



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Udvikling af realidsstyret driftsoptimering af vandforsyning Slutrapport

MUDP rapport

December 2017

Udgiver: Miljøstyrelsen

Tekst: DHI / Skanderborg Forsyningsvirksomhed / Envidan / Kamstrup

ISBN: 978-87-7120-966-2

Ansvarsfraskrivelse: Miljøstyrelsen offentliggør rapporter inden for vandteknologi, medfinansieret af Miljø- og Fødevareministeriet. Offentliggørelsen betyder, at Miljøstyrelsen finder indholdet af væsentlig betydning for en bredere kreds. Miljøstyrelsen deler dog ikke nødvendigvis de synspunkter, der kommer til udtryk i rapporterne. Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

1.	Sammenfatning	5
1.1	Introduktion	5
1.2	Baggrund for projektet	5
1.3	Projektbeskrivelse	5
1.4	Projektgennemførelse	6
1.5	Konklusion	7
2.	Arbejdspakke 1: Modeludvikling	7
2.1	Aktivitet 1.1 Udvikling af netværksmodel for råvandsnettet	8
2.2	Aktivitet 1.2 Udvikling og opsætning af kildepladsmodel	8
2.3	Aktivitet 1.3 Sammenkobling af modeller	9
2.4	Aktivitet 1.4 Tilvejebringelse af data og udviklingskoordinering	9
3.	Arbejdspakke 2: Realtids softwareplatform	10
3.1	Aktivitet 2.1 Installation af MC hos Skanderborg Forsyning	10
3.2	Aktivitet 2.2 Opsætning af MC	11
3.3	Aktivitet 2.3 Opsætning af KeyZones (distribution og kildeplads)	12
3.4	Aktivitet 2.4 Oplæring af personale hos SFV	14
4.	Arbejdspakke 3: Udvikling af optimeringsmodul	16
4.1	Aktivitet 3.1 Udvikling af KeyZones Energy	16
4.2	Aktivitet 3.2 Udvikling af MIKE Optimize	16
4.3	Aktivitet 3.3 Udvikling af optimeringsstrategi	17
4.4	Aktivitet 3.4 Tilvejebringelse af data og udviklingskoordinering	19
5.	Arbejdspakke 4: Monitorering og styrbarhed på kildepladser og vandværker	20
5.1	Aktivitet 4.1 Frekvensstyring	20
5.2	Aktivitet 4.2 Flowmåler	20
5.3	Aktivitet 4.3 Separate elmålere	20
6.	Arbejdspakke 5: Monitorering og styrbarhed på distributionsanlægget	22
6.1	Aktivitet 5.1 Sektionering Stilling Centrum	23
6.2	Aktivitet 5.2 Sektionering Stilling Industri	23
6.3	Aktivitet 5.3 Sektionering Højvangen	24
6.4	Aktivitet 5.3 Station Grønnedalsvej	24
7.	Arbejdspakke 6: Etablering af reeltids dataoverførsel hos 100-200 forbrugere	26
7.1	Aktivitet 6.1 Levering af udstyr til fjernaflæsning af forbrug	26
7.2	Aktivitet 6.2 Montering af udstyr til fjernaflæsning af forbrug	26
8.	Driftserfaringer og optimeringsresultater	27
8.1	Idriftsættelse	27
8.2	Indkøringsfase	27
8.3	Ændringer i vandbalancen	28
8.4	Energibesparelse	31

1. Sammenfatning

1.1 Introduktion

Nærværende rapport udgør den faglige slutrapportering af projektet "Udvikling af realtidsstyret driftsoptimering af vandforsyning", som har modtaget støtte fra Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram 2014 (J.nr. NST-404-00292).

1.2 Baggrund for projektet

I de danske vandforsyninger foretages, der i disse år en markant instrumentering af forsyningsernes produktionsapparat i takt med at teknologierne udvikles og bliver mere tilgængelig. Teknologien udvikles på flere forskellige måder, og specielt både direkte og indirekte målinger af vandkvalitet vinder frem i disse år. Mange forsyninger er desuden aktuelt i en proces, hvor de traditionelle vandmålere hos kunderne udskiftes til fjernaflæste målere, der giver mulighed for at få et langt mere detaljeret og udbygget beslutningsgrundlag for at driftsoptimere. Samtidig stiger kravene til optimering af driften i danske og internationale forsyninger på flere komplekse og indbyrdes sammenhængende parametre, hvoraf de vigtigste er:

- Forsyningssikkerhed
- Påvirkningen af grundvandsressourcen, recipienter og øvrige omgivelser
- Vandkvalitet der leveres til kunderne
- Vandtab fra ledningsnettet
- Energiforbrug og CO₂-udslip
- Dokumentation, service og information til kunder og samarbejdspartnere

Vandforsyninger i Danmark anvender kun i ringe grad optimering *i realtid* af vandforsyningen (indvinding, vandbehandling og distribution). Komponenterne i vandforsyningen styres i driftssituationen typisk ud fra helt lokale hensyn og således fx ikke ud fra en helhedsbetragtning for den samlede vandforsyning målt på fx ovenstående parametre.

Baseret på erfaringer fra realtidsoptimeringer af fx spildevandssystemer er forventningen, at der målt på ovenstående parametre er et betydeligt potentiale for driftsoptimering gennem automatiseret styring i realtid baseret på målinger og modelanvendelser.

Afprøvningen og demonstrationen af systemets anvendelse er en væsentlig aktivitet i projektet. Skanderborg Forsyningsvirksomhed A/S (SFV) ønsker at facilitere demonstrationsdelen af projektet i overensstemmelse med forsyningsens strategi. SFV ønsker at være en professionel leverandør og samarbejde med relevante partnere til udvikling af innovative forsyningsløsninger. De innovative løsninger skal skabe værdi ved at have fokus på kunden, og samtidig have forbedrende gavn for driften. SFV forventer at fremtidens forsyning i endnu højere grad vil benytte sig af automatik i og on-line styring af driften ud fra realtidsmålinger.

1.3 Projektbeskrivelse

Det overordnede projektformål har været at udvikle og demonstrere et samlet driftsværktøj, der baseret på alle tilgængelige og relevante måledata fra kildeplads til kunde og på baggrund af deterministiske og ikke-deterministiske modeller i realtid giver forsyningen et overblik over den aktuelle og fremtidige forsyningsituation samt automatisk at optimere styringsstrategien for forsyningen.

Det var desuden ambitionen, at eftervisse at det er muligt at udvikle styringsstrategier til realtid og realisere en stor del af det teoretiske optimeringspotentiale ved at arbejde med de styringsmæssige frihedsgrader, der er i en normal dansk vandforsyning. Dette skal ske bl.a.

igennem udnyttelse af det langt mere detaljerede målenetværk, fjernaflæste forbrugsmålere kan give mht. forbrug samt evt. trykmålinger.

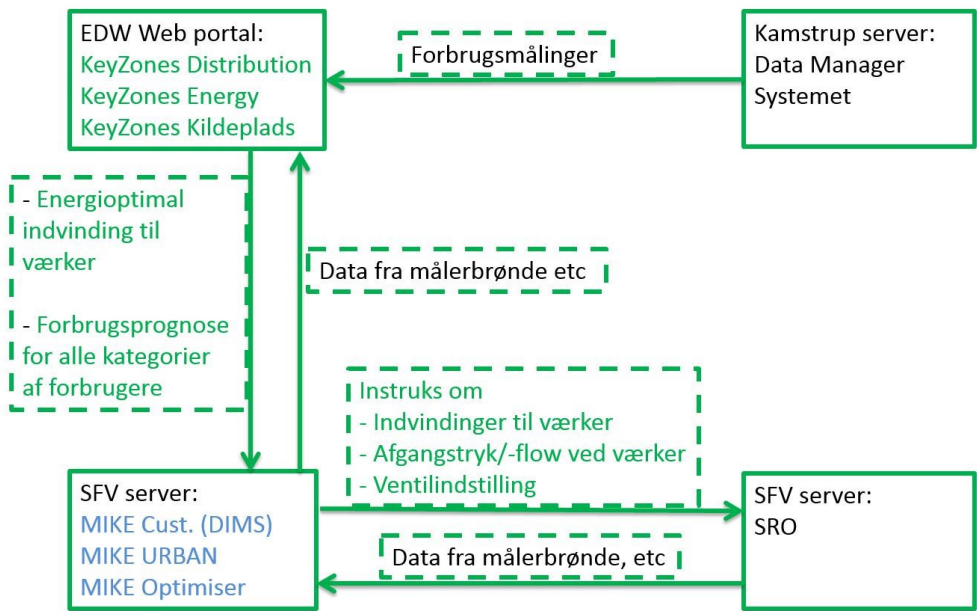
Det er tidligere erfaret at succes i brug af realtidsmodellering og –data i forsyninger, der direkte optimerer styringen af forsyningen, er betinget af, at driftspersonellet har tillid til og kan gen-nemskue at data og modeller er valide. Det var derfor en vigtig parameter i projektet, at sikre at den beregnede optimale styring vises på en pædagogisk og intuitiv måde således, at det klart fremgår, hvad omfanget og effekten af den optimale styring er.

1.4 Projektgennemførelse

Gennemførelse af projektet er i henhold til projektbeskrivelsen i ansøgningen, hvor føl-gende målsætninger og tilhørende succeskriterier alle er blevet opfyldt.

Projektets mål	Succeskriterier
Udvikle et system til energioptimeret og forbrugsstyret vandforsyning fra kildeplads til forbruger	Udviklingsprocessen har som resultat et system der egner sig til førstegangsimplicering og -demonstration hos en dansk vandforsyning.
Installere og demonstrere systemet og dets effekt	Installation og idriftsættelse af det udviklede system hos SFV således, at den daglige drift af vandforsyningen delvist sker automatiseret og styret af det udviklede system.
Forankring af det idriftsatte system blandt driftspersonale	Driftspersonalet hos SFV har opnået tilstrækkelige færdigheder i brug af systemet til, at delvist automatiseret drift er muligt.
Implementeringsstrategi for fjernaflæste målere	Udbygges med det formål at give realtids adgang til forbrugstal hos et tilstrækkeligt antal forbrugere.

Den overordnede funktion og data flowet i det udviklede system er skitseret i Figur 1-1.



Figur 1-1: Overordnet funktion og data flow i det udviklede system.

Den overordnede funktion og data flow af systemer er følgende:

1. Data for forbrugsmålinger lagres i realtid på EDW's server og tilvejebringes fra fjernaf-læste forbrugsmålere (øverste lag i figuren) via Kamstrup server.

2. Data fra målerbrønde, indvindingsboringer, rentvandsbeholdere, etc lagres i DIMS og sendes videre til EDW server. Data tilvejebringes fra målere via SRO systemet hos SFV (nederste lag i figuren).
3. KeyZones prognosticerer vandforbruget i det kommende døgn og udregner energiforbruget ved forskellige scenarier for indvindinger til værkerne. Data herom sendes til DIMS (venstre del af figuren).
4. Den optimale indstilling af indvinding og udpumpning til forsyningsnettet identificeres i DIMS og underliggende moduler under hensyntagen til bl.a. forsyningsstryk, energiforbrug, niveau og rentvandsbeholdere og grundvandsindvindingstilladelser. De optimale indstillinger af indvinding og udpumpning meddeles til og gennemføres gennem SRO systemet én gang hver time.

