



Miljø- og  
Fødevareministeriet  
Miljøstyrelsen

# Nye beregningsalgoritmer til spildevandsdrift

MUDP rapport

August 2020

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion: Jakob Hvitnov, ACOWA

ISBN: 978-87-7038-217-5

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

<b>1.</b>	<b>Resume</b>	<b>5</b>
1.1	Sammenfatning	5
1.2	Summary and conclusion	5
<b>2.</b>	<b>Indledning</b>	<b>6</b>
2.1	Baggrund	6
2.2	Formål	7
2.2.1	Uvedkommende vand	7
2.2.2	Svovlbrinte Modul	7
<b>3.</b>	<b>Projektbeskrivelse</b>	<b>9</b>
3.1	Arbejdsplaner	9
3.1.1	Bemærkning om udviklingsprocessen	9
3.1.2	Arbejdsplan 1 - Vidensindsamling	10
3.1.3	Arbejdsplan 2: Udvikling/implementering af nye beregningsmoduler	10
3.1.4	Arbejdsplan 3: Test/Tilpasning af applikation og algoritmer	11
3.2	Succeskriterier	11
3.2.1	Mål for brugeroplevelsen	11
3.2.2	Mål for teknisk funktionalitet	11
3.2.3	Miljø- og ressourcebaserede succeskriterier/mål	12
3.2.4	Erhvervsbaserede succeskriterier/mål	12
<b>4.</b>	<b>Projektførelse</b>	<b>13</b>
4.1	Modul til måling af Uvedkommende Vand	13
4.1.1	Arbejdsplan 1 - Vidensindsamling	13
4.1.1.1	Aktiviteter	13
4.1.1.2	Resultater	13
4.1.2	Arbejdsplan 2: Udvikling/implementering af nye beregningsmoduler	15
4.1.2.1	Aktiviteter	15
4.1.2.2	Resultater	16
4.1.3	Arbejdsplan 3: Test/Tilpasning af applikation og algoritmer	19
4.1.3.1	Aktiviteter	19
4.1.3.2	Resultater	19
4.2	Modul til svovlbrintebekæmpelse (SB-Modul)	22

4.2.1	Arbejdspakke 1 - Vidensindsamling	22
4.2.1.1	Aktiviteter	22
4.2.1.2	Resultater	22
4.2.2	Arbejdspakke 2: Udvikling/implementering af nye beregningsmoduler	25
4.2.2.1	Aktiviteter	25
4.2.2.2	Resultater	25
4.2.3	Arbejdspakke 3: Test/Tilpasning af applikation og algoritmer	27
4.2.3.1	Aktiviteter	27
4.2.3.2	Resultater	27
<b>5.</b>	<b>Sammenfatning og resultater</b>	<b>31</b>
5.1	Arbejdspakke 1 (Vidensindsamling)	31
5.1.1	Uvedkommende Vand Modul	31
5.1.2	Svovlbrinte Modul	31
5.2	Arbejdspakke 2 (Udvikling)	31
5.2.1	Uvedkommende Vand Modul	31
5.2.2	Svovlbrinte modul	32
5.2.3	Andre moduler	32
5.3	Arbejdspakke 3 – test og forbedring	32
5.3.1	Uvedkommende Vand Modul	32
5.3.2	Svovlbrinte modul	32
5.4	Opnåede målsætninger	33
5.4.1	Brugeroplevelsen	33
5.4.2	Mål for teknisk funktionalitet	33
5.4.3	Miljø- og ressourcemæssige succeskriterier/mål	34
5.4.4	Erhvervsmæssige succeskriterier/mål	34
<b>6.</b>	<b>Konklusion</b>	<b>35</b>
<b>7.</b>	<b>Bilag</b>	<b>37</b>
Bilag 1:	Litteraturliste	37
Bilag 2:	Liste over figurer og tabeller	38
Bilag 3:	Deltagende Forsyninger	40

# 1. Resume

## 1.1 Sammenfatning

Gennem iterative udviklingsforløb er der blevet forsøgt en praktisk anvendelse af eksisterende beregningsalgoritmer for flowberegning indenfor en række felter. Mere specifikt uvedkommende vand og svovlbrintebekæmpelse. For begge vedkommende er fortaget integration af resultater i eksisterende SCADA systemer og evaluering af anvendeligheden af disse nye driftsparametre for hhv. drifts- og plan-/projektafdelinger. Samtidig er et supplerende visningsmodul blevet indført.

## 1.2 Summary and conclusion

Through a process of iterative development ACOWA's existing algorithms for flow calculation have been sought put into practical use in areas within waste-water management. Specifically work with unbillable water and challenges with H<sub>2</sub>S gas occurrence. In both cases the basic design philosophy has been one that seeks to provide operations- as well as asset management personnel with clearly distinguishable parameters that are useful in their daily work.

## 2. Indledning

### 2.1 Baggrund

Gennem det seneste tiår er der i spildevandsbranchen, som i verden generelt, sket en udvikling mod, at driftdata indsamles i større og større mængde og detaljegrad. Eksisterende IT-systemer der i første omgang var bygget til Styring, Regulering og Overvågning (SRO-systemer) er blevet udvidet med evnen til at foretage indsamling og visning af data i store mængder og lyder nu oftest navnet SCADA for Supervisory Control and *Data Acquisition*. På nuværende tidspunkt er det ikke ualmindeligt at have data til rådighed ned på pumpe-niveau selv i en relativt lille forsyningsvirksomhed.

Med store datamængder til rådighed er det næste naturlige spørgsmål, hvordan man får disse data til at arbejde for sig. Hvordan man gør dem anvendelige indenfor de mange felter, som spildevandsdrift spænder over – fra den umiddelbare reaktion på en opstået situation i den daglige drift, over beslutninger om hvordan vedligehold af systemets enkelte dele skal organiseres, til de helt overordnede beslutninger omkring ændringer i selve systemets infrastruktur.

Her har tilgangen for mange kommercielle aktører indenfor branchen længe været at søge mod flere og større kilder til data, for således at gøre slutbrugeren i stand til at kombinere viden fra så mange datatyper som muligt. Samtidig har den almindelige tilgang været at opbygge nye grafiske brugerflader til at visning og udvalg af de for brugeren relevante data.

Udgangspunktet for nærværende projekt har været en oplevelse af, at der i den eksisterende dataopsamling allerede findes uudnyttet viden, og at tilføjelsen af flere datakilder ikke altid skaber mere oplysning. Tværtimod kan øgede datamængder virke støjende oveni i de eksisterende data, og udvidelsen med flere datakilder kan føre til mindre oplysning frem for mere. Derfor har tilgangen til løsninger udviklet i projektet været at anvende eksisterende data ud fra tre hovedprincipper:

#### 1. Der anvendes allerede tilgængelige driftsparametre

Grundlaget for beregningerne er allerede indsamlede driftsparametre, der udtrækkes fra SCADA systemets database. Der skal ikke etableres adgang til nye datakilder, for at der kan drages nytte af beregningerne.

#### 2. Der beregnes konkrete værdier med umiddelbar driftsmæssig værdi

Beregninger sigter mod at lette adgang til værdier, som en drifts- eller planlægningsmedarbejder tidligere ofte har uddraget gennem manuelle beregninger. Målet er at frembringe resultater, der har en umiddelbar nytteværdi på et specifikt område frem for at øge mængden af bredspektret information.

#### 3. Resultater præsenteres i kendt brugerflade

Beregningernes resultater tilbageføres til den allerede kendte brugerflade og indgår på lige fod med andre driftsparametre i det samlede overblik.

Den grundlæggende tankegang i udviklingen af beregninger til Acowa ScadaPlugin er, at det er i integrationen af kendte parametre, at den afgørende viden ligger. Når data om spildevandssystemernes beskaffenhed og drift kombineres i beregninger med gennemskuelige og umiddelbart nyttige resultater, vurderes det at kunne gavne spildevandsselskaberne – både i den daglige drift og i overordnede anlægsmæssige beslutninger.

Inden projektets begyndelse har denne tilgang været basis for udvikling af en række algoritmer til flowberegning i spildevandsbrønde og overløbsbygværker. Disse er blevet integreret i en PC-applikation udviklet af ACOWA ved navn ScadaPlugin. ScadaPlugin var ved projektets start i stand til at opsamle data fra de i Danmark mest anvendte SCADA-systemer, foretage beregninger baseret på de indhentede data, og derefter returnere resultaterne til SCADA-systemet

I tiden op til projektets blev ScadaPlugin mest brugt til at gennemføre online flow- og overløbsberegninger på spildevandsbrønde og overløbsbygværker, men da applikationen er modulært opbygget kan resultater fra flowberegning også anvendes som supplerende input til andre, mere komplicerede algoritmer.

Samtidig viste der sig i den daglige kontakt med forsyningsselskaberne en interesse for at kigge på nye måder at få nyttiggjort eksisterende data på. Især samlede meget interesse sig omkring redskaber til at analysere resultaterne af indsatser omkring Svovlbrintebekæmpelse og Uvedkommende Vand. På denne baggrund besluttedes det at ansøge om støtte til et MUDP projekt, der kunne af-dække behov for nye beregningsalgoritmer som basis for en udvidelse af ScadaPlugin med nye beregningsmoduler.

## 2.2 Formål

Projektet har haft til formål at udvide anvendelsesmulighederne for beregninger foretaget med ACOWA ScadaPlugin i flere retninger.

På nuværende tidspunkt er meget af arbejdet med at drage nytte af eksisterende data gennem beregninger en relativt langsommelig proces for mange forsyninger: Data udtrækkes manuelt fra overvågningssystemets database, lægges ind i et regneark, og herefter foretages diverse beregninger på det statiske datasæt. Den grundlæggende funktionalitet i ScadaPlugin sætter brugerne i stand til at arbejde med løbende dataopsamling og beregninger, således at resultaterne altid er til stede i en aktuel form.

Projektarbejdet foregår ud fra formodningen om, at der findes en uudnyttet ressource i form af forskning og konkret erfaring med spildevandssystemer i forsyningerne, der kan hjælpe til at finde frem til de beregninger og returparametre, som giver mest nytte fra et forsyningsperspektiv. Her har meget af interessen samlet sig om eftersøgning af uvedkommende vand samt bekæmpelse af svovlbrinte i spildevandssystemer.

### 2.2.1 Uvedkommende vand

Uvedkommende vand forstås i denne sammenhæng som vand, der tilgår spildevandssystemet fra andre kilder end selve spildevandsproduktionen eller forventet regnvand fra kendte fælleskloakerede arealer. Når uvedkommende vand tilgår spildevandssystemet, medfører det øgede omkostninger i form af merudgifter til rensning og pumpning. På nationalt plan vurderer Miljøstyrelsen, at uvedkommende vand medfører en årlig merudgift på ca. 500 millioner kr.<sup>1</sup>

De fleste kendte strategier i bekæmpelsen af uvedkommende vand involverer tilpasning af den overordnede infrastruktur i forsyningens spildevandssystem. Hermed er der typisk tale om store og relativt dyre indgreb. I den sammenhæng har de involverede aktører i projektet været interesserede i et bedre grundlag for disse beslutninger i form af beregningsresultater, der kan hjælpe til en prioritering af indgreb på enkeltinstallationer ud fra en umiddelbar sammenligning af beregnede mængder af uvedkommende vand med den eksisterende viden om en given installations opland.

### 2.2.2 Svovlbrinte Modul

Svovlbrinte er en giftig og ætsende gasart, der dannes i den tryksatte del af spildevandssystemer, hvor der er fravær af ilt. Selv om en række faktorer (f.eks. temperatur og PH-værdi i spildevandet) medvirker til at afgøre mængden af svovlbrinte, der udvikles, vurderes tidsrummet, som spildevandet opholder sig i det iltfattige miljø (opholdstiden), at være den væsentligste faktor<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Miljøstyrelsen (2018) s. 21

<sup>2</sup> DANVA (2019) s. 28

I forhold til arbejdet med H<sub>2</sub>S bekæmpelse har ACOWA og Samsø Spildevand i samarbejde undersøgt H<sub>2</sub>S udviklingen på en spildevandslinje, der har været plaget af megen H<sub>2</sub>S-dannelse og derfor tilføres jernklorid. Jernklorid er dog både dyrt målt i kroner og ører og samtidig et miljøfremmende stof, der har indflydelse på renseanlæggets kemi, og dermed er årsag til øget forbrug af anden kemi og en længere renseproces, hvilket har en negativ indvirkning på miljøet. Derfor har Samsø Spildevand ønsket at finde frem til en mere rationel dosering i tilsætningen af jernklorid, i hvilken der tages højde for den forventede opholdstid i den tryksatte del af den efterfølgende rørføring.



# 3. Projektbeskrivelse

## 3.1 Arbejdspakker

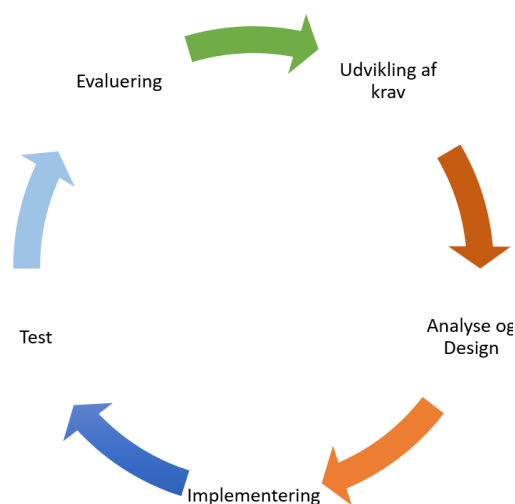
Projektarbejdet har været opdelt i tre faser eller arbejdspakker. Hvor der først er foregået vidensindsamling, derefter udviklingsarbejde og til sidst test af det udviklede i felten samt medfølgende tilpasning af de udviklede beregningsmoduler.

