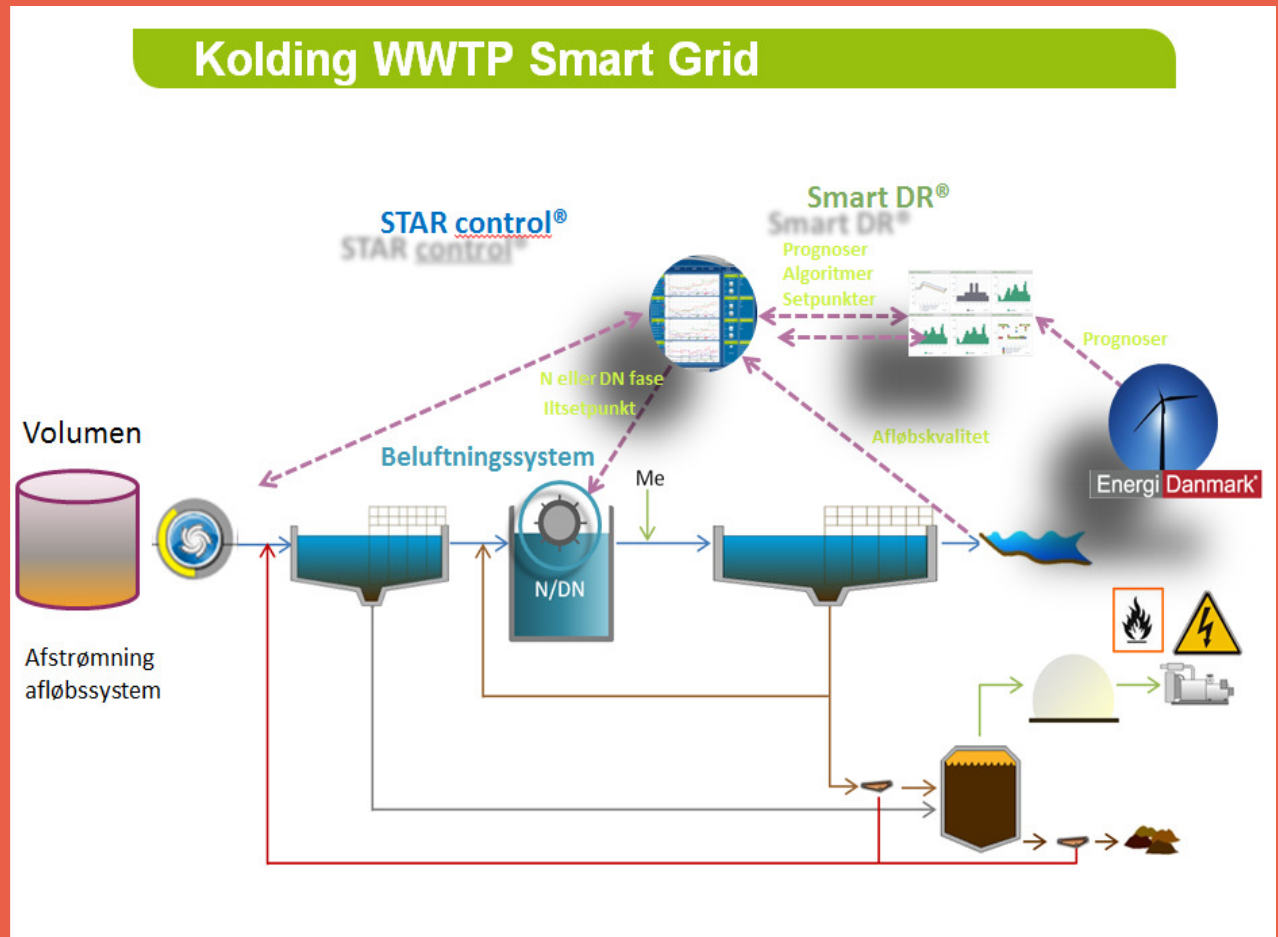


EUDP - Smart Grid

Smart Grid styring til Kolding Centralrenseanlæg



Juni 2016

EUDP - Smart Grid

Smart Grid styring til Kolding Centralrenseanlæg

Juni 2016

Udarbejdet af: Krüger

Udgave: 1

Krüger A/S – Veolia Water Technologies, Danmark

SØBORG
Gladsaxevej 363
DK-2860 Søborg
T +45 3969 0222
kruger@kruger.dk

AALBORG
Indkildevej 6C
DK-9210 Aalborg SØ
T +45 9818 9300
aalborg@kruger.dk

AARHUS
Haslegårdsvænget 18
DK-8210 Aarhus V
T +45 8746 3300
aarhus@kruger.dk

GLOSTRUP SERVICE
Fabriksparken 35
DK-2600 Glostrup
T +45 3969 0222
service@kruger.dk

AQUACARE
Fabriksparken 50
DK-2600 Glostrup
T +45 4345 1676
aquacare@kruger.dk



Indledning

Nærværende rapport er afslutning på et Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (EUDP) støttet projekt for udvikling af et nyt SmartGrid-modul til STAR-online styresystemet på Kolding Central Renseanlæg.

BlueKolding A/S ønsker at vise hvordan man kan drive renseanlægget og trimme elforbruget til indpumpning af spildevand og kvælstoffjernelse med Smart Grid kontrol ud fra el spot prisen.

Projektet er gennemført i perioden december 2013 til april 2016 med firmaerne EnergiDanmark, Actility og Krüger. Det samlede budget lød på 3 mio. kr, hvoraf de 1,3 mio. kr. er støttet af EUDP.

Rapporten er opbygget efter skabelon fra energistyrelsen.



Oversigt Kolding Central Renseanlæg



Final report

1.1 Project details

Project title	Smart Grid styring til Kolding Centralrenseanlæg
Project identification (program abbrev. and file)	Journal nr 64013-0545
Name of the programme which has funded the project	EUDP
Project managing company/institution (name and address)	Krüger A/S Gladsaxevej 363 2860 Søborg
Project partners	BlueKolding A/S, Kolding Åpark 3 6000 Kolding Actility, 65-67, rue de la Victoire 75009, Paris, France
CVR (central business register)	57446412
Date for submission	31. marts 2016

1.2 Short description of project objective and results

1.3 Executive summary

1.4 Project objectives

1.5 Project results and dissemination of results

1.6 Utilization of project results

1.7 Project conclusion and perspective

Annex

- Bilag 1 Intro til elmarkedet
Bilag 2 Smart Grid brochure



1.2 Short description of project objective and results

The short description should be in two versions:

- an *English version* and
- a *Danish version*.

Each version should be brief, not more than 600 to 800 characters.

English

Smart Grid is a software developed for the controlling system at Kolding Central Wastewater Treatment Plant (KCR). The control unit automatically optimizes the power consumption at the plant in relation to the variation in electricity tariffs, the inflow and the effluent quality, so that the externally purchased electricity preferably is consumed when electricity prices are low, and thereby reducing power consumption during periods when the price of electricity is high.

This means new opportunities for flexible electricity consumption saving on electricity costs, and additional environmental benefit in terms of reducing CO₂ emissions and reducing outlet concentrations to the recipient.

The software is developed, tested and commissioned so that KCR automatically turns up and down pumping and cleaning process in relation to the electricity price on the spot market.

BlueKolding A/S thus contributes to ensuring greater balance and stability on the Danish electricity market with flexible energy consumption.

Dansk

Der er udviklet Smart Grid software til styring på Kolding Central Renseanlæg (KCR). Styringen optimerer automatisk elforbrug på anlægget, i forhold til variationen på elpriser, tilstrømning og afløbskvalitet, således at der fortrinsvis forbruges eksternt købt el, når elprisen er lav, for herved at reducere elforbruget i perioder, hvor elprisen er høj.

Dette betyder nye muligheder for fleksibelt elforbrug med besparelse på eludgifter, miljøgevinst i form af reducere af CO₂ udledning, og i form af reducere af udløbskoncentrationer til recipient.