De følgende afsnit 2 til 7 beskriver i detaljer projektets gennemførelse opdelt i henhold til aktivitetsplanen i MUDP ansøgningen. I afsnit 8 beskrives de besparelse og forbedringer i driftsforhold, der er opnået i de allerførste dage efter idriftsættelsen.

1.5 Konklusion

Gennemførelse af projektet er i sket i henhold til projektbeskrivelsen i ansøgningen med opfyldelse af succeskriterierne i de fire projektmål.

Med anvendelse af de installerede realtidsmålinger i indvindinger, på vandværker, i distributionsnettet og hos forbrugere samt de installerede styringsmekanismer er der udviklet og idriftsat en optimeret styring af det samlede vandforsyningssystem fra indvinding til forbruger. Den optimerede styring finder og iværksætter den energioptimale drift af det samlede vandforsyningssystem med samtidig hensyntagen til opretholdelse af tilstrækkelige trykforhold samt overholdelse af indvindingstilladelser.

Med implementering af den optimerede styring er energiforbruget i de første dage efter idriftsættelsen reduceret med ca 15%.

2. Arbejdspakke 1: Modeludvikling

EnviDans portalprodukt KeyZones anvendes som frontend til at tilgå informationer om producerede og solgte vandmængde, samt energi- og vandbalancer i alle zoner på distributionsnettet og på råvandsnettet.

KeyZones portalproduktet består af KeyZones Distribution (oprindelige KeyZones), samt KeyZones Kildeplads og KeyZones Energy, der er udviklet og implementeret i MUDP projektet. KeyZones Kildeplads kan dels skabe overblik over udviklingen i vandproduktion og energiforbrug fra boring til vandværk, samt udfører beregninger på kildepladsmodeller. KeyZones Energy kan opgøre energiforbrug i de enkelte zoner, og angiver i hele produktions og distributionssystemet en specifik energi anvendt på hver kubikmeter vand.

2.1 Aktivitet 1.1 Udvikling af netværksmodel for råvandsnettet

Det var oprindeligt planlagt, at der skulle udvikles og etableres kildepladsmodeller, som ved en kobling til MIKE URBAN modeller for råvandsnettet, skulle kobles til vandværker, og dermed beskrive forhold fra grundvandsmagasiner til rentvandstank. Af hensyn til optimering af driften viste det sig dog fordelagtigt at integrere kildepladsmodel og råvandsnet beregninger i et samlet værktøj – KeyZones Kildeplads.

2.2 Aktivitet 1.2 Udvikling og opsætning af kildepladsmodel

KeyZones Kildeplads er i MUDP projektet blevet videreudviklet til at kunne spille sammen med DIMS og optimeringen af den samlede drikkevandsproduktion og distribution. KeyZones Kildeplads er udvidet med to nye moduler og væsentligt udvidet på to eksisterende moduler, så det nu er opbygget af fem moduler: pumpekatalog (ny), indvindingstilladelse (ny), opsætning (udvidet), drift og analyse (udvidet).

KeyZones Kildeplads beregner tryk- og flowforholdene for råvandet på vej fra boring til rentvandstank – og der tilknyttes et energiforbrug pr m³ vand, der produceres. Der leveres således et flow ind til rentvandstanken, hvorfra drikkevandet distribueres videre til forbrugerne, hvilket beregnes ved en MIKE Urban model.

Analysedelen er det centrale element ved, at der her beregnes et udfald af krydsfelter (kombination af boringer hvorfra der pumpes), hvor tryk, sænkning og energiforbrug beregnes, og de energimæssigt optimale krydsfelter automatisk udpeges. For alle SFVs vandværker identificeres for forskellige ydelser det energioptimale krydsfelt, og dette overføres via DIMS til yderligere identifikation af den samlede optimale drift.

Forudsætningen for beregninger er opstilling af kildeplads og råvandsnetsmodeller. Det er etableret modeller på baggrund af SFV informationer om boringer, pumper, råvandsnet og trykforhold på SFVs tre vandværker – Stilling, Gram og Fredensborg (se eks. i Figur 2-1). Modellerne er kalibreret i forhold til de tryk og flow forhold, der er registreret i driften af kildepladser og råvandsnettet.

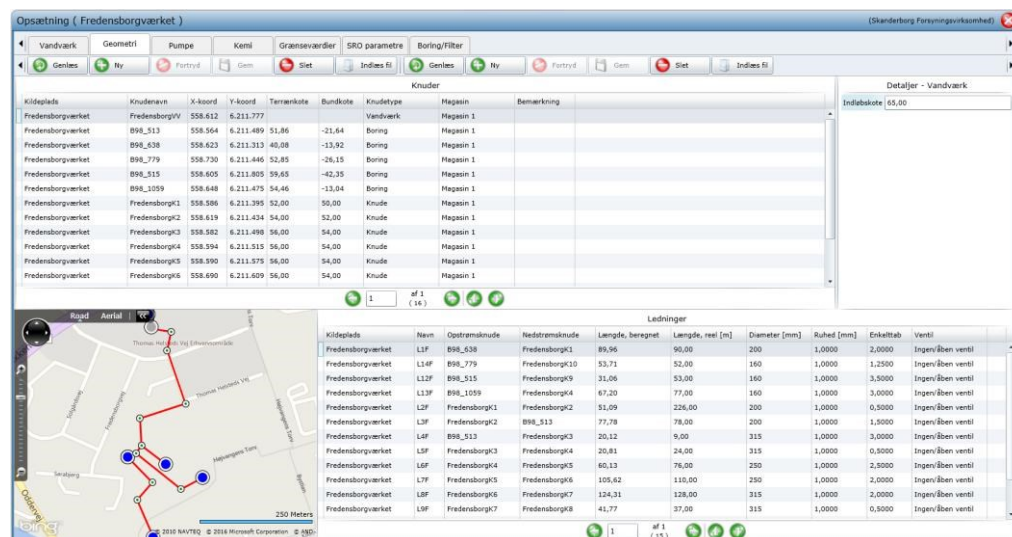
Identifikationen af den optimale drift kræver, at kildepladserne driftes under hensyntagen til forholdene i grundvandsmagasinerne, herunder maksimale sænkninger af grundvandsspejl, og begrænsninger til den samlede indvinding (dikteret af indvindingstilladelser). I KeyZones Kildeplads kan den maksimale sænkning specificeres for de enkelte boringer, og indvindingen ÅTD kan sammenholdes med og begrænses af indvindingstilladelser. Til det sidste er udviklet muligheder for at angive styringskurver, således at indvindingsstrategien kan variere over året uden at den samlede indvinding overstiger indvindingstilladelser.

Driftsdelen udnytter data fra SFVs SRO server, som leverer data til SFVs DIMS server, der igen stiller data til rådighed for EDW Web Portal. For hver boring og vandværk samler KeyZones Kildeplads op på on-line målinger, og generer en række daglige nøgletal for bl.a.:

- Boringsydelse (m³/d)
- Pejling (m.o.h.)
- Minimum pejling (m.o.h.)
- Sænkning (m)
- Maksimal specifik ydelse (m³/m)
- Afgangstryk (m.o.h.)
- Pumpeenergi (kWh)
- Specifik energi (kWh/m³)
- Driftstimer (t)
- Samlet indvinding (m³/d)

- Samlet udpumpning (m³/d)
- Råvandstab (m³/d)
- Forbrug på vandværk (m³/d)
- Tilgangstryk (m.o.h.)

For hver enkelt boring og vandværk er der opsat alarmgrænser således, at driften på råvands-siden let og overskueligt kan overvåges.



Figur 2-1: Kildepladsmodel opsætning for Fredensborgværket. I geometri fanebladet angives og illustreres de geometriske forhold af råvandsnettet med angivelse af de hydrauliske parametre herfor.

2.3 Aktivitet 1.3 Sammenkobling af modeller

Sammenkoblingen mellem modeller for kildepåds og råvandsnet sker i KeyZones Kildeplads ved en integreret løsning af strømning- og tryksystemet. Som randbetingelse angives et tryk (kote for iltningstrapper eller trykniveau i lukkede iltningfiltre) på vandværket. Vandet der til-strømmer vandværket ender i rentvandstanken. Rentvandstanken og distributionen af vand herfra til forbrugerne modelleres med en MIKE Urban model.

MIKE Urban modellen for distributionsnettet er sideløbende blevet etableret og kalibreret uden for MUDP projektets regi.

2.4 Aktivitet 1.4 Tilvejebringelse af data og udviklingskoordinering

SFV har leveret de nødvendige data for opstilling af kildepådsmodeller, råvandnetmodeller, samt stillet distributionsmodellen til rådighed for projektet.

Desuden har der i projektet pågået en væsentlig koordinering med at få data fra fjernafmålede målere, SRO data fra boringer, råvandsnet, vandværker, distributionsnet, mv. stillet til rådighed for anvendelse i softwaren, således at grundlaget for en optimering er til stede.

3. Arbejdspakke 2: Realtids softwareplatform

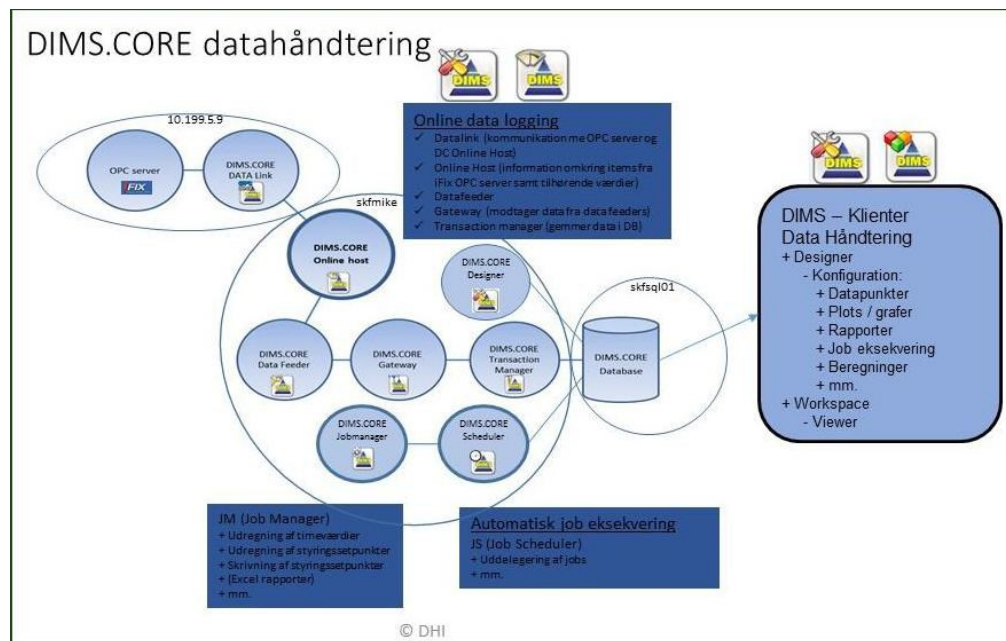
3.1 Aktivitet 2.1 Installation af MC hos Skanderborg Forsyning

DIMS.CORE softwarepakken (et delprodukt i MC = MIKE Customized) er installeret på en intern server (skfmike) hos Skanderborg Forsyning. Softwarepakken består af en dataopsamlingsenhed (Onlinehost) der opsamler data fra en datakilde (iFix) og gemmer disse data i en database. Databasen er ligeledes placeret på en intern server (skfsq101) hos Skanderborg Forsyning på en Express udgave af MSSQL 2012. Efter projektets afslutning anbefales det, at skifte til en anden version af MSSQL databaseserveren.

