det formål at skabe et simplificeret overblik over de driftstekniske data, der indsamles i vandforsyningen ved loggere, sensorer, vandprøver eller lignende. Overblikket præsenteres skematisk på baggrund af Figur 1. Der tages således ikke højde for data af mere administrativ og dokumenterende karakter såsom økonomidata, timeregistreringer og anlægstegninger. Desuden er der ikke afdækket data anvendt i intern processtyring på vandværkerne. Resultatet er tiltænkt at skulle kunne give fagmedarbejdere såvel som ledere et hurtigt og simpelt overblik over, hvilke data der indsamles i forsyningen, og hvor i systemet de tilhørende målere er placeret. Motivationen bag kortlægningen bygger på den grundpræmis, at de rigtige data, i den rigtige kvalitet, er nødvendig for løbende at overvåge, styre og forbedre forretningen til gavn for kunder og miljøet.



Figur 1: Skematisk overblik over en typisk vandforsyning

3 Metode

Overblikket blev skabt på baggrund af interviews med i alt 12 personer. Varigheden af de enkelte interviews varierede fra 20 til 90 minutter afhængig af den enkelte persons berøring med data og anvendelse. Personerne repræsenterede drift og plan for hvert fagområde for at sikre et komplet overblik. Hvert interview tog udgangspunkt i den enkelte persons fagområde og dermed, hvor de havde indgående kendskab til dataindsamling, -kvalitet og -format.

Til hvert interview blev personens datakendskab gennemgået på baggrund af et samlet regneark. I regnearket noteredes datatype, målerteknologi, placering i systemet, IT-system og database, hvor data lagres, ejerskab, formål med måling og eventuelle bemærkninger til kvalitet af data.

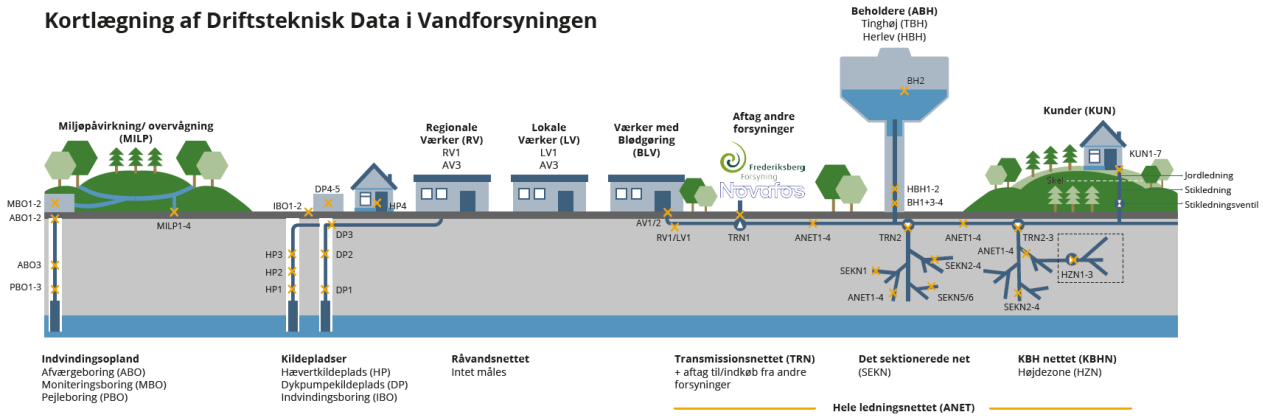
Efter endte interviews blev resultatet tjekket ved stikprøver i SCADA-systemet for at kontrollere datapunkter.

Interviewprocessen blev endvidere anvendt til at skabe et systemoverblik over de systemer, data genereres og vises i.

4 Dataoverblik

Dataoverblikket præsenteres på baggrund af de enkelte lokationer, de repræsenterer. Opdelingen foretages for indvinding, transmission og lokal distribution. Med transmission menes i denne sammenhæng de tværgående ledninger der transporterer vand fra vandværkerne til de enkelte kommunale ledningsnet og delområder inden for disse. Der er ikke stikledninger på transmissionsnettet. Med lokal distribution forstås ledningsnet, der transporterer vand inden for de enkelte kommunale net med stiktilslutninger.