Softwaren er udviklet, testet og idriftsat således KCR automatisk skruer op og ned for indpumpning og renseprocessen i forhold til elprisen på spotmarkedet.

BlueKolding A/S er dermed med til at sikre større balance og stabilitet på det danske elmarked med et fleksibelt energiforbrug.



1.3 Executive summary

Brief summary of the project and its results and expected utilisation of project results.

Fremtidens renseanlæg bliver energiproducerende og udviklingen af det nye smart software til prognose og varsling af tilløbsmængder, samt optimering af energiforbruget til kvælstoffjernelse, skal sørge for at energien også bliver produceret og forbrugt på de helt rigtige tidspunkter så substitutionen af fossilt brændstof bliver størst mulig – til gavn for både miljø og den danske økonomi.

Projektet har vist at der kan styres efter Smart Grid på større danske renseanlæg ved at flytte energiforbruget fra de dyre timer til de billige timer på elspotmarkedet. Projektet har endvidere forberedt systemet til at kunne styre energiforbruget ud fra regulerkraftmarkedet.

SmartGrid systemet kan, ud fra en prognose for den fremtidige spildevandsbelastning, en prognose for den fremtidige variation på elpriser, den aktuelle driftsstatus og en risikovurdering, fastlægge den fremtidige drift af udvalgte el forbrugende enheder på renseanlægget og i afløbssystemet.

Med demonstration i fuldskala over en periode på 3 uger har Smart Grid styringen vist et potentiale for en besparelse på el udgiften på 100 – 150.000 DKK/år for et anlæg på KCRs størrelse.

Ud over den økonomiske gevinst på el udgiften, har projektet vist en miljømæssig gevinst på reduceret CO₂ udledning ved brug af "grøn" el, samt en reduktion af udløbskoncentrationer i recipienten.

Med intelligent SmartGrid styring af indpumpning til KCR udjævnes døgnbelastningen og dermed opnås bedre forhold for de biologiske bakterier, hvilket igen medfører reducerede udløbsværdier på kvælstof. Potentialet for besparelse på spildevandsafgiften vurderes til at ligge på 0,5 til 1 mio. DKK/år.

Resultatet af projektet er af almen interesse for forsynings og industrier med renseanlæg, da der er et reelt potentiale i SmartGrid. Endelig gavner projektet den danske energibranche og ønsket om at afdække muligheder for bedre energifordeling.



Driftsoperatør indstiller parametre på online målerudstyr



1.4 Project objectives

Description of the project objectives and the implementation of the project. How did the project evolve? Describe the risks associated with the project. Did the project implementation develop as foreseen and according to milestones agreed upon? Did the project experience problems not expected?)

Baggrund

BlueKolding A/S, som er et vandselskab 100% ejet af Kolding Kommune, afleder og renser regn- og spildevand i et eksisterende spildevandssystem, der består af et ledningsnet på 2.000 km, 5 decentrale renseanlæg og et centralt renseanlæg (KCR) på 125.000 PE.

Renseanlægget har biologisk rensning af kvælstof og kemisk/biologisk rensning af fosfor. Gennem processerne, der er relativt energikrævende, dannes slam, der udrådnes til biogas og bruges til el-produktion. Den tilladte vandmængde, der varierer meget, afhængigt af om det er tørvejr eller regnvejr, styres af kapaciteten af pumper og ledninger i kloaksystemet.

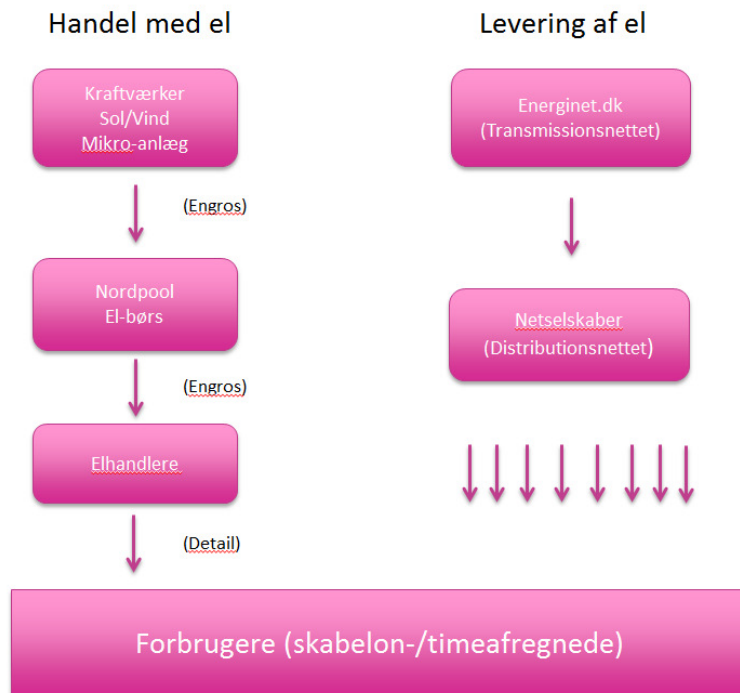
Spildevand, produceret i husholdningerne og hos de danske virksomheder, indeholder en masse energiholdigt organisk stof og vigtige næringsstoffer. Spildevand betragtes derfor i dag i stigende grad som en vigtig (og evig) ressource, der bør udnyttes til at substituere for de traditionelle ressourcer der i dag forsyner energitunge processer, der er tilknyttet transport og rensning af spildevand.

Renseanlæg er blandt de større effektforbrugere på det danske el-net, men kan samtidig også være leverandør af effekt, når biogas produceret fra spildevandet omsættes til el i et gasmotoranlæg. Potentialet for at renseanlæg kan indgå i fremtidens intelligente energisystem er således til stede.

For at bruge mindst mulig energi i til spildevandsrensning, styres der på KCR med et on-line system, der bl.a. måler og styrer ilt-, kvælstof- og fosforniveauer i procestankene, og hermed altså styrer de biologiske processer. For at kunne behandle mest muligt vand, er on-line styringen udvidet til at kontrollere udvalgte pumpestationer, bassiner og spjæld i kloaksystemet, så der kan magasineres og prioriteres i forhold til regn og risiko for overløb. On-line styringen er udviklet til at optimere det øjeblikkelige energiforbrug og sikre størst mulig tilløbskapacitet på renseanlægget. On-line styringen af afløbssystemet er optimeret til at minimere overløb.

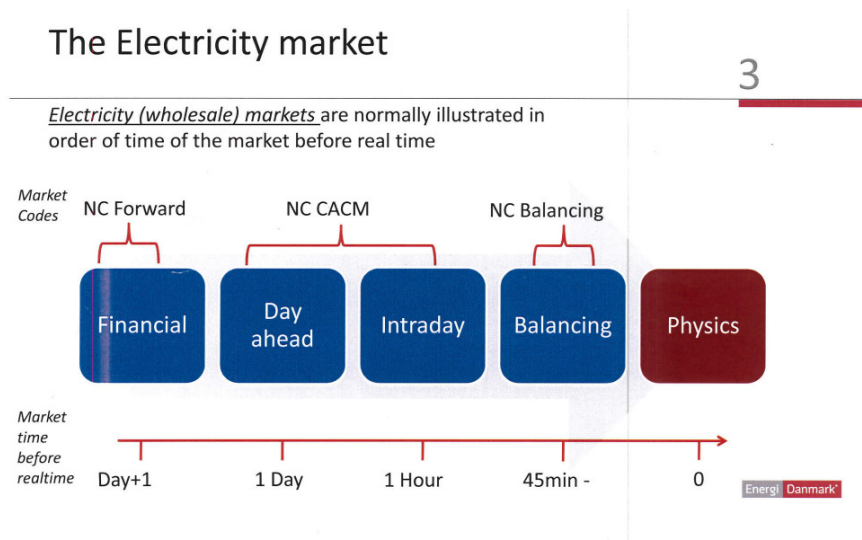
Kort intro til fleksibelt forbrug og el-markeder

Figuren herunder viser, hvordan de fire delsektorer i det danske elmarked hænger sammen. Kraftværkerne producerer og sælger elektriciteten på engrosmarkedet til elhandlerne. Elhandlerne videresælger elektriciteten til forbrugerne på detailmarkedet. Via transmissions- og distributionsnettet bliver elektriciteten leveret fra producenterne til slutbrugerne.