Rollefordelingen i projektarbejdet har været således, at Wasys har stået for kontakt til interessenter i spildevandsbranchen i arbejdspakke 1. Her er der blevet indhentet input og viden, om hvilke behov en bedre udnyttelse af eksisterende data kunne opfylde.

I projektets to følgende faser har Acowa omsat den indsamlede viden til konkrete nye beregningsmoduler samt foretaget grundlæggende udvikling af softwareapplikationens arkitektur for at sikre en hurtig og effektiv levering af resultater.

Arbejdet fra Samsø Spildevand har indgået i alle tre arbejdspakker. I sin egenskab af slutbruger på et færdigudviklet H2S modul har Samsø Spildevand bidraget med viden under arbejdspakke 1, og samtidig har test og udviklingsforløb foregået i samarbejde med Samsø Spildevand på faciliteter stillet til rådighed herfra.

### 3.1.1 Bemærkning om udviklingsprocessen



**FIGUR 1:** Illustration af den Agile udviklingsmodel

Udviklingen af Acowa ScadaPlugin er foregået efter den Agile softwareudviklingsmodel. Det betyder, at udviklingen af applikationen forgår i flere på hinanden følgende gentagelser af en vidensindsamling i iterative forløb med stor løbende brugerkontakt. Der vil derfor være tale om, at arbejdet foregår i en række gentagne forløb med vidensindsamling/evaluering, kravsspecifikation, udvikling og test hen over hele projektførelsen. For hver gentagelse (eller iteration) præsenteres brugerne for den eksisterende prototype og bidrager med deres oplevelse af og ønsker for applikationen på den baggrund. Dette skaber udgangspunktet for ny udvikling og test på prototypen, der derefter igen præsenteres, indtil der er enighed om, at produktet er udgivelsesklart.

Det betyder, at selv om målsætninger for de enkelte arbejds-pakker opnås, som beskrevet nedenfor, er arbejdet foregået som en række mindre ture gennem indholdet i alle tre arbejds-pakker, frem for at de tre arbejds-pakker er afviklet en ad gangen i rækkefølge.

Samtidig foregår kravsspecifikationen også som en løbende proces, hvor den indsamlede viden i hver iteration samles til brugerhistorier, som hver især beskriver en bestemt brugers ønsker for applikationen frem mod det næste udviklings- og testforløb.

Brugerhistorien beskriver med simple ord i en fastsat form et enkelt ønske fra en slutbruger.

Formuleringen af brugerhistorien er fastlagt efter formen "Som [brugertype] ønsker jeg at [ønske] så jeg kan [målsætning]". På denne måde kan de let omsættes til krav for brug i softwareudviklingen og registreres som arbejdsopgaver i udviklingen.

"Som driftsleder ønsker jeg at kunne samle informationer fra flere pumpestationer på samme billede, så jeg kan danne mig et samlet overblik og sammenligne deres tilstand"

"Som driftspersonale ønsker jeg at kunne se detaljerede informationer ned på pumpe-niveau, så jeg kan vurdere den enkelte pumpe-sundhed"

"Som plan- og projektmedarbejder ønsker jeg at kunne kombinere beregningsresultater og datainput i grafer og tabeller, så jeg kan eksportere og videregive dem"

FIGUR 2: Eksempler på brugerhistorier

### 3.1.2 Arbejds-pakke 1 - Vidensindsamling

I denne arbejds-pakke afholdtes en række møder mellem Wasys/ACOWA og interessenter på spildevandsområdet. Udgangspunktet har været en præsentation af de grundlæggende muligheder i Acowa ScadaPlugin, som de så ud ved projektets start.

Møderækkerne er blevet indledt med en gennemgang af, hvordan den eksisterende applikation foretager løbende dataudtræk fra SCADA-systemer, der indgår i beregninger af nøgleparametre, som f.eks. Flow gennem spildevandsbrønde, samt hvordan disse parametre returneres til visning i SCADA-systemet. Med denne viden i baghovedet har de deltagende spildevandsaktører bidraget med bud på, hvordan denne grundlæggende funktionalitet kunne bruges til at bidrage med nytte i deres arbejde.

Denne viden er efterfølgende blevet samlet i brugerhistorier som udgangspunkt for udviklingsarbejdet i Arbejds-pakke 2.

### 3.1.3 Arbejds-pakke 2: Udvikling/implementering af nye beregningsmoduler

Efter indsamling og registrering af brugerinput begynder softwareudviklere hos ACOWA arbejdet med at implementere ønskerne i nye moduler til applikationen. De enkelte brugerhistorier registreres som udviklingspunkter, og indholdet implementeres derefter i applikationen.

De nye krav til applikationen kan ofte føre til, at der skal gennemføres ændringer i underliggende arkitektur, og her har den agile tilgang store fordele, idet der (så længe man arbejder på prototype-stadiet) kan ændres på essentielle dele af applikationen, uden at det har alvorlige konsekvenser for andre funktioner.

Målsætningen for arbejdet i denne arbejds-pakke er udviklingen af nye beregningsmoduler, der kan imødekomme slutbrugernes ønsker.

### 3.1.4 Arbejdspakke 3: Test/Tilpasning af applikation og algoritmer

Inden de nye dele af applikationen tages med tilbage til slutbrugerne til evaluering, og indsamling af nye brugerhistorier foregår, skal der foretages en del testarbejde. Udover det mest grundlæggende testarbejde, hvor softwarens integritet og grundlæggende funktioner testes, vil der også skulle foretages test af beregningernes anvendelighed og kvalitet. Her vil der være tale om felttests på baggrund af data, der er indsamlet hos de enkelte involverede spildevandsforsyninger.

## 3.2 Succeskriterier

Arbejdet i projektet styrer frem mod opfyldelsen af en række mål for et færdigt produkt. I første omgang skal slutresultatet være af en høj softwaremæssig kvalitet og anvendeligt for de involverede slutbrugere, men det skal også samtidig opfylde en række krav til nytteskabelse hos kunder samt om sættelighed som produkt.

### 3.2.1 Mål for brugeroplevelsen

#### Produktet skal muliggøre pro-aktivitet

Beregninger og resultater flyttes direkte ind i driftspersonalets virkelighed som online driftsparametre, som er synlige i SCADA-systemet, eller på anden måde umiddelbart tilgængelige. Dermed kan indsatser og vedligehold planlægges mere individuelt ned til pumpe-niveau, og der kan arbejdes mere behovsbaseret og reaktivt.

#### Produktet skal reducere kompleksitet frem for at bidrage til den

Udtræk af data fra SCADA-systemet og aflevering af resultater dertil foregår med anvendelse af eksisterende interfaces til SCADA-systemet, og der er ikke behov for, at slutbrugeren forholder sig til denne del af applikationen.

Det betyder som hovedregel, at resultater dermed gøres tilgængelige for brugeren, uden at denne skal lære nye brugerflader eller arbejdsgange at kende. En undtagelse fra denne hovedregel kan være i situationer, hvor det vurderes, at SCADA-systemets brugerflade ikke kan repræsentere beregningsresultater på en fornuftig måde. For eksempel i tilfælde hvor der er behov for andre grafer eller diagrammer end dem, der findes til rådighed.

### 3.2.2 Mål for teknisk funktionalitet

#### Produktet er modulært opbygget

Den færdige applikation skal være udvidelsesklar til nye beregningsmoduler ud over dem, der udvikles indenfor projektet. Potentialet i eksisterende udnyttet data vurderes at være stort, og der er derfor god grund til at antage, at det kan blive frugtbart at kunne koble flere typer beregninger på senere.

Fleksibiliteten i den modulære opbygning skulle gerne betyde, at ny viden eller fremkomne forskningsresultater kan inddrages i udviklingen af nye moduler, der kan komme brugere til gode uden udskiftning af den grundlæggende platform.

Desuden er den grundlæggende udviklingsfilosofi og tilgang mulig at udbrede til andre områder end spildevandsforsyning.

#### Produktet er velfungerende

Det er af enorm vigtighed for både brugeroplevelsen og applikationens generelle funktionalitet, at der opleves en stabil drift med få eller ingen nedbrud, samt at produktet ikke optager unødige ressourcer i det IT-miljø, hvor det kører.

### 3.2.3 Miljø- og ressourcemæssige succeskriterier/mål

#### Produktet præsenterer resultater med målbar miljømæssig værdi

Forsyningsselskaber, der anvender produktet, skal kunne se mulige konkrete besparelser på energiforbrug og andre miljøparametre ved aflæsningen af beregningsresultater. Derfor er det vigtigt, at forsyningsselskabernes ønsker til målbare kriterier indsamles i arbejdsplanen 1 og indgår direkte i udviklings- og testfaserne.

### 3.2.4 Erhvervmæssige succeskriterier/mål

I MUDP-bestyrelsens tilsagn til nærværende projekt lægges vægt på vigtigheden af erhvervmæssige mål for arbejdet i form af øget beskæftigelse samt fremkomsten af nye, internationalt udbredelsesklare, produkter. På denne baggrund har vi formuleret følgende målsætninger:

#### Produktet er skalerbart

De udviklede løsninger skal ikke være så skræddersyede til den enkelte deltagende aktør, at der ikke kan generaliseres. Der skal være fokus på, at slutproduktet skal kunne udbredes og være supporterbart hos et langt større antal kunder med langt større datamængder og mere komplekse ønsker til beregningsmodulerne.

Samtidig skal den grundlæggende arkitektur og programkode være sådan sammensat, at den er testdækket, vedligeholdelsesbar og klar til udvidelse.

#### Produktet kan internationaliseres

Det skal være muligt at oversætte produktet til flere sprog med henblik på eksport, og understøttelse af flere sprog indtænkes i udviklingen fra starten.

#### Produktet er Open Source

Ved at satse på brugen af eksisterende Open Source teknologi samt offentliggørelse af egen programkode under en Open Source licens, kan der opnås store fordele i applikationsudviklingen gennem adgang til eksisterende og velprøvede løsninger for dele af applikationen. Der er allerede udviklet meget gennemarbejdede løsninger til for eksempel databasedrift eller kommunikation til SCADA, og der er store fordele i at anvende disse.

Samtidig giver offentliggørelsen af programkode en mindre sårbarhed overfor aggressiv patentering fra større virksomheder, og eventuelle bidrag fra andre brugere af produktet vil kunne styrke kvaliteten af egen programkode.

## 4. Projektforløb

Som nævnt tidligere i rapporten er arbejdet i alle arbejdsplaner foregået i iterative udviklingsforløb, hvor ny viden løbende er indsamlet og implementeret i softwareapplikationen. Samtidig er arbejdet foregået i to parallelle forløb. Et med fokus på til Svovlbrintebekæmpelse og et med fokus på måling af Uvedkommende Vand. Samtidig er der foregået udviklingsaktiviteter på selve softwareapplikationens arkitektur, der er kommet begge moduludviklingsforløb til gode.

For at opnå det bedst mulige overblik over projektarbejdet har vi valgt at beskrive det i to overordnede dele: En for Uvedkommende Vand (UV) -Modulet og en for Svovlbrinte (SB) -modulet. Det betyder, at aktiviteter, der henhører til udvikling af andre moduler (primært flowmodul samt kernearkitektur for applikationen), beskrives i sammenhæng med udviklingen af disse to moduler, så de indgår i den sammenhæng, de er afviklet i.

### 4.1 Modul til måling af Uvedkommende Vand

#### 4.1.1 Arbejdsplan 1 - Vidensindsamling

##### 4.1.1.1 Aktiviteter

Mødeaktiviteter vedrørende uvedkommende vand har primært inddraget repræsentanter for to forsyningsselskaber, der begge indgår anonymiseret i rapporten og er nærmere beskrevet i rapportens Bilag 2. Det er lykkedes at inddrage et relativt bredt udvalg af forsyningernes medarbejdere med repræsentanter tilstede for både drift og plan-/projektafdelingerne.

Der har indgået i alt 9 møder i processen i en periode fra oktober 2018 til november 2019, der har fordelt sig over tre udviklingsiterationer.

Samtidig blev data nødvendigt for projektarbejdet stillet til rådighed fra de to forsyninger.

Kravspecifikation er foregået løbende efter principperne beskrevet ovenfor og registrering af krav er foregået som arbejdsopgaver i softwareversioneringsværktøjet GIT.

##### 4.1.1.2 Resultater

I første omgang havde begge forsyninger et ønske om at undersøge et udvalgt opland af gravitationsledninger for forekomsten af uvedkommende vand (UV). Det primære formål med undersøgelsen var muligheden for at kunne prioritere en indsats overfor UV ved at få et mere præcist billede af, hvor i rørføringen UV trænger ind.

### Anvendelse af Indløbsflow

For at kunne konstatere, hvordan vand bevægede sig igennem systemet, blev Acowa ScadaPlugins eksisterende flowmodul op til møderne sat til at beregne spildevandsflowet på grundlag af brønd- og driftdata på pumpestationer i de to oplande.