På Scada serveren placeres et DIMS.CORE Datalink som håndterer OPC DA kommunikationen mod Scada/PLC og kommunikationen med DIMS.CORE Onlinehost. Datalinket sikrer, at data fra DIMS.CORE både kan læses fra iFix og skrives (styringssetpunkter) til iFix.

Afvikling af schedulerede jobs som fx udregning af timeværdier, styringssetpunkter, skrivning af setpunkter til iFix mm. varetages af DIMS.CORE Scheduler og DIMS.CORE Jobmanager.

Nedenstående figur viser et simpelt overblik over de installerede DIMS.CORE komponenterne samt dataflow over kommunikationen.



Figur 3-1: Diagram over installerede DIMS.CORE komponenter samt dataflow.

Den overordnede funktion som DIMS.CORE varetager i den daglige drift er følgende:

- Logning af udvalgte items fra eksisterende SRO til tidsserier i DIMS.CORE med tidslig opløsning på et minut
- Udregning af timeværdier på baggrund af minutværdier
- Modtagelse af prognoser fra Envidan en gang i døgnet beregnet på baggrund af Kamstrup data samt timeværdierne
- Beregning af setpunkter for indvindinger og afgangstryk på baggrund af xml-fil med ydelsesoversigt og prognoser fra Envidan
- Skrivning af setpunkter for indvindinger og afgangstryk til SRO
- Skrivning til log tidsserie med angivelse af de valgte setpunkter
- Plotning af kurver i DIMS.CORE over specifikke tidsserier for at skabe et overblik

3.2 Aktivitet 2.2 Opsætning af MC

DIMS.CORE er konfigureret til at logge udvalgte (i samarbejde med Envidan og Skanderborg Forsyning) data fra iFix med en opløsning på et minut. Disse loggede rådata bliver gemt i DIMS.CORE som tidsserier. Ud fra rådata i disse tidsserier bliver der hver time udregnet en timeværdi som ligeledes bliver gemt som tidsserier. Timeværdierne ligger til grund for den videre beregning.

Skrivning af beregnede setpunkter tilbage til Skanderborg Forsyning til brug i styringen foregår lige efter beregningerne i samme script. Alle beregningerne af setpunkterne bliver gemt i tilsvarende tidsserier i DIMS.CORE samtidig med at de opdaterede setpunkter bliver sendt til DIMS.CORE Datalink, som sørger for den videre formidling over til Skanderborg Forsyning. Alle setpunkter bliver genskrevet selvom værdien i det enkelte setpunkt ikke er blevet ændret siden sidste gang.

I DIMS.CORE er der lavet nogle krydstabeller der angiver hvor de beregnede setpunkter skal skrives. Der er angivet 4 krydstabeller for hvert anlæg, bortset fra Fredensborg der også har en krydstabel for pumpehastigheden, se Figur 3-2.

Type	Name	Location	Value	Data type	Media	physical data type	Size
SPfromTS	Fredensborg, Indvinding - Krydstabel	Fredensborg	Object (.dcds)	Object	Indvinding	BLOB	848
SPfromTS	Fredensborg, Indvinding - Procentværdier	Fredensborg	Object (.dcds)	Object	Indvinding	BLOB	598
SPfromTS	Fredensborg, Indvinding - Pumpehastighed	Fredensborg	Object (.dcds)	Object	Indvinding	BLOB	587
SPfromTS	Fredensborg, Indvinding AR - Krydstabel	Fredensborg	Object (.dcds)	Object	Indvinding	BLOB	597
SPfromTS	Fredensborg, Udpumpning - Timeværdier	Fredensborg	Object (.dcds)	Object	Udpumpning	BLOB	696
SPfromTS	Gram, Indvinding - Krydstabel	Gram	Object (.dcds)	Object	Indvinding	BLOB	748
SPfromTS	Gram, Indvinding - Procentværdier	Gram	Object (.dcds)	Object	Indvinding	BLOB	590
SPfromTS	Gram, Indvinding AR - Krydstabel	Gram	Object (.dcds)	Object	Indvinding	BLOB	590
SPfromTS	Gram, Udpumpning - Timeværdier	Gram	Object (.dcds)	Object	Udpumpning	BLOB	690
SPfromTS	Stilling, Indvinding - Krydstabel	Stilling	Object (.dcds)	Object	Indvinding	BLOB	748
SPfromTS	Stilling, Indvinding - Procentværdier	Stilling	Object (.dcds)	Object	Indvinding	BLOB	592
SPfromTS	Stilling, Indvinding AR - Krydstabel	Stilling	Object (.dcds)	Object	Indvinding	BLOB	591
SPfromTS	Stilling, Udpumpning - Timeværdier	Stilling	Object (.dcds)	Object	Udpumpning	BLOB	687

Figur 3-2: DIMS.CORE krydstabeller

Figur 3-3 viser krydstabellen fra indvindingen i Fredensborg og her står der angivet hvilken tidsserie der til svarer setpunkt navnet i iFix hos Skanderborg Forsyning.

TSName	iFixSetPoint
Fredensborg, Procentværdi indvinding, DIMS setpunkt - Trin 1	IFIXSKAN.FRPROCINV_DHI.F_CV
Fredensborg, Procentværdi indvinding, DIMS setpunkt - Trin 2	IFIXSKAN.FRPROCINV_DHI.F_1
Fredensborg, Procentværdi indvinding, DIMS setpunkt - Trin 3	IFIXSKAN.FRPROCINV_DHI.F_2
Fredensborg, Procentværdi indvinding, DIMS setpunkt - Trin 4	IFIXSKAN.FRPROCINV_DHI.F_3
Fredensborg, Procentværdi indvinding, DIMS setpunkt - Trin 5	IFIXSKAN.FRPROCINV_DHI.F_4
Fredensborg, Procentværdi indvinding, DIMS setpunkt - Trin 6	IFIXSKAN.FRPROCINV_DHI.F_5
Fredensborg, Procentværdi indvinding, DIMS setpunkt - Trin 7	IFIXSKAN.FRPROCINV_DHI.F_6
Fredensborg, Procentværdi indvinding, DIMS setpunkt - Trin 8	IFIXSKAN.FRPROCINV_DHI.F_7

Figur 3-3: Krydstabel for procentværdier i indvindingen i Fredensborg

For at verificere at alle setpunkter bliver skrevet korrekt til Skanderborg Forsyning læser DIMS.CORE efterfølgende alle setpunkter og verificerer at de er korrekte. Hvis der bliver konstateret uoverensstemmelser mellem det læste og det skrevne, så skrives det pågældende setpunkt igen. Dette foregår indtil alle setpunkter er korrekt skrevet eller op til maks. 5 gange.

For at sikre at værdierne fra DIMS.CORE altid er korrekte og at kommunikationen mellem DIMS.CORE og Skanderborg Forsyning er intakt er der oprettet en vagthund (watchdog) som

sikrer at dataalderen aldrig kan overskrides. Dataalderen kan ændres fra SCADA/iFix af forsyningen.

Kun når alle setpunkter er skrevet korrekt efter verificering skrives der til vagthunden. I princippet nulstilles der en timer i SCADA/PLC hver gang der skrives til vagthunden og i tilfælde af der ikke bliver skrevet så løber timeren ud. Når timeren løber ud, er noget er gået galt, og således skal DIMS.CORE setpunkterne ikke anvendes. I stedet anvendes der en tilbagefaldsstyring svarende til den styring der hidtil har været praksis i SFV.

3.3 Aktivitet 2.3 Opsætning af KeyZones (distribution og kildeplads)

KeyZones Distribution hed oprindeligt blot KeyZones, og er et centralt element i fx værktøjet MINERVA, der er et fuldt udviklet værktøj til beregning og overvågning af vandtab på vanddistributionssiden.

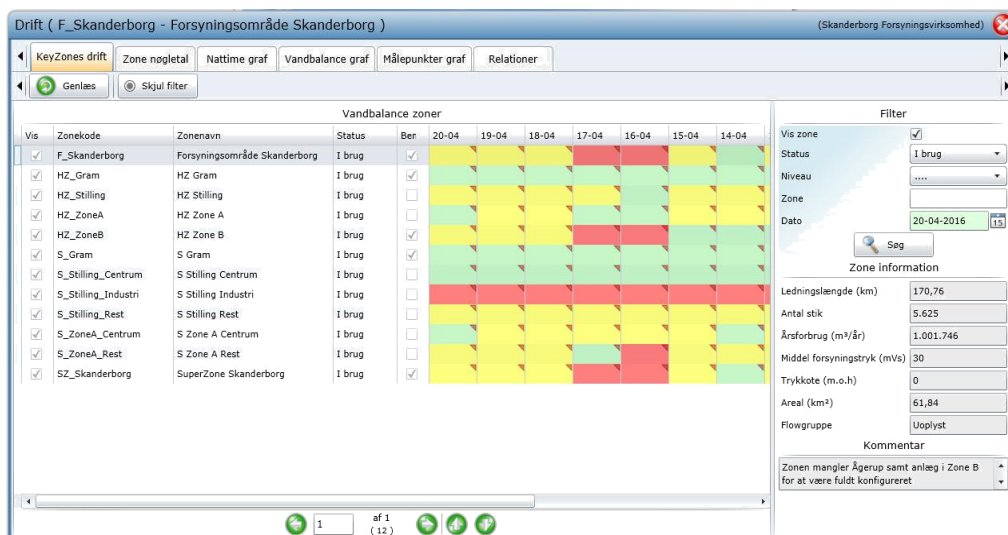
KeyZones Distribution integrerer data, fra SFVs SRO server (via SFVs DIMS server) med data for ledningsregistrering og forbrugsoplysninger, og strukturerer data for de enkelte forsynings-zoner, og på en brugervenlig måde udstilles relevante data så distributionsnettet kan overvåges. For hver zone genereres der daglige, ugentlige, månedlige og årlige nøgletal for bl.a.:

- Leveret og forbrugt vandmængde
- Fysisk lækagetab (m³/d, %)
- IWA vandbalancer
- Ledningsspecifikt fysisk tab (m³/km/d)
- Fysisk tab pr. forbruger (l/stik/d)
- Infrastruktur lækage indeks (ILI)

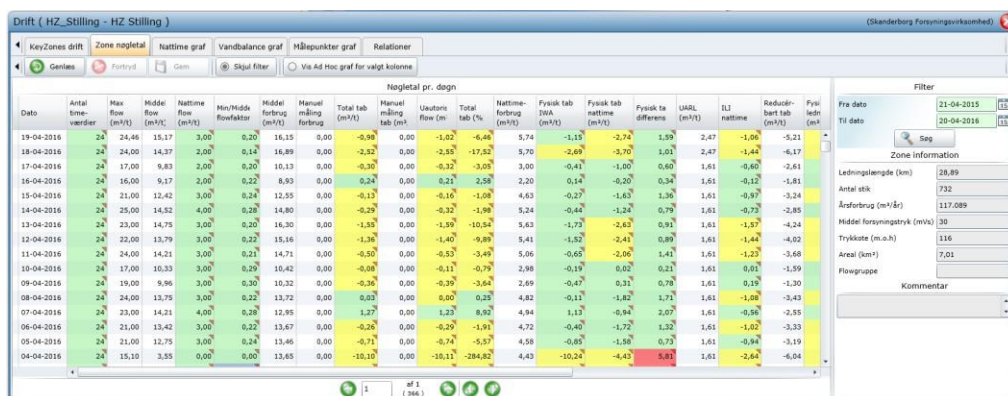
Der er for hver enkelt zone opsat en række alarmgrænser således det er let og overskueligt at få et overblik over, om den enkelte zone overskrider de fastsatte kriterier.