Figur med det danske elmarked – Kilde Inspireret af Energitilsynet

Der er en række forskellige tidsmæssige faser i engrosmarkedet:



Figur der viser tidsfaserne (kilde EnergiDanmark)

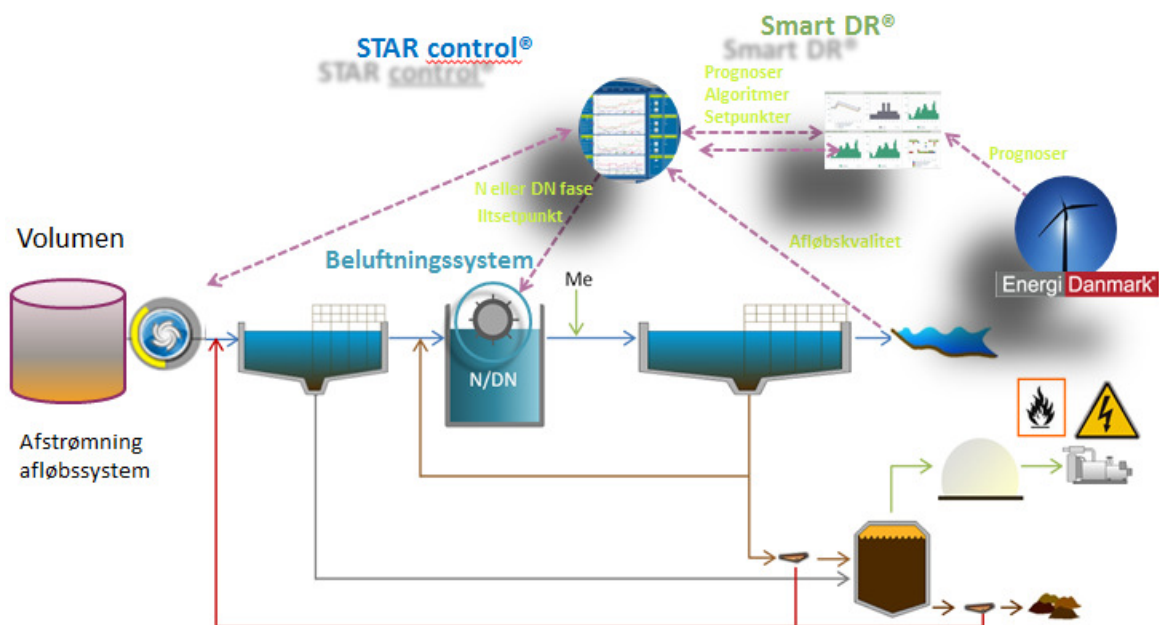
I Danmark handles elforbrug og produktion gennem de forskellige tidsskalaer via NordPool, der er NordEuropas el-børs. Det koster årligt pt. 15.000 EUR at deltage i NordPools markeder. Derudover er der gebyrer per handlet MWh. Derfor køber f.eks. EnergiDanmark el ind i store mængder og sælger videre til retailers, der igen sælger til elforbrugere.



I bilag 1 findes en uddybende beskrivelse af elmarkedet og aspekterne i handlen med el.

I projektet har vi påvist at KCR kan styre energiforbruget ud fra dayahead (spotmarkedet). Vores franske partner Activity har simuleret styring af energiforbruget ud fra Intraday markedet.

I nedenstående figur ses konfigurationen af det opstillede system i Kolding. STAR Control styrer kontinuert på opmagasinerung i afløbssystemet, indpumpning til reanseanlægget samt den biologiske og kemiske rensning. Ud fra prognoser fra EnergiDanmark, prognoser fra DMI og lokale regnmålere, regnes der via algoritmer i STAR på det bedste tidspunkt at forbruge el på i henhold til spotmarkedet.



Figur: Systemkonfiguration for Smart Grid Kolding



1.4.1 Projektformål/målsætning

Projektformål

Projektets overordnede formål er således at flytte energiforbruget til indpumpning og spildevandsrensning på KCR til perioder, når elprisen er lav og omvendt reducere forbruget, når elprisen er høj. Formålet er modsat vedrørende intern el- og gasproduktion, altså at producere når elprisen er høj, svarende til ideen om "Smart Grid".

Et automatisk Smart Grid system til KCR skal, ud fra en prognose for den fremtidige spildevandsbelastning, en prognose for den fremtidige variation på elpriser, den aktuelle driftsstatus og en risikovurdering, automatisk kunne fastlægge den fremtidige drift af udvalgte elforbrugende enheder på renseanlægget, herunder også optimere den interne elproduktion.

SmartGrid systemet skal integreres med bestående styresystem.

BlueKolding har valgt den risikoprofil at som afgrænsning er det valgt kun at anvende SmartGrid i tørvejr, da regnvejr kan optræde uforudsigeligt med risiko for overløb til vandmiljøet. I tørvejr skal systemet således kontrollere el-forbruget på renseanlægget og centrale pumper i afløbssystemet efter varierende elpriser. Ekstra kapacitet på renseanlægget og i afløbssystemet kan udnyttes til at flytte forbrug, men skal samtidig fastholde performance i forhold til udløbskvalitet og overløb.

Nøgletal

EnergiDanmark handler el med BlueKolding. Det samlede energiforbrug for KCR er på ca. 2,3 MWh/år hvoraf der bruges ca. 1 MWh/år på beluftning (til biologisk kvælstoffjernelse).

Indpumpning på KCR foregår fra Kolding by (ca 7-8 km med højdeforskel på 30 m) og energiforbruget er ca. 1,5 MWh/år. Der pumpes ca. 10-12 millioner m³ spildevand/året til KCR.

KCR producerer ca. 0,5 MWh/år via udvinding af biogas. Der er netop lige nu installeret ny gasmotor, hvor den forventede fremtidige effekt bliver på ca. 1 MWh. Der er i 2015 installeret solcellesystem, der producerer ca. 0,37 MWh/år.

Målsætning

Projektets målsætning er gennem en udviklet SmartGrid software, at flytte energiforbruget fra de "dyre timer" til de "billige timer" på elspotmarkedet, således at elforbruget automatisk optimeres i forhold til variationen på elpriser og afløbskvalitet. På baggrund af data fra en 3 måneders periode i ultimo af 2013 estimerede Energidanmark en teoretisk mulighed for en økonomisk besparelse på årlig 250-300.000 DDK, med daværende variation på elspotmarkedet og ved effektiv udnyttelse af potentialet.



1.4.2 Gennemførelse af projektet

Projektet var planlagt i 2 hovedfaser:

Fase 1 (2014) med udvikling af softwaremodel med algoritmer (matematiske og statistiske), der beskriver og forudsiger den biologiske proces i renseanlægget. Modellen skal forudsige koncentrationerne af kvælstof (NH_4 (ammonium) og NO_3 nitrat)), i forhold til tid og mængder. Således skulle der opstilles en on-line prognose af den biologiske renseproces, samtidig med at den løbende opdateres med on-line data fra anlægget, så modellen svarer til virkeligheden. Denne del skulle partneren Actility udvikle.