Flow er i denne forbindelse et udtryk for hvor meget vand, der løber gennem en given pumpestation over tid, og måles oftest i enten kubikmeter per time ( $m^3/t$ ) eller liter per sekund ( $l/s$ ). Målinger af en stations flow har en række anvendelsesmuligheder, men nødvendiggør oftest installationen en fysisk flowmåler på pumpestationens afgangsrør, hvilket kan være forbundet med store omkostninger. Derfor er fysiske flowmålere ikke som udgangspunkt til stede på de fleste pumpestationer.

I Flowmodulet på Acowa ScadaPlugin kombineres viden om pumpebrøndens fysiske dimensioner med data for udviklingen i spildevandsniveauet samt drift på den enkelte pumpe. Hermed kan beregnes hvor meget vand, der flyder gennem den givne station. Resultaterne for brøndens udløb præsenteres i form af et aktuelt flow ( $l/s$ ) samt tællere for gennemløbne mængder totalt og pr. døgn ( $m^3$ ).

Samtidig beregnes det aktuelle indløb i stationen også i flowmodulet, og i forbindelse med eftersøgningen af UV viste denne parameter sig hurtigt mest interessant.

Beregningen af indløbsflow er baseret på en kombination af data for niveauet i pumpestationen samt beregninger af pumpernes gældende kapacitet. For hver enkelt ny niveauobservation beregnes ud fra pumpebrøndens dimensioner hvor stor en volumen vand, der er indløbet i tidsrummet mellem niveauobservationerne. Under pumpedrift tages højde for pumpens aktuelle kapacitet, og resultatet bliver et aktuelt billede af indløbet til brønden målt i l/s.

Hvor målinger af flow på afgangssiden kun kan give viden om, hvor meget vand pumpestationen er i stand til at flytte over tid, kan tal for det aktuelle indløbsflow give et billede af, hvor hurtigt brønden aktuelt fyldes op, og dermed hvor meget vand der løber gennem tilgående rørføring på vej mod brønden.

I forbindelse med eftersøgningen af UV i form af indsvivning til systemet viste udviklingen i indløbsflow over tid sig mest interessant for forsyningerne.

## Udvælgelse af natteperioder

Da indsvivning af UV i systemet blev antaget at være nogenlunde konstant over hele døgnet, blev det interessant at finde frem til et målepunkt, hvor indløbet af spildevand forventes at være mindst. Indløb til brønden målt i denne periode må formodes at bestå mestendels af indsvivning, og det er dermed muligt at finde frem til et flowtal for indsvivningen i perioden.

I fleste brøndes tilfælde vil en sådan måleperiode ligge om natten, idet den primære tilgang af spildevand kommer fra private husholdninger, hvor der typisk ikke vil være megen aktivitet eksempelvis i perioden mellem kl. 24 og 06. Dog kan der for hvert enkelt opland være undtagelser til denne hovedregel i form af for eksempel virksomheder med natarbejde. Viden om hvilken type brugere, der var tilkoblet spildevandssystemet i oplandet til givne pumpestation, ligger hos slutbrugerne i forsyningen, og det blev derfor besluttet, at valget af måleperiode skulle være et parameter, der kunne indstilles for den enkelte pumpestation af slutbrugerne.

Samtidig vil der selv i den mest stille natteperiode kunne forekomme udsving på indløbsflowet på grund af nedbør, natlige toiletbesøg, eller situationer hvor brønde længere tilbage i systemet når deres niveau for udpumpning og dermed skaber en dominoeffekt ned gennem systemet. Af denne årsag besluttedes det at definere indsvivningen i natteperioden som *det lavest observerede indløb i perioden som er større end nul*.

Dette indløbsflow (i l/s) betragtes i de efterfølgende beregninger som det tempo, hvormed indsvivning foregår over hele døgnet. For at kunne foretage dispositioner i forhold til indsatser overfor UV er det i forsyningernes interesse at omsætte den opnåede viden til et parameter for andelen af indsvivet uvedkommende vand i den enkelte pumpestation station. I beregningen skal der derfor indgå en opgørelse af volumen for uvedkommende vand pr. døgn overfor den samlede gennempumpeede volumen i samme døgn.

## Differentiering af værdisætning af anlægsindsatser

Sammenligning af de enkelte pumpestationers andel af uvedkommende vand i forhold til spildevand giver forsyningerne en mulighed for at prioritere indsatser imellem stationerne. Samtidig blev det dog også klart, at der kan være yderligere behov for at kvalificere tallene for den enkelte station ved at give mulighed for at medtage stationernes forskellige omstændigheder i beregningen.

De pumpestationer, der indgår i undersøgelsen, har hver især varierende antal af tilslutninger og forskellige sammensætninger af boligmasse og kloakeringstyper i deres oplande. Derfor blev det besluttet, at beregningerne skulle kunne tage højde for dette ved at gøre det muligt for slutbrugerne at indstille input-parametre for en række omstændigheder omkring den enkelte station. De to deltagende forsyninger bidrog med tre faktorer, som de fandt givtigt at kunne kvalificere deres sammenligning af indløb med:

- *Oplandsareal*

Arealet af den overflade, som rørføring til stationen løber under, kan være med til at fortælle om en øget indsvivning på én station relativt til andre. Og dermed om indsvivningens størrelse er tegn på, at stationens rørføring er mere utæt eller om der blot er mere potentiale for tilløb i et større oplandsareal.

- *Ledningsmeter i opland*

Forskelle i ledningslængden på rørføringen til stationerne kan give et billede af hvor stor kontakt til det omkringliggende vand, der ligger bag stationen, og dermed hvor meget indsvivning der foregår pr. meter rør i oplandet. Hermed kan opnås et billede af, om indsvivningen skyldes svagheder i rørføringen.

- *Boligheder i opland*

Sammensætningen af spildevandstilslutninger i pumpestationernes oplande kan have betydning for hvilken type indsats, der skal til for at bekæmpe UV. Et større antal private tilslutninger i et opland øger sandsynligheden for fejlkoblinger eller anden uhensigtsmæssig tilføjelse af UV fra andre kilder end indsvivning.

## **Nødvendighed af anden brugerflade**

Gennem de tre udviklingsiterationer blev det klar, at princippet om at returnere oplysninger til den eksisterende brugerflade i SCADA-systemet ikke var anvendeligt i forbindelse med visning af UV.

De typiske brugere på et UV-modul vil befinde sig i en forsynings plan- og projektafdeling, hvor man typisk ikke vil have en daglig omgang med SCADA-systemet, og det vil derfor ikke være naturligt for dem at arbejde med SCADA-brugerfladen.

SCADA-brugerfladen viste sig også at have begrænsede muligheder i forhold til formidling af beregningsresultater på grafer og andre figurer, da disse var meget specialiserede til at løse systemets kerneopgaver. Det store behov for formidling af brugerinput til beregningerne gav også anledning til en række udfordringer i forhold til at etablere fornuftig kommunikation mellem UV-softwaremodulet og SCADA

## **Tilføjelse af andre datakilder**

I forbindelse med beregninger på indsvivning af uvedkommende vand kan det have interesse for forsyningerne at kunne sammenligne tallene med viden om nedbørshændelser ved stationen. En del steder fandtes der allerede installerede regnmålere, som var tilgængelige via SCADA-systemet, men der var også tilfælde, hvor nedbørsdata var tilgængelige i form af data indhentet fra DMI og andre institutioner.

I dette tilfælde opstod der et ønske om at udvide ScadaPlugin til også at kunne behandle og vise data fra andre kilder.

### **4.1.2 Arbejdspakke 2: Udvikling/implementering af nye beregningsmoduler**

#### **4.1.2.1 Aktiviteter**

I de tidlige faser af projekter har udviklingsarbejdet mest koncentreret sig om udviklingen af arkitektur og redskaber til formidling af beregninger direkte på SCADA-systemets brugerflade. Udviklingen af et SCADA-interface til indhentning af data samt aflevering af beregninger er foregået i samarbejde med WASYS' systemintegratorer, der har stor erfaring med opsætning-, drift og vedligehold på SCADA-systemer<sup>3</sup>.

Efter resultaterne af denne indsats blev præsenteret, blev det (som beskrevet ovenfor) besluttet, at der skulle findes andre brugerflademuligheder til UV-modulet, mens SCADA-brugerfladen vurderere-

---

<sup>3</sup> I særdeleshed SCADA systemet IGSS, som også var i anvendelse hos alle de tre deltagende forsyninger

des fornuftigt for svovlbrinte-modulet (se s. 24ff). Efter undersøgelser af mulige alternativer faldt valget på Open Source-visningsplatformen Grafana<sup>4</sup>, der gav mulighed for både forbedrede grafiske visninger af figurer og grafer samt bedre brugerinput til beregningerne.

Præsentationen af den nye brugerflade for slutbrugerne gav anledning til, at brugerne lettere kunne formulere ønsker til applikationen i form af måling af natligt indløb, daglig volumen af indsivet vand, samt muligheder for differentiering af værdisætningen på en UV-indsats, som de er beskrevet ovenfor.

Inddragelsen af ny brugerflade gav også anledning til at tænke applikationens grundlæggende arkitektur om, og som en aktivitet i arbejdsplanen 3 (se side 19 ff.) blev denne samtidig udvidet med bedre databaseløsning til applikationen, samt en udskillelse af kerneprogramkoden i ScadaPlugin til mindre og lettere testbare enheder.

I slutningen af første iteration i softwareudviklingen stod ACOWA således med en anden og langt mere effektiv programarkitektur i form af adskilte databehandlings-, kontrol- og visningsdele. Disse dele blev det besluttet at samle til en applikation under navnet AcowaCore, som bevarer funktionaliteten og den modulære opbygning i ScadaPlugin, men hvor tilbageleveringen af data til SCADA-systemet blev én af flere muligheder for visning af beregningsresultater.

#### 4.1.2.2 Resultater

##### Samspil med SCADA-systemet

Selv om der i sidste ende blev valgt en anden brugerflade til visning af data, var indsatsen omkring integration til SCADA-systemet ikke spildt. Indlæsningen af data fra systemet er blevet forbedret af flere omgang i samarbejde med Wasys, hvilket har givet en langt hurtigere og mindre ressourcekrævende funktionalitet. Det samme gælder på afleveringssiden hvor arbejdet med at etablere en fornuftig SCADA-brugerflade for ScadaPlugin har medført forbedringer af kommunikationen mellem SCADA-systemet og ACOWA-applikationer generelt.

##### Indløbsflow

Da beregninger af indsvinning baserer sig primært på det beregnede indløbsflow og denne var en nyttilkommet parameter i flowberegning, var det nødvendigt for et velfungerende UV-modul at få beregninger af indløbsflow til at fungere optimalt. Der blev i arbejdet fundet en række svagheder i omgange med stationsdata som grundlag for indløbsberegninger, og der er udviklet en række algoritmetrin og -strategier til at imødegå disse svagheder med.

For eksempel kan der findes fluktuationer i data mellem tidspunktet for registrering af en pumpe drift og det samtidige fald af niveau. Dette kan føre til fejl i indløbsberegningen, der ses ved voldsomme udsving omkring pumpestart. Et generelt flyt af datapunkter for pumpestart til et bedre match med niveaukurven viste sig hurtigt at medføre andre problemer i form af unøjagtige målinger for pumpestart, og den endeligt indførte strategi for at imødegå problemet blev, at algoritmen nu afviser observationer af indløbsflow, der afviger mere end tre standardafvigelse fra den foregående observation. I disse tilfælde formodes, at indløbet i stedet har været konstant imellem de to observationer.

På denne måde er der indført en række detaljer på algoritmen for indløbsflowberegning.

##### UV-Beregningsmodul

Udviklingen af de grundlæggende forudsætninger for et indløbsflowmodul tog udgangspunkt i de eksisterende ScadaPlugin-moduler, og sikringen af adgang til data fra SCADA-systemet samt tilbagelevering af beregnet indsvinning på basis af natligt indløb blev realiseret allerede i første udviklingsiteration. Efterfølgende tilføjedes beregninger for volumen af indsivet vand overfor reelt spildevand og inddragelsen af flere differentieringsparametre (ledningslængde i opland, husstandsenheder i opland).

---

<sup>4</sup> <https://grafana.com>



Endeligt blev det til slut også besluttet at medtage resultater fra regnmålere i beregningen. Både til visning i brugerfladens grafer men også som grundlag for at afvise validiteten af beregnet indsvivning på dage, hvor der havde været nedbør i den natlige måleperiode.