Præsentationen af data sker på baggrund af Figur 2, som illustrerer den samlede vandforsyning med indikation af datapunkter. De enkelte datapunkter er angivet med et ID, som kan genfindes i regnearket med information om de enkelte datapunkter.



Figur 2: Samlet figur over vandforsyningen med angivelse af datapunkter.

4.1 Ledningsdata

Som ved de fleste danske forsyninger lagres ledningsdata hos HOFOR i en database efter DANVAND datamodellen. Datamodellen administreres af DANVA (se mere her). Disse indeholder relevante informationer og koblinger mellem vandforsyningsledninger, ventiler, beholdere og bygværker. Emnet behandles ikke i dybden her, da modellerne for disse data er velbeskrevne i offentligt tilgængelige rapporter.

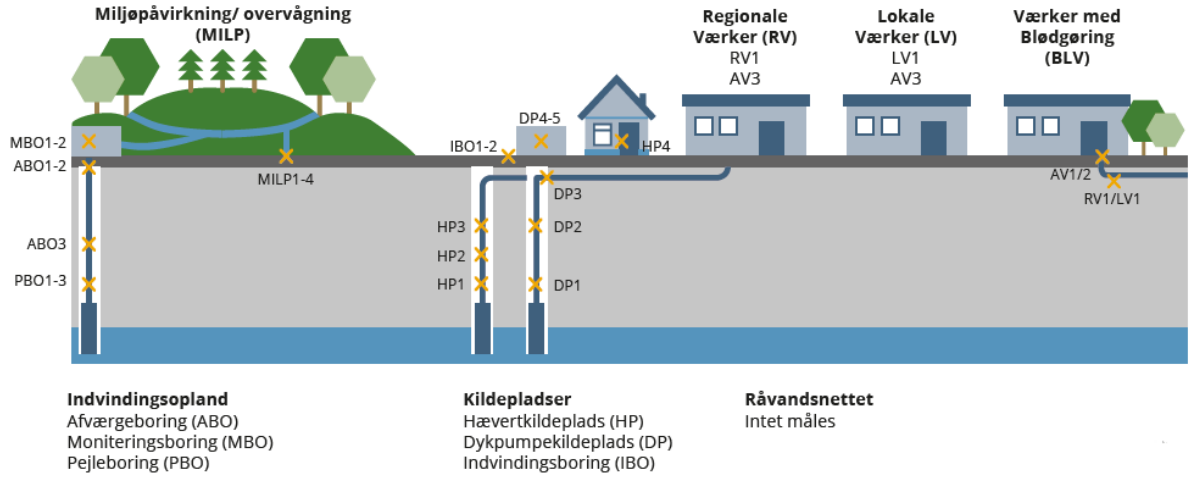
4.2 Driftsteknisk data

Driftstekniske data dækker over data, som indsamles via målere og sensorer i vandforsyningen. Typisk indgår de i en form for styring og overvågning af systemet. Nogle data er styringsrelevante og logges derfor i høj frekvens og anvendes til at kontrollere pumper og ventiler. Den data, der ikke er relevant for styringen, er ofte logget i lavere frekvens og udsving i kvalitet vil ikke slå ud i uhensigtsmæssig styring, hvorfor fejl ikke hurtigt registreres.

4.2.1 Indvinding

Indvindingen dækker i denne kortlægning over data indsamlet fra indvindingsoplandet til målinger ved afgangen af vandværket. Bemærk, som tidligere nævnt, at der ikke angives data fra processen på vandværket. Det angives dog på Figur 3, at der i HOFOR arbejdes med tre klasser af vandværker i denne kortlægning. Regionale vandværker, lokale vandværker og værker med blødgøring. Vandværker med blødgøring kan være både lokale eller regionale, men klassificeres separat, da de vil være unikke i forhold til data, som knytter sig til blødgøringsprocessen.

I dette afsnit gennemgås de væsentlige datapunkter startende med indvindingsoplandet og sluttende med afgangen ved vandværket. Figur 3 illustrerer en simplificeret skematisk repræsentation af indvindingen. Bemærk at der i HOFOR ikke foretages målinger på råvandsnettet.



Figur 3: Data indsamlet i indvindingen.