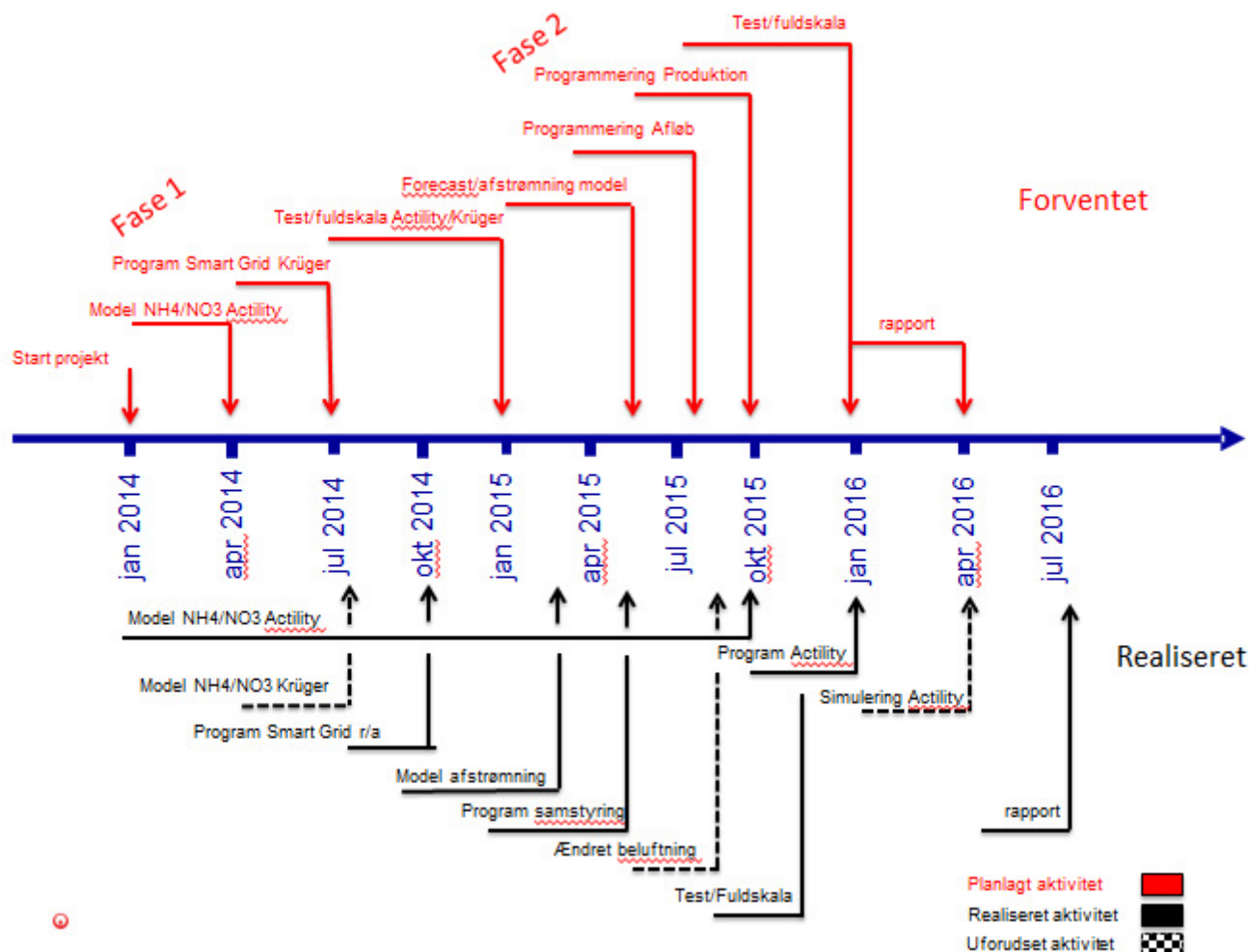
Efter test af modelsoftwaren implementeres denne i den daglige on-line styring og overvågningssystem (styresystemet STAR), således at driftspersonalet kan tilvælge muligheden for at styre anlægget ud fra "SmartGrid" algoritmer. Sammenkobling og test skulle udføres af driftspersonalet på KCR samt Krüger.

Fase 2 (2015) med udvikling af forecast model på afstrømningen til forrenseanlægget (som pumper spildevandet ind på KCR), baseret på vejrprognoser og eventuelt data fra radar. Denne model skulle Krüger udvikle.

Den samlede model for renseanlæg og for afløbssystem (indpumpning til renseanlæg) benyttes til at planlægge tid for indpumpning og tid for beluftning (den biologiske proces) på anlægget, således at energiforbruget rammer de billigste timer på døgnet i forhold til el-spotmarkedets priser.

Derudover skulle der udvikles prognose for "el-produktion" via anlæggets gasgenerator, således at anlægget primært kan producere el, når elprisen er høj. Denne prognose model skulle udvikles af Krüger.

Sidst i forløbet skulle det samlede system testes og indkøres i fuldskala med Actility, driftspersonalet på KCR og Krüger.



Figur med angivelse af tidsplan og det realiserede for projektet

Projektets gennemførelse og milepæle

Projektet blev gennemført efter den overordnede plan. Fase 1 var dog udfordret af, at det var problematisk for vores samarbejdspartner Actility at udvikle en retvisende model for variationerne i spildevandets sammensætning. Fase 1 overskred derfor dens milestone og test, hvilket medførte udskudt indkøring af de nye algoritmer på KCR til november 2015. Actility fik udviklet en model for variationerne i kvælstof over tid og flow. Denne model blev brugt til simulering af styring af KCR (beluftningen) efter ubalancemarkedet. Beskrives nærmere under afsnit 1.5.2

Derfor fandt Krüger det nødvendigt at udvikle en algoritme, der beskriver prognosen i spildevandets sammensætning over tid. Denne model/prognose er blevet videreudviklet i Fase 2 med koblingen til forudsigelse af afstrømningen til afløbssystemets centrale pumpestation (kaldet forrenseanlægget), der pumper til KCR.



Dette forløb betød, at vi blev forsinket med test og indkøring af styringen på KCR. Fase 1 blev afsluttet i løbet af maj 2015.

Fase 2, som omhandler forecast af afstrømningen til forrenseanlægget blev udviklet i henhold til tidsplanen. Styringen er udviklet til at kunne anvendes i tørvejr, hvor spildevandssystemet har en god overkapacitet. Det er derfor nødvendigt at være informeret om kommende nedbør, så den eksisterende on-line styring kan omstille proaktivt fra "styring efter elpriser" til "regnvejrdrift".

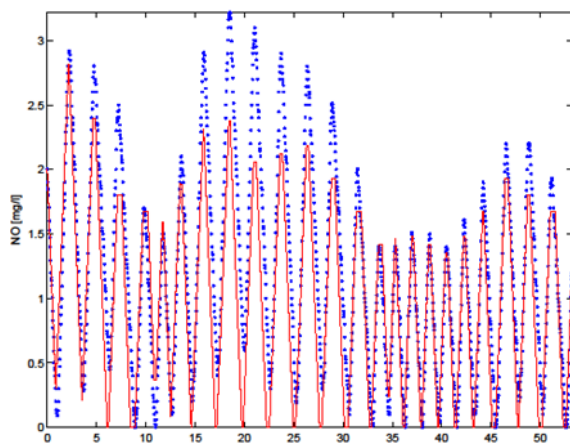
For at kunne omstille proaktivt til "regnvejrdrift" er vejrudsigten fra DMI implementeret i styringen, så der haves varsel om kommende nedbør flere døgn frem i tiden. Desuden er der inkluderet mindst 5 on-line regnmålere i lokalområdet til information om den aktuelle nedbørssituation.

Udvikling af styring til gasproduktion i forhold til Smart Grid er henlagt til senere projekter. Som afgiftssystemet og tilskudsordninger er sammensat, er der ingen gevinst for BlueKolding i at styre på gasproduktion ift Smart Grid på nuværende tidspunkt.

Fuldskala test og drift af KCR, i samstyring med afløbssystemet, blev udført i oktober til november 2015.