Det endelige UV-beregningsmodul har følgende egenskaber:

- Input
  - Data
    - Aktuelt indløbsflow (beregnet i flowberegningsmodul)
    - Nedbør
  - Brugerinput
    - Tidspunkt for start og slut på natlig måleperiode
    - Oplandsareal i km<sup>2</sup>
    - Tilsluttet rørlængde i kilometer
    - Antal Husstande i opland
- Gennemførte beregninger
  - Eftersøgning af mindste indløb (i l/s) større end 0 i måleperioden
  - Omregning til daglig volumen for indsvivet vand
  - Beregning af andel af uvedkommende vand pr. valgt tidsperiode
  - Opgørelse af forhold mellem indsevet vand og de enkelte differentieringsparametre
- Output
  - Samlet volumen af reelt spildevand
  - Samlet volumen af indsvivning
  - Daglig opgørelse af:
    - Andel af uvedkommende vand
    - M<sup>3</sup> uvedkommende vand pr. km<sup>2</sup> oplandsareal
    - M<sup>3</sup> uvedkommende vand pr. meter tilsluttet rørlængde
    - M<sup>3</sup> uvedkommende vand pr. husstand i opland

### Udvikling af SCADA-baseret brugerflade

Den første udgave af brugerfladen blev vist i selve SCADA-systemet og viste et skema med opgørelse for hver pumpestation af samlet indløbet volumen og natlig indløbet volumen (opgjort for hhv. i dag, i går og totalt), det beregnede indløbsflow pr. km<sup>2</sup> opland samt det aktuelle indløbsflow. Derudover var der mulighed for indtastning af værdier til valg af natlig måleperiode samt arealet af stationens opland i km<sup>2</sup>

	Senest	Idag	Igår	Total	Tids indstillinger		Arials indstillinger	
Indløbs mængde (via Plug-in)	1.28 l/s	38.57 m <sup>3</sup>	60.69 m <sup>3</sup>	508.33 m <sup>3</sup>	Nat tidspunkt for start beregning	2,00	Oplandsarial Km <sup>2</sup>	0.33
Nat Indløbs mængde (via Plug-in)	2.12 l/s / km <sup>2</sup>	7.62 m <sup>3</sup>	6.24 m <sup>3</sup>	47.81 m <sup>3</sup>	Nat tidspunkt for stop beregning	5,00		
Indløbs mængde (via Plug-in)	1.22 l/s	78.97 m <sup>3</sup>	907.63 m <sup>3</sup>	1267.16 m <sup>3</sup>	Nat tidspunkt for start beregning	2,00	Oplandsarial Km <sup>2</sup>	0.55
Nat Indløbs mængde (via Plug-in)	2.76 l/s / km <sup>2</sup>	11.05 m <sup>3</sup>	10.72 m <sup>3</sup>	34.79 m <sup>3</sup>	Nat tidspunkt for stop beregning	5,00		
Indløbs mængde (via Plug-in)	1.69 l/s	260.81 m <sup>3</sup>	465.51 m <sup>3</sup>	3709.49 m <sup>3</sup>	Nat tidspunkt for start beregning	2,00	Oplandsarial Km <sup>2</sup>	2.25
Nat Indløbs mængde (via Plug-in)	3.51 l/s / km <sup>2</sup>	42.65 m <sup>3</sup>	41.06 m <sup>3</sup>	289.45 m <sup>3</sup>	Nat tidspunkt for stop beregning	5,00		
Indløbs mængde (via Plug-in)	4.38 l/s	173.45 m <sup>3</sup>	307.79 m <sup>3</sup>	2441.04 m <sup>3</sup>	Nat tidspunkt for start beregning	2,00	Oplandsarial Km <sup>2</sup>	2.78
Nat Indløbs mængde (via Plug-in)	1.40 l/s / km <sup>2</sup>	26.69 m <sup>3</sup>	28.88 m <sup>3</sup>	197.66 m <sup>3</sup>	Nat tidspunkt for stop beregning	5,00		
Indløbs mængde (via Plug-in)	1.35 l/s	87.59 m <sup>3</sup>	161.94 m <sup>3</sup>	1330.77 m <sup>3</sup>	Nat tidspunkt for start beregning	2,00	Oplandsarial Km <sup>2</sup>	0.60
Nat Indløbs mængde (via Plug-in)	2.29 l/s / km <sup>2</sup>	13.21 m <sup>3</sup>	13.49 m <sup>3</sup>	111.52 m <sup>3</sup>	Nat tidspunkt for stop beregning	5,00		
Indløbs mængde (via Plug-in)	1.40 l/s	79.38 m <sup>3</sup>	143.47 m <sup>3</sup>	1210.54 m <sup>3</sup>	Nat tidspunkt for start beregning	2,00	Oplandsarial Km <sup>2</sup>	0.52
Nat Indløbs mængde (via Plug-in)	2.13 l/s / km <sup>2</sup>	11.41 m <sup>3</sup>	10.92 m <sup>3</sup>	90.09 m <sup>3</sup>	Nat tidspunkt for stop beregning	5,00		

	Senest	Idag	Igår	Total
Indløbs mængde (via Plug-in)	1.28 l/s	38.57 m <sup>3</sup>	60.69 m <sup>3</sup>	508.33 m <sup>3</sup>
Nat Indløbs mængde (via Plug-in)	2.12 l/s / km <sup>2</sup>	7.62 m <sup>3</sup>	6.24 m <sup>3</sup>	47.81 m <sup>3</sup>

Tids indstillinger		Areal indstillinger	
Nat tidspunkt for start beregning	2.00	Oplandsareal Km <sup>2</sup>	0.33
Nat tidspunkt for stop beregning	5.00		

**FIGUR 3:** Eksempler fra Brugerflade i Scada-system

Som tidligere nævnt blev det i løbet af aktiviteterne i arbejdsplanen 1 aktuelt at gå i retning af en ny brugerflade, der bedre kunne vise og nyttiggøre beregningerne i UV-modulen. Dette foregik som en aktivitet i arbejdsplanen 3 og beskrives på de kommende sider.

### 4.1.3 Arbejdspakke 3: Test/Tilpasning af applikation og algoritmer

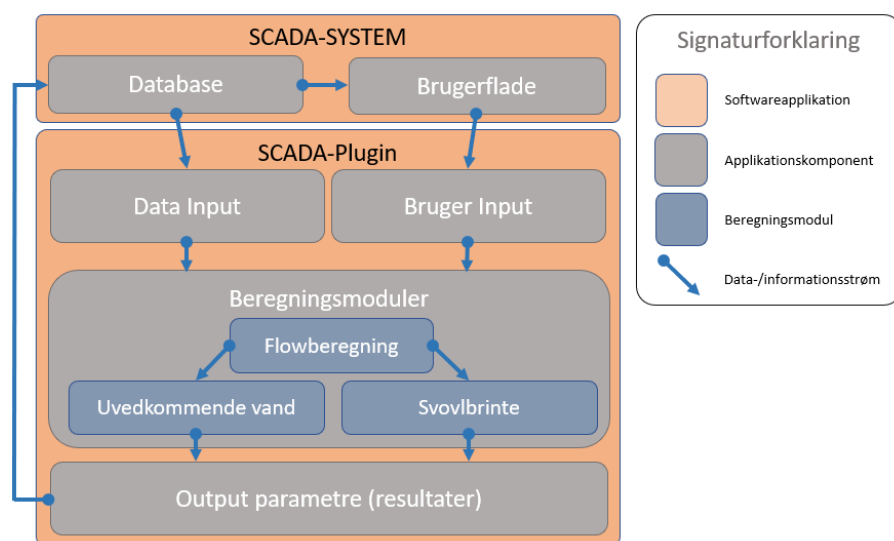
#### 4.1.3.1 Aktiviteter

Under testforløbene blev de udviklede moduler installeret hos forsyningerne og sat til at arbejde med data fra SCADA-systemet på 8 pumpestationer i hver forsyning. Hos forsyning A blev der i samarbejde med Wasys opbygget en separat serverløsning med en egen installation af SCADA-systemet samt ACOWAs prototype, mens der hos Forsyning 2 blev installeret en prototype direkte på forsyningens eksisterende SCADA-server. Der blev løbende foretaget tests i relation til softwarens stabilitet, og de deltagende forsyninger fik adgang til at anvende prototypen aktivt. Udvikling af prototypen på grundlag af aktiviteter i arbejdspakke 1 og 2 blev (når de var testet, kvalitetskontrollerede og fundet stabile rent softwaremæssigt) indført løbende således, at forsyningerne altid arbejdede med prototypen i dens mest aktuelle form.

#### 4.1.3.2 Resultater

##### Tilpasning af Softwarearkitektur

Arkitekturen i ScadaPlugin var på mange måder fasttømret til SCADA-systemet bagvedliggende infrastruktur. Alle beregninger foregik på basis af data hentet direkte fra SCADA-systemets, og alle resultater leveredes tilbage hertil. Dette viste sig at være begrænsende for udviklingsarbejdet, da databaseløsningen forbundet med SCADA-systemet havde en for specialiseret indretning.

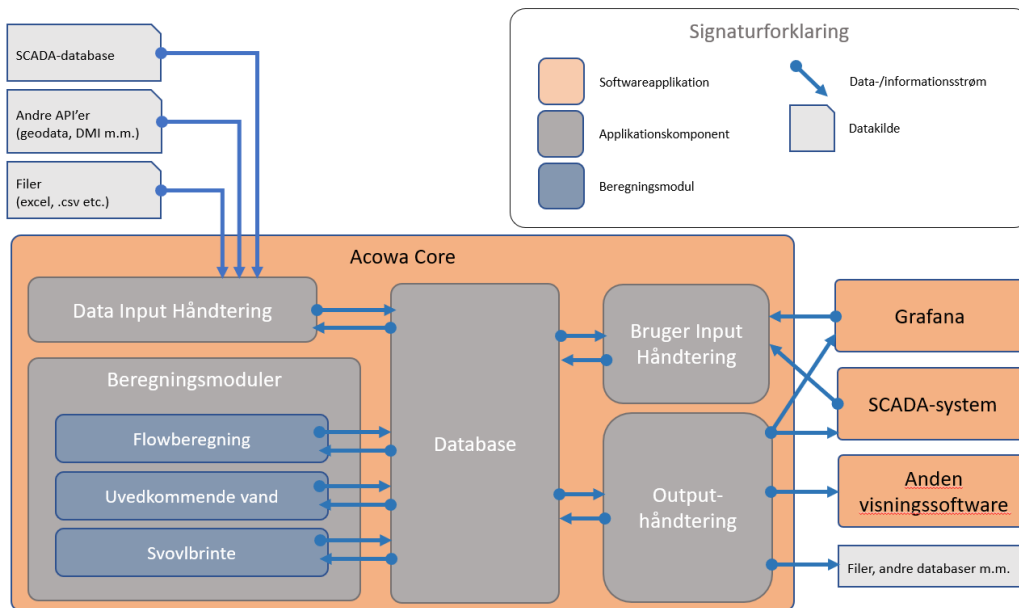


FIGUR 4: Scada Plugin applikationsarkitektur

Derfor er den grundlæggende arkitektur i applikationen nu baseret på en egen database til opbevaring af både uddraget data fra SCADA-systemet samt resultater fra de enkelte beregningsmoduler. Det betyder, at returnering af data til SRO kan foretages uafhængigt af dataindsamling og beregninger, og slutbrugeren dermed kan få valget mellem flere mulige brugerflader.

Samtidig muliggør den nye arkitektur input fra flere datakilder – både i form af andre databaseinputs (som for eksempel vejrdata fra DMI eller offentlige geodata) eller som filer eksporteret fra andre softwareapplikationer, der anvendes hos forsyningerne (for eksempel Microsoft Excel).

Den ændrede systemarkitektur er illustreret nedenfor:



**FIGUR 5:** AcowaCore applikationsarkitektur

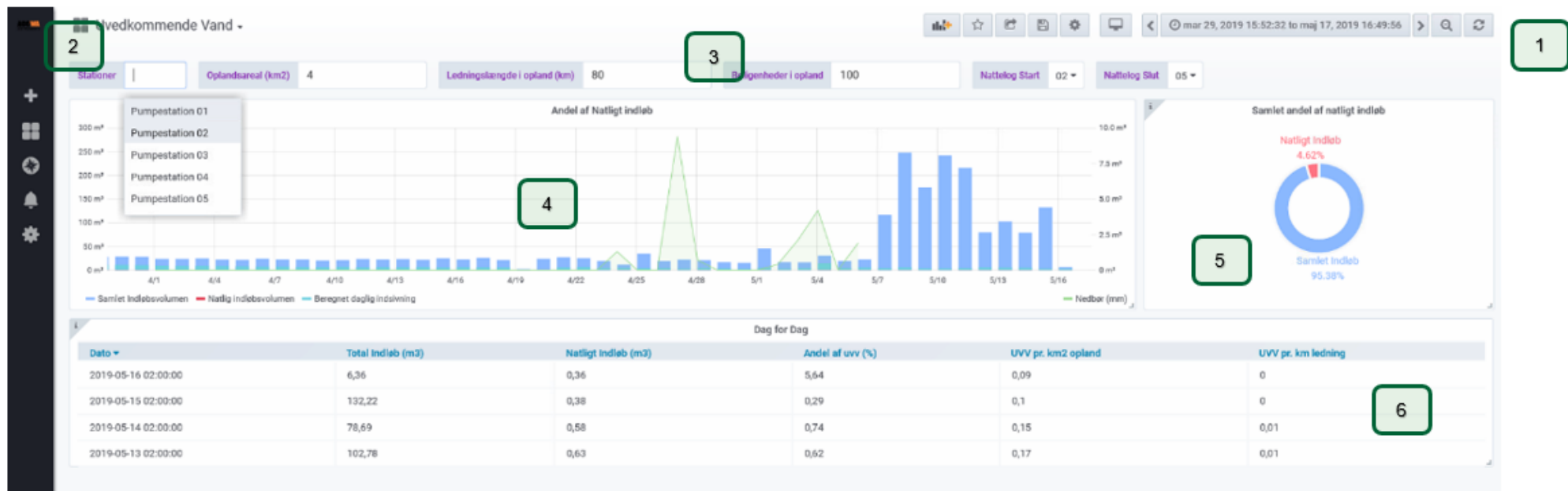
Beregningsdelen af ScadaPlugin er overgået stort set intakt til AcowaCore, og ændringen i systemarkitektur har ikke ændret ved proceduren for at udvide med nye beregningsmoduler.