4.2.1.1 Indvindingsoplandet

I indvindingsoplandet indsamles data generelt i boringer, ved vandprøver og overflademålinger. Typisk er der tale om data, der anvendes til at dokumentere og sikre overholdelse af

indvindingsvilkår og krav. Derudover indsamles data for at kunne sikre vandkvaliteten i det vand som indvindes på kildepladsen.

Data i boringerne afhænger af, hvilken type boring der er tale om.
I **afværgeboringer** (ABO) måles kontinuert flow, tryk og energiforbrug. Dette indsamles ved sensordata i form af en tryktransmitter, en flowmåler og fra selve pumpen.
I **pejleboringer** (PBO) indsamles kun trykniveau. Dette gøres ved to forskellige metoder, og der er derfor stor variation i frekvensen af data for pejleboringer. Nogle logges kontinuert med tryktransmittere, mens andre måles ved pejlekampagner manuelt.
I **moniteringsboringer** (MBO) måles typisk på vandkvalitet og trykniveau. Dette gøres ved manualle pejlekampagner og planlagte vandkvalitetsmålinger.

I forhold til overvågning af **miljøpåvirkning** (MILP) foretages en række målinger af vandstand i søer og vandløb. Dette gøres for at overvåge indvindingens påvirkning af det omkringliggende miljø. Dette sker typisk ved vandstandsmålere. Derudover overvåges grundvandsstandspåvirkning i naturovervågningsboringer. Her igen ved pejlinger af trykniveau foretaget enten manuelt ved pejlekampagner eller automatisk ved en tryktransmitter. Til slut kontrolleres der ved flowmålere i visse vandløb også for miljøpåvirkning.

4.2.1.2 Kildepladser

Kildepladserne kan i HOFOR inddeles i to overordnede kategorier. Hævert- og dykpumpekildepladser. Hævertkildepladser er baseret på vakuumteknologi, og der indhentes næsten ingen data. Dykpumpekildepladser er baseret på mere moderne dykpumpeteknologi og der indsamles langt mere data, hvilket muliggør styring og overvågning af de enkelte boringer.

For **hævertkildepladserne** indsamles data typisk ved samlebygværket i form af en vakuummåling, en flowmåling og en trykmåling ved selve hævertpumpen (HP). På selve boringen foretages pejlinger manuelt med relativ lav frekvens i sammenhold med dykpumpekildepladserne.

For **dykpumpekildepladser** (DP), måles der i selve boringen og i pumpehuset placeret oven på boringen. I boringen måles trykniveau som omregnes til vandspejlsniveau. Fra pumpen måles energiforbrug, flow, tryk og frekvens.

For **alle indvindingsboringer** (IBO) foretages vandkvalitetsmålinger i et varierende interval afhængigt af behov og indvindingsvilkår. Desuden foretages manuelle pejlinger til kalibrering og overvågning.

På kildepladserne kan der findes data, som er beskrevet for indvindingsoplande. Disse relaterer sig ikke direkte til indvindingen af råvand, og er derfor adskilt og beskrevet i ovenstående afsnit.