Actilitys udvikling af algoritmer for beluftning af spildevandet blev klar til test i efteråret 2015. Samtidig skiftede BlueKolding beluftningssystem på KCR fra overfladebeluftning til bundbeluftning, hvilket udfordrede Actilitys algoritmer. Derfor blev projektet forlænget med 3 måneder til afslutning ultimo marts 2016. De sidste 3 måneder af projektet blev brugt til at teste Actilitys algoritmer og til at simulere afregning af el i forhold til "ubalancemarkedet".

Projektet er afsluttet pr 31. marts 2016 og BlueKolding kan udnytte kapaciteten i renseanlægget og afløbssystemet med Smart Grid Control ud fra elspotpriser.



Figur med eksempel på forudsigelse af NO₃ i luftningstank, hvor den stiplede blå farve er den beregnede værdi, mens den fuldt optrukne er den reelle værdi



1.4.3 Risici i projektet

Ved at udskyde indpumpning og beluftning af kvælstof opstår der både miljømæssige og økonomiske risici.

BlueKolding skal transportere og rense spildevandet ud fra et forsynings sikkert metodevalg og dermed er det overordnede mål for BlueKolding at minimere overløb i afløbssystemet og minimere overskridelse af udløbsværdier (miljøkrav) fra KCR. Vandselskaberne bliver afregnet på udløbsværdier, hvilket kan være meget omkostningstungt ved for høje værdier.

På KCR haves i forvejen avanceret on-line styring med STAR Utility Solutions, som konstant optimerer processen i at styre energi- og kemikalieforbrug i forhold til kravværdier i udløbet og i forhold til at minimere risikoen for overløb af urensset spildevand.

Ved at udskyde eller flytte tidspunktet for indpumpning, ophobes spildevandet i kloaksystemet og risikoen for overløb af urensset spildevand er stigende. Desuden kan der ved ophobning af spildevand i kloaksystemet, opstå lugt- og hygiejneproblemer.

Ved at udskyde eller flytte tidspunktet for beluftning af spildevandet i den biologiske renseproces, risikerer man, at der opstår for store kvælstofkoncentrationer (dårligere kvalitet af udløbet) og risikoen for fosfor stripping er stor, hvilket kan medføre store spildevandsafgifter.

Derfor er on-line prognoser vigtige således at styringen kan træde ud af SmartGrid når risikoen stiger og eller når styresystemet melder fra.

Ud over miljømæssige og økonomiske risici på udløbsværdier, ligger der også en udfordring i at kunne "se" længere ud i fremtiden, sådan et tilsyneladende momentant optimalt økonomisk elforbrug ikke resulterer i ubalancer i spildevandsprocesserne der medfører at et stort elforbrug i netop den periode hvor elprisen er på sit højeste ikke kan undgås.

Smart Grid modulet er udviklet således at det er driftsoperatøren der vælger niveau for risiko. Styringen udnytter det buffervolumen der ligger i afløbssystemet og på renseanlægget.



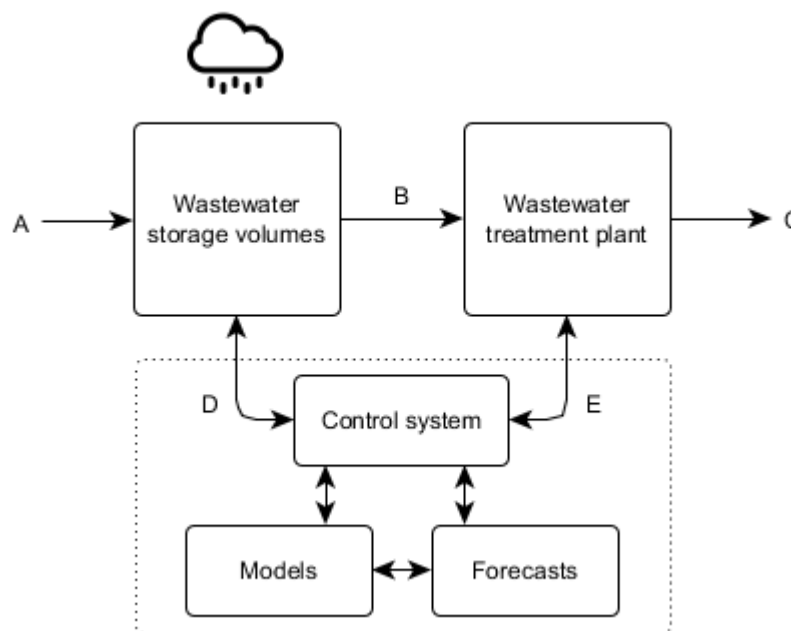
1.5 Project results and dissemination of results

Description of main activities and technical results in the project as well as description of commercial results and expectations of the project.

De vigtigste aktiviteter og tekniske resultater projektet har skabt er følgende:

Software (moduler):

- Prognose for afstrømning til forrenseanlægget (indløb til KCR)
- Prognose for beluftningsbehovet (biologisk kvælstoffjernelse)
- MPC (model prædikeret styring) af renseanlæg
- Styring til optimering af udløbskvalitet, energiforbrug (blæser og pumpestation) med dynamisk volumen ud fra spot-pris markedet.
- Styring til optimering af udløbskvalitet og energiforbrug (blæser) ud fra balancekraftprisen (ubalance) markedet (Actility)
- Styring af udvalgte komponenter ud fra regulerkraftmarkedet



Figur med skitse af sammenhængen mellem on-line styring, model og prognose

Resultaterne er herunder beskrevet i to afsnit. Det første afsnit omhandler samstyringen af både afstrømningen til KCR og energiforbruget til blæserne på renseanlægget ud fra el-spot priser.

Det andet afsnit beskriver resultaterne af forsøget med Actilitys model for biologisk kvælstoffjernelse og styring af blæserne på renseanlægget. Under dette forsøg var styringen af Smart Grid indpumpningen (forrenseanlægget) til renseanlægget ikke aktivt. Styringen afprøves i forhold til balancekraftpriserne.



1.5.1 Fleksibelt styrbart volumen og styringen af blæser ud fra el-spotpriserne

I dette forløb af projektet integreres styringen af fleksibelt styrbart volumen og styringen af el forbruget (blæserne) med el-spotpriserne og udløbskvaliteten.

På renseanlægget er elforbruget primært forbundet med styringen af beluftningen, der styres indirekte gennem de operatør definerede ammonium setpunkter. Elforbruget kan skrues op og ned ved at skrue op og ned på setpunkterne, og dermed også udløbskvaliteten. Udløbskvaliteten evalueres som døgn gennemsnit, da el-spotpriserne har en daglig variation og er billigst om natten, kan vi skrue ned for elforbruget om dagen så udløbskvaliteten bliver lidt ringere end normalt. Til gengæld kan vi skrue op for elforbruget om natten, hvor udløbskvaliteten bliver bedre end normalt. Styringen kigger på de faktiske priser og justerer setpunkterne til de rigtige tidspunkter.

Det kræver en mere detaljeret modellering og styring end vi har i dag, hvis afvejningen mellem elforbrug og udløbskvalitet, og dermed besparelsen, skal kvantificeres mere præcist. Men vi har vist, at vi kan flytte på elforbruget med beluftningen uden konsekvenser for udløbskvaliteten (som døgnmiddel). Umiddelbart er spildevandsafgiften langt højere end de nuværende el-spotpriser, hvilket ikke flytter meget på beluftningens elforbrug.