Som følge af indførelsen af egen databaseløsning i AcowaCore har beregningerne nu lettere adgang til nødvendige inputparametre. Og da selve databasedesignet nu er en del af applikationen, og enhver konvertering fra eksternt til internt dataformat foretages i datainput-håndteringen, er data også til rådighed i en mere harmoniseret form end tidligere. Samtidig er brugerinputtet også til rådighed gennem databasekald, da denne indhentes derfra og lagres samme sted af brugerinput-håndteringen.

Resultater af beregningen returneres til den interne database, hvorefter de er til rådighed for outputhåndtering, der kan videreformidle til visning eller lagring i Grafana, SCADA-systemet eller andetsteds.

### Tilpasning og udvikling af brugerflade

Brugerfladen i applikationen blev fra anden iteration af udviklingsforløbet flyttet væk fra SCADA-brugerfladen. Dette gav flere muligheder for at arbejde med brugerinput til beregninger for både de efterspurgte inputparametre og for udvalg af tidsperioder. Samtidig muliggjorde flyttet en bedre dynamisk visning af information i form af grafer og figurer.



- 1 Valg af tidsperiode for visning
- 2 Valg af vist pumpestation
- 3 Input til differentieringsparametre samt tidspunkt for natlig måleperiode (nattelog)
- 4 Grafisk visning af samlet gennemstrømmet volumen samt volumen af indsvet vand pr. døgn i den valgte tidsperiode
- 5 Visning af andelen af uvedkommende vand i den valgte tidsperiode
- 6 Tabelvisning med dagsbaseret opgørelse af totalt indløb, natligt indløb, andelen af uvedkommende vand samt UV pr. hver enkelt differentieringsparameter.

FIGUR 6: Ny brugerflade for uvedkommende vand modul

## 4.2 Modul til svovlbrintebekæmpelse (SB-Modul)

### 4.2.1 Arbejdspakke 1 - Vidensindsamling

#### 4.2.1.1 Aktiviteter

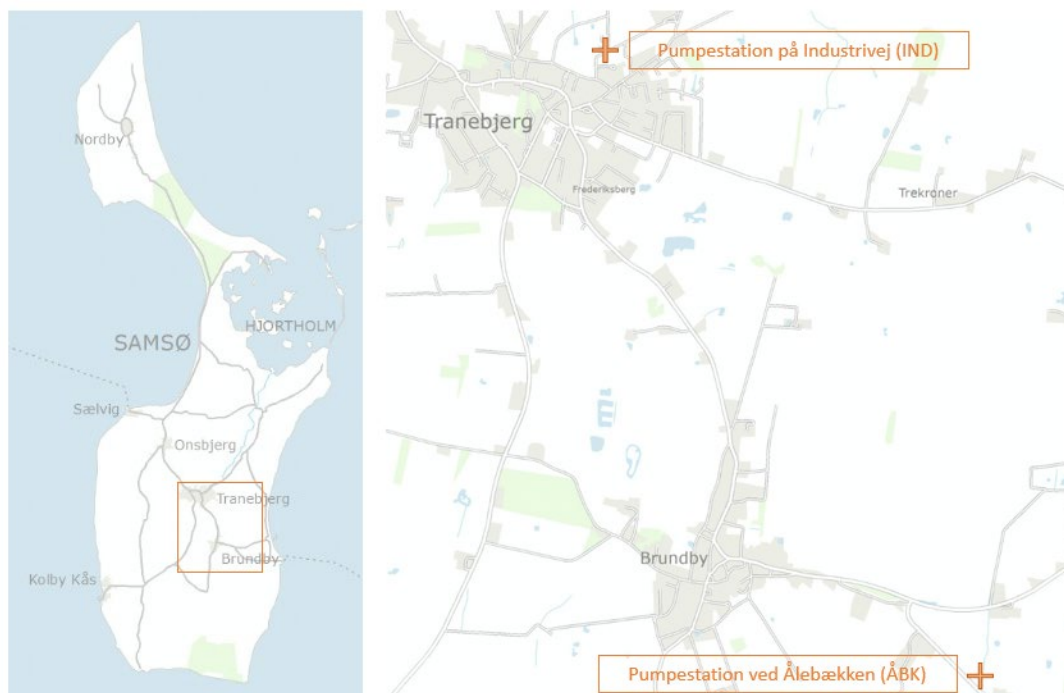
Aktiviteter i arbejdspakke 1 har foregået ved afholdelse af møder samt en løbende kontakt mellem ACOWA og Samsø Spildevand. Ved projektstart i oktober afholdtes et indledende møde, og der har i løbet af processen været afholdt yderligere 3 møder. Herudover har der været løbende kontakt mellem Samsø Spildevand og Acowa, hvilket har givet anledning til en udviklingsproces med mange mindre udviklingsiterationer med mindre indhold pr. iteration frem for de tre større iterationer i udviklingen af UV-modulet.

#### 4.2.1.2 Resultater

##### Udvælgelse af testfacilitet

Samsø Spildevand foreslog en strækning mellem Industrivej i hovedbyen Tranebjerg midt på øen og en brønd ved Ålebækken ikke langt fra Samsø Renseanlæg. På stationen ved Ålebækken (herefter kaldet ÅBK) har der været udfordringer med udslip af H<sub>2</sub>S-gas, der har medført tæring på brønd og elinstallationer samt en række klager fra naboer til stationen over lugtgener.

For at modvirke svovlbrinteudviklingen har Samsø Spildevand installeret et anlæg i starten af ledningen ved pumpestationen på Industrivej (herefter IND), der kan tilføre jernklorid til spildevandet.



FIGUR 7: Placering af pumpestationer

Det tilsatte jernklorid forårsager en udfældning af sulfitter i spildevandet og kan dermed reducere potentialet for udvikling af H<sub>2</sub>S.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Kilerich (2019) s. 19

## Mål for ACOWA ScadaPlugin

Doseringen af jernklorid foregik på daværende tidspunkt med en fast mængde pr. time, og man havde hos Samsø Spildevand en fornemmelse af, at denne dosering kunne gøres mere hensigtsmæssig, hvis den tog spildevandets varierende opholdstider i gravitationsdelen i betragtning. Grundlaget for svovlbrinteudviklingen er dannelsen af sulfitter under de iltfattige forhold i trykledningen, og der var derfor forventning om, at der kunne spares på den samlede mængde tilført jernklorid gennem *at regulere tilførslen af jernklorid baseret på den forventede opholdstid*.

Det var også en central kendsgerning, at gennemløb og opholdstider på denne spildevandslinje havde en stor grad af variation hen over årstiderne, som følge af store udsving i antallet af beboere på en ø med så stor turisme som Samsø. Samtidig er der også forskel på svovlbrinteudviklingen alt efter temperatur. Alt i alt betød det, at Samsø Spildevand ønskede en løsning, der var tilpasningsdygtig til de skiftende omstændigheder, og de forestillede sig at kunne regulere doseringen baseret på løbende aflæsning af H<sub>2</sub>S udviklingen på SCADA-systemet. Både regulering og aflæsning skulle foretages i SCADA-systemet

## Baggrunds- og testdata

Samsø Spildevand kunne henvise til detaljerede digitale kort over linjeføringen mellem IND og ÅBK. Her fandtes oplysninger både om ledningens diameter og længde på enkelte sektioner og forholdet mellem tryk og gravitationsdelen<sup>6</sup>.

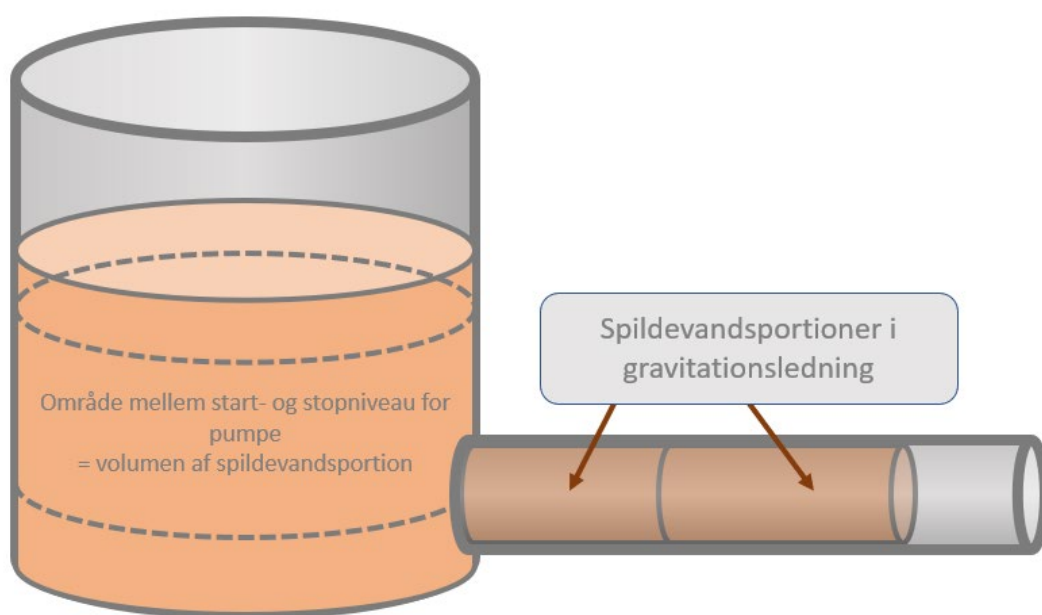
Derudover fik ACOWA adgang til Samsø Spildevands SCADA-server for installation af Acowa ScadaPlugin og on-site udvikling af svovlbrintemodulet. På samme server fandtes de nødvendige data for niveau og pumpestrøm på IND og ÅBK, som skulle danne grundlag for beregninger i SB-modulet.

## Koncept til modellering af opholdstider

Samsø Spildevand foreslog, at man i arbejdet med at finde opholdstiden for et givent hold spildevand benyttede sig af et "batch"-koncept, hvori det antages, at sammenblandingen mellem de enkelte tryksatte portioner af spildevand er relativt lille, og det derfor kan være fornuftigt at anskue de enkelte portioner, som adskilte enheder. På denne måde opnås mulighed for at udregne opholdstiden for hver enkelt portion baseret på volumen af de portioner, der kommer efter.

---

<sup>6</sup> Kortet er offentligt tilgængeligt på: <http://samsodandas.vandforsyning.net/Mainpage.aspx>



**FIGUR 8:** Portionskoncept for beregning af opholdstider

Anskuet på denne måde fremtræder de enkelte portioner nærmest som perler på en snor, og selv om der må formodes en vis sammenblanding af de mest vandige dele af hver spildevandsportion, kan der også findes opbakning til denne konceptualisering i faglitteraturen på området<sup>7</sup>.

#### **Løbende feedback på udviklede løsninger**

Gennem hele udviklingsforløbet har der været løbende kontakt mellem Samsø Spildevand og ACOWA, hvor Samsø Spildevand har bidraget med viden og betragtninger omkring anvendeligheden af de udviklede løsninger.

---

<sup>7</sup> Hager, 2010, s 123ff.



## 4.2.2 Arbejdspakke 2: Udvikling/implementering af nye beregningsmoduler

### 4.2.2.1 Aktiviteter

#### Installation af nødvendig hardware på testsite

For at kunne gennemføre løbende test af de beregnede resultater i SB-modulet og se deres sammenhæng med målbare værdier blev der opsat H<sub>2</sub>S måler på ÅBK-lokationen samt en styringsenhed på IND, der kan styre doseringen af jernklorid baseret på input fra ScadaPlugin.



FIGUR 9: H<sub>2</sub>S målecelle ophængt på ÅBK



FIGUR 10: Doseringspumper til jernklorid med installeret styringsenhed (øverst til venstre)

### 4.2.2.2 Resultater

#### SB-Modul

Beregningen af opholdstid er central for SB-modulets funktionalitet, og det er her, meget af arbejdet har koncentreret sig.

Opholdstiden forstås som tidsrummet mellem afsendelse af portionen og tidspunktet for ankomst (som ved H<sub>2</sub>S målepunktet er det aktuelle tidspunkt). Dette tidsrum vil i en portionsbaseret model

Den efterfølgende udvikling af et SB-modul til ScadaPlugin fik dermed et godt udgangspunkt for efterprøvning af udviklede løsninger.

#### Indkobling af flowberegning

På samme måde som i UV-modulet var det også her givtigt at kunne benytte data beregnet i flowmodulet på ScadaPlugin. I dette tilfælde var det dog beregningen af den udpumpede volumen pr. pumpecyklus, der var interessant frem for indløbsflowet. Størrelsen på hvert enkelt portion (og dermed hvor meget den påvirker de foregående portioners opholdstid i gravitationslinjen), kan aflæses i differencen på flowmodulets totaltæller (i m<sup>3</sup>).

#### Indførelse af nye grundlæggende parametre til SB-modul

For at kunne beregne en forventet opholdstid for en given portion spildevand, skal der være kendskab til dimensionerne på den rørføring, som spildevandet skal opholde sig i. Derfor indførtes diameter og længde for rørføringen som nye inputparametre til SB-modulet

#### Dosering af jernklorid

På SCADA-systemet hos Samsø spildevand har WASYS oprettet en brugerflade til visning af H<sub>2</sub>S udvikling samt mulighed for at justere doseringen.

være den tid, det har taget at pumpe nok portioner ind i røret til at skubbe den netop ankomne portion frem. Altså skal den sammenlagte volumen på spildevand, der er løbet i røret siden den nuværende portion, være større eller lig med rørets volumen. Dermed kan volumen på de efterfølgende portioner sammenlægges, indtil man når en volumen større end røret, og tidspunktet, hvor det sker, vil så kunne fortolkes som tidspunktet for afsendelse af portionen.

