

Processmodellering av avloppsreningsverk

Kunskapsspridning om ett kraftfullt
verktyg för drift och design



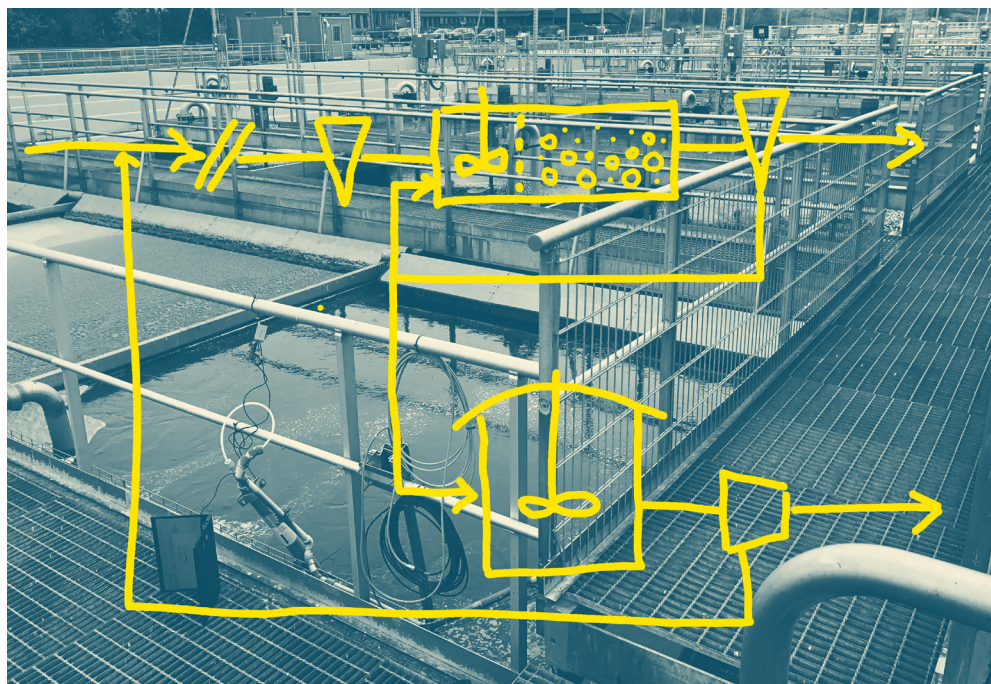
**Christoffer Wärff, Marcus Ahlström &
Magnus Arnell**

Division of Industrial Electrical Engineering and Automation
Faculty of Engineering, Lund University

Processmodellering av avloppsreningsverk

Kunskapsspridning om ett
kraftfullt verktyg för drift
och design

Christoffer Wärff
Marcus Ahlström
Magnus Arnell



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området.

Författaren är ensam ansvarig för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten AB

Box 14057

167 14 Bromma

Tfn 08-506 002 00

Fax 08-506 002 10

svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se

Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Processmodellering av avloppsreningsverk – Kunskapsspridning om ett kraftfullt verktyg för drift och design
Title of the report:	Process Modelling at Swedish Wastewater Treatment Plants – dissemination of knowledge and added value
Författare:	Christoffer Wärff, Marcus Ahlström och Magnus Arnell RISE Research Institutes of Sweden
Rapportnummer:	2020-3
Antal sidor:	24
Sammandrag:	Datorbaserade modeller för simulering av processer på avloppsreningsverk kan göra stor nytta för att optimera investeringar och drift, men de används bara på ett fåtal avloppsreningsverk i Sverige. Målet med projektet var att höja kunskapsnivån om nyttan med modellering hos svenska användare och beslutsfattare. Hittills har det funnits ytterst lite information på svenska om hur processmodellering kan användas. Projektet tog därför fram kunskapsportalen ModelleraARV som nu finns tillgänglig på Internet.
Abstract:	The aim of the project was to raise the awareness about the benefits of modeling at wastewater treatment plants by highlighting existing knowledge, showing good examples and disseminating knowledge about the practical use of models for simulation studies. A knowledge portal is available on-line (in Swedish).
Sökord:	Avloppsreningsverk, modellering, kunskapsportal
Keywords:	Wastewater treatment plant, modelling, knowledge portal
Målgrupper:	Processingenjörer, driftschefer, reningsverkschefer, konsulter (design och process), studenter, forskare
Omslagsbild:	Illustration av processmodell på avloppsreningsverk. Foto och illustration: Magnus Arnell
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens webbplats www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2020
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB
Om projektet	
Projektnummer:	18-121
Projektets namn:	Processmodellering vid svenska avloppsreningsverk – Kunskapssammanställning och barrier buster
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling

Förord

Med detta projekt har vi velat höja medvetandet i den svenska VA-branschen om möjligheterna och nyttan med att använda processmodellering för att simulera avloppsreningsverk som ett verktyg i planering, utvärdering, optimering och design av avloppsreningsverk. Verktygen för att utföra simuleringsstudier finns, det gäller bara att fler bland användare i form av exempelvis VA-organisationer och konsulter får insikter och kunskap för att börja använda processmodellering på bred front.