El-spotpriser, afløbssystem og anlæg

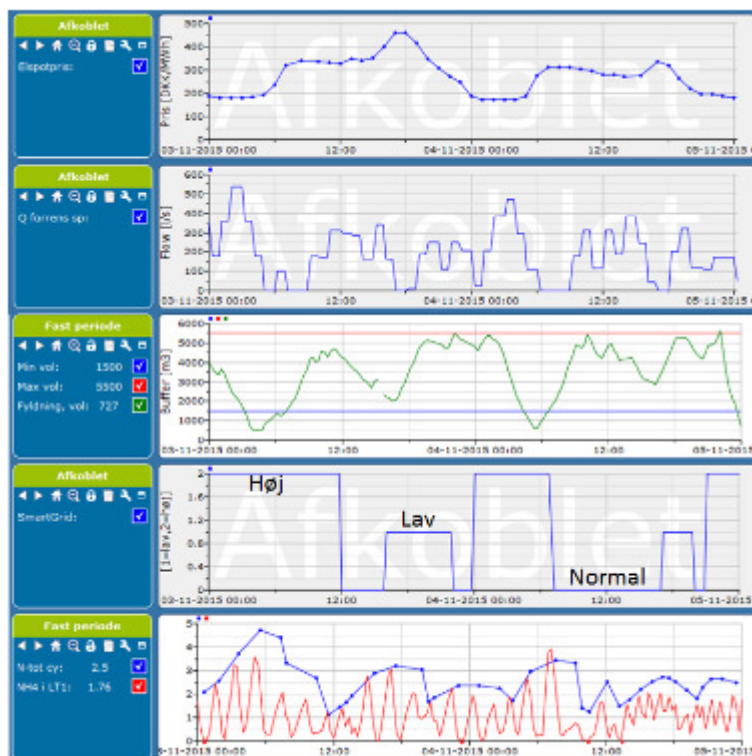
Den mest effektive måde at ændre renseanlæggets elforbrug er ved at ændre belastningen, dvs. flow (og dermed ammoniumkoncentrationen i indløbet) til renseanlægget. Med et fleksibelt styrbart volumen i afløbssystemet kan vi netop ændre belastningen i tid. Vi kan også flytte elforbruget af pumperne. Vi har udviklet en styring, der finder det optimale flow-setpunkt ifht. at spare mest muligt gennem el-spotprisen. Samtidig opretholder styringen en lav overløbsrisiko og optimerer belastningen og dermed udløbskvaliteten på anlægget gennem flowet.

Resultater

Fra slutningen af september 2015 til midten af november, var der en periode med tørvejr i ca. 3 uger. Samstyring mellem Smart Grid på afløbssystemet og Smart Grid på KCR kunne således være i fuld skala drift i en længere periode. For denne periode har der været en besparelse i eludgiften til hvad der svarer på 100-150.000 DKK/år under de givne betingelser.

Driftspersonalet observerede i forsøgsperioden af udløbsværdierne blev reduceret i forhold til den "normale driftsperiode", hvilket giver en økonomisk gevinst på spildevandsafgiften. Kvantificering af denne gevinst søges i fremtidige projekter.

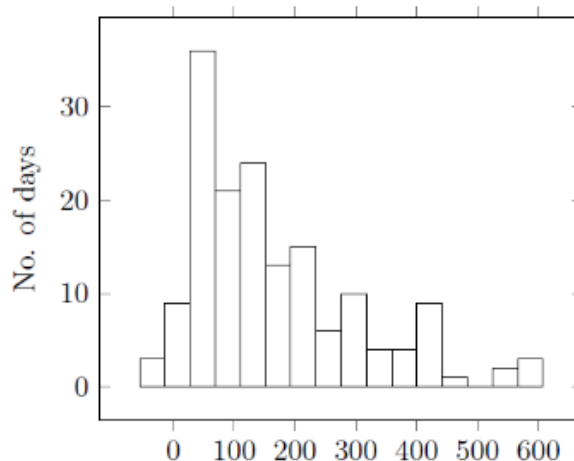
Potentialet i denne gevinst blev simuleret gennem et software beregningsprogram og som beskrevet i afsnit 1.5.3, ligger der en ½ til 1 mio. kr./år i besparelse på spildevandsafgifter.



Figur med skærbillede fra STAR systemet. Panel A viser elprisen pr. time. Panel B+C viser resultater fra afløbssystem (hvv. flowsetpunkt fra forrens og udnyttelsen af bufferen i afløbssystemet). Panel D+E viser renseanlægget (hvv. driften af beluftningen på og udløbskoncentration fra procestanke).

Simuleret resultater for balance priser (spot price)

Der er foretaget en simulering for en periode fra primo september 2015 til medio februar 2016, hvor indløbsflowet og elprisen har været kendt. I nedenstående figur vises besparelsen over de 160 dage. Simuleringen viste samme potentiale for besparelse, som blev eftervist under fuldskala testen, altså ca. 100-150.000 DKK/år.



Figur: Histogram for simuleret besparelse over 160 dage.



1.5.2 Styringen af blæser ud fra ubalance markedet

Actility fungerer som retailer på det franske marked. I projektet var det planlagt at de skulle udvikle en algoritme på beluften på renseanlægget, som derefter skulle udveksle data med on-line styringen og styre kvælstoffjernelsen ud fra elpriserne på ubalance markedet.

Styringen finder det optimale energiforbrug, bedste pris og optimerer udløbskvaliteten.

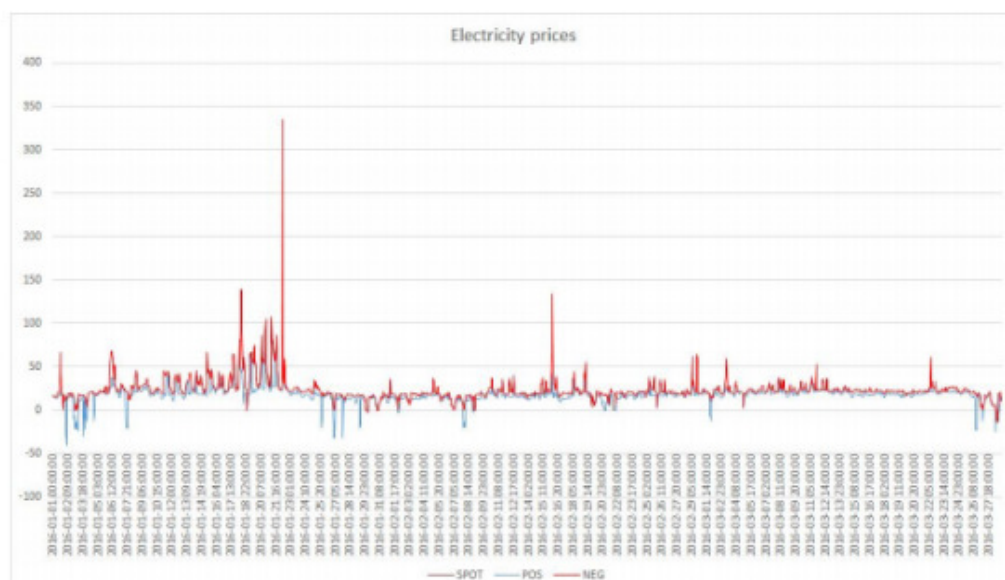
Det har ikke været muligt at teste fuldskala på ubalance markedet i Danmark på nuværende tidspunkt. Derfor har Actility afprøvet deres algoritme på simuleret drift i en 3 måneders periode fra januar til ultimo marts 2016.

Følgende afsnit er konkluderet ud fra rapport som Actility har udarbejdet.

Resultater

Resultatet af simuleringen er baseret på en 3 måneders periode, som gør at resultatet for analysen er velbegrunderet.

Det fleksible forbrug har haft et potentiale på ca. 110 kW, hvilket giver et udbytte på ca. 120.000 DKK/år. Det fleksible energiforbrug er den energi, som er til rådighed i gennemsnit for styringsændringerne, enten det er opad eller nedad, når den er forskellig fra 0. Der er beregnet et potentielt udbytte på 460.000 DKK/år under ideelle forhold, dvs. ingen energibegrænsning og ingen fejl på modelforudsigelsen.



Figur af prisudviklingen for el under simuleringsperioden fra januar til marts 2016.



1.5.3 Realisering af mål

Did the project succeed in realising its objectives? If not, why? Did the project give answer to the problem stated in the project proposal which the funding has been based on. Did the project produce results not expected

Projektets formål med at flytte energiforbruget for indpumpning (fra kloaksystem) og spildevandsrensning på KCR til perioder, når elprisen er lav og reduceres, når elprisen er høj er lykkedes.