4.2.1.3 Vandværkerne

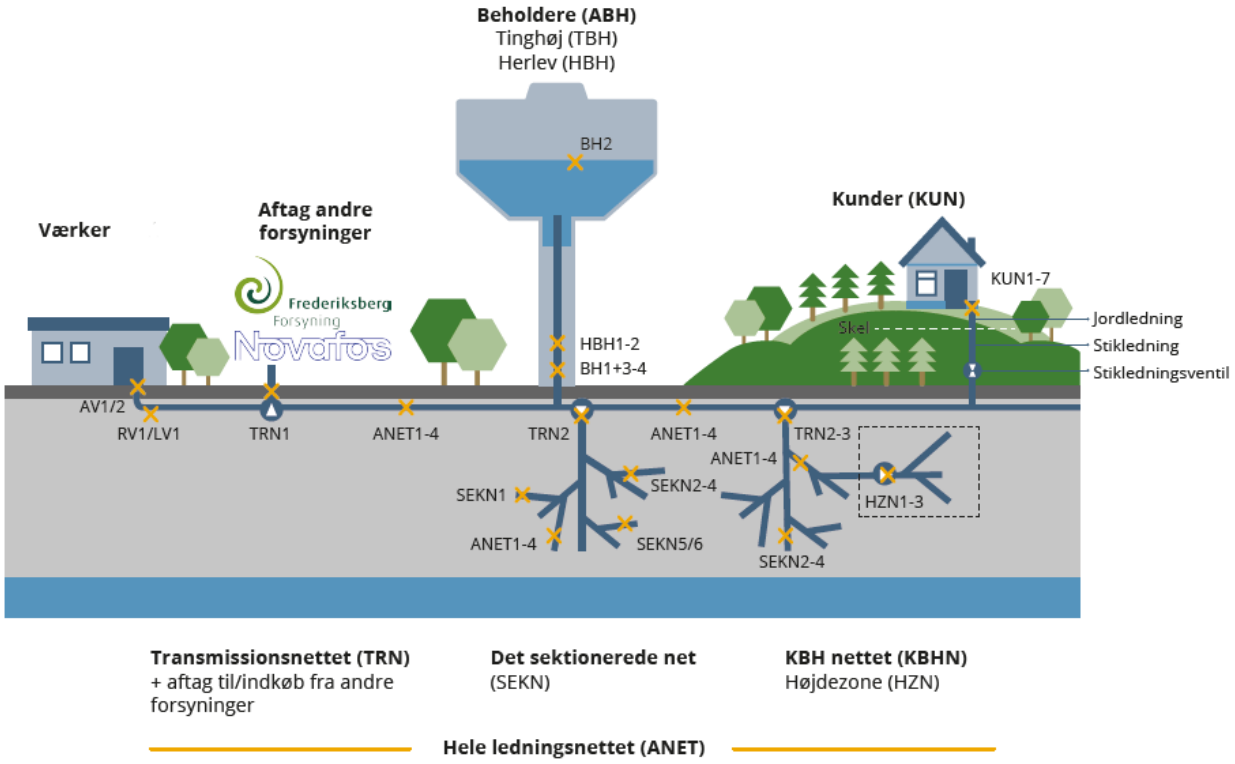
I denne kortlægning er der ikke kortlagt data fra processen på vandværkerne.

Ved indgangen til vandværket måles flow. Derudover måles atmosfærisk tryk på de regionale værker. Disse trykmålere anvendes til at kalibrere og kontrollere trykmålingerne i de enkelte boringer.

Ved **afgangen af vandværket** (AV) måles tryk og flow. Derudover tages der både ved de lokale – og de regionale vandværker vandkvalitetsmålinger ved afgangen af vandværket.

4.2.2 Transmissionsnettet

Transmissionsnettet dækker i kortlægningen transport af vand fra vandværkerne og ud til de lokale distributionsnet. Af Figur 4 fremgår det, at transmissionsnettet starter ved afgang vandværk og ender ved aftagene til de enkelte forsyningsselskaber, visse beholderanlæg og få kunder. Transmissionsnettet er hovedtransporten for vand og indeholder relativt få datapunkter i sammenligning med det sektionerede net og det københavnske net. Der eksisterer som nævnt ovenfor transmissionsledninger inden for de enkelte kommunale net, men de kan behandles som én gruppe.



Figur 4: Skematisk figur over transmissionsnettet med angivne datapunkter.