En av huvudleveranserna från projektet är en kunskapsportal om processmodellering som nu finns tillgänglig på internet. Goda exempel är viktiga för att sprida användningen av nya verktyg. Projektets medverkande VA-organisationer, Gryaab i Göteborg, Tekniska Verken i Linköping och Lidköpings kommun har bidragit med historiska och aktuella exempel på modelleringsprojekt för andra att lära av. Vidare har vi försökt att nå ut personligen i nätverk via workshops och föredrag. Denna rapport utgör en kortfattad redovisning över projektets genomförande och är inte fullständig vad gäller projektets leveranser. Resultaten från projektet får den intresserade framförallt söka via kunskapsportalen.

Vi vill tacka projektets partners, Robert Sehlén, Tekniska Verken i Linköping AB, Maria Neth, Gryaab AB, och Pernilla Bratt, Lidköpings kommun. Även tack till deltagarna i projektets referensgrupp, Adrienne Menniti, Clean Water Services, Hillsboro, Oregon, USA, Erik Lindblom, Stockholm Vatten och Avfall och Bengt Carlsson, Uppsala universitet.

Linköping, december 2019

Magnus Arnell, projektledare

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	6
Summary	7
1 Bakgrund	8
1.1 Syfte och mål	9
1.2 Projektorganisation	10
1.3 Projektets leveranser	10
2 Genomförande	11
2.1 Kunskapsportal	11
2.2 Modelleringsworkshop.....	12
2.3 Praktiska exempel från Sverige	15
3 Slutsatser	18
4 Referenser	19

Sammanfattning

Datorbaserade modeller för simulering av processer på avloppsreningsverk kan göra stor nytta för att optimera investeringar och drift, men de används bara på ett fåtal avloppsreningsverk i Sverige. Målet med projektet var att höja kunskapsnivån om nyttan med modellering hos svenska användare och beslutsfattare. Hittills har det funnits ytterst lite information på svenska om hur processmodellering kan användas. Projektet tog därför fram kunskapsportalen ModelleraARV som nu finns tillgänglig på Internet.

I dag finns det väl etablerade modeller för olika delprocesser på avloppsreningsverk och användningen är väl utbredd internationellt, framför allt i Nordamerika. Med hjälp av modellerna kan man via simuleringsstudier utvärdera scenarier inför investeringar, utvärdera kapacitet och prestanda, samt få möjligheter till optimering och ökad kunskap om reningsprocesserna.

Projektet genomförde en tvådagars workshop med cirka 20 deltagare och ställde frågor till deltagarna för att undersöka deras motiv för medverkan i workshoppen och tidigare erfarenheter av processmodellering av avloppsreningsverk. Resultaten visar att det finns intresse för användning av processmodellering som verktyg hos både konsulter och personal på kommunala avloppsreningsverk, men att många i dag känner att de saknar kunskap för att kunna använda dem i praktiken. Under workshoppen gavs grundläggande information om nytta och tillämpningsområden för processmodeller samt information om hur de är uppbyggda. Gryaab i Göteborg och Tekniska Verken i Linköping har redan arbetat med processmodellering. Deras arbete presenterades, bland annat deras syfte från början, den efterföljande användningen och nyttan, samt utmaningar. Deltagarna kunde testa fem olika kommersiella simuleringsprogramvaror och fick dessa presenterade av representanter från respektive företag.

Kunskapsportalen ModelleraARV (www.modelleraarv.se) har byggts upp under projektet och innehåller praktisk konkret information om nytta och användningsområden för processmodeller, hur ett modelleringsprojekt genomförs, vilka kommersiella programvaror som finns tillgängliga, lämplig litteratur, samt exempel på lyckad användning av processmodellering i Sverige. Fler praktiska exempel från Sverige skulle bidra till ökad tilltro till modellerna och därmed ökad användning. En kunskapsportal där information finns lätt tillgänglig på svenska är ett steg på vägen till ökad kunskap om processmodellering, och förhoppningsvis kan den bidra till att fler kan nyttja de fördelar som processmodellering ger för drift och design av avloppsreningsverk.

Summary

There are today well established and validated models for different processes in wastewater treatment plants (WWTP). The use of such models is limited in Sweden, despite extensive use internationally (above all in North America). Using such models in simulation studies enables evaluation of scenarios before large investments, evaluation of capacity, possibilities for optimization as well as give increased knowledge of the treatment processes. The purpose with this project is to increase knowledge about process modelling as a tool for WWTP in Sweden and reach a broader audience. The goal with the project is to increase knowledge of the benefits with modelling at Swedish WWTP through gathering of current knowledge, show successful examples from Sweden and spread knowledge of practical use of modelling.

A knowledge portal (www.modelleraARV.se) has been built during the project, which contains practical concrete information about benefits and application areas for process modelling, how a modelling project is carried out, which commercial simulation platforms that are available, relevant literature and examples of successful use of process modelling in Sweden.