Efter denne metode kan opholdstid kun beregnes, hvis man er i besiddelse af historisk data på stationen, der som minimum går tilbage til tidspunkt for afsendelsen af den ankomende portion. Dermed er beregningen først anvendelig efter dette tidsrum på en helt ny installation.

## SB-Modul

Baseret på denne beregning er et modul til analyser vedr. svovlbrinteudvikling blevet udviklet til ScadaPlugin og senere videreført til AcowaCore. I modulet kombineres data fra flow-modulet (udregnet på indhentede driftdata fra SCADA-systemet) i ScadaPlugin med foregående viden om den efterfølgende rørføring under gravitation. Der regnes ud fra en formodning om, at den udpumpede volumen for hver spildevandsportion vil være konstant i den efterfølgende rørføring.

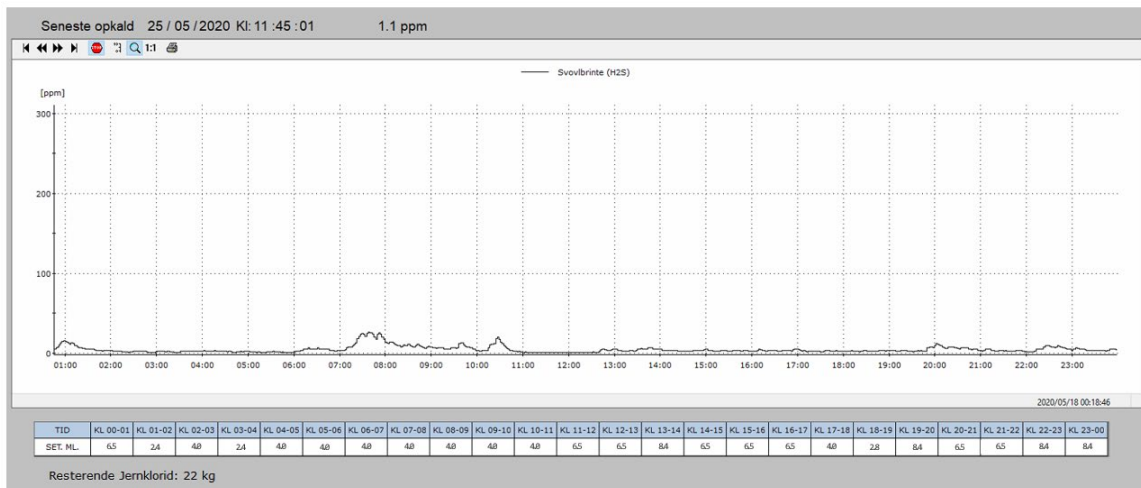
SB-modulet har følgende egenskaber:

- Input
  - Data
    - Udpumpet mængde (fra Flowmodul)
    - Nedbør (fra SCADA-system)
    - Nuværende dosering (fra styringsenhed ved doseringspumpe)
    - H<sub>2</sub>S målerdata (valgfri)
  - Brugerinput
    - Længde og diameter for rørføring under tryk
    - Indledende mængde af jernklorid (i liter)
    - Ønsket dosering af jernklorid hver hele time (i milliliter)
- Gennemførte beregninger
  - Beregning af opholdstid for hver enkelt pumpecyklus
  - Fratrækning af forbrugt jernklorid
- Output
  - Aktuel opholdstid på spildevand ved slutpunkt (i minutter)
  - Gennemsnitlig opholdstid pr. time
  - Jernklorid-dosering pr. time
  - Resterende mængde af jernklorid
  - Gennemsnitlig H<sub>2</sub>S udvikling pr. time (hvis H<sub>2</sub>S måler er opsat)

## Dosering af jernklorid

For at kunne tilbyde Samsø Spildevand en mulighed for at tilpasse jernklorid-doseringen til de skiftende forhold er SB-modulet udstyret med mulighed for input fra SCADA-systemet til indstilling af den doserede mængde, samt outputs til SCADA-systemet der viser nuværende dosis pr. time, samt resterende mængde jernklorid.

Der er etableret kommunikationen mellem SB-modulet og SCADA-systemet, og der er oprettet brugerflade, hvorpå driftsteknikere kan overvåge H<sub>2</sub>S udviklingen og indstille doseringen på timebasis.



TID	KL 00-01	KL 01-02	KL 02-03	KL 03-04	KL 04-05	KL 05-06
SET. ML.	6,5	2,4	4,8	2,4	4,8	4,8

Resterende Jernklorid: 22 kg

**FIGUR 11:** SB-brugerflade hos Samsø Spildevand, med udsnit der viser timeinddeling og jernklorid-tæller

Doseringen er indstillet i SV-modulet på basis af beregnede opholdstider, men kan justeres manuelt på brugerfladen hos Samsø Spildevand

### 4.2.3 Arbejdspakke 3: Test/Tilpasning af applikation og algoritmer

#### 4.2.3.1 Aktiviteter

Der er gennemført en række undersøgelser for at fastslå sammenhængen mellem h<sub>2</sub>s udvikling og opholdstid, indflydelsen af jernklorid-tilsætning ved varierende dosis, samt validiteten af batch-modellen.

#### 4.2.3.2 Resultater

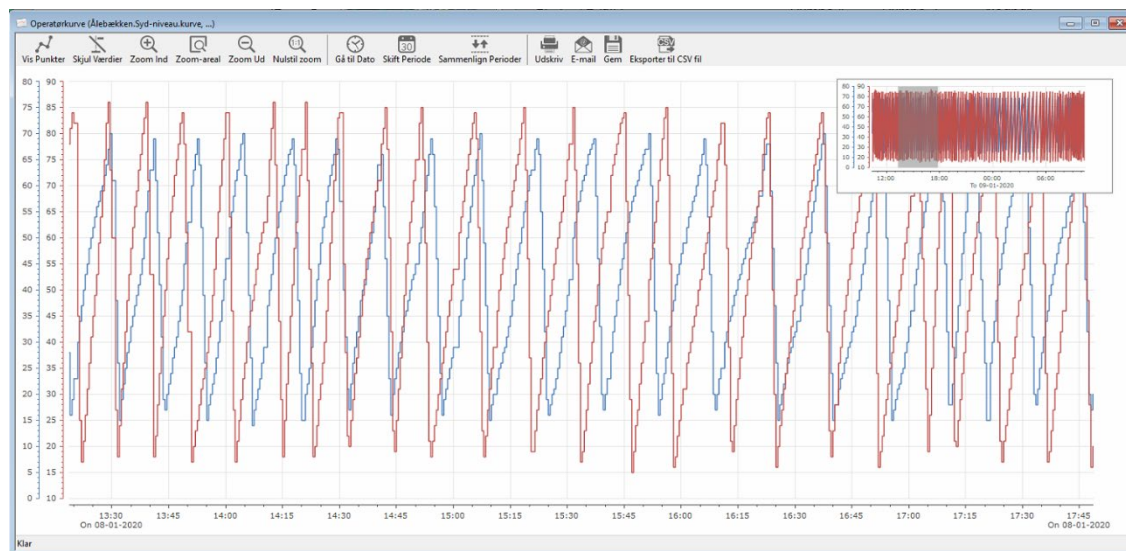
##### Anvendelighed af Batch-model

For at teste om batch-modellen var brugbar i denne sammenhæng, blev der foretaget indledende undersøgelser af H<sub>2</sub>S dannelsen på ÅBK som funktion af den tilnærmede opholdstid. Opholdstiden blev tilnærmet ved at definere størrelsen på en typisk portion som den brøndvolumen, der ligger mellem start- og stopniveau for pumpen. I flowmodulet tages højde for, at der under udpumpningen også foregår indløb, så den udpumpede volumen altid vil være større end den mængde vand, der stod i brønden ved pumpestart, men til disse indledende undersøgelser brugtes en mere naiv beregning, der ikke tager højde for indløb under pumpedriften.

Baseret på brønddiameter og forskel mellem start- og stopniveauer på industrivej fandt vi frem til en batchstørrelse på 1,44 m<sup>3</sup>. Den efterfølgende rørføring foregår i rør med en indvendig diameter på 0.16 meter, hvilket giver en batchlængde i røret på 71,7 meter. Transporten foregår først i en trykledning på 2181 meter og derefter en gravitationsledning på 1206 meter. Der er ikke h<sub>2</sub>s udvikling i overgangen mellem tryk- og gravitationsledning, så her vurderes ikke at være nogen større kontakt til omkringliggende atmosfærisk luft, der kan igangsætte h<sub>2</sub>s udviklingen.

Gravitationsledningen falder 13,94 meter over en distance på 1206 meter og har dermed en forventet flowhastighed for spildevandet på 0.08 m/s.

Da der ikke er h2s udvikling i overgangen mellem tryk- og gravitationsledning, var den indledende hypotese, at gravitationslinjen i langt de fleste tilfælde kunne opfattes som en direkte forlængelse af tryklinjen, når det kom til opholdstid. Altså sådan at bevægelsen i gravitationsdelen var væsentligt mindre påvirket af tyngdekraft end af tryk fra det bagfra kommende spildevand. I en sådan situation skulle vi forvente at se en relativt direkte sammenhæng mellem niveaukurverne på IND og ÅBK. Sammenligning af niveaukurverne viste, at kurven på ÅBK godt nok spejlede udviklingen på IND, og at denne forsinkelse var ligefrem proportional med længden mellem de enkelte udpumpninger på IND, idet tiden i gravitationslinjen blev relativt længere pr. portion.



**FIGUR 12:** SCADA udskift af niveaukurver på IND og ÅBK. IND i rød

Det blev derfor besluttet at behandle gravitationsdelen af ledningen som en direkte forlængelse af trykledningen i beregningen af opholdstid, men at halvere den forventede opholdstid for at kompensere for den øgede hastighed som følge af gravitationen.

Sammenholdes batchlængden med rørens længde fås, at trykdelen kan indeholde 31 portioner, mens gravitationsdelen kan indeholde 16. Dermed landede undersøgelsen på et batchantal på 39 (31 + 16/2) som værende nødvendigt for at flytte en portion fra IND til ÅBK. Ved optælling af pumpedrift på IND sammenlignet med H2S udvikling på ÅBK viste det sig, at denne forsinkelse målt i portionsantal måtte justeres en anelse ned til en gennemsnitlig værdi på 34 portioner som antallet, der skal tilføres røret for at flytte en given portion fra IND til ÅBK.

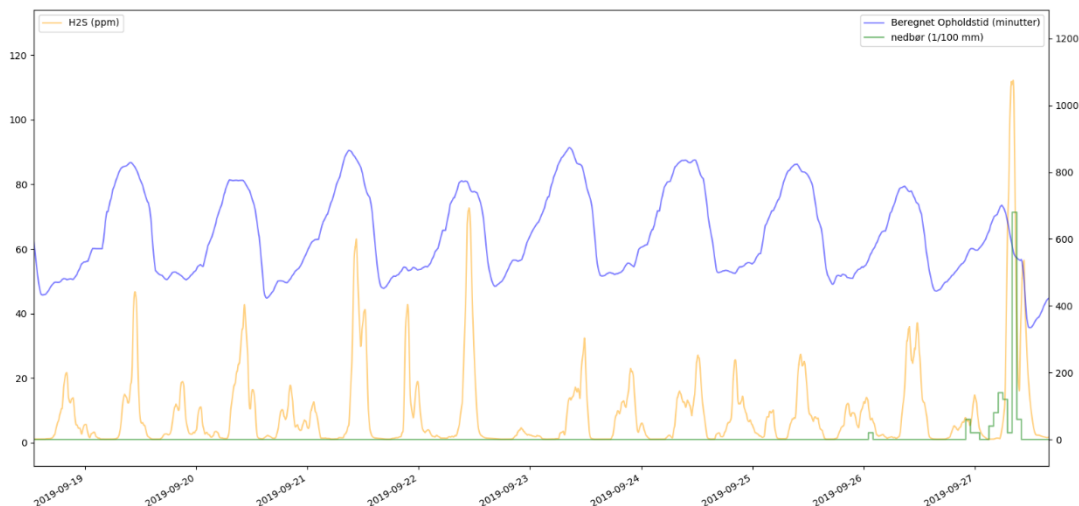
Baseret på denne undersøgelse blev det besluttet at forsætte med batchmodellen i de efterfølgende undersøgelser.

### Beregnet opholdstid og H2S-dannelse

Efter indkobling af output fra flow-modulen kunne foretages en beregning af opholdstid baseret på en mere præcis opgørelse af den enkelte spildevandsportions størrelse, og her kunne der ses en ret tæt sammenhæng mellem beregnet opholdstid og H2S udvikling.

I figur 14 ses udviklingen i H2S dannelse, beregnet opholdstid og nedbør i en periode i september 2019 hvor doseringen med jernklorid var afbrudt, og der derfor kunne aflæses en "ren" H2S udvikling.

Udviklingen på grafen er typisk for det billede, der viser sig i sammenhængen mellem den beregnede



**FIGUR 14:** H2S udvikling og beregnet opholdstid (alle værdier i 1 times løbende gennemsnit)

opholdstid og H2S, hvor de to kurver følger hinandens generelle udvikling, og der kan ses et relativt tydeligt tidsmæssigt sammenfald mellem udviklingen på de to kurver, hvilket kan tyde på, at en påvirkning af doseringen baseret på den beregnede opholdstid kan give mening.