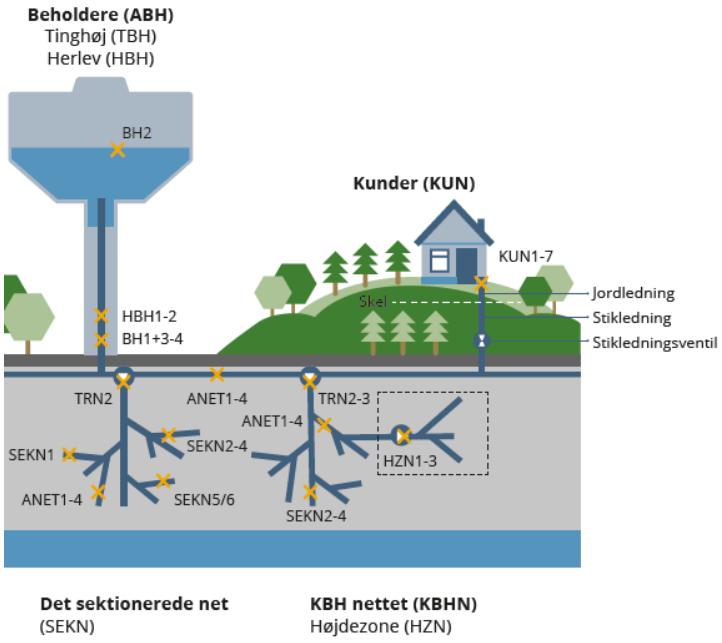
På **transmissionsnettet** (TRN) måles der ved aftag til andre og egne selskaber. Disse målinger benyttes som hovedformål til afregning og vandbalanceberegning. Målinger sker ved flowmålere, hvor flow og summeret flow logges. Ved indgangen til København måles der vandkvalitet ved en døgnprøvetager.

På **alt net** (ANET) er der flere steder placeret pumpestationer. På disse måles flere typer data. Der logges rent pumpeteknisk data i form af antal start, driftstid i timer, aktuelt og summeret energiforbrug i kWh, omdrejninger i hertz. På vandbanen måles flow aktuelt og summeret, mens der måles tryk i på begge sider af stationen i meter vandsøjle (mVs). Frekvensen af logningen sker typisk i høj opløselighed på 15 sekunder.

For **beholderanlæg** (BH) i forsyningen måles overordnet flow ind i beholderen, flow ud af beholderen og vandniveau i selve beholderen for at omregne til volumen. Derudover måles der vandkvalitet med døgnprøvetager før og efter UV-anlæg.

4.2.3 Distributionsnettet

Distributionsnettet i denne kortlægning dækker over den interne transport af vand for de enkelte vandselskaber. I kortlægningen skelnes mellem de sektionerede distributionsnet og det københavnske distributionsnet. Distributionsnettene i omegnskommunerne i HOFOR er inddelt i mindre sektioner, hvor der måles på alt vand, der flyder ind og ud af disse. Det københavnske distributionsnet er ringforbundet og mere komplekst. I København findes der to højdezoner, som fungerer delvist som sektioner.



Figur 5: Skematisk figur distributionsnettet med angivne datapunkter.

4.2.3.1 Det sektionerede ledningsnet

På det sektionerede ledningsnet (SEKN) indsamles en stor del af data i målerbrønde. Disse kan være pumpestationer eller sektionsbrønde. Her måles flow, summeret flow, temperatur og tryk.

Derudover måles der visse steder på tryk via trykstyringsventiler, som skal sikre kritiske sprinkleranlæg ved stabilt tryk. Disse er b.la. placeret i forbindelse med Hvidovre hospital.

Til lækagesøgning måles på støj flere steder på ledningsnettet ved noise loggere. Disse er typisk placeret på ventiler. De permanente noise loggere er placeret i udvalgte sektioner i Herlev og er en del af LEAKman projektet.

4.2.3.2 Det københavnske ledningsnet

Det københavnske ledningsnet (KBHN) findes der færre data for, da der ikke i lige så høj grad måles. I København findes der 24 målerbrønde placeret fordelt ud over kommunen. I disse måles flow og tryk. Temperaturmålinger foretages manuelt i forbindelse med vandkvalitetsmålinger.

