



VUDP PROJEKTRAPPORT

Udvikling af soft-sensorer til at optimere operationer på små, ubemandede spildevandsanlæg



Udvikling af soft-sensorer til at optimere operationer på små, ubemandede spildevandsanlæg

VUDP-foreningen projektrapport

DATO: juni 2024

Projekt ID: 2022.33

Udgiver:

VandCenter Syd og Bionic System Solutions

Udarbejdet af:

Nerea Uri Carreño og Nicolaj Tryk Sørensen

Finansiering:

Vejledningen er finansieret af VUDP-Foreningen, Vandsektorens forening til forbedring af vandsektorens effektivitet og kvalitet

Samarbejdspartnere:

VandCenter Syd og Bionic System Solutions (BSS)



Indholdsfortegnelse

Sammenfatning.....	3
Summary	4
Introduktion	5
Projektets betydning for vandbranchen	5
Markeds- og anvendelsesmuligheder	5
Næste skridt	6
Formidlingsplan.....	6
Projektet.....	8
Formål	8
Otterup Renseanlæg og processen	9
Udviklingsprocessen.....	13
Analyser og test af forskellige tilgange til modellering af fosforkoncentration	13
Modelanalyse.....	14
Korrelationsmatrix	14
Single- og Multivariable Modeller	14
Konventionelle modeller	15
Lineær Model	15
Eksponentiel Model	15
Brugerdefineret Model	15
AI-baserede modeller	15
Valg af endelig model	16
Fejlkilder.....	16
Projektresultater	18
Konklusion.....	20



Sammenfatning

Spildevandssektoren i Danmark skal overholde strenge krav for fosforkoncentrationer i spildevand for at sikre og beskytte vandmiljøet. Fosfor kan enten fjernes kemisk eller biologisk. Den kemiske fjernelse af fosfor er nogle gange foretrukket grundet sin enkelthed og robusthed, i modsætning til en mere kompleks biologisk fjernelse. Kemisk fjernelse af fosfor udføres ved at tilsætte metalsalte. Brugen af kemikalier til at opnå den ønskede fosforreduktion er ikke kun forbundet med en økonomisk omkostning, men også et øget CO₂-aftryk.

Avanceret styring af kemikaliedosering kan derfor reducere et forsyningsselskabs driftsomkostninger og CO₂-aftryk. I den sammenhæng vil specielt små spildevandsanlæg ofte mangle de ressourcer, der kræves for at opnå dette kvalitetsniveau, grundet begrænsninger i økonomi, personale og hardware. Digitalisering af anlæggene giver mulighed for at benytte de allerede eksisterende data og derved forbedre driftsniveauet. Forsyningsselskaberne stræber efter at omstille sig til mere bæredygtig drift, og her tilbyder digitale værktøjer en spændende mulighed for at optimere driftseffektiviteten under hensyn til de ressourcemæssige begrænsninger, som de mindre anlæg står overfor.

I dette projekt har BSS (Bionic System Solutions) udviklet en Soft-Sensor, der forudsiger en kemisk variabel, baseret på information fra andre fysiske sensorer, frem for at etablere en ny fysisk sensor. Denne Soft-Sensor benytter sig af eksisterende målinger, der er tilgængelige online i de fleste faciliteter i Danmark, til at forudsige fosforindholdet i indløbet. Dette forudsagte signal kan derefter bruges til at optimere den dynamiske styring af kemikaliedoseringen og reducere driftsomkostningerne samt CO₂-aftrykket. Soft-Sensoren blev implementeret på Otterup Renseanlæg, driftet af VandCenter Syd, i efteråret og vinteren 2023 og kan give kemikaliebesparelser på over 20%.



Summary

WRRFs in Denmark must comply with strict effluent phosphorus concentrations requirements to protect the environment. Phosphorus removal can be achieved biologically or chemically. Chemical removal of phosphorus is sometimes preferred because of its simplicity and robustness, as opposed to enhanced biological phosphorus removal. Chemical removal of phosphorus is conducted with the addition of metal salts. The use of chemicals to achieve the desired level of treatment has associated not only an economic cost, but also a carbon footprint.

Advanced control of chemical dosage can therefore decrease a utility's operational costs and carbon footprint. However, small facilities usually lack the resources required to attain this elevated level of operation, due to constraints in finances, personnel, and hardware. On the other hand, advances in digitalization promise an opportunity for utilities to make better use of the existing data and resources. As utilities strive to transition towards more sustainable operations, digital tools offer an exciting opportunity to improve operational effectiveness under the resource constraints faced by smaller facilities.

In this project a Soft-Sensor, a sensor that predicts a chemical variable based on information from other physical sensors, as opposed to a new dedicated physical sensor, was developed by BSS. This Soft-Sensor uses standard online measurements available in most facilities in Denmark to predict phosphorus inlet concentrations. This predicted signal can then be used to optimize chemical dosage dynamic control and reduce operational cost and carbon footprint. The Soft-Sensor was implemented at the Otterup WRRF, operated by VandCenter Syd, in autumn and winter 2023 and can provide chemical savings above 20%.



Introduktion

Fosforfjernelse i spildevandsanlæg kan udføres enten biologisk eller kemisk. Det er typisk for små renseanlæg at have kemikaliedosering, da den er meget pålidelig, kræver mindre procesvolumen, er meget mindre kompleks og kræver mindre ekspertise fra operatørerne. Kemikaliedosering udføres typisk ved hjælp af simple kontroller, der sikrer, at fosforudledningen altid er under den tilladte grænseværdi. Denne tilgang fremkommer dog på bekostning af en "overdosis" kemikalier (normalt jern eller aluminium). En ideel kemisk doseringskontrol ville tillade kun at bruge den nødvendige mængde kemikalier til at udfælde det fosfor, der er til stede i spildevandet på et givet tidspunkt, og ikke mere.