A two-day workshop was carried out with approximately 20 participants, nearly evenly distributed between personnel at municipal WWTPs and consultants. During the workshop basic information about benefits and application areas for process models as well as their structure was presented. Gryaab and Tekniska Verken in Linköping presented their work with process modelling, including initial purpose, application areas and benefits as well as difficulties. Finally, the participants could test different commercial simulation platforms and got a presentation of each from representatives from the different companies.

The results from the project shows interest for process modelling as a tool from both municipal wastewater treatment plants and consultants, but that many today feel that they lack knowledge to be able to use them. More practical examples from Sweden would contribute to an increased credibility for the models and thereby increase use. A knowledge portal where information is easily available in Swedish is a step on the way to increased knowledge of process modelling and can hopefully contribute to that more can utilize the benefits that process modelling brings for operation and design of wastewater treatment plants in Sweden, to a level similar to international examples.

1 Bakgrund

Under mer än 40 års tid har forskning och utveckling pågått för att utveckla processmodeller för avloppsreningsverk (ARV). Med modeller avses för detta projekt detaljerade processmodeller som beskriver (beräknar) hydrauliska, fysikaliska och biologiska processer på avloppsanläggningar. Modellerna implementeras på en datorplattform och simuleringar kan göras såväl statiskt som med full dynamik för att avspegla verkligheten. Idag finns väl etablerade delmodeller för såväl de fysikaliska (sedimentering, filtrering, etc.), kemiska (fällning, etc.) som de biologiska processerna (aktivt slam, MBBR, anaerob rötning, etc.). I Sverige är det dock fortfarande enbart ett fåtal svenska ARV som använder datorbaserade modeller för simuleringsstudier. Utvecklingen och användningen av modeller i Sverige drivs främst av akademiska intressen, medan det utomlands (främst i Nordamerika) ser annorlunda ut. Där drivs både användning och utveckling av modellering i större utsträckning av användarna (ARV och konsulter). Under den senaste tiden har dock ett begynnande intresse för processmodellering noterats bland personal på ARV samt på konsultsidan även i Sverige.

Användandet av dynamiska modeller möjliggör:

- scenarioanalyser och utvärdering inför stora investeringar,
- optimeringsmöjligheter, genom att simulera olika styr- och reglerstrategier,
- utvärdering av kapacitet och prestanda,
- simulering av ny driftsättning och uppstarts försök innan verklig implementering,
- ökad kunskap om själva reningsprocesserna samt om hur olika delprocesser hänger ihop och samverkar.

Till följd av den växande befolkningen i urbana miljöer, striktare utsläppskrav och klimatförändringar står Sveriges ARV inför stora omställningar, vilket förväntas medföra stora investeringskostnader. Enligt Svenskt Vatten (2017) väntas det årliga investeringsbehovet vid svenska ARV i dagsläget vara ca 2,0–2,1 miljarder kr/år och sedan öka till ca 2,5–2,9 miljarder kr/år de närmsta 30 åren. Användning av modellering vid design av ny-, om- eller tillbyggnationer ökar träffsäkerheten i dimensionering vilket möjliggör att kostsamma över-/eller underinvesteringar kan undvikas. I optimeringsprojekt kan prestandaförbättringar identifieras som medför att kapacitetshöjande investeringar kan skjutas upp eller helt och hållet undvikas. Avancerade styr- och reglerstrategier kan testas för att identifiera betydande besparingar i energiförbrukning och övriga resurser. Sammantaget är potentialen för besparingar inom både investerings- och driftkostnader mycket stor och en ökad kunskapsspridning är ett viktigt steg på vägen för att beseгра barriärerna för praktisk tillämpning av modellering av ARV i Sverige.

Verktygen finns klara att användas men kunskapen om värdet av att använda dem och hur de kan användas fullt ut saknas i dag inom stora delar av den svenska VA-branschen. Det finns spjutspetskompetens inom modellering i Sverige och flera framgångsrika projekt har genomförts, men en alltför hög tröskel finns (särskilt hos medelstora ARV), vad gäller att komma igång. En ökad kunskapsnivå skapar förutsättningar för behovsägare att arbeta med moderna och effektiva beslutsverktyg på strategisk och operativ nivå. Scenarioanalys av framtida scenarier med utvärdering av olika förbättringsstrategier möjliggör långsiktigt hållbara beslut.

Dynamiska processmodeller är idag bland de mest detaljerade verktyg som finns för att utvärdera ARV med avseende på reningskapacitet och resursförbrukning. Idag finns cirka 10 olika programvaror (så kallade simuleringsplattformar) av olika typ tillgängliga. Skillnaderna dem emellan är relativt stor; några är gratis att ladda ner medan andra kostar pengar men erbjuder uppdateringar och support; vissa har användarvänliga grafiska gränssnitt medan andra kräver programmeringskunskaper; några har sluten modellkod medan andra går att skriva om efter egna behov. Valet av programvara är viktigt då man bygger in sig i en plattform och för att göra rätt val utifrån variationerna som indikerats ovan kan vägledning behövas.