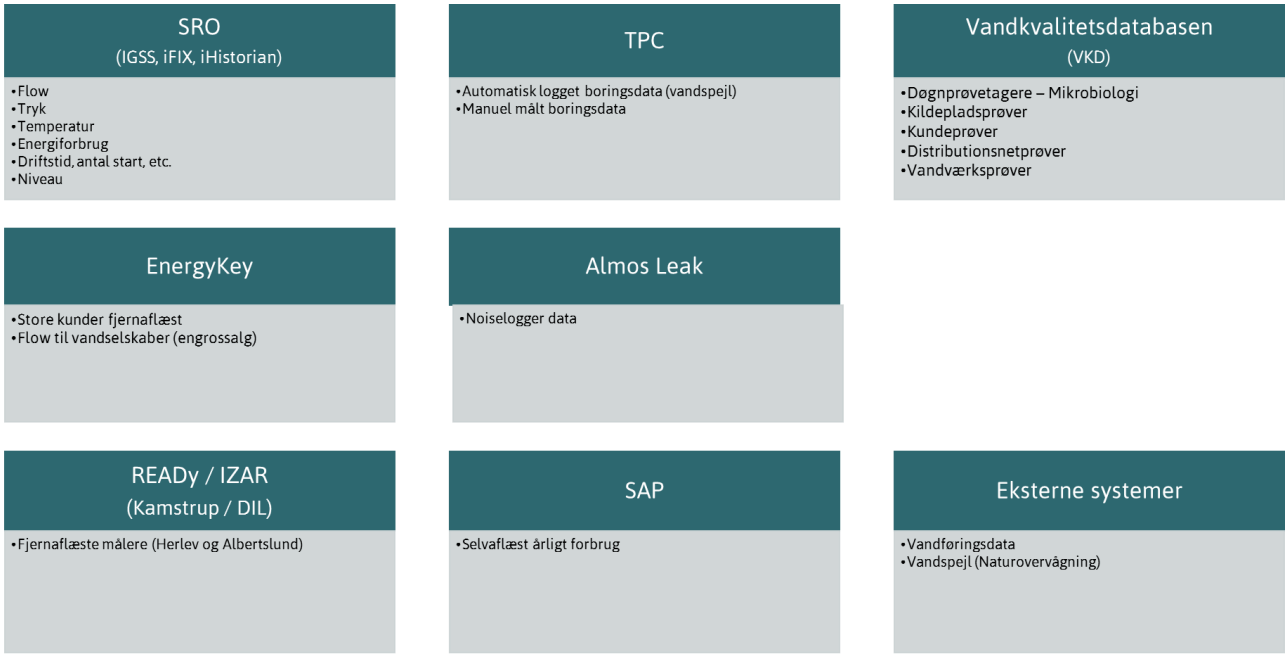
Derudover findes der i København to højdezoner (HZN). Disse forsynes via booster stationer, som opretholder et stabilt tryk. På disse stationer måles flow samt tryk ind og ud af stationen.

4.2.3.3 Kundedata

HOFOR har besluttet at etablere fjernaflæste målere ved alle kunder over de kommende år. På nuværende tidspunkt fjernaflæses kun store kunder, kunder i Albertslund og kunder i Herlev placeret i LEAKman områderne. De nuværende Smart Meters måler tællerstand og temperatur. Frekvensen af, hvor ofte data logges, svinger mellem dagligt og hver uge. Der er dog drøftelser om at øge frekvensen for at kunne understøtte datadrevne løsninger. I en sektion i Herlev er der endvidere installeret smartmeters, der også måler støj. Smartmeters indeholder endvidere nogle forskellige alarmkoder såsom læk efter måler, tilbageløb, intet forbrug, lav omgivelses temperatur.

5 Systemoverblik

Dette afsnit angiver systemoverblikket for HOFOR, som det ser ud primo 2021. Systemerne med tilhørende data er illustreret på Figur 6. I HOFOR lagres data fra vandforsyningen i mange forskellige systemer og tilgås i en lige så bred vifte af systemer. Efter den første lagring kan der forekomme integrationer og overførsler mellem systemerne. Dette er specielt tilfældet for afregningsdata, som samles i flere systemer. Overblikket sker i SAP.



Figur 6: Systemoverblik med tilhørende data i HOFOR.

Det største system, som også rummer den største mængde data, er SRO-systemet. HOFOR konverterer alt SRO til iFIX, som SCADA-system. Til lagring af data benyttes iHistorian. Dette skyldes at SCADA-systemet ikke har stor kapacitet til lagring.

Data relateret til pejling og vandspejlsmåling i boringer gemmes i TPC, hvor både manuelt pejlede og automatisk målte niveauer logges og tilgås.

I vandkvalitetsdatabasen gemmes alle resultater fra vandkvalitetsprøver.