Fremskridt inden for mekanistiske og datadrevne modelleringsteknikker har hidtil gavnet ressourcestærke spildevandsanlæg på grund af deres overflod af hardware, data og knowhow. Soft-sensorer, som er afhængige af matematiske modeller i stedet for hardware til at estimere spildevandsparametre, har potentialet til at være et økonomisk alternativ til eksisterende målinger. Dette vil bl.a. gavne anlæg med færre ressourcer, til at erhverve og vedligeholde hardware, og endda tjene som proxy for parametre, for hvilke online-sensorer endnu ikke er udviklet. Vi har udviklet en soft-sensor for fosfatkoncentrationer, og korresponderende kemikaliedoseringskrav, baseret på tilgængelige procesdata (indløbsflow, etc.)

Den udviklede soft-sensor for fosfatkoncentrationer, og korresponderende kemikaliedoseringskrav, er baseret på tilgængelige procesdata. I denne testopstilling er der tale om følgende data i indløbet: Flow, vand temperatur, pH og nedbørsmængde. Soft-Sensoren er blevet udviklet af Bionic Systems Solutions og implementeret på et af VandCenter Syds renseanlæg: Otterup Renseanlæg. Anlægget i Otterup indfrier de kriterier, som er lagt for udviklingsprojektet, vedr. type, størrelse mv.

Projektets betydning for vandbranchen

Fysiske fosfatsensorer er dyre at anskaffe, implementere og drive på små renseanlæg. Det vil være en omkostningseffektiv løsning at udvikle en soft-sensor, som er billig i drift, og som vil kunne øge antallet af målinger, der kan give væsentligt forbedret kontrol og analysegrundlag og herigennem reducere kemikaliedoseringen, med afledt positiv økonomisk effekt.

Forudsætningen er at anvende eksisterende udstyr og mekanistiske modeller fra renseanlægget til de nye sensorer samtidig med, at brugen af soft-sensoren vil være vedligeholdelsesfri.

Dette vil være et naturligt trin i den helt nødvendige digitalisering af vandsektoren og være målrettet mod anlæg, der typisk ikke har samme bevågenhed som de store anlæg eller samme driftsøkonomi til trods for, at antallet af disse små anlæg er meget større, og samlet har en stor effekt.

Projektudvikling af og potentiale for denne soft-sensor vil også kunne give grundlag for implementering og udvikling af parallelle digitale løsninger til andre anvendelser i renseanlæggene.

Markeds- og anvendelsesmuligheder

Markedet består af renseanlæg, som inkluderer processen med kemisk udfældning af fosfat helt eller delvist. Introduktion af løsningen har taget udgangspunkt i det danske marked, anskuet bredt indenfor spildevandsrensning. Vi har ikke en strengt defineret målgruppe baseret på renseanlæggenes størrelse. Selvom den driftsøkonomiske anbefaling typisk ligger på omkring 5000-6000 PE som minimum, udelukker dette ikke, at anlæg af mindre størrelse kan være relevante. En



vurdering kan derfor stadig foretages for anlæg under denne grænse, før man konkluderer, om de kan anvendes. Samtidig er der en øvre afgrænsning i forhold til den lokale automatiseringsgrad. Løsningen er generelt dækkende, men der opstår situationer, hvor der er isolerede forhold på et spildevandsanlæg, som giver en mindre / henholdsvis øget anvendelighed. Der er også specifikke ekstra krav til f.eks. datasikkerhed i nogle lande.

BSS Soft-Sensor kan i nogen situationer erstatte fysiske fosfatsensorer, som sidder i spildevandsanlæg.

BSS soft-sensoren har en god anvendelsesmulighed med en attraktiv kemikaliereduktion og afledt driftsomkostning til følge og generelt skal tilbagebetalingen til det enkelte renseanlæg ligge på mellem 1 - 2 år.

Markedet for BSS Soft-sensor anses ikke for at være begrænset til fosfatregulering. BSS soft-sensor teknologien kan benyttes så længe det, som skal estimeres, er målbart, og der er en korrelation og et mønster mellem de data den etablerede sensorinfrastruktur måler. Dette åbner for en række yderligere anvendelser indenfor forsyning og renseprocesser.

Introduktionen af soft-sensoren har allerede givet anledning til overvejelser vedr. andre processtrin i renseanlæggene, som kan være åbne for yderligere digitalisering, med det mål at optimere integration og systematik.

Næste skridt

Planen for dette produkt var todelt: Første del omhandlede en større dataindsamling fra prøveinstallationen på Otterup Renseanlæg. Formålet med denne del af planen var at sikre indsamling af valideringsdata til BSS Soft-sensoren, for herigennem at sikre tilstrækkelige data til verifikation af stabilitet og nøjagtighed.

Dernæst fulgte en aktivitet med at udvide mængden af installationer i andre renseanlæg. Dette havde til formål at påvise Soft-Sensorens anvendelighed i forskellige processer og underbygge anvendeligheden under en række forskellige vilkår.

I denne sidste proces kontaktede vi forskellige danske forsyninger/renseanlæg. Dette forventedes at give direkte salg og yderligere ønsker til funktioner i Soft-sensoren.

Konkret vedrørende denne aktivitet er BSS pt. i gang med møder med forsyninger i Syddanmark og enkelte forsyninger i Midtjylland. Status herpå er, at BSS pt. modtager data fra renseanlæg, validerer og giver feedback på reduktionspotentiale til de pågældende forsyninger. En del af dette forløb er, at BSS udgiver en rapport for hver forsyning, baseret på deres data, til validering af reduktionspotentiale i den konkrete forsyning, eller en konstatering af, at effekten evt. vil være for marginal.