Flera medarbetare i detta projekt medverkar genom olika organisationer i VA-kluster Mälardalen. Inom klustret har intresset för modellering ökat bland deltagande VA-organisationer. Klustret har därför startat en användargrupp för personer som jobbar med eller är intresserade av modellering av ARV. Gruppen har rönt stort intresse, framförallt bland reningsverkens personal, och samlar omkring 30 personer. Flera deltagare har anslutit sig med stort intresse men med liten förkunskap om modellering vilket visar på behovet av att ytterligare sammanställa och sprida denna information bland svenska reningsverk. De VA-organisationer som är intresserade av att delta i användargruppen hittar mer information via VA-kluster Mälardalens hemsida (www.va-malardalen.se).

1.1 Syfte och mål

Syftet med detta projekt är att sprida kunskap i Sverige om modellering som verktyg för beslutsstöd vid exempelvis ombyggnad, tillbyggnad och optimeringsstudier vid ARV och lyfta fram kompetensen på en bredare front. Målet med projektet är att höja kunskapsnivån om nyttan med modellering på svenska ARV genom att lyfta fram befintlig kunskap, visa på goda exempel och sprida kunskapen kring praktisk användning av modellering, innefattande:

- beskrivning av huvudsakliga användningsområden utifrån tillämplighet, nytta och omfattning,
- övergripande beskrivning och råd vid framtagande och användning av modeller,
- tillgängliga delmodeller,
- genomgång av programvaror (simuleringsplattformar),
- goda exempel på hur modellering har använts i Sverige.

Projektet riktar in sig mot kunskapsspridning för två målgrupper:

Målgrupp 1: användare, i form av processingenjörer och driftpersonal vid ARV samt konsulter, där en ökad förståelse för modellernas uppbyggnad och tillämpningsområden kan sänka tröskeln för användning.

Målgrupp 2: beslutsfattare vid ARV, där en ökad förståelse för tillämpningsområden och ekonomiska fördelar stimulerar en ökad vilja att bevilja projekt som involverar modellering.

1.2 Projektorganisation

Projektgruppen leddes av RISE, vilka har lång erfarenhet av arbete med processmodellering vid avloppsreningsverk både på forsknings- och implementeringsnivå. Projektgruppen involverade även tre svenska avloppsreningsverk: Gryaab i Göteborg och Tekniska Verken i Linköping, där modellering använts till goda resultat, samt Lidköpings kommun, där ett modelleringsprojekt planeras varför en fallstudie om detta utfördes under projektet.

I projektets referensgrupp bidrog experter med lång erfarenhet av processmodellering av avloppsreningsverk i Sverige och Nordamerika. I Nordamerika har man arbetat med liknande projekt för att öka kunskaper om processmodellering i USA inom Water Environment Federation (WEF).

1.2.1 Projektgrupp

- Magnus Arnell, RISE Urban Water Management, *projektledare*
- Christoffer Wärrff, RISE Urban Water Management, *utredare och samordnare*
- Marcus Ahlström, RISE Urban Water Management, *utredare och samordnare*
- Ulf Mårtensson, RISE Kommunikation, *webbplatsbyggare*
- Robert Sehlén, Tekniska Verken i Linköping AB, *deltagande ARV*
- Maria Neth, Gryaab, *deltagande ARV*
- Pernilla Bratt, Lidköpings kommun, *deltagande ARV*

1.2.2 Referensgrupp

- Adrienne Menniti, Clean Water Services, Hillsboro, Oregon, USA
- Erik Lindblom, Stockholm Vatten och Avfall
- Bengt Carlsson, Uppsala universitet

1.3 Projektets leveranser

Huvuddelen av projektets leverans är kunskapsportalen (som är tillgänglig som en websida). Denna rapport utgör metodbeskrivning och presentation av slutsatser och resultat från användarundersökningar.

2 Genomförande

Projektet hade två huvudsakliga delmoment: (1) insamling av information och byggande av kunskapsportal, (2) modelleringsworkshop. Metodik för genomförande av dessa beskrivs nedan.

2.1 *Kunskapsportal*

Det finns idag ett rikt omfång av publikationer om processmodellering, framför allt inom International Water Association (IWA) och Water Environment Federation (WEF). Det finns dock ytterst lite information tillgängligt på svenska, och då många av de publikationer som är skrivna på engelska är mycket tekniska. Det saknas därmed lättillgänglig information på svenska om hur processmodellering kan användas, vilka fördelar det bidrar med samt vilka steg som ingår i ett modelleringsprojekt. För att nå ut med kunskap omkring processmodellering till en svensk publik byggdes därför en kunskapsportal om ämnet. Kunskapsportalen består av fyra olika delar.