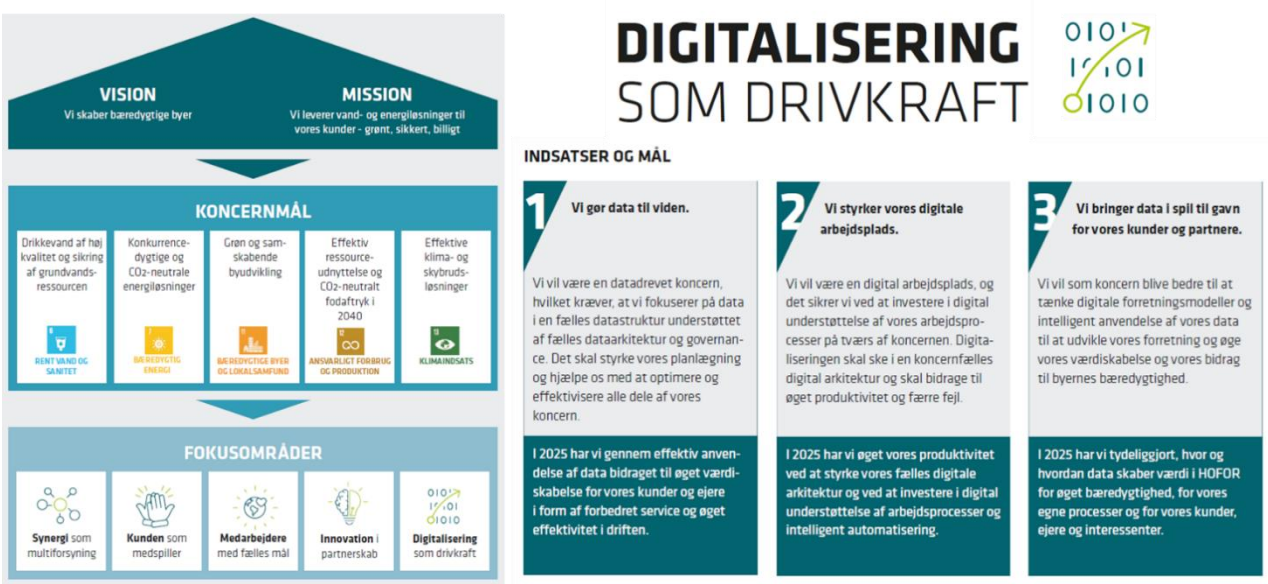
HOMIS anvendes til forædling og præsentation af data på tværs af alle systemer. Almos Leak samler noise logger data samt udvalgte trykdata, som sendes videre til HOMIS.

I forhold til afregning ved flowmålere lagres data både i SRO og EnergyKey. EnergyKey indeholder kun data fra store kunder og engrossalg til andre vandforsyningsselskaber. SAP indeholder data fra de selvaflæste målere, der aflæses med en frekvens på et år. Derudover samles alle afregningsmålinger i SAP, hvor kunderelationen håndteres. De fjernaflæste målere der på nuværende tidspunkt gemmes i READy eller IZAR afhængigt af leverandør af målere. READy indeholder desuden trykdata fra udvalgte tryksensorer. Når der installeres fjernaflæste målere i hele HOFOR vil disse blive inkorporeret i EnergyKey.

Få data som vandføringsdata og vandspejl i naturovervågningsboringer lagres i eksterne systemer som administreres af WSP og COWI.

6 Perspektiver for datadrevet forsyning

Digitalisering udpeges ofte som en af de store drivere for effektivitet og bedre service i vandsektoren. HOFOR har i 2020 vedtaget en ny koncernstrategi for perioden frem til 2025. Heri indgår fokusområdet *digitalisering som drivkraft*. Konkret betyder det for HOFOR, at der over de næste fem år i endnu højere grad skal arbejdes på at gøre den indsamlede data til viden, som kan understøtte gode beslutninger og handlinger. Derudover skal vi styrke HOFOR som en digitaliseret arbejdsplads med mere automatisering og digitale værktøjer, som kan øge effektiviteten. Til sidst har HOFOR et ønske om at bringe den indsamlede data i spil med kunder og partnere. Figur 7 angiver overblikket over HOFORs nye koncernstrategi og uddybningen af fokusområdet *digitalisering som drivkraft*.



Figur 7: Overblik over HOFORs koncernstrategi *Vores Viden, Vores Ansvar*. Til højre ses uddybning af fokusområdet digitalisering som drivkraft.