Der forventes at være solgt de første 5-6 installationer før den 30. juni 2024.

Det forventes at udvide soft-sensorens virkningsfelt til andre næringsstoffer, der højner udbyttet af BSS soft-sensoren i nye versioner.

Formidlingsplan

BSS og VandCenter Syd har allerede været i gang med formidling af projektresultaterne.

Første del af formidlingen:



- Projektresultaterne har været formidlet til projektets følgegruppe fra sektoren i en Soft-sensor Online Workshop 13-10-2023.
- Projektresultater har været formidlet aktivt under Dansk Vand Konferencen 22-11 2023 i Aarhus, hvor der udvistes meget stor interesse for projektets funktion og effekter.
- Der er udsendt pressemeddelelse til både lokale og landsdækkende medier, men uden den store presseomtale.
- Der postes på sociale medier omkring løsningen.

Den videre formidling:

BSS vil i resten af 2024 og de følgende år gennemføre en række aktiviteter for at sikre en effektiv formidling af viden og værdien ved brug af soft-sensoren, men også af de nye implementeringer, der forventes som effekt af den første version.

BSS vil sikre, at der vil blive formidlet resultater på både web, konferencer, møder og udstillinger, samt en række medier.

Der vil i den første del af formidlingen være fokus på Danmark, dernæst Sverige, Norge og Tyskland – forventeligt i den rækkefølge.

Vedr. Danmark er BSS pt. i gang med kontakt og besøg hos mange forsyninger for at præsentere løsningen, med henblik på installation. Fokus er pt. på Fyn og Syddanmark, samt lidt i Midtjylland. BSS vil besøge den næste messe i Spildevandsteknisk Forening.

BSS vil i Danmark tale på Food Tech primo oktober i Herning. BSS vil også i tale ved Slamflok døgnet 14.-15. maj 2025 i Middelfart.

Vedr. Sverige taler BSS pt. med den danske ambassade i Stockholm, og BSS vil deltage i møder med Vattenindustrin i november 2024, Sverige. Dernæst forventes der at ville være kontakt til specielt sydsvenske forsyninger.

Vedr. Tyskland vil BSS både udarbejde en besøgsliste, samt sikre præsentation på en af de tyske messer, men nok først IFAT München i 2025.



Projektet

Formål

Mekanistiske og datadrevne modelleringsteknikker har indtil nu primært været til gavn for spildevandsanlæg med rigelige ressourcer, takket være deres omfattende hardware, data og ekspertise. Soft-sensorer, der benytter matematiske modeller i stedet for fysisk hardware til at estimere spildevandsparametre, tilbyder et overkommeligt økonomisk alternativ for anlæg med begrænsede midler. Desuden kan soft-sensorer fungere som erstatning for parametre, hvor online-sensorer endnu ikke er tilgængelige.

Målet er at udvikle en soft-sensor for fosfatkoncentrationer og følgende kemikaliedoseringskrav, baseret på tilgængelige procesdata (indløbsflow, etc.). Dette projekt valgte at fokusere på Soft-Sensoren, fordi en datadrevet model kræver data, hvilket er tilgængeligt for fosfatkoncentrationen.

I denne fase har fokus været at sikre en sensor fokuseret på doseringseffektivitet vedr. fosfatkoncentrationer, men med perspektiv til nogle attraktive yderligere varianter.

Branchen har en udfordring i forhold til øget bæredygtighed i både drift og i forhold til etablering af anlæg. Den nye soft-sensor vil i den første udgave øge muligheden for at bruge eksisterende infrastruktur mere effektivt og dermed minimere ressourceforbrug. Dette mål vil blive fastholdt også i de næste versioner.



Otterup Renseanlæg og processen

Otterup Renseanlæg er valgt på baggrund af flere faktorer. Først og fremmest er anlæggets størrelse mellemstor. Desuden er indløbet ved Otterup Renseanlæg repræsentativt for både husstande og industri, hvilket giver en realistisk blanding af spildevand. Anlægget benytter en kemisk doseringsproces til at regulere fosfor i udløbet, hvilket er en almindelig praksis på denne type renselanlæg. Endelig er den fikserede doseringsstrategi, der anvendes på Otterup Renseanlæg, repræsentativ for anlæg af samme størrelse, hvilket gør det til et ideelt valg for denne undersøgelse.

Otterup Renseanlæg ligger uden for byen Otterup (5.227 indbyggere). Det har en behandlingskapacitet på 12.500 PE. Anlægget blev bygget i 1970 og renoveret i 1990 og 2004. Det udfører biologisk fjernelse af kvælstof og kemisk fjernelse af fosfor.

Otterup Rensningsanlæg er et Bio-denitro type anlæg, udstyret med et stepscreen og en iltet sandfang med sandvasker. Det mekanisk behandlede spildevand ledes til den dobbelte Bio-denitro-kanal. Aktiv slam doseres med jernsulfat, inden det adskilles i en efterklaringstank. Overskudsslam pumpes til en koncentreringstank, hvorfra slammet transporteres til afvanding og derefter til slutdeponering på andre renselanlæg (Søndersø og Nordvest-renselanlæg.)