1. Sammanfattande text om processmodellering inklusive användningsområden och typiska frågeställningar.
2. Huvuddelen av kunskapsportalen beskriver hur ett modelleringsprojekt genomförs beroende på målsättning, vilka steg som utförs och i vilken ordning. Här beskrivs även hur modellerna är uppbyggda och vilken typ av data som behövs för olika steg.
3. Exempel på lyckad användning av processmodellering i Sverige presenteras i form av modellerna som används av Gryaab i Göteborg samt av Tekniska Verken i Linköping.
4. Information om tillgängliga programvaror (simuleringsplattformar) för modellering av avloppsreningsverk.

Informationen i kunskapsportalen har baserats på en syntes av internationell litteratur inom ämnet. En stor del av innehållet baseras på de riktlinjer för god modelleringssed inom processmodellering som tagits fram inom IWA (Rieger et al., 2013). En syntes av material och återpublicering av vissa figurer har gjorts efter godkännande av Leiv Rieger (huvudförfattare) samt IWA Publishing. Andra källor som använts är exempelvis Melcer et al. (2003) och Henze et al. (2000).

Kunskapsportalen hittas på: <https://modelleraarv.se/> och i Figur 1 kan startsidan ses.



Figur 1 Startside för kunskapsportalen som skapats i projektet, modelleraARV.se.

2.2 Modelleringsworkshop

En öppen workshop hölls under projektet för att vidare sprida kunskap och utbyta erfarenheter med personer främst inom målgruppen användare (processingenjörer och konsulter). Workshopen hölls under två dagar, den 22–23 maj 2019, vid Cleantech Park i Linköping. Upplägget bestod av fyra distinkta delar:

1. Introduktion till processmodellering
2. Praktiska erfarenheter av processmodellering i Sverige
3. Fallstudie: Lidköpings nya reningsverk
4. Test av olika simuleringsplattformar

Under den första workshopdagen hölls en introduktion till processmodellering för att ge deltagarna grundläggande kunskap som de också använde under resterande del av workshopen. Under introduktionen beskrevs nytta och applikationsområden, det arbetssätt som tagits fram av the (IWA) för god modelleringsred (Rieger et al., 2013), vilka olika delmodeller som finns för olika processer och hur de är uppbyggda, hur de integreras till en modell för ett helt reningsverk, vilken typ av data som vanligen krävs för olika typer av modelleringsprojekt samt hur modellerna kalibreras och valideras för befintliga reningsverk.

Workshopens andra del bestod av presentation av praktiska erfarenheter från användning av processmodellering i Sverige. Under denna del presen-

terades modelleringsarbete som utförts på två svenska reningsverk: Ryaverket i Göteborg, presenterades av Maria Neth från Gryaab, och Nykvarnsverket i Linköping presenterades av Robert Sehlén från Tekniska Verken i Linköping. Presentationerna fokuserade på anledningar till att de valt att bygga en processmodell, hur de gick tillväga för att bygga modellen, vad den använts till och nytta utöver det ursprungliga syftet samt vilka problem som uppstår under vägen. Presentationerna var mycket uppskattade bland deltagarna och gav ytterligare insikter om att fler praktiska exempel som beskriver nyttan är kritiskt för att ge en ökad tilltro till processmodellering i Sverige, och på så sätt också nå en ökad användning av dessa verktyg.

Den avslutande delen av den första workshopdagen användes för en gruppövning för hur ett modelleringsprojekt startas upp. Deltagarna delades in i fyra mindre grupper och tog fram en projektdefinition för projektet, vilket innebar att de diskuterade syfte och mål med modelleringsarbetet, detaljgrad, vilka kompetenser som behöver involveras och hur detaljerat reningsverket behöver modelleras. Som fallstudie användes Lidköpings beslutade nya avloppsreningsverk. I slutet av övningen fick de olika grupperna presentera sina resultat till de övriga och diskutera dem.

Den andra workshopdagen ägnades åt test och presentation av olika simuleringsprogramvaror som var förinstallerade på datorer och tillgängliga för test. Följande programvaror fanns tillgängliga, med företag som säljer dem inom parentes:

- BioWin (Envirosim),
- GPS-X (Hydromantis),
- SIMBA# (InCtrl Solutions),
- Sumo (Dynamita),
- WEST (DHI),
- Matlab (Mathworks).

Utöver möjligheten att testa de olika programvarorna fick varje företag möjlighet att ge en kort presentation (15 min) av sina programvaror. Envirosim, Hydromantis och InCtrl Solutions gjorde detta över Skype för Business med videolänk och skärmdelning medan Dynamita och DHI var på plats i Linköping och gav presentationer.