Samtidig er H2s udviklingen væsentligt mere dynamisk og har flere udsving end udviklingen i opholdstid, så der må formodes at være flere faktorer, der spiller ind sammen med opholdstiden. Der vil løbende forekomme variationer i spildevandets sammensætning, og andelen af sulfitter, som danner grundlag for dannelsen af svovlbrinte, vil variere på basis af vandets temperatur, PH-værdi og generelle indhold af spildevand overfor eksempelvis regnvand.

På IND er opstillet en regnmåler, og på figuren kan man aflæse, hvordan et regnskyl påvirker H2S dannelsen ved at forårsage en kraftig forøgelse i den gennempumpede volumen over kort tid (hvilket giver et fald i opholdstiden). Herved presses en stor mængde spildevand, der indtil skyellet havde ligget relativt længe i røret, ud på ÅBK med stor stigning i H2S udviklingen til følge.

### Dosering af Jernklorid

Indledende er der foretaget justeringer på jernklorid-doseringen for at få et billede af effekten på H2S dannelsen, før justering af dosis begyndte. Her blev afprøvet en dobbelt dosering samt fravær af dosering. Herefter blev det opsatte udstyr til styring af jernklorid-dosering sat op til styring via Aco-waCore.

I første omgang blev der indført en lige fordeling af doseringen, så hver enkelt spildevandsportion blev tilført samme mængde jernklorid uafhængigt af, hvor længe den var om at blive dannet, frem for i den eksisterende dosering at dosere med en fast dosis pr. minut. Samtidig fastholdtes doseringsmængden pr. døgn. På denne måde opnåedes en baseline for H2S doseringen, hvor hvert batch indeholdt samme mængde jernklorid, og opholdstiden dermed skulle være en relativt større faktor i H2S udviklingen end ved en fordeling på fast minuttal.

Da udviklingen i både opholdstider og H2s-udvikling havde vist sig at have en relativt fast daglig rytme, blev det besluttet at arbejde med 24 faste time intervaller i doseringen, så doseringen kunne justeres op eller ned for hver enkelt time i døgnet, baseret på observation af det foregående døgns H2S udvikling (eller udvikling i opholdstider). Herefter blev doseringen justeret på grundlag af de beregnede opholdstider fra SB-modulet.

Resultater af alle tests kan ses i tabellen herunder. Datagrundlaget for hver enkelt test løber over en hel uge hvor den testede dosering har været aktiv, og der ikke har været nedbør.

**TABEL 1.** Resultater af jernkloriddosering

Dosering	Besparelse (l/døgn)	Besparelse %	H2S gns.	H2S Max
Ingen	21.6 liter	100%	18.14 ppm	192.2 ppm
Normal	0 liter	0	4.52 ppm	47.6 ppm
Dobbelt	-21.6 liter	-100%	1.47 ppm	18.4 ppm
Lige Ford.	2.85 liter	13.20%	4.18 ppm	44.4 ppm
SB-Modul	6.14 liter	28.44 %	2.95 ppm	14.1 ppm

Svovlbrinte er både problematisk som et løbende udslip, der tærer på omkringliggende installationer, og som årsag til lugtgener og (i yderste konsekvens) sundhedsfare for personale, naboer og andre, der opholder sig tæt på brønden. For at måle effekten på den løbende svovlbrinte-belastning bliver det gennemsnitlige udslip i perioden beregnet, mens graden af oplevede lugtgener kan beskrives med det maksimale udslip i perioden.

Når doseringen af jernklorid helt udelades, kan det aflæses, at der foregår relativt stor udvikling af H2S-gas på stedet. De gennemsnitlige 18.14 ppm er nok til at forårsage korrosion på den omkringliggende beton, og maksimumværdien på 192 ppm vil forårsage kraftige lugtgener i området, og ved ophold lige ved måleren er denne koncentration nok til at forårsage alvorlig synspåvirkning og inaktivering af lugtesansen. Det er derfor med god grund, der er indledt en indsats til bekæmpelse af svovlbrinte på stationen.

Den eksisterende indsats har den effekt, at svovlbrinten reduceres med godt og vel en fjerdedel på både gennemsnit- og maksimumkoncentrationen, så det kan konstateres, at tilsætningen har den ønskede effekt. For at se i hvor høj grad den nuværende dosis var valgt, blev den dobbelte dosis afprøvet, og her blev det klar, at der stadig var H2S reduktion at hente ved øget dosering.

Den indledningsvise omstilling til en lige fordeling af doseringen pr. batch viste sig at have en positiv effekt på doseringen. Selv om den som udgangspunkt var sat op til at ramme samme dosis pr. døgn, viste den sig i praksis at have mindre gennemsnitligt forbrug over ugen, og denne dosering viste stort set samme egenskaber for H2S-udviklingen som den normale dosering.

Efter implementering af SB-modulet i AcowaCore blev der indført en dosering baseret på timebaseret justering af dosis på grundlag af beregnede opholdstider for hvert enkelt tidsrum. For tidsrum med lang beregnet opholdstid blev doseringen sat i vejret, mens den blev sænket i tidsrum med en kort beregnet opholdstid. Dette viste sig at have en positiv effekt på både forbruget af jernklorid og H2S udviklingen. Gennemsnitlig og max H2S viste sig reducerede med hhv. 35 og 70 procent, mens forbruget er reduceret med 28% i forhold til normal dosering.

# 5. Sammenfatning og resultater

## 5.1 Arbejdspakke 1 (Vidensindsamling)

Arbejdet med indsamling af viden fra spildevandsforsyninger har medvirket til at skabe en målrettet udviklingsindsats på de enkelte beregningsmoduler, og til at slutproduktet kan møde projektets målsætninger om at skabe brugbare resultater. Ud over deres bidrag med erfaring og praktisk viden om en lang række aspekter ved spildevandsforsyning har de medvirkende bidraget med at præcisere hvilke beregningsparametre, der er interessant i deres daglig arbejde, og klargøre i hvilken form, disse skal præsenteres for at have størst mulig nytte.

### 5.1.1 Uvedkommende Vand Modul

For arbejdet med uvedkommende vand er det blevet tydeligt, at forsyningerne frem for alt ønsker at kunne foretage oplyste beslutninger omkring indsatser mod uvedkommende vand.

For at resultater af beregninger på indsivning kan komme til at gøre nytte skal de:

- Være baseret på udregninger tilpasset den enkelte station
  - Udvalg af perioder og parametre til input i undersøgelsen for uvedkommende vand kan ikke være universelle, men skal være valgbare for den enkelte pumpestation
- Være sammenlignelige på tværs af pumpestationer
  - Beregningsresultatet skal være et mål i m<sup>3</sup> for mængden af uvedkommende vand overfor mængden af reelt spildevand
- Være differentierbare efter den enkelte pumpestations miljø
  - Mængden af uvedkommende vand skal kunne sættes i forhold til den stations omgivelser i form af oplandets areal, ledningslængder og antal af husstande
- Være vist for brugeren på en dynamisk og tilpasset brugerflade
  - SCADA-brugerfladen kunne ikke tilfredsstille dette krav, og der er derfor udviklet ny brugerflade

### 5.1.2 Svovlbrinte Modul

Fokus for Samsø Spildevand i deres ønsker til et svovlbrintemodul har været at opnå målbare reduktioner i anvendelsen af jernklorid til H<sub>2</sub>S bekæmpelse og efterfølgende adgang til at tilpasse den opnåede løsning efter formålet. Aktiviteterne i arbejdspakken har skabt afklaring om:

- Testfacilitet
  - Der er udvalgt en rørstrækning med svovlbrinteudfordringer, tilgængelige drifts- og brøndata-samt en velbeskrevet rørføring
- Tydelige måltal
  - Målet er en reduktion i tilsat jernklorid med en forbedret eller tilsvarende H<sub>2</sub>S udvikling
- SCADA-indhold
  - Resultater skal være til rådighed for Driftspersonale på forsyningens SCADA-system
  - Dosering skal være manuelt justerbar efter forholdene
- Koncept til modellering af opholdstider
  - Samsø Spildevand foreslog en batch-model for modellering af spildevandet i gravitationsledningen.

## 5.2 Arbejdspakke 2 (Udvikling)

### 5.2.1 Uvedkommende Vand Modul

I denne arbejdspakke er udviklet et beregningsmodul til måling af uvedkommende vand. Modulet, der udnytter beregninger fra det eksisterende flowmodul i kombination med brønd- og driftdata, er i stand til at beregne volumen pr. døgn af indsivet vand for en given pumpestation og sætte denne i forhold til døgnvolumen af reelt spildevand. Samtidig kan der udregnes måltal for stationen baseret på dens

omgivelser, så sammenligning af indsigning mellem enkelte stationer kan gøres mere anvendelig i prioritering af anlægsindsatser mod uvedkommende vand.

En brugerflade til visning af resultater samt input fra slutbrugeren er først udviklet til visning via eksisterende SCADA-system, men denne viste sig utilstrækkelig, og der er derfor udviklet en alternativ browser-baseret brugerflade.

### **5.2.2 Svovlbrinte modul**

Det udviklede Svovlbrinte-modul kan ved hjælp af batch-modellering på basis af output fra flowmodul foretage beregninger af opholdstid i gravitationsrørføring for en given spildevandsportion og dermed medvirke til forudsigelse af den potentielle H<sub>2</sub>S udvikling.

Baseret på disse beregninger kan der foretages tilpasning af mængden af tilsat jernklorid, så den koncentrerer på de tidspunkter, hvor effekten er størst.

Visning og justering af doseringen af jernklorid er desuden gjort tilgængelig i forsyningens SCADA-system, så de kan tilpasses efter årstidernes skiftende forhold.

### **5.2.3 Andre moduler**

Der er foretaget en gennemgribende omstrukturering af softwareapplikationens grundlæggende arkitektur. Denne muliggør en større uafhængighed af det lokale SCADA-system (der blot bliver en blandt en mængde mulige datainput), bedre deling af data mellem de enkelte beregningsmoduler, samt mulighed for integration med andre brugerflader end den på SCADA-systemet.

## **5.3 Arbejdspakke 3 – test og forbedring**

For begge de nyudviklede moduler gælder, at de er født i den oprindelige udgave af den overordnede softwareapplikation, og at de begge efterfølgende er overført til den nye arkitektur. Begge moduler har gennemgået test af deres softwaremæssige integritet og validiteten af deres udregninger.

### **5.3.1 Uvedkommende Vand Modul**

De vigtigste indførte forbedringer er i form af ny brugerflade. Denne sætter brugerne i stand til at hurtigt at udvælge pumpestationer og tidsperioder til undersøgelse og sammenligning indbyrdes. Samtidig gives der interaktiv respons på indtastning eller ændring af grundlæggende beregningsparametre.

Modulet har været felttestet løbende i prototypeform hos de medvirkende forsyninger, og den færdige applikation står nu til afbenyttelse.

### **5.3.2 Svovlbrinte modul**

Testaktiviteter på svovlbrintemodulet har ud over de ovennævnte primært fokuseret effekten af de udviklede tiltag til jernklorid-dosering. For at sikre størst mulig sammenlignelighed er der for alle testede indstillinger foretaget indsamling af en uges data i perioder uden nedbør, og sammenligning af jernklorid-forbrug og H<sub>2</sub>S dannelse er baseret på ensartede målinger i alle perioder.

Det vigtigste resultat af arbejdet med svovlbrintebekæmpelse er en reduktion i mængden af doseret jernklorid på 28% i sammenhæng med en reduktion i gennemsnitlig H<sub>2</sub>s udledning 35%



## 5.4 Opnåede målsætninger

### 5.4.1 Brugeroplevelsen

Gennem hele projektarbejdet har det været et styrende princip, at produktet skulle give slutbrugeren bedre handlemuligheder. Produktet skulle undgå at gøre en allerede kompleks samling af IT-systemer i slutbrugers hverdag endnu mere kompliceret. Målet var derfor at skabe et produkt, som benyttede eksisterende uudnyttede datakilder til at beregne simple nytteparametre, der var umiddelbart anvendelige for brugeren. Derfor har slutbrugers baggrundsviden, behov og oplevelse af produktet været i fokus under hele projektførelsen, og gennem anvendelsen af iterative udviklingsforløb er det lykkedes at få disse til at være styrende for processen. Brugerinput har været styrende i alt fra valget af beregnede nytteparametre, over brugerfladedesign til den grundlæggende softwarearkitektur for produktet.

Da de to udviklede moduler havde et meget forskelligt publikum, er de endt med at præsentere deres resultater på to vidt forskellige brugerflader. For analyser i jagten på uvedkommende vand, hvor brugere typisk vil sidde med plan- og projektarbejde, var der behov for udviklingen af nye brugerflademuligheder adskilt fra forsyningernes SCADA-systemer, mens der for svovlbrintemodulet (der taler ind i en daglig driftsvirkelighed) var god grund til at bevare en kontakt til SCADA-brugerfladen.

I sidste ende er vi endt med en applikation, der kan tilfredsstille begge behov, og tilpasses den enkelte slutbrugers behov.

Alle parametre for brugerinput og resultater i beregningsmodulerne er udvalgt i samarbejde med de medvirkende forsyninger med et klart fokus på, at resultaterne skal skabe oplysning og muliggøre handling i så stor grad som muligt. For UV-modulets vedkommende er der fokus på den grundlæggende sammenligning af enkelte pumpestationers indsvivning, samt muligheden for at kvalificere det simple måltal i m<sup>3</sup> med oplysninger om areal, rør længder og kundesammensætningen i den enkelte pumpestations opland. I svovlbrintemodulet udnyttes forsyningernes viden om rørføring til at beregne opholdstider, som de fordeler sig over et typisk døgn, og brugeren sættes i stand til at tilpasse tilsætningen af jernklorid, så den foregår så nyttigt som muligt. Samtidig er systemet interaktivt, så det kan tilpasses de skiftende vilkår for H<sub>2</sub>S-dannelse hen over året.