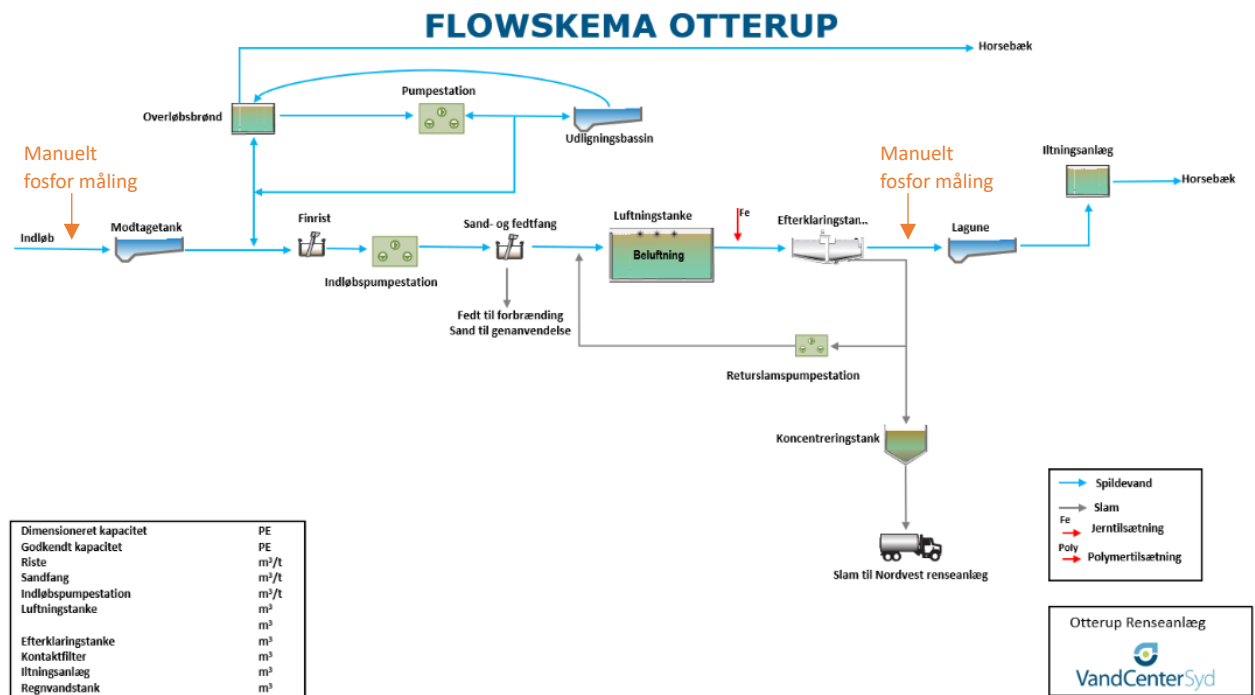


Figur 1 - Et luftfoto af Otterup Renseanlæg

Der er et meget begrænset antal online-instrumentering tilgængelig på Otterup Renseanlæg, hvilket er typisk for renselanlæg af denne størrelse, f.eks. flowmængde, temperatur og pH. Spildevandsprøver i indløb og udløb anvendes en gang om måneden til at måle bl.a. fosfor koncentrationer. Dette giver et meget begrænset billede af renselanlæggets ydeevne, men det bruges i øjeblikket til at optimere driften.

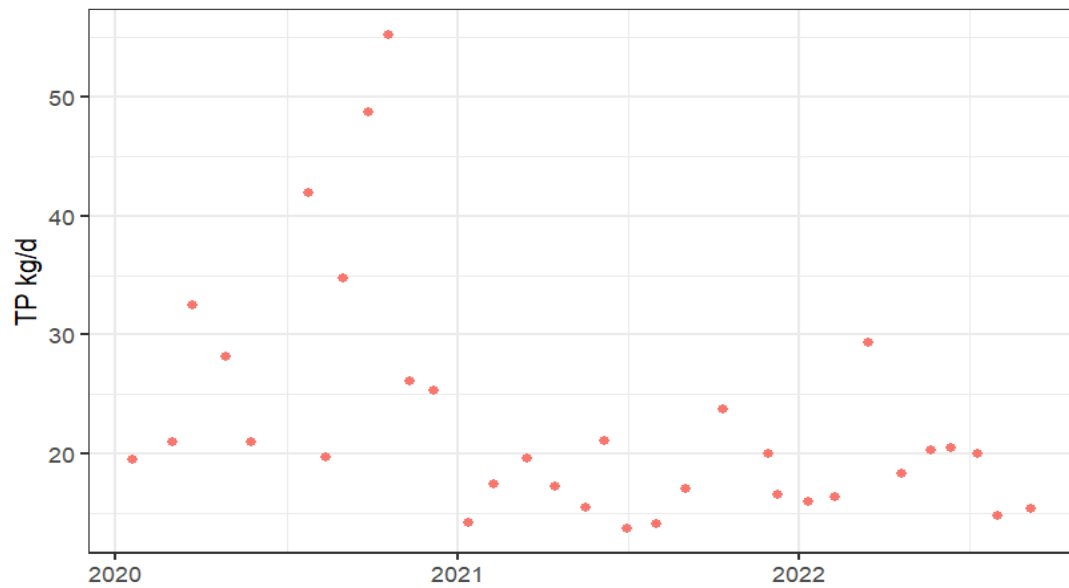


Nedenfor er vist et flowskema vedr. rensprocessen i Otterup:

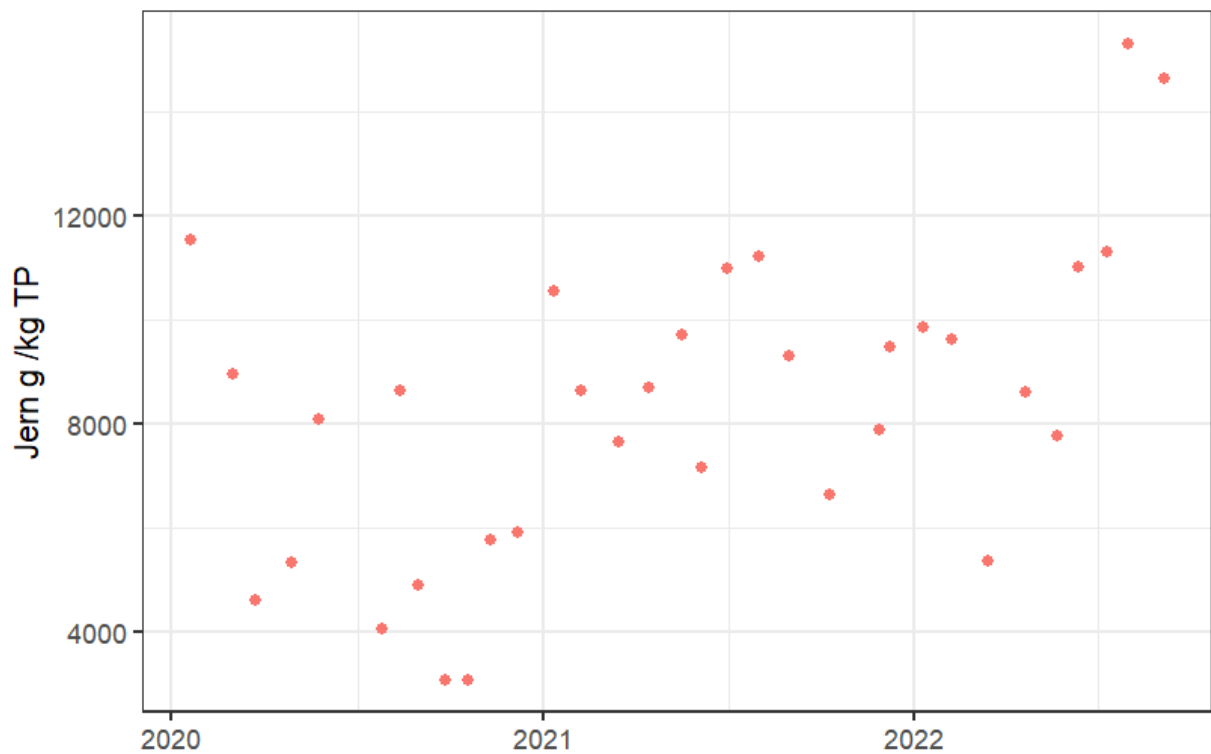


Figur 5 - Flowskema Otterup Renselæg

Fosforfjernelse på Otterup Renselæg sker via udfældning med metalsalte i form af jernsulfat. Helt specifikt anvendes jern som fældningskemikalie. Fosfat reagerer med metal-ionerne og danner bundfald, hvilket fjernes sammen med slammet i en efterklaringstank. Udledningskravet for fosfor på Otterup Renselæg er en maksimal udledning på 1 mg/L. Figur 6 viser totalt fosforkoncentrationer i udløbet fra 2020 til 2023.



Figur 8. Total mængde fosfor i indløbet. Mængden varierer over tid og en fast jern dosering vil derfor ikke være effektiv.



Figur 9. Jern til fosfor forhold

Udviklingsprocessen

For at kunne dosere mængden af metalsalte effektivt, og samtidig sikre, at udledningen af fosfor er inden for de lovpligtige grænseværdier, skal mængden af fosfor kendes.

Når mængden af fosfor kendes, er det muligt, på baggrund af støkiometriske modeller og praktisk erfaring, at lave effektive doseringsmodeller og dermed feedforward regulerede styringssystemer.

Den nuværende proces for indsamling af fosformængder består i en manuel prøve, som skal undersøges og analyseres i et laboratorium eller ved en dedikeret sensor, som kræver vedligehold og kalibrering.

Dette er både en langsommelig og dyr proces. Langsommeligheden gør den ubrugelig for feedforward regulerede styringssystemer, og omkostningerne betyder, at antallet af datapunkter er begrænset. Dermed er det ikke en holdbar løsning.

Et alternativ til den nuværende proces er en fysisk fosforsensor. Denne løsning er dog både dyr og kræver meget vedligehold og overvågning. Dette er ikke en holdbar løsning for mindre ressourcestærke renselanlæg, da deres økonomiske og mandskabsmæssige ressourcer er begrænsede.

Der er derfor ingen holdbar løsning for en direkte måling af fosformængder i renselanlægget.

Opgaven består således i at estimere fosfor baseret på målinger, der allerede foretages i renselanlægget. Dette er en løsning, der hverken kræver indkøb af nye sensorer eller ekstra mandskabsmæssige ressourcer. Fordelen ved denne løsning er, at eksisterende sensorer leverer hyppige målinger af forskellige parametre, hvilket er ideelt for automatisk styring af metalsalte.

Det skal overvejes, hvor målingerne foretages - om det er i indløb, udløb eller en procestank. Det er vigtigt at tage hensyn til de operationelle og praktiske aspekter af anlægget samt modellens præcision og anvendelighed. Den oprindelige plan om at benytte målinger i udløbet blev vurderet som den mest hensigtsmæssige løsning, da det ville simplificere styringsprocessen. Udløbet er typisk et sted, hvor koncentrationerne er stabiliserede, hvilket gør styring og justeringer lettere at håndtere.