2.2.1 Medverkande

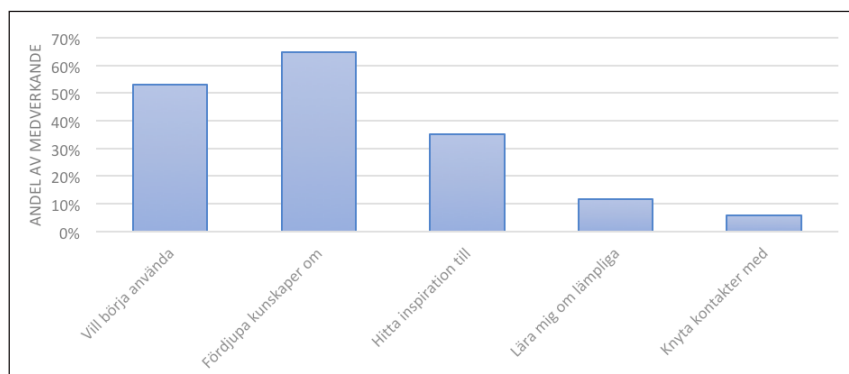
Workshopens målgrupp var framför allt användare av modelleringsverktyg (processingenjörer på reningsverk samt konsulter). De 20 medverkandes fördelning av professionella roller var 50 procent personal på ARV, 5 procent beslutsfattare på ARV och 45 procent konsulter.

2.2.2 Frågor till medverkande

Frågor ställdes till de medverkande vid workshopen för att undersöka:

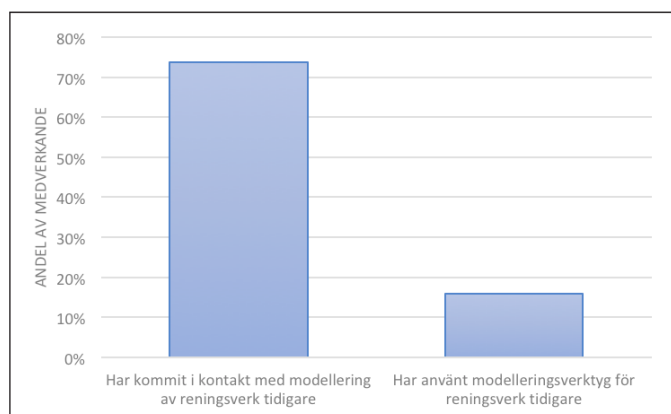
1. motiv till medverkan i workshopen,
2. tidigare erfarenheter av processmodellering på avloppsreningsverk.

I Figur 2 visas huvudmotiven till medverkan i workshopen indelat i fem svars-kategorier. Flera personer har angett flera av dessa fem motiv. En majoritet av de medverkande ville fördjupa sina kunskaper om modellering och börja använda det i sitt dagliga arbete. En stor andel ville också hitta inspiration till vad modellering kan användas till och hur användning kan motiveras som relevant, medan en mindre andel angav intresse av att lära sig mer om de olika programvaror som finns tillgängliga samt knyta kontakter med personer som arbetat aktivt med modellering. De senare motiven förekommer säkert även hos fler, även om de inte var angivna som huvudmotiv.



Figur 2 Svar från medverkande på workshopen angående deras motiv till medverkan.

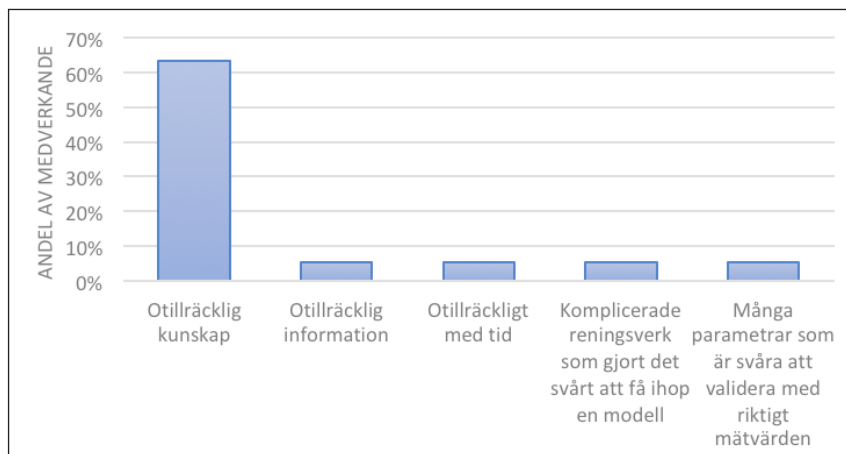
Under workshopen ställdes ytterligare frågor till de medverkande för att undersöka hur väl de känner till ämnet och vilka flaskhalsar som finns för ökat användande. I Figur 3 visas andelen av medverkande som kommit i kontakt med modellering tidigare (74 procent) och andelen som själva använt modelleringsverktyg (16 procent).



Figur 3 Svar på frågor angående tidigare erfarenhet av modellering.

Slutligen ställdes en fråga om anledningar till att modellering inte använts mer i dagsläget (se Figur 4). En överväldigande majoritet svarade att det främst beror på de inte har tillräcklig kunskap för att använda modellerna. Samtidigt svarade ett fåtal att de har otillräcklig information eller tid, att

reningsverket de arbetar med är komplicerat och gör modellutveckling svårt samt att modellerna är svåra att validera med mätvärden.



Figur 4 Svar på frågor angående varför de medverkande inte använt modellering i större utsträckning tidigare.