### 5.4.2 Mål for teknisk funktionalitet

Som udgangspunkt har målsætningen om en modulær opbygning af produktet sat rammerne for en udvikling af adskilte beregningsmoduler til adskilte arbejdsopgaver (hhv. eftersøgning af uvedkommende vand og svovlbrintebekæmpelse). Samtidig er der sket en yderligere opsplittning af softwareapplikationen, og der er tilføjet en egen databasearkitektur. Sammenhængen mellem applikationen enkeltdele er ændret så meget, at produktet har skiftet navn og identitet fra ScadaPlugin til Acowa Core. Det betyder, at opsplittningen mellem de enkelte beregningsmoduler og applikationens andre dele også er øget. Arbejdet i hvert enkelt modul er blevet yderligere adskilt fra de dele, der handler om indhentning og aflevering af data og brugerinput, således at disse er flyttet til egne moduler, der er ansvarlige for applikationens input og output. Dette giver mulighed for at anvende en langt større vifte af input og output-typer end blot SCADA-systemets database og brugerflade, og det letter udviklingen af kommende beregningsmoduler, idet disse kun skal være fokuserede på det egentlige beregningsarbejde.

I forhold til mål for produktets grundlæggende kvalitet er udviklingen foregået med arbejdende prototyper i alle stadier af projektet. Hermed bliver mindre programfejl eller større programnedbrud på grund af uforudsete faktorer hurtigt fundet og fjernet. I al softwareudvikling arbejdes med mange ukendte faktorer, som der kan forsøges at tage højde for, men i mange tilfælde viser problemerne sig først, når applikationen slippes fri i den virkelige verden, og her er det en stor fordel at have haft mulighed for at fejle tidligt i processen og tilpasse softwaren løbende baseret på dette. Resultatet er, at den grundlæggende funktionalitet i AcowaCore på nuværende tidspunkt er stabil og udvidelsesklar. Det har også betydet, at applikationen i skrivende stund allerede er solgt til installeret hos flere danske forsyningsselskaber, hvor det benyttes til både flowberegninger, overløbsberegninger og efterøgning af uvedkommende vand.

### 5.4.3 Miljø- og ressourcemæssige succeskriterier/mål

#### Produktet præsenterer resultater med målbar miljømæssig værdi

I både UV- og SB-modulerne er både input og output udvalgt med målbare resultater for øje. For UV-modulets vedkommende er de beregnede værdier umiddelbart omsættelige til miljøparametre i form af ændringer i graden af indsvivning efter en indsats mod uvedkommende vand, og en forsyning kan gennem arbejdet med UV-modulet skabe overblik over, hvor en anlægsindsats overfor indsvivning er mest effektiv, og dermed sætte ind, hvor effekten er størst.

Ved hjælp af SB-modulet kan forsyningerne inddrage beregnede opholdstider i beslutninger om dosering af kemisk bekæmpelse af H<sub>2</sub>S-udvikling og dermed opnå en reduktion af både H<sub>2</sub>S-dannelsen og mængden af tilsatte miljøfremmende stoffer. Begge resultater med umiddelbar miljømæssig værdi.

### 5.4.4 Erhvervmæssige succeskriterier/mål

Selv om udviklingsarbejdet er foregået i tæt samarbejde med de enkelte forsyninger, har der ikke kun været fokus på deres specifikke problemstillinger og IT-systemer. Det færdigudviklede produkt er i kraft af sin store modularitet let udvidelsesbart i retning af nye datainput, nye brugerflader, og nye beregninger. Samtidig har skalerbarhed i form af større datamængder og dermed større systembelastning for applikationen også været i fokus, og applikationen er på nuværende tidspunkt installeret hos flere danske forsyninger med input og beregninger i drift på systemer med mere end 150 pumpestationer.

Programkoden i AcowaCore er licenseret under en Open Source GPL licens. Det betyder, at den er frit tilgængelig for andre interessenter, men også at eventuelle forbedringer på applikationen, der sker hos andre, vil komme ACOWA til gode, idet anvendelsen af den eksisterende kode kun kan ske lovligt i produkter, der også udgives som open source. Samtidig betyder udgivelsen som Open Source software, at det ikke er muligt for andre at gå ind og patentere dele af applikationens virkemåde for derved at afskære ACOWA fra adgangen til dem. En strategi der desværre ofte ses anvendt indenfor innovative brancher verden over.

Brugen af en Open Source tilgang har også betydet store fordele i forhold til muligheden for at benytte frugterne af andres arbejde. Der findes veletablerede løsninger til mange af delopgaverne i AcowaCore, som hverken kan udvikles hurtigere eller bedre in-house, og disse komponenter indgår som uvurderlige byggeklodser i den endelige applikation.

Samtidig sikrer det internationale miljø omkring Open Source løsninger, at produktet i sit udgangspunkt er internationaliseringsklart, og da ACOWAs produkter afsættes i mere end 15 lande verden over - og AcowaCore skal det samme - er der også her store fordele i at arbejde med OpenSource.

## 6. Konklusion

Gennem aktiv brugerinddragelse og insisteren på at arbejde mod løsninger med størst mulig nytteværdi er det lykkedes at skabe to nye beregningsmoduler, der begge er udviklet, testet og tilpasset med udgangspunkt i den størst mulige nytte for slutbrugeren. Slutbrugerinput er foregået i alle stadier af udviklingsarbejdet og har været styrende for valg af beregningsalgoritmer, nytteparametre og brugerfladedesign. I løbet af projektet gjorde brugerinput det tydeligt, at man måtte forlade idéen om kun at anvende SCADA-systemets brugerflade, og i stedet blev softwarearkitekturen i produktet ændret, så der nu er mulighed for visning på flere brugerfladetyper, der kan tilpasses den enkelte brugergruppe.

Det endelige softwareprodukt opfylder i høj grad de tekniske målsætninger for projektet. Slutproduktet i AcowaCore har været installeret og i praktisk brug som først prototype og senere udgivelsesklart produkt over hele projektperioden. Dermed er applikationen hele tiden blevet udsat for vilkårene hos slutbrugerne, hvor tingene ofte er mere uforudsigelige end på udviklernes egne computere, og eventuelle fejl- og mangler er blevet fundet og afsløret så tidligt i processen som muligt. Samtidig er det lykkedes at holde fast i en softwarearkitektur med stor grad af adskillelse mellem i første omgang de dele, der er ansvarlige for input og output af data, de dele der har med brugerinteraktion at gøre, og de dele der foretager beregninger. Dette betyder, at produktet nu kan modtage data og brugerinput fra en række kilder i form af databaser, filer eller andre softwareapplikationer og aflevere resultater til både SCADA-systemer og andre brugerflader, og da beregningsmodulerne nu er endnu mere specialiseret end tidligere, kan kommende beregningsmoduler til løsning af andre specifikke udfordringer for slutbrugerne let tilføjes.

Forsyninger kan, på baggrund af et datagrundlag de allerede ligger inde med, benytte de nyudviklede beregningsmoduler til at bekæmpe enten indtrængen af uvedkommende vand (UV) eller svovlbrinteudvikling (SB). For UV-modulets vedkommende giver det en given forsyning mulighed for at prioritere anlægsindsatser mod uvedkommende vand på de steder, hvor indsatsen gavner mest. Modulet giver mulighed for at fokusere på bestemte områder og sammenligne mængden af indsvivning direkte ned på pumpebrønds niveau, så det kan ses, hvor i den bagvedliggende rørføring problemet er størst.

På samme måde virker SB-modulet også ved at oplyse forsyningerne i eftersøgningen af den mest rationelle måde at dosere kemisk bekæmpelse af H<sub>2</sub>S dannelse. SB-modulet giver mulighed for at lade doseringen i hver enkelt spildevandsportion være påvirket af den beregnede opholdstid. Dermed kan opnås en dosering, der er større dér, hvor det nytter mest, og mindsket hvor den er ineffektiv. Hos Samsø Spildevand har dette givet en reduktion i mængden af doseret jernklorid på 28% i sammenhæng med en reduktion i gennemsnitlig H<sub>2</sub>S udledning 35%

I sidste ende vurderes projektførelsen at have givet os et stærkt produkt på hånden. Fra et softwarefagligt perspektiv er der tale om en applikation med stor stabilitet, troværdige beregninger og gode udvidelsesmuligheder. Mens det fra et salgsperspektiv er muligt at vise en oplagt nytteværdi af produktets beregninger. Og hvad enten der er tale om indsats overfor uvedkommende vand eller svovlbrinte, er beregningsresultaterne let omsættelige til økonomiske måltal, som kan relatere produktet til kundens bundlinje.

AcowaCore er som produkt lanceret herhjemme sidst i 2019 og har fundet brugere hos flere forsyninger landet over med en samlet omsætning på godt 3 millioner i perioden frem til marts 2020. Efterspørgslen er fortsat stor på AcowaCore og andre ACOWA-produkter, og hos Wasys har man ansat en ekstra fuldtids salgsmedarbejder, mens man hos ACOWA har udvidet med en ny fuldtids programør på grundlag af projektarbejdet.

Samtidig arbejdes på en lancering af AcowaCore internationalt, hvor der lige nu er kørende installationer i Benelux-landene med planlagt udvidelse til de mere end 15<sup>8</sup> lande verden over, hvor ACOWA-produkter allerede har afsætning og lokale salgsafdelinger.

---

<sup>8</sup> Danmark, Norge, Holland, Belgien, Luxemborg, Færøerne, Finland, Sverige, Australien, New Zealand, Singapore, Malaysia, Turkiet, Aserbajdsjan, Georgien og Polen. Se <https://www.acowa.dk/forhandlere/> for komplet liste.

# 7. Bilag

## **Bilag 1: Litteraturliste**

### **DANVA's Svovlbrintenetværk: "Svovlbrintehåndbogen"**

2019, DANVA

### **VUDP Projektgruppe: "Nye teknologiske metoder til kortlægning, måling og bekæmpelse af svovlbrinteproblemer i kloakker"**

2019, VUDP slutrapport (Projekt ID: 81.2016)

### **Grib Vand: "Uvedkommende vand - Grib Vand"**

2018, Grib Vand

<https://www.gribvand.dk/code/pages/subpage313.aspx>

### **Hager, Willi: "Wastewater Hydraulics – Theory and Practice"**

2010, Springer Verlag Berlin

ISBN: 978-3-642-11382-6

### **Kilerich, Bruno: "Ferrous and Ferric Iron Treatment of Sewer Force Main Biofilms - The Influence of Sulfide Abatement"**

2018, Aalborg Universitet (Ph.d.-serien for Det Ingeniør- og Naturvidenskabelige Fakultet)

DOI: 10.5278/VBN.PHD.ENG.00052

### **Holm, Søren / Getrauer, David: "Bedre viden om uvedkommende vand"**

2018, Miljøstyrelsen

ISBN: 978-87-93710-21-4

## **Bilag 2: Liste over figurer og tabeller**

s. 8

Fig 1: Illustration af den Agile udviklingsmodel

s. 8

Fig 2: Eksempler på brugerhistorier

s. 15

Fig 3: Eksempler fra Brugerflade i Scada-system

s. 16

Fig 4: Scada Plugin applikationsarkitektur

s. 16

Fig 5: AcowaCore applikationsarkitektur

s. 18

Fig 6: Ny brugerflade for uvedkommende vand modul

s. 19

Fig 7: Placering af pumpestationer

s. 20

Fig 8: Portionskoncept for beregning af opholdstider

s. 22

Fig 9: H<sub>2</sub>S målecelle ophængt på ÅBK

s. 22

Fig 10: Doseringspumper til jernklorid med installeret styringsenhed

s. 24

Fig 11: SB-brugerflade hos Samsø Spildevand, med udsnit der viser timeinddeling og jernklorid-tæller

s. 25

Fig 12: SCADA udskift af niveaukurver på IND og ÅBK. IND i rød

s. 26

Fig 13: H<sub>2</sub>S udvikling og beregnet opholdstid (alle værdier i 1 times løbende gennemsnit)

s. 27

TABEL 1. Resultater af jernkloriddosering

### **Bilag 3: Deltagende Forsyninger**

Til vidensindsamlingen i projektets arbejdsmappe 1 har været afholdt møder med repræsentanter for to danske spildevandsselskaber

#### **Selskab A**

Selskabet råder over 9 renseanlæg, og godt 250 pumpestationer

Deltagere: Spildevandsingeniør samt rådgivende Ingeniør

#### **Selskab B**

Selskabet råder over 10 renseanlæg og godt 300 pumpestationer

Deltagere: Driftsleder samt Spildevandsingeniør



## Nye beregningsalgoritmer til spildevandsdrift

Gennem iterative udviklingsforløb er der blevet forsøgt en praktisk anvendelse af eksisterende beregningsalgoritmer for flowberegning inden for en række felter og mere specifikt uvedkommende vand og svovlbrintebekæmpelse. For begge vedkommende er fortaget integration af resultater i eksisterende SCADA systemer og evaluering af anvendeligheden af disse nye driftsparametre for hhv. drifts- og plan-/projekt-afdelinger. Samtidig er et supplerende visningsmodul blevet indført.



Miljøstyrelsen  
Tolderlundsvej 5  
5000 Odense C

[www.mst.dk](http://www.mst.dk)