Med hensyn til produktion af el via gas der er udvundet fra rådnetank-systemet ud fra Smart Grid er henlagt til senere projekter. Der findes i dag et støttesystem til anlæggene, således at den producerede el betales med kr. 1,15 pr kWh. Dette gør, at der for tiden ikke er incitament for at styre på produktionen med Smart Grid tankegangen.

Der er opstillet avancerede styringsalgoritmer for Smart Grid, der i tørvejr har været inkluderet i den daglige on-line styring af spildevandssystemet. Der har været fuldskala drift af både afløbssystem og renseanlæg hver for sig, og samlet ved samstyring.

Den eksterne partner fra franske Actility har ligeledes haft simuleret drift af renseanlægget, for at teste/simulere mulighederne på ubalancemarkedet.

For at kunne implementere Smart Grid i et spildevandssystem, er det nødvendigt med fleksibilitet. Det udførte projekt har i fuld skala demonstreret, at denne fleksibilitet kan være til stede, i hvert fald er den eftervist hos BlueKolding.

Driftspersonalet hos BlueKolding har ikke rapporteret om uønskede konsekvenser af den ændrede driftsform. Eksempelvis kunne lugt fra afløbssystemet have været et problem i de perioder, hvor buffervolumenet blev udnyttet meget.

Den største besparelse i det nuværende marked opnås ved at flytte belastningen, dvs. ændre flowet i spildevandssystemet. At flytte på tiden for beluftning på renseanlægget giver ikke den forventende gevinst/besparelse, hvilket hænger sammen med den risikovillighed man kan tage.

Den forventede teoretiske besparelse på BlueKoldings årlige energiforbrug på 250-300.000 DKK blev ikke opfyldt i den periode hvor vi kørte fuldskala/simulering. Der er flere årsager til at projektet opnåede omtrent det halve af den teoretiske besparelse:

- Variation og dynamik i elspotpriserne var meget begrænsede i perioden.
- Et bevidst valg af reduceret fleksibilitet pga. hensyntagen til udløbsværdier (dvs konservativ styring i forhold til det teoretisk mulige).
- Der er en forholdsvis stor træghed i et spildevandssystem.



- Udbyttet bliver begrænset af markedsmuligheder, under den rimelige antagelse, at markedets størrelse er meget større end det fleksible elforbrug, som er på anlægget.
- Fejl i forudsigelsen: Resultaterne viser ca. 80% nøjagtighed, hvilket betyder, at mere end 8 gange ud af 10 er valgte beslutning korrekt.
- Under simuleringsperioden blev der bemærket en skævhed i elsystemet, hvilket har påvirket resultatet i begrænset omfang. Algoritmen gjorde brug af denne skævhed, hvilket sandsynligvis resulterede i en begrænsning af det estimerede udbytte.
- Den resterende forskel med simuleret resultat og det ideelle udbytte skyldes manglende fleksibilitet i det fysiske system. Andre simuleringer viser, at udbyttet kan stige til det dobbelte, hvis de fysiske begrænsninger løsnes til en vis grad.
- Den samlede gevinst på ca. 120.000 DKK/ år er i overensstemmelse med resultater opnået i andre lande som Frankrig eller Belgien, selv om disse systemer er meget forskellige fra det danske system.

En forholdsvis uventet gevinst ved at regulere indpumpning efter Smart Grid var besparelse på spildevandsafgiften og dermed også gevinst for miljøet.

Driftspersonalet ved BlueKolding har observeret et generelt meget lavere niveau i udløbsværdier i forhold til normalt. Det formodes, at en udjævning af døgnbelastningen på renseanlægget, giver langt bedre (og kendte) betingelser for de biologiske bakterier, hvilket igen betyder et fald i udløbsværdierne. Det har desværre ikke været muligt på nuværende tidspunkt at kvantificere, hvor meget det har betydet for økonomien.

Ved at simulere med "BioWin" renseprogram indikeres der et besparelspotentiale, ved udjævning af indpumpning på et renseanlæg på størrelse med KCR, på 50 - 100 kg N /døgn hvilket svarer til ca. 0,5 til 1,0 mio kr/år. Dette potentiale skal afdækkes fremadrettet.



Did the project so far result in increased turnover, exports, employment? Do the project partners expect that the project result in increased turnover, exports, employment?

Actility som er en fransk IT virksomhed, har fået afprøvet nye applikationer (dansk renseanlæg) på ubalance markedet, som de har erfaring med for primært industrianlæg i Frankrig. Actilitys rolle som aggregator i det danske marked kunne ikke afprøves, da det er EnergiDanmark der for nuværende har el handelseftale med BlueKolding. Der foreligger et potentiale for SmartGrid styring af renseanlæg specielt i Frankrig hvor Actility agerer på elmarkedet og Krüger på Forsyningsmarkedet via moderselskabet Veolia. Her forventer Actility og Krüger/Veolia at der kan etableres et samarbejde der medfører både større omsætning og flere ansatte.

EnergiDanmark som er el leverandør til BlueKolding har nu mulighed for tilbyde ny sammensætning af prisaftaler. BlueKolding har vist der er et potentiale for større industrianlæg som KCR, for at kunne deltage på de forskellige markeder, spotmarkedet og regulerkraftmarkedet.

EnergiDanmark ønsker at afprøve mulighederne på demand/response markedet i Danmark og har sammen med en engelsk samarbejdspartner KiWi Power oprettet et pilotprojekt med en række større forbrugere. BlueKolding og Krüger er inviteret med i projektet og kan umiddelbart deltage, idet den risikovurdering, der kontinuert skal foretages i spildevandssystemet, er opbygget i Smart Grid styringen. Formålet med projektet er at pulje en række enheder, som afprøver fælles fleksibilitet og den eventuelle økonomiske gevinst i at deltage på et marked, som er forholdsvis ukendt endnu på det danske.

Både BlueKolding og Krüger forventer sig meget af ovennævnte projekt. For BlueKolding er det en understregning af at være innovative og deltager på dette marked med et spildevandssystem og for Krüger kan det give ekstra moduler til on-line styring, som kan give værdi til hele spildevandsbranchen.

Krüger

Det er aftalt, at BlueKolding og Krüger sammen promoverer Smart Grid styringen på det danske marked. I første omgang hos de kunder i vandbranchen, som i forvejen har det grundlæggende on-line styresystem STAR. Derefter til kunder med større renseanlæg som ikke har styresystemet STAR, det være sig både de offentlige forsyningsselskaber og industrielle anlæg.

How has project results been disseminated?

Krüger er i gang med at søge patentretligheder på resultatet af projektet. Derfor er formidling planlagt som følger:

- gennem temadage med udvalgte kunder i branchen
- via brochurer og præsentationer på internettet (både BlueKolding og Krüger)
- præsentationsfilm



- udstillings – og informationsmateriale
- via præsentationer på spildevandsbranchens sammenkomster som DANVAs årsmøder, og vand konferencer samt Spildevandsteknisk Forenings årsmøder og temadage.
- artikler i Krüger Nyt, i vandbranchens temablade mm.
- artikler i andre fagblade, som eksempelvis Ingeniøren, Teknik og miljø, Dansk Miljøteknologi, Licitationen m.v.



Driftsoperatør overværer beluftningssystemet



1.6 Utilization of project results

How do the project participants expect to utilize the results obtained in the project? Do any of the project participants expect to utilize the project results - commercially or otherwise? Which commercial activities and marketing results do you plan for? Has your business plan been updated? Or a new business plan produced? What future context is the end results expected to be part of, e.g. as part of another product, as the main product or as part of further development and demonstration? What is the market potential? Competition?

BlueKolding planlægger at kunne deltage i EnergiDanmarks test af demand/response markedet, med heraf besparelse på energiudgifterne og udnytte fleksibiliteten med de større energiforbrugende komponenter. Det forventes også, at det vil give en gevinst at udvide Smart Grid styringen til flere komponenter på anlægget.