2.3 Praktiska exempel från Sverige

2.3.1 Gryaab

Komma igång med processmodellering

Gryaab utvecklade sin första processmodell för vattenlinjen i Ryaverket i Göteborg under 2008. Vid tidpunkten fanns en gästforskare med erfarenhet av processmodellering vid Chalmers tekniska högskola som arbetade ihop med Gryaab och agerade mentor och bollplank vid utvecklingen av modellen. Sedan dess har den ursprungliga processmodellen vidareutvecklats och nya processsteg och modeller introducerats inom flera projekt. Modelleringsarbetet för Ryaverket har utförts av personal inom organisationen på Gryaab i mjukvaran GPS-X.

Användningen av processmodellering

Gryaab har använt processmodellering som ett undersöknings- och utvärderingsverktyg inom flera ombyggnadsprojekt på Ryaverket. Processmodellering har bland annat använts för att utvärdera ekonomiska aspekter av olika driftsstrategier, funktionen av nya processsteg samt för att undersöka framtida belastningsscenarier. Gryaab har själv jobbat med att samla in den data som behövs för att kunna genomföra modelleringsprojekten.

Inom Gryaab's första modelleringsprojekt, MoRya, undersöktes kostnadseffektiva långsiktiga strategier för kväverening vid införandet av en ny efterdenitrifikation. Resultaten från projektet visade bland annat på ett ekonomiskt optimalt riktvärde för metanoldosering, att ett årsmedel på 8 mg N/l istället för 9 mg N/l i utgående vatten skulle öka driftkostnaderna med 7,7 miljoner kr/år och att mängden skivfilterslam kunde ökas med 20 % utan att reningsprocessen skulle påverkas negativt.

Inom det efterföljande projektet ModellEN undersöktes hur Ryaverket med en ny efterdenitrifikation (EN) kunde drivas för att nå olika kväve-

reningsambitioner och hur dessa olika strategier i sin tur påverkade driftskostnader och miljön. Resultaten från projektet visade bland annat att samma reningsresultat skulle kosta cirka 3,4 miljoner kr/år mer med en MBBR-fyllnadsgrad på 35 % istället för 50 % i EN, att det skulle innebära kostnadsökningar på närmare 1 miljon kr/år att driva EN med bara fem linjer istället för sex, samt att halva biobädden kunde tas ur drift och att 7 mg N/l ändå kunde uppnås men mot ökade driftkostnader på cirka 7 miljoner kr/år.

För att undersöka effekterna av ett nytt miljötillstånd drevs också ett modelleringsprojekt där det beräknades driftskostnader och årsmedel för utgående total-N för den nuvarande anläggningen och olika potentiella ombyggnadsalternativ. Projektet behandlade olika belastningsscenarioer som inkluderade låg- och högflödesår med 2030 års prognostiserade belastning. Resultaten visade att den nuvarande anläggningen kunde klara cirka 5,5 mg N/l i utgående total-N i lågflödesscenarioet och cirka 6,5 mg N/l i högflödesscenarioet. Rening för att nå ca 6 mg N/l i högflödesscenarioet skulle leda till orimligt höga luftningskostnader.

Erfarenheter och insikter från arbete med modellering

Maria Neth, som har jobbat med processmodelleringen på Gryaab, sammanfattar sina erfarenheter med modellering:

”Modellering kräver en del tid men kommer att ge förståelse och visa på interaktioner i processen som hade varit svåra, nästintill omöjliga, att förutsäga på annat sätt. Detta kan vara oerhört värdefullt och då inte bara i modelleringsarbetet utan i allt processarbete därefter. För att nå ett lyckat modelleringsprojekt, se till att kroka arm med någon som har erfarenhet av modellering för att hjälpa dig framåt och guida dig i de många beslut och avvägningar som behöver göras längs vägen i ett modelleringsprojekt”.

2.3.2 Linköping

Komma igång med processmodellering

Tekniska verkens första processmodell för Linköpings ARV utvecklades inom ramen av ett doktorandprojekt kopplat till Lunds universitet. Utvecklingen av den ursprungliga processmodellen genomfördes under 2013 och därefter har vidareutveckling av modellen genomförts i flera efterföljande projekt. Modellutvecklingen har utförts av utomstående konsulter i mjukvaran Matlab / Simulink och modellerna har därefter använts för simuleringar och resultatanalys av personal inom organisationen på Tekniska verken.

Användningen av processmodellering

Tekniska verken har använt processmodellering som ett undersöknings- och utvärderingsverktyg inom flera utbyggnad- och ombyggnadsprojekt vid Linköpings reningsverk. Processmodellering har bland annat använts för att analysera olika processkonfigurationer, nya processteg och framtida belastningsscenarioer. Tekniska Verken har själva jobbat med datainsamlingen till sina modelleringsprojekt men har fått stöd av konsulter med planeringen.