KeyZones Distribution er opstillet for SFV, og der er etableret zoner for hele forsyningsområdet samlet, for hovedzonerne Gram, Stilling og Fredensborg Zone A og B, samt for en række sektionszoner i hovedzonerne.

Eksempler på de beregnede nøgletal ses i Figur 3-4 og Figur 3-5. Figur 3-4 giver et overblik over samtlige zoner i forsyningen, mens Figur 3-5 giver et specifikt overblik over den daglige udvikling af de enkelte parametre for én zone.



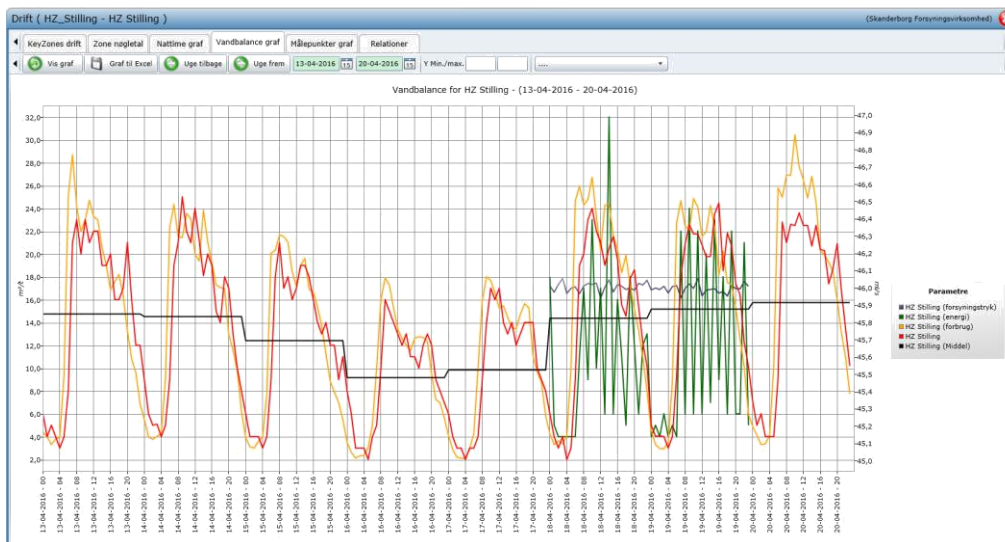
Figur 3-4: Zone overblik i KeyZones Distribution, hvor farvekoder indikerer om den enkelte zone overholder alarmgrænserne på den pågældende dag.



Figur 3-5: Nøgletal i KeyZones Distribution, hvor farvekoder indikerer om den enkelte zone overholder alarmgrænserne på den pågældende dag.

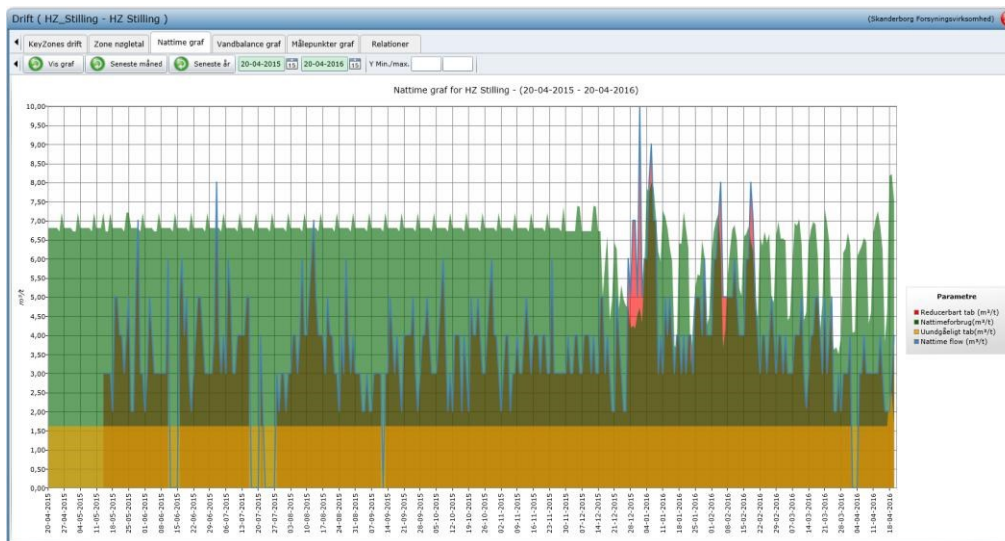
KeyZones Distribution modtager desuden data fra Kamstrup Server, som indeholder forbrugsdata fra fjernafmålte målere. Der genereres dagligt vandbalancegrafer for hver enkelt zone på baggrund af de data, der er knyttet til zonen, se Figur 3-6. Det er således muligt at se udviklingen i tryk, energi, forbrug og flow på timebasis i en given periode. KeyZones Distribution er udvidet til at integrere og udnytte data fra fjernafmålte målere. De fjernafmålte målinger anvendes i en "Golden Sample" teknik til at estimere døgnvariationen af forbruget for forskellige typeforbrugere – parcelhus, lejlighed, industri etc. Ud fra forbrugersammensætningen i de enkelte zoner estimeres det samlede forbrug. Estimatet har nu en langt bedre kvalitet end tidligere, hvor de baserede sig på årsforbrug, og de er nu muligt over hele døgnet at give kvalificerede bud på vandbalancer og lækagetab.

"Golden sample" teknikken og typeforbrugere udnyttes desuden til at estimere prognoser for forbruget de kommende døgn. Disse indgår i optimeringen af driften ved at indgå i estimater for vandbalancen på vandværkerne under forskellige indvindingsstrategier. Herved kan de mest optimale indvindingsstrategier identificeres, som tilgodeser tilstrækkelige vandreserver på vandværkerne.



Figur 3-6: Vandbalancegraf, der viser forsyningstryk, energi, estimeret forbrug og flow i en zone.

Vandforbruget er lavest om natten og dermed velegnet til undersøgelse for lækager ud fra forbrug og flow i nattimerne. Nattime graf giver et overblik over, det uundgåelige tab i zonen, det mål-te/beregne forbrug i nattimerne samt nattime flowet den pågældende dag. På baggrund af dette visualiseres det reducerbare tab i zonen, se Figur 3-7. Efter integrationen af fjernaflæste målere bliver forbruget bedre estimeret og dermed påpeges lækager mere præcist, se sidste halvdel af graferne i Figur 3-7.



Figur 3-7: Nattimegraf, der viser uundgåeligt tab, nattimeforbrug, nattimeflow og redu-cerbart tab.

3.4 Aktivitet 2.4 Oplæring af personale hos SFV

Introduktion til DIMS.CORE softwarepakken er givet til SFV med en generel information om-kring dataflow, opsætning, mm. til udvalgte medarbejdere. Generel dokumentation er overleveret til SFV.

KeyZones softwarepakken er leveret til SFV, hvis medarbejdere kan tilgå det fra PC'er med internetforbindelse via følgende link: <http://portal.enviweb.dk>

For SFVs drifts- og planlægningsmedarbejdere er der afholdt kursus i daglig brug af KeyZones, dvs. i KeyZones Distribution, KeyZones Kildeplads og KeyZones Energy. For udvalgte medarbejdere er der desuden sket oplæring i konfigurationen og opsætningen. Der er udfærdiget dokumentation af opsætningerne, og disse er overleveret til SFVs medarbejdere.

4. Arbejdspakke 3: Udvikling af optimeringsmodul

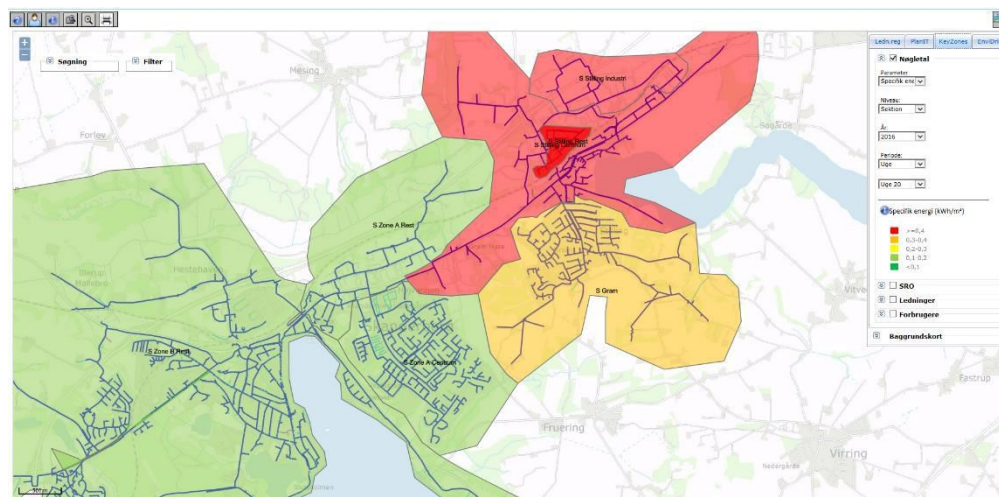
4.1 Aktivitet 3.1 Udvikling af KeyZones Energy

Med udgangspunkt i KeyZones, nu KeyZones Distribution, er der i projektet udviklet KeyZones Energy. KeyZones Energy integrerer energiforbrug i alle led af drikkevandsproduktionen fra boring til forbruger, og beregner specifikt energiforbrug som udstilles som grafer og kort.

I lighed med vandbalancer registreres og opgøres energiforbrug i de samme zoner (balancezoner), som der laves vandbalancer for. Zonerne er niveauopdelte i superzoner, hovedzoner, sektioner og kvartergrænser. Sektioner og kvarterer kobles direkte til GIS-zoner, hovedzoner består af sektioner, der ligger i samme trykzone, og superzoner består af hovedzoner i et større område (fx en by eller forsyningsområde). Der kan kobles flere GIS-zoner til en balancezone, men det er vigtigt at hver GIS-zone kun kobles til én balancezone.

Tilsvarende laves der GIS-zoner for kildepladser og vandværker, som kobles til de respektive balancezoner for kildepladser og vandværker.