Krüger forventer, at formidlingen af resultaterne, samt udvidelsen af den eksisterende pakke med on-line styringen, giver adgang til endnu flere kunder, der vil udnytte kapaciteten i deres anlæg, til optimering og energibesparelser.

Krüger arbejder i øjeblikket med en udvidelse af forretningsplanen for on-line styring, også gældende for det internationale marked. Der er potentiel adgang til adskillige større anlæg gennem vores moderselskab Veolia Water. På det internationale marked er der andre drivere for Smart Grid styringen, som forventes at kunne bidrage med større efterspørgsel.

Den primære målgruppe for løsningen er i første omgang danske (og senere udenlandske) forsyningsselskaber og større danske (og senere udenlandske) produktionsvirksomheder med drift af spildevandsrenseanlæg – og systemer. I et energimarked, der peger i retning af øgede priser og endnu større differentiering af pris fra spidslasttime til lavlasttime, så vil behovet for løsningen øges.

Løsningen bidrager til en forbedret økonomi i energiudnyttelsen, men også til en mulig omfordeling af energiforbrug, der er nødvendig i relation til omstillingen til vedvarende energikilder.

Det vurderes at der alene i Danmark vil være mindst 50 renseanlæg (offentlige og private), som vil kunne drage økonomisk nytte af løsningen. Løsningen vil på kort sigt skulle sælges på markeder, der har en energisituation, der ligner Danmarks.

Krüger har solgt on-line styresystem til ca. 70 anlæg, hvoraf 20 er udenlandske, og dette vurderes at være en god basis for salg af SmartGrid-modulet.

På globalt plan er det meget svært at skønne potentialet, idet energisituation og samlede miljøudfordringer varierer betydeligt, men et forsigtigt skøn siger ca. 500 anlæg, der vil have gavn af løsningen. Salg vil også afhænge af pris og tilbagebetalingstid.



Med forbehold vurderes det således, at der i løbet af 5 år efter udviklingen af løsningen er solgt en SmartGrid-løsning til 25 anlæg.

Ejerskab af produktet og produktsikkerhed

Der er udviklet et Smart Grid modul til STAR on-line systemet som er en patenteret styrepakke. STAR platformen er modul udviklet siden 1992 og er State-of-the-art indenfor on-line styringer af spildevandssystemer. Krüger foretager løbende opdatering af koder og algoritmer og tilpasser til nuværende og fremtidige softwareplatforme og hardwarekrav. Med udviklingen af Smart Grid modulet vil produktets differentiering og nyskabelse være endnu mere fremtrædende og med til at sikre dets fremtid.

Umiddelbart forventes det at Smart Grid modulets i tillæg til det eksisterende STAR skal koste ca. 2- 300.000 kr. svarende til en tilbagebetalingstid på 1-3 år.

Konkurrenter

Internationalt findes en række store virksomheder som IBM, Siemens, Shneider, GE mfl. Som har produkter til Smart Grid til "Smart Cities". Tilsvarende findes der en lang række virksomheder som kan levere styring til renselanlæg både nationalt og internationalt. Der findes dog pt. med Krügers kendskab, ingen der har et produkt der forener styring af energibehov i kombination med avanceret processtyring af et spildevandssystem. Det kan der være flere grunde til, men væsentlig er vel at energibehovet på et renselanlæg netop afhænger af en lang række parametre og derfor er vanskeligt at prognosticere. Krüger er i dag markedsledende i forhold til denne prognosticering.

Do project participants expect to take out patents?

Krüger arbejder med at tage patent på optimering af spildevandssystem ud fra flere optimeringsmål, ved brug af modelprædikeret styring.

How do project results contribute to realize energy policy objectives?

Danmarks ambitioner, om at integrere mere vedvarende energi, vil medføre gradvist større udfordringer til elnettet i takt med, at andelen af elproduktion fra de vedvarende energikilder stiger. I regeringens energiudspil "Vores Energi" er målsætningen bl.a., at vindkraft skal producere ca. 50% af den samlede årlige elproduktion i Danmark i 2020. Dette indebærer bl.a., at den fremtidige danske elproduktion vil variere en del i forhold til, om det blæser eller ikke blæser.

En af de store udfordringer, med den store andel af vindkraft, bliver at holde elnettet i balance, således at der konstant er balance mellem produktion og forbrug. Dette er vigtigt, da der kan være større omkostninger forbundet med både at have underskud og overskud af el i elnettet.



Én af løsningerne til at sikre større balance og stabilitet i det danske elmarked er ved at gøre elmarkedet mere fleksibelt i forhold til produktion og forbrug. Dette kan give en slutbruger med et vist "el volumen", som eksempelvis KCR, en mulighed for, dels at bidrage til Danmarks målsætning om vedvarende energi, dels at optimere driftsomkostningerne ved køb af el, når enhedsprisen er lav.

Projektet bidrager til at udligne balancen i det danske el-net; ved at tilpasse elforbruget til spildevandsrensningen. Derfor er projektet meget relevant i bestræbelserne på at frigøre Danmark fra fossile brændsler.

Have results been transferred to other institutions after project completion? If Ph.D.s have been part of the project, it must be described how the results from the project are used in teaching and other dissemination activities

Sideløbende med EUDP projektet i Kolding, har der kørt et erhverspostdoc projekt i Krüger med støtte fra Højteknologifonden kaldet "**Smartere udnyttelse af energien i spildevand**".

Målet med dette projekt var at udvide den nuværende styring af afløbssystemer og renseanlæg til at spille bedre sammen med energisystemet og fremtidens Smart Grid. Udfordringen i denne målsætning er at renseanlæg kun har begrænsede muligheder, for at bestemme mængden og sammensætningen af den råvare (spildevand), der skal indgå i produktionen (rent vand). Med andre ord findes en elastik, der ikke må strækkes for hårdt, da dette ellers lokalt kan have negative konsekvenser for vandmiljøet.

Forventningen til dette projekt var en udvikling af softwareløsninger, der sikrer en størst mulig udnyttelse af elastikkens fleksibilitet.

Løsningen blev en iterativ real-time optimeringsproces af elforbrug og elproduktion på KCR, hvor der i fuld skala udføres fuldautomatisk styring i forhold til balancen i det danske elsystem og afløbskvaliteten af det rensede spildevand. Løsningen er baseret på tilgængelige data fra kendt teknologi, dvs. data fra on-line-sensorer, regnradarer, vejrmodeller, afstrømningsmodeller og modeller til simulering af afløbssystemer og spildevandsrensning.



Driftsoperatør foran Smart Grid Control styringen

1.7 Project conclusion and perspective

State the conclusions made in the project. Try to put into perspective how the project results may influence future development.

De seneste år er der blevet forsket intensivt i Smart Grid og nu er metoderne modne til avancerede demonstrationsprojekter, der omsætter politiske mål til handling. Dette kan udnyttes til at tilpasse elbalancen på danske renseanlæg og i spildevandssystemet, således at forbrug og produktion af el afbalanceres i forhold til, hvorvidt den danske el produktion til elnettet er baseret på vedvarende CO₂ neutrale energikilder eller fossile brændstoffer.

Danmarks mål om at være fri af fossile brændsler inden 2050, med flere grønne fluktuerende energikilder som vind og sol, kræver en hurtig omstilling af energisystemet. Fremtidens intelligente energisystem, Smart Grid, kræver derfor fleksible forbrugere. Det er i projektet demonstreret at store energiproducerende – og forbrugende renseanlæg kan omstille sig efter Smart Grid og er fleksible forbrugere. På sigt kan flere større anlæg i ind- og udland tilkobles og ud fra separate risikovurderinger, deltage i elhandlen og optimere på energibalancen.



Annex

Add links to relevant documents, publications, home pages etc.

Bilag 1	Intro til elmarkedet
Bilag 2	Brochure Smart Grid