Imidlertid blev denne strategi revurderet på grund af introduktionen af usikkerheder i modellen. Disse usikkerheder skyldes ukendte parametre fra anlægget, som kan have betydelige indvirkninger på modellens nøjagtighed og pålidelighed. Ved at estimere fosfatkoncentrationen i indløbet frem for i udløbet behøver modellen ikke indeholde informationer om rensningsanlægget, det installeres i. Dette gør modellen mere fleksibel og mere uafhængig af anlægstype og -design. Dette forbedrer modellens generaliserbarhed og dens anvendelse på forskellige anlæg uden behov for omfattende tilpasninger.

Analyser og test af forskellige tilgange til modellering af fosforkoncentration

For at udvikle en model, der kan estimere fosfatkoncentrationen, baseret på målinger som flow, pH og temperatur, har vi analyseret og testet forskellige tilgange ved brug af et af de tilgængelige datasæt. Dette datasæt indeholder målinger af både de tilgængelige faste sensorer, samt aktuelle målinger af fosfatkoncentrationer, hvilket har gjort det muligt at evaluere forskellige tilgange.



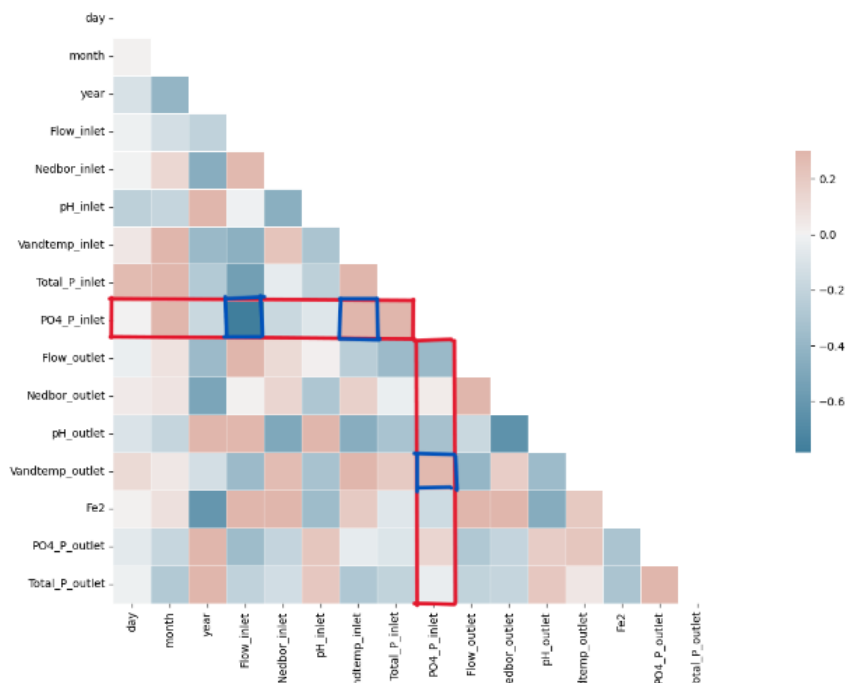
Modelanalyse

Forskellige modeller kan være relevante for forskellige renseanlæg på grund af variationer i lokale forhold og anlæggets specifikke karakteristika. Derfor har vi undersøgt en bred vifte af modeller for at identificere den mest passende tilgang.

Korrelationsmatrix

Vi startede med at lave en korrelationsmatrix for at forstå sammenhængen mellem de forskellige målinger og fosfatkoncentrationen. Dette gav os indsigt i, hvilke variabler, der havde de stærkeste relationer til fosfat og skulle inkluderes i videre analyser.

Ud fra korrelationsmatricen kunne vi se, at nogle variabler, som flow og vandtemperatur i indløb, har en høj korrelation. I Figur 10 er korrelationen for fosfat i indløbet fremhævet med en rød kasse, mens flowet og vandtemperaturen er markeret med blå.



Figur 10 - Korrelationsmatrix, hvor fosfatkoncentrationen i indløbet er fremhævet. Hvor måledata er standard for VandCenter Syd, og er blevet taget før projektets start.

Single- og Multivariable Modeller

Vi begyndte med en simpel tilgang, hvor vi estimerede fosfatkoncentrationen baseret på en enkelt variabel ad gangen, fx flow eller pH. Derefter udviklede vi modeller, der inkluderede flere variabler samtidigt. Ved at kombinere flere målinger kunne vi forbedre modellens præcision og få en mere kompleks forståelse af deres indbyrdes relationer.