Potentialet er stort, men der er nogle fundamentale ændringer, som bør indarbejdes i forsyningerne og i vandsektoren for, at det kan lykkes. Grundlæggende skal data i højere grad anses som et aktiv på lige fod med systemer, maskiner og anlæg. Det er igennem data, at operationelle og strategiske beslutninger bør træffes. Allerede i dag træffes mange store investeringsbeslutninger på baggrund af modelberegninger foretaget på baggrund af indsamlede data. Resultatet er derfor kun så godt, som de inputdata, der anvendes. Operationelle beslutninger

styres i dag også i højere grad af data, som det er tilfældet i HOFOR på baggrund af bl.a. HOMIS. I fremtiden skal data i endnu højere grad gøres til viden, der fører til bedre handlinger. Derfor skal data også vedligeholdes og kvalitetssikres i højere grad, end hvad der er tilfældet i dag. Det kan kun ske ved brug af automatiske og effektive værktøjer, da mængden af indsamlede data er for stor til, at der effektivt kan ske en manuel kvalitetssikring.

Adgangen til data skal gøres nemmere. I dag lagres data i mange systemer (jf. Afsnit 5), hvilket giver udfordringer, når der skal skabes løsninger på tværs af de klassiske fagområder. Der findes flere løsninger på dette, såsom at arbejde med *Data Warehouse, Data Lake* eller *Integration Services*. Her kan data, som samles, udstilles og beskrives med henblik på at give adgang. Herefter kan medarbejdere og samarbejdspartnere tilgå data informerede om eventuelle kvalitetsproblemer. Det er vigtigt at pointere behovet for, at data let kan deles med eksterne samarbejdspartnere, således at disse kan udvikle løsninger på baggrund af forsyningens målinger. Dette er en af hovedpointerne i rapporten fra regeringens grønne vækstteam [1] og DTU's sektorudviklingsrapport [2]. Det er gennem åbne data, at flest mulige kompetencer og ideer kan komme i spil. Det er vigtigt, at få mange forskellige kompetencer og personer med evnen til at tænke på tværs af systemer til at arbejde med data fra forsyningerne. Det er der, de løsninger, der skal skabe jobs og sikre eksport af dansk miljøteknologi, udvikles [2].

I forhold til datalagring og -adgang er der en række principper som bør tilgodeses. Datalagring og -adgang bør være uafhængigt af leverandører. Ved åbne protokoller kan forsyningerne sammenstille data fra forskellige leverandører og fra forskellige dele af systemet. Dette muliggør holistiske analyser og sammentænkning af hele vandkredsløbet. Ved udarbejdelse af mange små lukkede systemer vil forsyningerne være nødt til at ofre unødvendig tid og store work-arounds på at sammenstille data og gøre det tilgængeligt for forretningen. Ofte har de digitaliserede forsyninger egne GIS-systemer og database-systemer. Derfor er det optimalt for leverandører af nye produkter, hvis de giver mulighed for åben integration med forsyningernes eksisterende systemer.

Der børe være tænkt datakvalitetssikring og dokumentation af signal- batterifejl og lignende ind i komponenter og software. Herved sikres at der opnås den højest mulige kvalitet af data fra starten. Skal forsyningen først implementere kvalitetssikring efter indkøb, kan det gøre attraktiviteten ved en ny sensor mindre. Disse sikringer bør også indgå i den åbne integration til forsyningernes egne systemer. Et nationalt arbejde med at standardisere kvalitetssikring og fejlmeddelelser kan gøre arbejdet lettere for forsyninger såvel som leverandører.

Potentialet er stort for forsyningerne, men det forløses ikke før der arbejdes med åbne systemer, hvor data kan integreres på tværs, data vedligeholdes og kvalitetssikres og der i højere grad sikre kompetencer til at tænke på tværs af de enkelte underdele af forsyningssystemerne.

7 Referencer

1. Regeringens grønne vækstteam, (2019), *Danmark som frontløber i den grønne omstilling – det næste kapitel*
2. DTU, (2019) *Lad vand og data strømme - Sektorudviklingsrapport*
3. International Water Association, (2019), *Digital Water – Industry leaders chart the transformation journey*