De genomförda projekten inkluderar bland annat ett projekt där funktionen av nya diffusiva bottenluftarmembran modellerades. Inom ett annat projekt användes modellering för dimensionering och utvärdering av ett möjligt nytt MBBR-steg för efter-nitrifikations-denitrifikationssteg (END) av rejektvatten, detta för att förbättra kvävereningen och för att ta tillvara höga syrekoncentrationer efter ozoneringssteget som används för läkemedelsrening. Inom deras senaste modelleringsprojekt undersöktes utbyggnad av framtida avloppsvattenrening på verket genom att modellera olika möjliga processlösningar och utvärdera olika scenarier. Resultaten från simuleringarna kunde användas för att kvantifiera olika kriterier som reningsresultat, kolkälladosering, slamproduktion och på så vis jämföra resultat från olika scenarier. Då modellen inkluderar en avancerad luftningsmodell kunde problem med syreöverföring i vissa konfigurationer även upptäckas och förklaras tidigt.

Modelleringsarbetet har gett beslutsunderlag som hittills resulterat i installation av nya diffusiva bottenluftarmembran under 2014, förbättrad design och styrning av END-processen (MBBR-process för efternitrifikation och denitrifikation) under 2015. För att säkra effektiviteten av Nykvarns framtida avloppsvattenrening så har flera olika kompletterande processalternativ modellerats och utvärderats, bland annat förfiltrering och membranbioprocess (MBR). Utvärdering har gjorts med avseende på reningsresultat, driftsekonomi, slamproduktion, biogasproduktion, energiförbrukning, kemikalieförbrukning och kapacitetsutökning/reduktion.

Erfarenheter och insikter från arbete med modellering

Användandet av processmodellerna har enligt Tekniska verken själva gett dem en ökad processförståelse och utökade möjligheter till processoptimering. Bland annat har det insetts att det fanns en förskjutning mellan DO- och ammoniumtoppar i efterdenitrifikation och att det uppstod kolbrist i processen vid hög reduktion av suspenderat material över förfiltren.

Robert Sehlén, som har jobbat med processmodelleringen på Tekniska Verken, sammanfattar sina erfarenheter med processmodellering:

”Samtidigt som det [modellering] tar tid och kan vara enormt frustrerande emellanåt så ger det också väldigt mycket tillbaka då man lär sig väldigt mycket om både befintliga processer och även ser hur förändringar i processkonfigurationer kan ge oväntade resultat. Har man planer på att börja med modellering så måste man räkna med att avsätta en hel del tid. Har man planer på att göra förändringar i processen så är min erfarenhet att det ger ett väldigt bra underlag innan man sätter spaden i backen. Om jag skulle börja om idag så skulle jag nog förmodligen satsa på en kommersiell programvara som WEST eller Sumo. Det verkar ju vara väldigt enkelt att komma igång med enklare modeller som man kan använda i lärosyfte. Sen kanske man behöver lite experthjälp för att bygga upp en modell över hela reningsverket”.

3 Slutsatser

Projektet resultat har visat att intresset för att börja arbeta med processmodellering för simuleringsstudier vid svenska avloppsreningsverk finns bland både reningsverken själva samt konsulter. Anledning till att det inte använts mer tidigare beror delvis på att modellerna är komplicerade och svåra att validera samt att information är svårtillgänglig, men framför allt för att användarna saknar nödvändiga kunskaper för att använda dem. Den största anledningen till att medverka på workshopen var just därför att höja sin kunskap.

Projektet visar tydligt på att fler praktiska exempel på modellering i Sverige också skulle bidra till en ökad tilltro till verktygen och deras applikation, vilket in sin tur kommer att leda till en ökad användning.

I projektet har en kunskapsportal publicerats (www.modelleraARV.se) som samlar kondenserad information på svenska om nytta med processmodellering vid reningsverk, de olika steg som genomförs i modelleringsprojekt, vilka kommersiella programvaror som finns tillgängliga samt praktiska exempel på lyckad användning i Sverige. Förhoppningsvis leder det till att fler ser nyttan med processmodellering likt andra länder redan gjort och att användning ökar.

4 Referenser

Henze, M., Gujer, W., Mino, T., & van Loosdrecht, M. C. M. (2000). *Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3*. IWA Scientific & Technical Report No. 9. London, UK: IWA Publishing.

Melcer, H., Dold, P. L., Jones, R. M., Bye, C. M., Takács, I., Stensel, H. D., Wilson, A. W., Sun, P., & Bury, S. (2003). *Methods for wastewater characterization in activated sludge modeling*. 99-WWF-3. Alexandria, VA, USA: Water Environment Research Foundation & London, UK: IWA Publishing.

Rieger, L., Gillot, S., Langergraber, G., Ohtsuki, T., Shaw, A., Takács, I., & Winkler, S. (2013). *Guidelines for Using Activated Sludge Models*. IWA Scientific & Technical Report No. 22. London, UK: IWA Publishing.

Svenskt Vatten. (2017). *Investeringsbehov och framtida kostnader för kommunalt vatten och avlopp*. Rapport Augusti 2017. Stockholm, Sverige: Svenskt Vatten.



Box 14057 • 167 14 Bromma
Tfn 08 506 002 00
Fax 08 506 002 10
svenskvatten@svenskvatten.se
www.svenskvatten.se