For hver enkelt balancezone angives, hvilke SRO-tags der anvendes som tilgang/ afgang i zonen, samt energiforbrug. Herved beregnes den specifikke energi, som tilknyttes hver m³ vand i zonen. Ved at sammenkæde de enkelte balancezoner svarende til produktionslinjerne er det muligt at følge den akkumulerede energi, og dermed skabe overblik over den specifikke energi der er tilknyttet drikkevandet hos forbrugerne – og det vil så dække den energi, der er tilført råvandet fra magasin til vandværk, den energi der er tilført ved behandling af vandet på vandværket, og den energi der er tilført for at distribuere vandet fra vandværk og til forbruger. Den specifikke energi, totalt, kan for distributionsnettet præsenteres.



Figur 4-1: Temakort med specifik energi på sektioner i SFVs forsyningsområde.

4.2 Aktivitet 3.2 Udvikling af MIKE Optimize

Den samlede optimerede styring gør brug af et antal eksisterende moduler i DIMS.CORE, der sættes sammen til det specifikke formål og køres i i sammenhæng med KeyZones beregninger.

De væsentligste elementer er:

- Data opsamling fra SRO til DIMS.CORE, hvor målinger af tryk, flow og elforbrug løbende overføres løbende i realtid.
- Omregning af udvalgte tidsserier i DIMS.CORE – fex. Beregning af tidsserier med energiforbrug pr time ud fra de målte elforbrug der ligger som tællere med summeret forbrug
- Overførsel af udvalgte data fra DIMS.CORE til Keyzones – fex. Aktuelle ydelser mm for de enkelte borer og samlet indvinding og udpumpning på de enkelte værker mm
- Beregning i Keyzones af en række nøgletal og KPI'er mm samt optimerede pumpe kombinationer for forskellige indvindinger
- Overførsel af udvalgte data fra Keyzones til DIMS.CORE – fex. Prognoser for forbruget i det kommende døgn, sammentælling af indvinding ifht indvindingstilladelserne samt tabel med de optimale pumpekombinationer for en række forskellige samlede indvindinger
- Beregning af setpunkter for den aktuelle styring med optimerings algoritmen i DIMS.CORE, - herunder setpunkter for hvilke borer der skal indvindes fra hvornår og hvor meget, samt det optimale tryk i udpumpningen der sikrer foryningen ud til de enkelte forbrugere med brug af mindst mulig energi

For alle de nævnte elementer gælder at alle relevante resultater opsamles i tidsseier, således at man altid kan gå tilbage og se hvad der er sket.

4.3 Aktivitet 3.3 Udvikling af optimeringsstrategi

Optimeringsstrategien omfatter vandets vej fra boring til forbrugeren.

Der har været foretaget en række analyser med modellering af de forskellige dele og sam-menhængen imellem disse.

Udgangspunktet har været at anvende de eksisterende og anvendte principper for hvad der kan styres og hvilke setpunkter der kan justeres på – kun frekvensen for indvindingsboringerne i Fredensborg er tilføjet. Formålet med at holde fast i de eksisterende strukturer er at gøre det så forståeligt som muligt for alle, hvordan den optimerede styring fungerer – tilliden til systemet er essentiel, og det er vigtigt at driftspersonalet er trygge ved, hvordan systemet fungerer og let kan overskue om de givne setpunkter på den ene eller anden måde er uhen-sigtsmæssige, så de i givet fald kan være opmærksomme på om de ultimativt skal slå den automatiske styring fra.

Disse bindinger betyder, at der potentielt er mulige optimeringer der ikke kan realiseres, men hensynet til driftens stabilitet og forsyningssikkerheden er vigtigere end at vinde de sidste få procent, der måtte kunne hentes. Det eksisterende system er samtidig tilpas fleksibelt til, at der absolut har været noget at arbejde med, så i praksis har det ikke været en begrænsende faktor.

Optimeringsstrategien implementeres således, at alle setpunkter beregnes og skrives til SRO én gang i timen, mens den underliggende beregning af prognoser for vandforbruget og optimering af boringsydelser for forskellige ydelser beregnes og overføres én gang i døgnet.

I det følgende er optimeringen af de forskellige dele af systemet beskrevet.

Overordnet sammenhæng mellem de tre værker

De tre værker i området producerer vand til hver sin zone og leverer vandet med et tryk på hhv 56m, 46m og 32m. Der er med den opstillede EPANET model foretaget et antal analyser af mulig sammenkobling af to eller alle tre zoner, idet man kan forestille sig et antal situationer, hvor dette vil være formålstjenligt. Der er pga. kote- og trykforholdene dog ikke umiddelbart

udsigt til, at dette skulle være en fordel i relation til energioptimering i det nuværende system, og optimeringen er derfor sat op til at optimere de tre zoner uafhængigt af hinanden.

Hvis der i en periode af anden grund ønskes en sammenkobling kan den samlede styring imidlertid omstilles til dette ved at lade dette afspejles i prognoserne for det kommende døgn for-brug i hver af de tre zoner.

Vandbalance omkring rentvandsbeholderen

For alle tre værker gælder, at den nuværende styring kun udnytter en relativt lille del af volumi-net i de respektive rentvandsbeholdere. Dette er primært af hensyn til, at man til enhver tid vil have mest muligt i reserve, men det er samtidig også erkendt, at det reelt kan medføre problemer med at vandet i dele af rentvandsbeholderen har en meget lang opholdstid.

Niveauet i rentvandsbeholderen påvirkes til enhver tid af den samlede indvinding samt af det aktuelle forbrug – og det sidste kan vi ikke styre. I forbindelse med styringen er det derfor alene indpumpningen, der er bestemmende for systemets samlede dynamik. Ved kun at bruge en relativt lille del af voluminet øverst i beholderen vil indpumpningen i store træk tvinges til at følge det aktuelle forbrug, der pumpes ud af beholderen. Det betyder, at der i dagtimerne pumpes relativt intensivt, mens der i nattimerne pumpes relativt lidt.

I relation til den tilgængelige reserve er det naturligvis i dagtimerne, hvor forbruget er størst, at reservebehovet vil være størst, mens reserven ikke behøver være lige så stor om natten. Der er derfor i samarbejde med Skanderborg foretaget en vurdering af, hvad det mindste tilladte volumen i rentvandsbeholderen skal være ah hensyn til evt. brand- og forsyningsikkerhed. Herefter kan styringen optimeres på en sådan måde, at beholderen tømmes ned til dette minimumsniveau i løbet af dagen således, at det laveste niveau nås sidst på aftenen. Derefter påbegyndes en gradvis opfyldning frem mod morgenen, hvorved beholderen er fyldt maksimalt, når forbruget stiger om morgenen.

Dermed opnås at reserven er størst i de perioder hvor forbruget og dermed behovet potentielt er størst – og omvendt mindst når forbruget er lavt. Samtidig opnås at løftehøjden for afgangspumperne ikke øges væsentligt i den del af døgnet, hvor der skal pumpes mest ligesom risikoen for lang opholdstid på vandet i dele af beholderen mindskes. Endelig betyder denne omlægning af vandbalancen henover døgnet, at der pumpes mere om natten end tidligere og tilsvarende mindre om dagen end tidligere. Energiprisen varierer i dag ikke over døgnet, men ikke desto mindre vil det alt andet lige være positivt for elproduktionen, at foretage denne omfor-deling.

Indvinding fra borer til rentvandsbeholder

På indvindingssiden har fokus primært været på Fredensborg vandværk, hvor der i forbindelse med projektet er installeret frekvens omformere på pumperne fra de enkelte borer til rentvandsbeholderen – for de to andre værker er der reelt ikke mulighed for at forbedre væsentligt på styringen af indvindingen.

I **Fredensborg** er der 5 borer – alle er blevet udstyret med frekvensomformere i forbindelse med projektet. Det vil give problemer hvis de alle kører på max på én gang, og hidtil har der derfor været en praksis omkring ikke at lade de to største pumper – boring 2 og 5 – køre samtidig. Dette er imidlertid ikke et problem mere, så længe der er droslet ned på frekvensen. Begrænsningen på det samlede flow, der ikke må overstige 220-240 m³/t, findes naturligvis stadig.

Den mængde, der ønskes indvundet, optimeres i forhold til det aktuelle niveau i rentvandsbeholderen og det forventede forbrug i de kommende timer. Med udgangspunkt i dette findes den kombination af de 5 borer, der giver det ønskede flow med mindst muligt energiforbrug, og

det er frekvenserne for denne kombination, der derefter anvendes.

Denne optimering foretages en gang i timen for hele tiden at sikre, at der kan kompenseres for usikkerheder i prognosen og de faktiske pumpeydelse mm.

I praksis vil ovenstående metodik formentlig betyde, at alle pumper kommer i drift i løbet af ugen. For at sikre det er der imidlertid indlagt 2 timer torsdag formiddag hver uge, hvor alle pumperne kommer i anvendelse – dels en time hvor pumperne 3, 5 og 6 kører og derefter en time med pumperne 2 og 4. For alle pumpernes vedkommende gælder at de kører med en frekvens på 70% af maks. Det betyder i de fleste tilfælde, at der indvindes lidt mere i disse timer end der ellers ville blive, men det har ingen betydning for den overordnede funktion af den optimerede styring.

I **Stilling** er der 3 borer, der ud fra et hydraulisk hensyn godt kunne kombineres på forskellig måde for derved at optimere på energiforbruget. Det er imidlertid vedtaget fra SKF's side, at de pt altid skal køre samtidig alle tre, for at sikre blandingsforholdet mellem de tre borer fastholdes. Principielt kunne i hvert tilfælde én af de øvrige borer godt anvendes alene, men for ikke at risikere at ændre på blandingsforholdet i rentvandsbeholderen er det fastholdt, at de tre pumper altid starter og stopper samtidig. Dermed er der kun mulighed for at justere på hvilke niveauer der skal overholdes i rentvandsbeholderen.

I **Gram** er der kun to borer, og begge pumper er hver især rigeligt store – og faktisk så store at de aldrig må køre samtidig da dette vil overbelaste selve tilløbet til rentvandsbeholderen. Der er ikke frekvensomformer på disse pumper, så det eneste der kan gøres der er at vælge hvilken pumpe, der skal køre, samt justere på min- og max-niveauer i rentvandsbeholderen. Der er derfor indlagt en fast strategi for disse pumper, således at den ene anvendes 3 dage om ugen og den anden i de øvrige 4 dage. Dermed sikres at begge pumper "motioneres" jævnlige og eventuelle problemer kan opdages i tide. På nederste styringstrin (8), hvor mini-mumsniveauet i rentvandsbeholderen er nået, skiftes også altid til den anden pumpe. Dette trin vil i praksis aldrig blive nået, da pumperne sagtens kan følge med, men det sikrer, at beholderen ikke løber tør, hvis der er noget fysisk galt med den aktive pumpe, der af en eller anden grund ikke er fanget af overvågningen, således at niveauet kommer så langt ned, at styringen skifter til trin 8. Det forventes således ikke, at blive relevant at anvende dette trin i styringen, men det er en (lille) extra sikkerhed i forhold til den tidligere praksis.

Udpumpning fra rentvandsbeholder til distributionsnettet

På udpumpningssiden kan der ikke justeres så meget på, hvornår der skal pumpes. For alle tre zoner viser modellen, at der kun er en meget beskeden forskel på trykket henover døgnet. Dette skyldes formentlig at ledningsnettet har rigelig kapacitet i forhold til forbruget, og dermed er det meget begrænset, hvor meget der kan vindes ved at sænke trykket om natten, hvor tryktabet i systemet er mindst, og der dermed kan opnå tilstrækkeligt tryk hos den enkelte forbruger, selvom afgangstrykket sænkes. Der er i forbindelse med projektet foretaget en minimal sænkning baseret på prognoserne for forbruget i det kommende døgn for at vise, at dette er muligt i praksis, og dette kan senere forbedres ved at se på de aktuelle flow samt målinger af tryk i de kritiske punkter i systemet – sidstnævnte informationer er ikke til stede i dag.