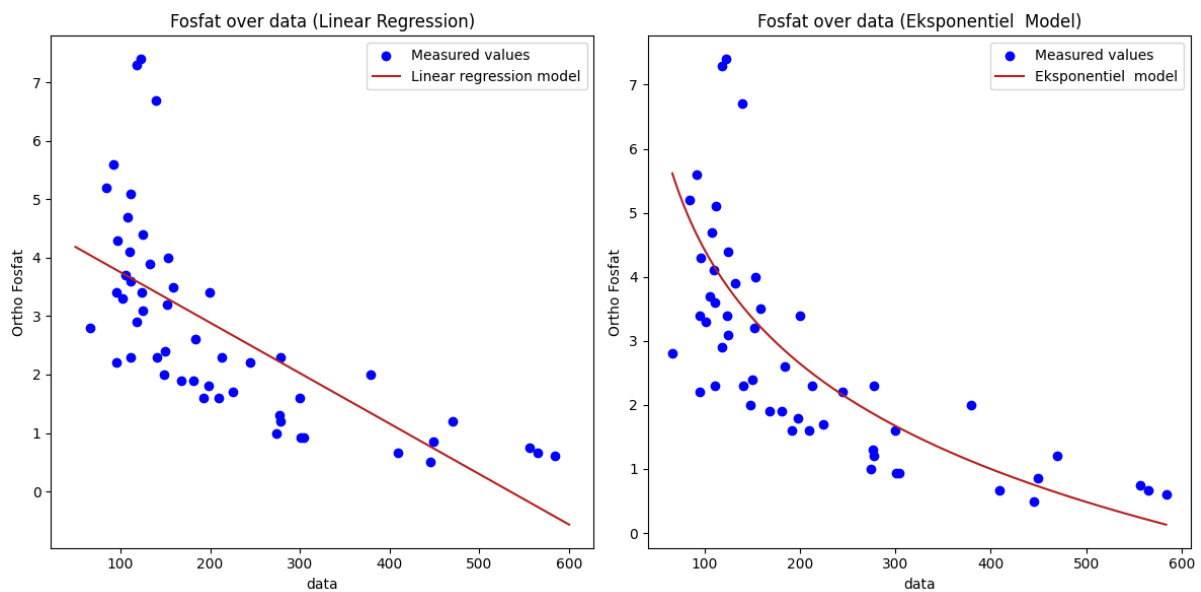
Konventionelle modeller

Lineær Model

Vi testede lineære modeller, hvor vi antog en direkte proportionalitet mellem variablerne og fosforkoncentrationen. Disse modeller er enkle at forstå og implementere, men de kan være begrænsede, hvis relationerne ikke er lineære.

Ekspontiel Model

Ekspontielle modeller blev også undersøgt, da nogle processer kan følge en ikke-lineær, eksponentiel tendens. Disse modeller kan bedre fange visse typer af dataadfærd, hvor ændringer sker hurtigere ved bestemte værdier.



Figur 11 - Denne figur viser to single variable modeller. Venstre: lineær. Højre: eksponentiel. De er baseret på procesdata, som er markeret i blå.

Brugerdefineret Model

Vi eksperimenterede med brugerdefinerede modeller, hvor vi skræddersyede formlerne til at passe bedre til vores specifikke datasæt og de observerede mønstre i dataene. Dette giver mulighed for at tilpasse modellen til de særlige forhold i renseanlægget.

Fælles for de konventionelle modeller er, at de er simple at forstå, da de har en simpel matematisk natur. De er derfor nemme at fortolke, og giver dermed en forståelse for, hvordan de forskellige målinger er afhængige af hinanden.

AI-baserede modeller

Vi anvendte også kunstig intelligens til at udvikle mere avancerede modeller, herunder:

Neuralt Netværk

Neurale netværk er kraftfulde værktøjer, der kan lære komplekse mønstre i dataene. Vi trænede flere netværksarkitekturer for at optimere modellens præstation.



Random Forest Regression

Random Forest Regression er en metode, der bruger beslutningstræer til at forbedre præcisionen og reducere overtilpasning. Denne model er robust og kan håndtere komplekse, ikke-lineære relationer mellem variablerne.

Fælles for de AI baserede modeller er, at de kan finde komplekse sammenhænge mellem mange variabler uden at miste effektivitet. De har potentialet til at opnå højere præcision end ved de konventionelle modeller. AI-baserede modeller kræver store mængder data for at kunne generalisere. Uden store mængder data risikerer man, at de kun estimerer præcist på målinger, som de er trænet på. Modellerne har en "black box" natur, hvilket gør dem svære at tolke, og er problematiske i applikationer, hvor forståelse af modelbeslutninger er vigtig.

Valg af endelig model

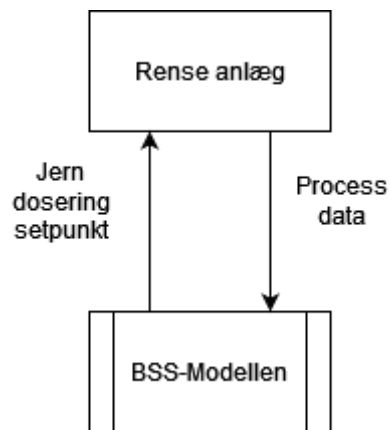
For at vælge en endelige model bliver de enkelte modeller vurderet og holdt op imod de andre. Hver af disse modeller har sine styrker og svagheder, og valget af model afhænger ofte af specifikke behov, dataenes karakteristika, og anvendelsesområdet. Man skal kigge på, hvordan data ser ud, hvor tydelig deres sammenhæng er, samt hvor sikre de er mod underdosering i specieltfælde.

Anvendelse af model

Modellens anvendelse i praksis er simpel.

- Modellen hostes i enten en cloud service eller på et lukket netværk.
- Input data sendes gennem sikkert API kald
- Metalsalt doseringsmængde sendes den anden vej

Den simple opsætning kan ses i flowdiagrammet på Figur 12.



Figur 12 – Denne figur viser procesflowet for BSS-modellen

Fejlkilder

Fælles for alle de modeller man kan lave er, at de ikke er bedre end de data, som de er baseret på. Derfor vil en usikkerhed i målingerne af fosfatkoncentrationer, flow, etc. medføre en mindre præcis model.

En antagelse, der bliver brugt under udviklingen af modeller, er en støkiometrisk tilgang til

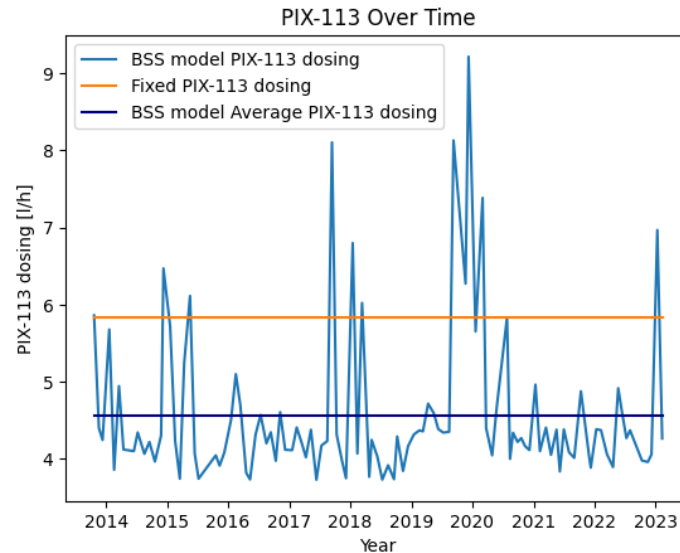


udfældning af fosfat, altså hvordan den doserede mængde af metalsalte reagerer med fosforen i spildevandet. Modellerne tager ikke højde for komplekse kemiske og biologiske processer, der foretages i renseanlægget.

Projektresultater

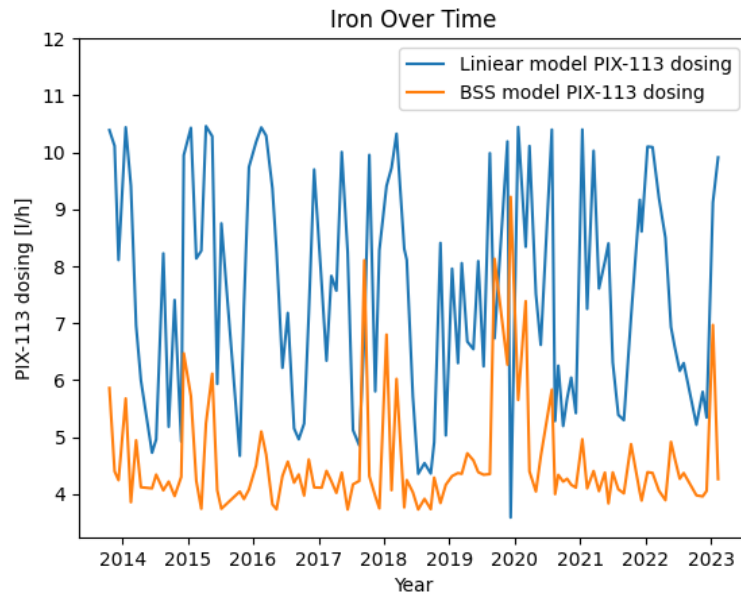
På baggrund af dette projekt er der udviklet en model, BSS-modellen, der kan estimere fosfatkoncentrationen i indløb, baseret på allerede tilgængelige procesmålinger. Med den estimerede fosfatkoncentration er det nemt at beregne den nødvendige mængde metalsaltsdosering ved hjælp af støkiometriske relationer.

Til at evaluere projektet sammenlignes BSS-modellen med den nuværende dosering og med en simpel single variabel lineær model baseret på indløbsflow.



Figur 13 - Dosering af jern med BSS-modellen og nuværende fikseret dosering.

På Figur 13 ses tydeligt, hvordan BSS-modellen generelt har en lavere dosering end den nuværende fikserede dosering - mere præcist en 23,3 % reducere i fældningskemikalie. Det kan også ses, at BSS-modellen i perioder doserer højere end den nuværende dosering. Dette vil give en øget sikkerhed mod store ukendte variationer i fosfatmængder, da en fikseret dosering ikke kan tage højde for ekstreme fosfatmængder.



Figur 14 - Dosering af jern med BSS-modellen og single variabel lineær model.

På Figur 14 ses, hvordan BSS-modellen generelt har en lavere dosering end ved en simpel lineær model. Man kan se, at BSS-modellens dosering har mindre variation.

Sammenfattende har projektet vist, at det kan være fordelagtigt at bruge BSS-modellen for at sikre en sikker dosering og samtidig reducere bruget af jern. BSS-modellen bruger mindre jern sammenlignet med både en lineær model og en fast dosering som gjort i Otterup. Dette fremgår tydeligt af Tabel 1, hvor det kan ses, at BSS-modellen ville have en procentvis besparelse på 23,3% i forhold til den historiske dosering. BSS-modellen ville kunne spare Otterup Renseanlæg for rundt regnet 43.000 kr. årligt ud fra det anførte forbrug.

Tabel 1 - Denne tabel summer informationer for de forskellige doseringer.

	Gennemsnits dosering af jern [l/h]	Procentvis besparelse [%]	jern forbrug på et år [kg]	Omkostninger til jern [dkk]	Årlig besparelse i kroner [dkk]
Fikset set punkt dosering	5,84	-	77.760,77	183.670,9	-
BSS-model dosering	4,48	23,3	59.652,1	140.898,3	42.773



Konklusion

Igennem dette projekt er en Soft-Sensor blevet udviklet til at forudsige fosfatkoncentrationen og det afledte kemikaliedoseringskrav, på baggrund af den eksisterende sensorinfrastruktur og historiske og aktuelle måledata.

Soft-Sensoren blev udviklet sammen med VandCenter Syd og med test på renseanlægget i Otterup.

Soft-sensoren kan reducere fældningskemikaliedosering ved at forudsige fosfatkoncentrationen i indløbet og samtidig sikre, at udløbskvaliteten er bibeholdt inden for de lovmæssige grænseværdier.

En forbedring i dosering af fældningskemikalie resulterer ikke kun i en økonomisk besparelse, men også en miljømæssige forbedring. Fældningskemikaliet udleder CO₂ under produktionen og ved transport. Ved et mindre forbrug er der en naturlig besparelse i CO₂ udledningen.