4.4 Aktivitet 3.4 Tilvejebringelse af data og udviklingskoordinering

SFV har stillet de nødvendige data fra og reguleringsmuligheder i SRO systemet til rådighed for projektet. Desuden har der i projektet pågået en væsentlig koordinering med at få data fra og ikke mindst til SRO systemet.

5. Arbejdspakke 4: Monitering og styrbarhed på kildepladser og vandværker

Optimering af indvindingen på kildepladserne kræver, at der er målinger og styrbarhed på vandværkets borer. Skanderborg Forsyning har tidligere etableret indsamling af vandspejls-fluktuationer i samtlige borer.

5.1 Aktivitet 4.1 Frekvensstyring

Optimeringen af indvindingen mellem de enkelte borer på kildepladsen, har været i fokus på kildepladsen ved Fredensborgværket, hvor der er tilknyttet 5 borer. Der er derfor på denne kildeplads etableret frekvensstyring på alle 5 råvandspumper, således at indvindingen (flowet) kan reguleres via SRO-anlægget for den enkelte boring.

5.2 Aktivitet 4.2 Flowmåler

I forbindelse med nærværende projekt, er der etableret dataindsamling af tryk, flow, og energi-forbrug i samtlige borer på kildepladserne tilknyttet Gramværket, Stillingværket og Fredensborgværket. Der er i alt opsat 9 stk. tryk-, flow og energimåler.

5.3 Aktivitet 4.3 Separate elmålere

I alle borer på kildepladserne tilknyttet Gramværket, Stillingværket og Fredensborgværket er der, udover selve instrumenteringen, etableret tilstrækkelige el-installationer og trådning for at kunne opkoble alle realtidsmålinger og frekvensstyring til Skanderborg Forsynings SRO anlæg.

6. Arbejdspakke 5: Monitering og styrbarhed på distributionsanlægget

Skanderborg Forsyning har i nærværende projekt forestået etableringen af 6 sektioneringsstationer på vandforsynings distributionsanlæg, hvorfra det er muligt at indsamle reeltidsmålinger samt foretage styring på udvalgte steder.

Der blev ved opstart af projektet igangsat undersøgelser i forhold til optimal placering af stationerne, instrumentering og styrbarhed, samt hvordan stationer fremtidssikres for fremtidige instrumentering på distributionsanlægget.

I forhold til placering af stationerne blev der arbejdet med den geografiske placering i forhold til ledningsnettets udformning, arealanvendelse, ejerforhold og sektioneringsafgrænsning. Derudover blev der også arbejdet med den vertikale placering, da det som udgangspunkt er Skanderborg Forsynings ønske, at have overjordiske stationer. Argumentet for dette er bedre tilgængelighed og arbejdsmiljø, men også bedre muligheder for test og etablering af fremtidig udstyr. Der blev derfor udviklet 2 standard løsninger, en overjordisk sektionsstation samt en underjordisk sektionsstation i en brøndløsning. Brøndløsningen benyttes, hvor ledningsnettet og arealanvendelsen i området ikke tillader en overjordisk løsning.

I forhold til valg af instrumentering i sektioneringsstationerne, var der instrumenter som var et must for at leve op til kriterierne i projektformålet omkring optimering på trykforhold og vand-tab, hvorved der i alle stationer blev etableret:

- Flowmåler
- Tryktransducer

I forhold til overvågning og fremadrettet forbedring af vandkvaliteten samt for at reducere forureningsspredning, blev der ligeledes i alle stationer etableret:

- Ledningsevne måler
- Temperaturmåler
- Prøvetagningshane
- Kontraventil

I udvalgte sektioner blev der etableret motorventil. Til sektioner, hvor der er mere end 1 indgang, er der i en af sektionsstationerne etableret motorventil, således det er muligt, at foretage automatisk lukning til en indgang, f.eks. i forbindelse med natforbrug. Argumentet for dette er, at et lavt flow til en sektion dermed kan samles til en indgang, hvorved der skabes bedre forudsætninger for nøjagtige flowmålinger, ligeledes reduceres muligheden for stagnerende vand mellem stationerne inden i sektionen. I stationen, som er etableret på transmissionsledningen mellem Zone A, som normalt er forsynet fra Fredensborg Værket, og forsyningsområdet Stilling, er der også etableret en motorventil, hvorved der er skabt mulighed for automatisk styring af forsyning mellem de to forsyningsområder.

Et tiltag for at fremtidssikre målestationerne har været, at afsættes minimum 0,5 m rørstrækning i stationerne til fremtidigt instrumentering, analyseudstyr eller evt. test, hvilket der allerede er vist stor interesse for fra flere virksomheder.

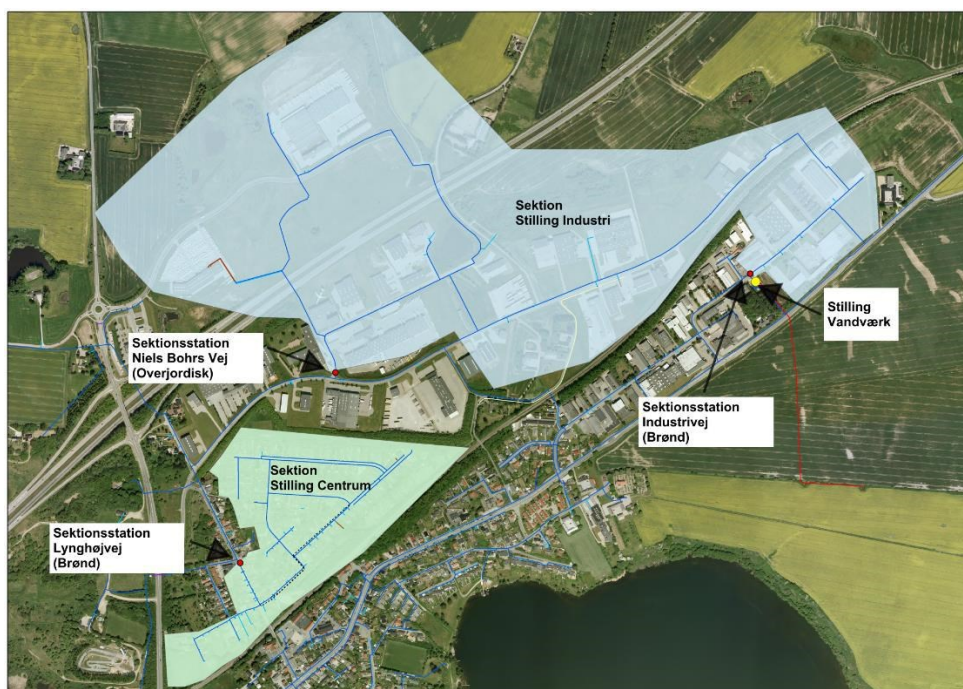
Endelig blev der i alle stationer etableret tilstrækkelig el-installation og trådning for at kunne opkoble alle instrumenter og alarmer til Skanderborg Forsynings SRO anlæg. Derudover blev der, som en ekstra bidrag til projekt, ligeledes afprøvet og installeret et Kamstrup sendermodul på flowmålerne, således at flowmålinger via en Gateway/radiosignal sendes til samme datasy-stem, som forbrugerdata også opsamles i.

Det er i forbindelse med nærværende projekt etableret 6 stk. stationer, hhv. 5 stk. sektionsstationer, som har dannet sektionerne Stilling Centrum, Stilling Industri og Højvangen, samt 1 stk. måle/styringsstation på Grønnedalsvej, som er placeret på transmissionsledningen mellem Zone A og Stilling.

6.1 Aktivitet 5.1 Sektionering Stilling Centrum

Sektionen Stilling Centrum blev dannet ved etablering af en sektionsstation på Lynghøjvej i Stilling. Forbrugertypen indenfor sektionen er hovedsagligt parcelhuse.

Da det var nødvendigt at placere stationen på Lynghøjvej i vejbanen, blev der benyttet en brøndløsning til stationen. Med undtagelse af motorventil, er brønden instrumenteret som beskrevet indledningsvis i afsnittet. Placering af sektionsstationen og sektionsudbredelsen ses på Figur 6-1.



Figur 6-1 Placering af sektionsstationerne og sektionsudbredelse i Stilling

6.2 Aktivitet 5.2 Sektionering Stilling Industri

Sektionen Stilling Industri blev dannet ved etablering af to sektionsstationer, hhv. på Industri-vej og Niels Bohrs Vej i Stilling. Forbrugertypen indenfor sektionen er hovedsageligt erhverv, såsom industri og kontor. Det var nødvendigt at placere stationen på Industrivej i fortovsareal, og den blev derfor udført som en brøndløsning, mens det var muligt at udføre stationen på Niels Bohrs Vej som en overjordisk station. Begge stationer blev instrumenteret som beskrevet indledningsvis i afsnittet. Motorventil, og mulighed for automatisk lukning f.eks. om natten ved lavt forbrug, blev etableret i stationen på Niels Bohrs Vej. Lukning til kun én indgang ind til sektionen kan for denne sektion også komme i spil i f.eks. weekender og ferier, da forbruget i disse perioder også er lavt, idet forbrugertypen domineres af industri i denne sektion. Place-

ring af sektionstationerne og sektionsubbredelsen ses på **Error! Reference source not found.**

6.3 Aktivitet 5.3 Sektionering Højvangen

Sektionen Højvangen blev dannet ved etablering af to sektionstationer, hhv. på vejen Højvangen og ved Bystien i Skanderborg. Forbrugertypen indenfor sektionen er hovedsagligt parcel-huse, men der ligger også lejlighedskomplekser og skoler i områder. Begge stationer var multi-ge at udføre som overjordiske stationer, og begge stationer blev indrettet med instrumenteret som beskrevet indledningsvis. Motorventil, og mulighed for automatisk lukning f.eks. om natten ved lavt forbrug, blev etableret i stationen på Højvangen. Geografisk placering af sektionstationerne og sektionsubbredelsen ses på Figur 6-2.



Figur 6-2 Geografisk placering af sektionstationerne og sektionsubbredelse af Sektion Højvangen, samt placering af måle- og styringsstation på Grønnedalsvej.

6.4 Aktivitet 5.3 Station Grønnedalsvej

Forsyningsområdet Zone A, som normalt er forsynet fra Fredensborg Værket, og forsyningsområdet Stilling er forbundet med en transmissionsledning langs bl.a. Grønnedalsvej. Ledningen har som udgangspunkt fungeret som en nødforbindelse mellem de to områder. For at åbne for denne forbindelse, har det tidligere krævet en manuel åbning af en ventil, ligeledes har der ikke været målinger af vandmængden som blev pumpet på tværs af forsyningsområderne. I dette projekt er der etableret en overjordisk måle- og styringsstation på transmissionsledningen på Grønnedalsvej. Stationen er ikke, som de andre stationer, instrumenteret med en kontraventil. Dette skyldes, at vandet i denne ledning skal kunne løbe i begge retninger, hvilket også har betydet, at der er etableret indsamling af flowmålinger for begge retninger. Stationen er derud-over også installeret med tryktransducer, ledningsevne måler, temperaturmåler, prøvetagnings-hane samt en motorventil, hvorved der er skabt mulighed for automatisk styring af forsyning mellem de to forsyningsområder. Den geografiske placering af stationen ses på Figur 6-2.

7. Arbejdspakke 6: Etablering af realtids dataoverførsel hos 100-200 forbrugere

7.1 Aktivitet 6.1 Levering af udstyr til fjernaflæsning af forbrug

Udgangspunktet for projektet var, at etablere datahjemtagning fra udvalgte forbrugere under Skanderborg Forsyningsvirksomhed via selvstændige enheder på 100-200 forbrugere. Enhederne; Multi Utility Controllers (MUC) kræver både strømforsyning, opkobling på GSM nettet samt opsætning af nøgler til dekryptering af data hos hver af de i alt 100-200 forbrugere, der var målet i dette projekt.

Løsningen med MUCs stiller således krav til den enkelte forbruger, og vil dermed ikke kunne undgå som den fremtidige strategi for fjernaflæsning hos Skanderborg Forsyningsvirksomhed.

Som alternativt til levering af 100-200 MUCs er det i stedet valgt at Kamstrup leverer 10 stk. koncentratorer med tilhørende antenner. Dette sikrer dels at den implementerede datahjemtagning muliggør at hente data fra et langt højere antal forbrugere, men også, at det implementerede udstyr kan anvendes til fremtidig datahjemtagning i forsyningen.

7.2 Aktivitet 6.2 Montering af udstyr til fjernaflæsning af forbrug

Skanderborg Forsyningsvirksomhed har fået leveret 10 koncentratorer samt et antal repeaters og eksterne antenner. Kamstrup har udført et indledende studie, der synliggør hvor antenne sites forventes placeret for at opnå den bedste dækning.

Forsyningen har stået for den endelige placering af antennesites og installation.

Der hjemtages timedata fra ca. 1500 fjernaflæste vandmålere. Den valgte hjemtagningsmetode giver således langt flere data end først antaget, og dermed er der mulighed for at kvalificere udpegningen af de såkaldte golden samples med data fra ca. 25% af det samlede antal forbrugere under Skanderborg Forsyningsvirksomhed.

Data lagres i READy Manager, der er Kamstrups Meter Data Management software. Via READy Manager etableres eksport af data til modelberegningerne i KeyZones. Data eksporteres fra READy Manager hver time.

8. Driftserfaringer og optimeringsresultater

8.1 Idriftsættelse

MIKE Optimize blev sat i drift mandag 27/6-2016 kl 14:00 i forbindelse med et møde hos Skanderborg Forsyning.

Forud for dette blev der foretaget en række test for at sikre systemets robusthed og – ikke mindst – at tilbagefaldsstyringen fungerede efter hensigten. I ugerne frem mod idriftsættelse blev systemet kørt som en del af driftsystemet med direkte adgang til alle måledata mm, således at alle setpunkter kunne beregnes fuldstændig som hvis systemet faktisk var i drift. Det eneste der var slået fra var selve skrivningen af setpunkter til SRO systemet, og dermed kunne man selvfølgelig heller ikke se systemets reaktion på styringen. Det gav til gengæld en lang række gode test af optimeringens robusthed i en række realistiske situationer. Disse test gav ikke anledning til væsentlige problemer, men medførte naturligt mulighed for at foretage forskellige justeringer i konfigurationen af det specifikke system.

Selve idriftsættelsen skete i forbindelse med et møde hvor DHI og forsyningen var til stede – herunder den vagthavende fra driften. I forbindelse med idriftsættelsen blev skrivningen af setpunkter slået til, og det blev konstateret, at driftssystemet fik overført alle setpunkter på de forventede steder og således reagerede som forventet på de ændrede værdier.

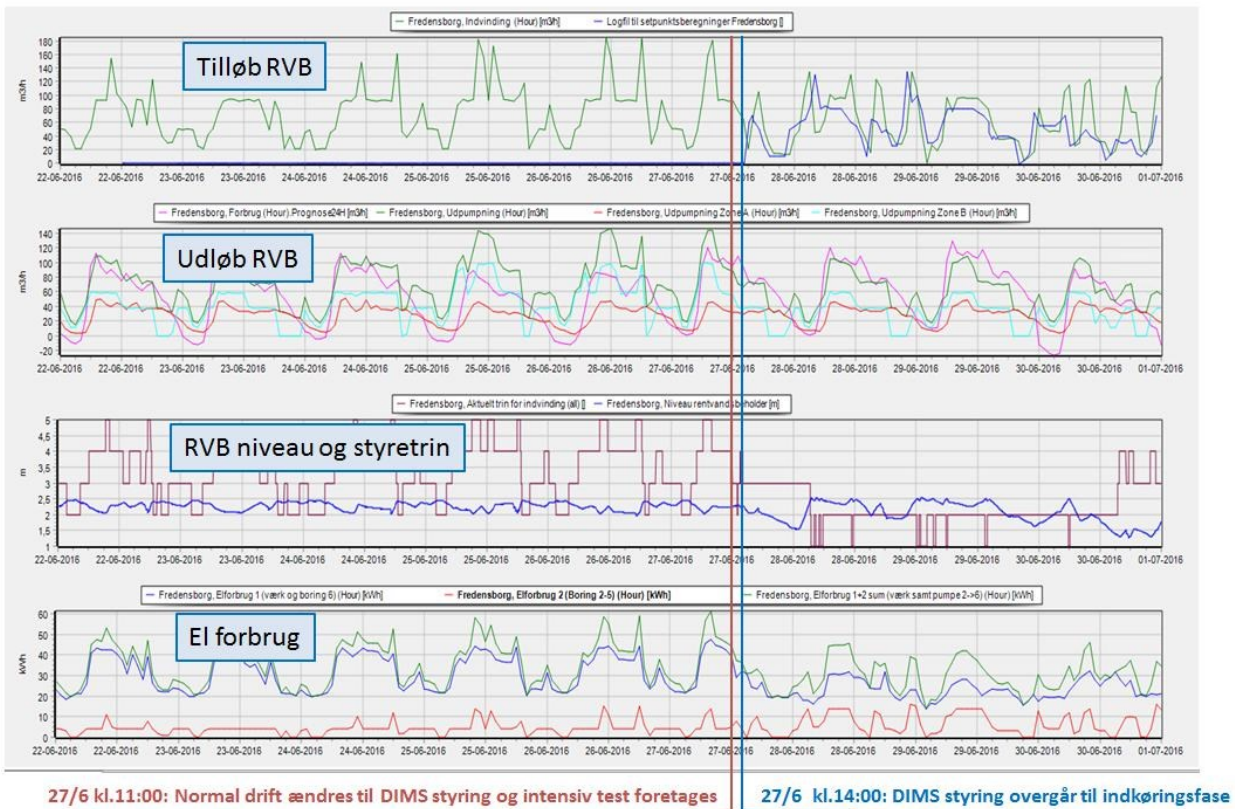
Herefter blev optimeringen ved manuelle indgreb påtvunget en række fejl, der hver især som ventet udløste forskellige fejlsituationer og -meddelelser herunder, at DIMS-styringen automatisk blev sat ud af kraft således, at systemet kørte videre med normal drift som anvendt indtil idriftsættelsen (tilbagefaldsstyringen). Med få og ubetydelige undtagelser fungerede alt upåklageligt, og Skanderborg Forsyning besluttede derefter at lade systemet køre i drift.

8.2 Indkøringsfase

Efter selve idriftsættelsen vil der altid være behov for en vis indkøringsfase, hvor praktiske erfaringer med styringen kan betyde at denne justeres samtidig med at selve dataflowet i den aktuelle implementering gennemgås kritisk, så der kan indføres korrektioner og/eller fejl tjek alle relevante steder for at sikre driftens stabilitet.

Efter et par dage kunne det konstateres at de grundlæggende procedurer i styringen fungerede efter hensigten, men at der var visse u hensigtsmæssigheder der betød at den ønskede styring ikke slog helt igennem, og at der i store dele af tiden blev pumpet mere vand til rentvandsbeholderen end det ønskede. En del af forklaringen var at den faktiske sammenhæng mellem setpunkterne for de frekvensstyrede pumper og den resulterende ydelse ikke havde kunnet testes eftersom pumperne frem til idriftsættelse kun havde kørt med enten 0 eller 100% som setpunkt – svarende til den tidligere normale styring, hvor pumperne ikke havde monteret frekvensstyring, og derfor kun kunne køre med fuld kapacitet eller være slukkede.

Figur 8-1 Målinger for Fredensborg Vandværk i perioden 22-30 juni 2016. De første 5½ døgn er med normalstyring og de



sidste 3½ døgn er første del af indkøringsfasen med DIMS styring. 25-26/6 er en weekend, hvilket ses mest tydeligt på variationen i udløbet.

Der blev derfor foretaget et antal justeringer i konfigurationen af systemet med henblik på at opnå den ønskede styring. Justeringerne blev med overlæg foretaget af et par omgange, for at sikre den fulde forståelse af de enkelte justeringer. Som beskrevet i forbindelse med projektets opstart er det essentielt, at styringen er gennemskuelig og forståelig for alle involverede parter, så selvom det kan være fristende at tage mange og større skridt samtidig, vil det af hensyn til forståelsen og forankringen af systemet være vigtigt, at der ikke ændres for meget på én gang.

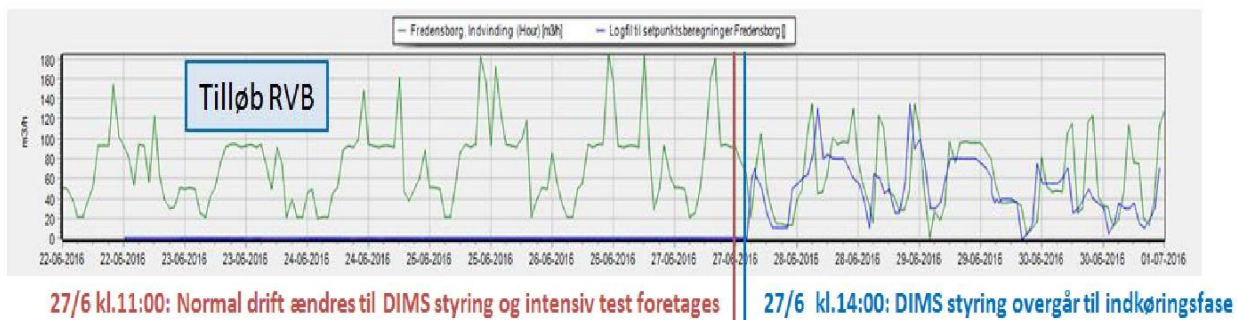
Indkøringsfasen er ved projektets afslutning stadig i gang, men alle er enige om at de foreløbige resultater ser meget lovende ud, og indkøringen fortsætter således efter indeværende projekts afslutning med henblik på at få systemet i egentlig drift.

8.3 Ændringer i vandbalancen

Ændringerne i styringen har betydet en væsentlig ændring i systemets dynamik og vandbalancen henover døgnet er således ændret markant.

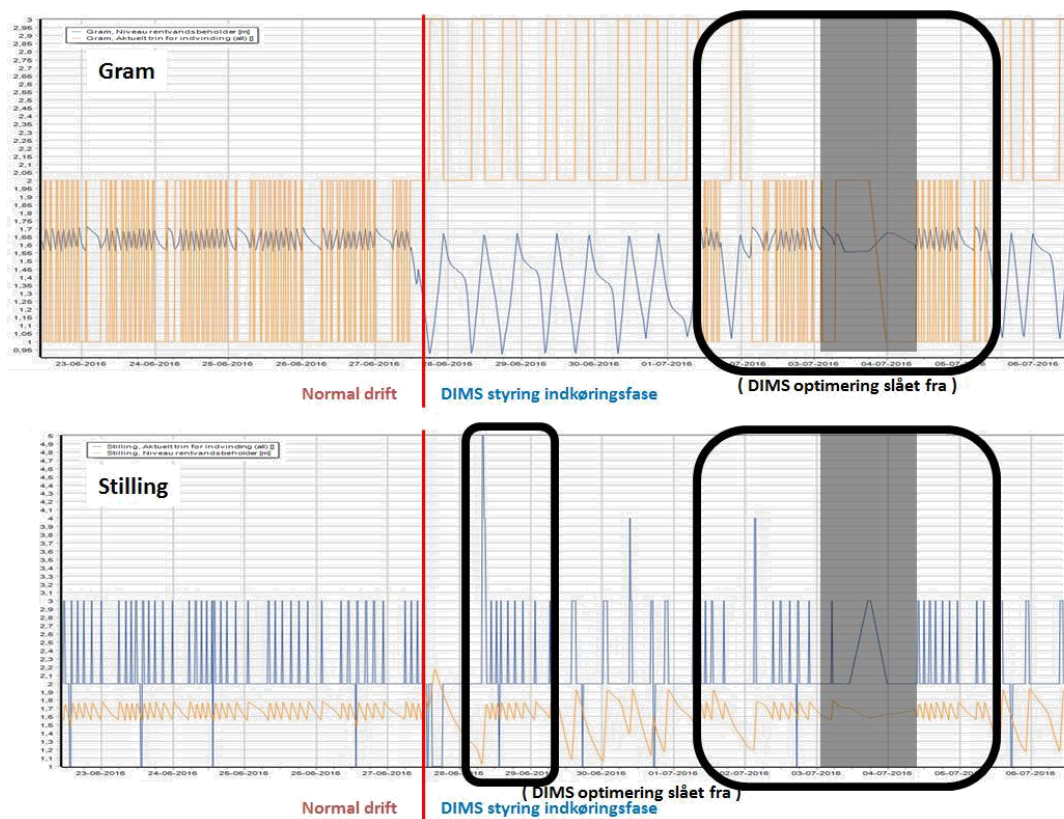
På værket i **Fredensborg** er den primære ændring, at indvindingen overgår fra en trinvis styring hvor en eller flere pum-per tændes/slukkes når givne niveauer i rentvandsbeholderen nås til en mere gradvis styring af indvindings flowet. Effekten af dette er, at der ikke optræder nær så høje peaks for indvindingsflowet, - under normal drift var det ikke ualmindeligt med flow op til 180-200 m³/h – under DIMS styringen er der endnu ikke set flows over 120 m³/h. Endvidere

optræder de minimale flow i kortere perioder. Med andre ord er indvindingen mere jævn henover døgnet. Der optræder i den indledende fase af indkøringen fortsat nogle relativt skarpe peaks med indvindingsflow væsentligt højere end setpunkterne, hvilket skyldes, at der i praksis styres direkte på frekvensen for pumpen og sammenhængen mellem denne, og det flow pumpen faktisk giver, er ikke kalibreret på plads. Dette gælder specielt boring 5 (og 2) der tilsyneladende giver væsentligt mere vand end forventet ved beregning af frekvensen til setpunktet. Når der er samlet flere erfaringer med sammenhængen kan der længere fremme i indkøringsfasen ske en justering af dette og forventes indvindingen derefter at blive udjævnet yderligere.



Figur 8-2 Samlet indvinding til rentvands beholderen i Fredensborg (grøn) samt setpunkterne fra DIMS styringen (blå). Indvindingen udjævnes en del med DIMS styringen, men der optræder høje tilløb på tidspunkter hvor styringen prøver at styre et lavere flow – dette skyldes at der styres på frekvensen af pumpen og at dennes sammenhæng med flowet ikke er kalibreret på plads.

På værkerne i **Stilling** og **Gram** betyder ændringerne i styringen at en væsentligt større del af voluminet i rentvandsbeholderne udnyttes. Da der ikke kan varieres på pumpedydelserne har det ikke givet mening at tilstræbe den langsomme tømning/fyldning henover døgnet som beskrevet i forrige afsnit, så tidspunkterne for pumpe start og stop varierer afhængigt af hvor længe det tager at fylde/tømme med den givne kapacitet.



Figur 8-3 Niveau i rentvands beholderne samt styrings-trin i hhv Gram og Stilling. For begge værker er markeret de perioder hvor den optimerede styring af forskellige årsager har været slået fra i indkøringsfasen.

Ændringen betyder at der er væsentligt færre start og stop af pumperne i løbet af et døgn – for normal styringen startede indpumpningen ca 10-12 gange i døgnet i Gram og ca 8-10 gange i døgnet i Stilling – med den ændrede styring er det nu 2-3 gange i døgnet begge steder. Selve pumpeydelsen er den samme, og effekten bliver således et mere roligt forløb henover døgnet hvor perioderne hvor pumperne er hhv stoppet og kører er ca 5 gange længere.

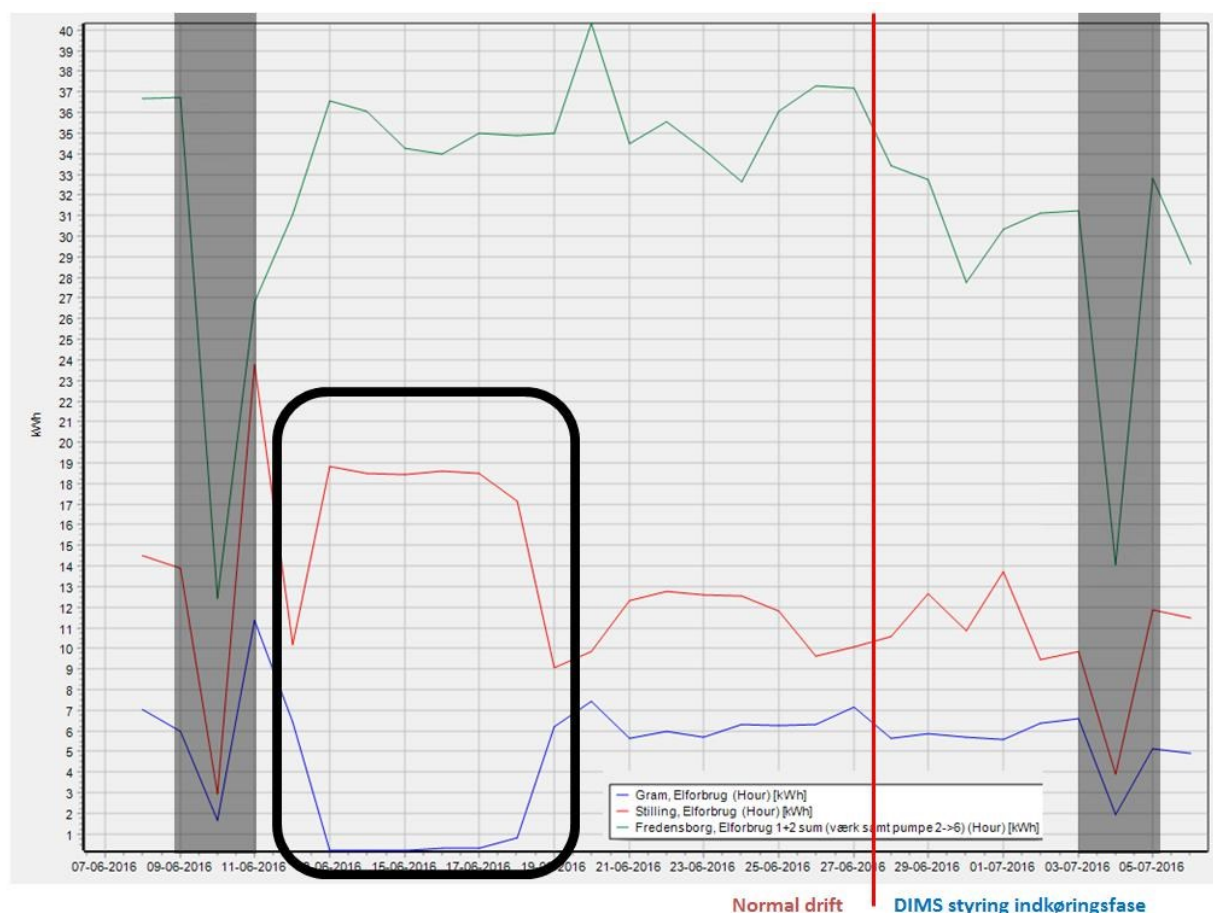
8.4 Energibesparelse

På værket i **Fredensborg** betyder ændringerne i styringen at der spares ca 15% af energiforbruget på værket. Dette er mere end de forventede ca 10%, men tallet skal også tages med et vist forbehold da det kun bygger på erfaringer med styringen i nogle få dage. Der kan således være effekter i begge retninger der ikke er repræsentative i de få dage – men omvendt er styringen stadig under indkøring og derfor ikke fuldt optimeret endnu, så de 15% forekommer at være en sandsynlig besparelse også på længere sigt.

På værkerne i **Stilling** og **Gram** medfører ændringerne i styringen ikke nogen signifikant ændring i elforbruget. Der forventes en lille besparelse på nogle få procent for indvindingen forår-saget af at vandet i gennemsnit får en mindre løftehøjde samt færre opstarter af pumperne.

Førstnævnte forventes delvist opvejet af at udpumpningen skal løfte vandet tilsvarende mere, men disse pumper kører med frekvensstyring og burde derfor være lidt mere effektive.

Der er på det forholdsvis spinkle data grundlag ikke basis for at konkludere hvor stor denne effekt måtte være, men det tyder på at den højst udgør nogle få procent.



Figur 8-3: Energiforbrug for de tre værker. Bemærk at der er dataudfald 10/6 og 4/7, hvor værterne kun dækker en del af forbruget – samt at Gram værket har været taget ud af drift i perioden 12-19/6 hvor området i stedet har fået vand fra Stilling værket.

Udvikling af realtidsstyret driftsoptimering af vandforsyning

Projektet har haft til formål at udvikle et system til energioptimeret og forbrugsstyret vandforsyning fra kildeplads til forbruger. Der er opnået en øget styring af det samlede vandforsyningssystem ved anvendelse af installerede realtidsmålinger i indvinding, på vandværker, i distributionsnettet og hos forbrugere og ved installerede styringsmekanismer. Projektet er afprøvet af Skanderborg Forsyningsvirksomhed.



Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K

www.mst.dk