



Nr B 2457  
Juni 2022

SLUTRAPPORT  
VA-KLUSTER MÄLARDALEN  
2019–2021

**Författare:** Hanna Molin, Magnus Arnell, Bengt Carlsson, Gustaf Olsson samt kontaktpersonerna till projekten på sidorna 16–24

**Medel från:** Svenskt Vatten Utveckling, Stiftelsen IVL

**Fotograf:** Angivna fotografer med flera samt Microsoft Stock

**ISBN** 978-91-7883-457-0

**Upplaga** Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© IVL Svenska Miljöinstitutet 2022

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // [www.ivl.se](http://www.ivl.se)

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem



## VA-kluster Mälardalens medlemmar

### Fem lärosäten

Kungliga Tekniska Högskolan  
Lunds universitet  
Mälardalens universitet  
Sveriges lantbruksuniversitet  
Uppsala universitet

### Två forskningsinstitut

IVL Svenska miljöinstitutet  
RISE Research Institutes of Sweden

### Tretton VA-organisationer

Enköpings kommun  
Eskilstuna Energi och Miljö  
Falun Energi och Vatten  
Käppalaförbundet  
MälarenEnergi  
NODRA

### Roslagsvatten

Stockholm Vatten och Avfall  
SYVAB  
Tekniska Verken i Linköping  
Uppsala Vatten och Avfall  
Växjö kommun  
Örebro kommun

## Innehåll

Forskning och utbildning inom VA-teknik i Mälardalen med omnejd.....	1
VA-kuster Mälardalen .....	2
Samarbete inom forskning och utbildning .....	3
Nätverket VA-kuster Mälardalen .....	4
Generella slutsatser från klustersamarbetet.....	5
Utmärkelser för forskare vid deltagande lärosäten under projektperioden.....	9
Sammanfattning av programperioden .....	10
Resultat från projektperioden – i urval.....	15



## Forskning och utbildning inom VA-teknik i Mälardalen med omnejd

VA-kuster Mälardalen är ett forsknings- och utbildningskluster inom vatten- och avloppsområdet. Klustret bildades år 2010 och samarbetar brett kring utbildnings- och forskningsfrågor som rör reningstekniker, uppströmsarbete, resursåterföring och digitalisering inom VA-sektorn. Klustret utgörs av fem universitet, tretton VA-organisationer och två forskningsinstitut, som tillsammans forskar för att öka resurseffektiviteten i VA-systemet. VA-kuster Mälardalen är ett av fyra forskningskluster i Sverige som har stöd från Svenskt Vatten Utveckling (SVU). Klustret har också finansiellt stöd från de deltagande VA-organisationerna, Stiftelsen IVL (SIVL) och genom ett flertal externfinansierade projekt.

Den totala omsättningen för forsknings- och utvecklingsprojekt relaterade till VA-kuster Mälardalen uppgick till drygt 142 MSEK summerat över åren 2019–2021. Den höga uppväxlingen av medel från Svenskt Vattens grundfinansiering ger ett stort mervärde för branschen som helhet. Antalet deltagande VA-organisationer har successivt ökat sedan starten, vilket visar på ett starkt intresse och engagemang från branschen för den samordning av forsknings- och utvecklingsarbete (FoU) som VA-kuster Mälardalen erbjuder.

Den här slutrapporten för VA-kuster Mälardalens fjärde programperiod, 2019–2021, ger en översiktlig beskrivning av verksamheten och vad ett regionalt forskningskluster inom VA-teknik kan innebära för dess medlemmar och för branschen i stort. För mer information om klustrets aktiviteter och forskningsprojekt hänvisas till klustrets årliga verksamhetsberättelser och klustrets hemsida [www.va-malardalen.se](http://www.va-malardalen.se).

## VA-kluster Mälardalen

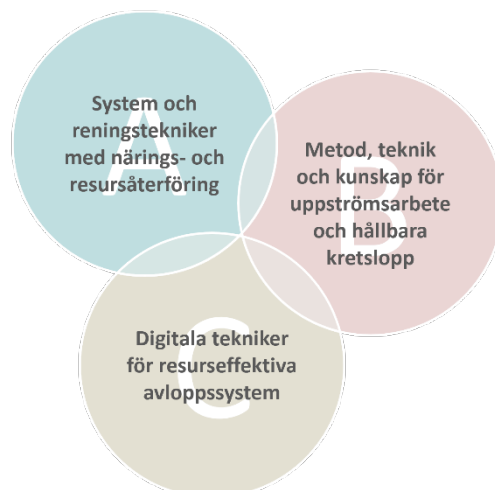
*Kompetensen inom VA-kluster Mälardalen är bred och täcker in hela systemet från uppströmsarbete och avloppsvatten till återföring. Vår styrka är att forskare och personal vid reningsverk tillsammans arbetar med de utmaningar som branschen står inför. Den samlade kompetensen bland klustrets organisationer inom mätteknik, styrning och modellering med tillämpning mot avloppssystem är unik och med högsta internationella excellens.*

Under sin fjärde programperiod har VA-kluster Mälardalen fortsatt arbetat för att vara ett stöd för verksamheten hos de deltagande VA-organisationerna och för branschen i stort. Klustret har sedan starten växt till att bli en viktig mötesplats för aktörer från VA-branschen, huvudsakligen inom Mälardalen men även från andra regioner, och spridit information och kunskap regionalt, nationellt och internationellt. Det övergripande temat för vår forskning *Cirkulära system för insamling, behandling och resursåterföring av kommunalt avloppsvatten*, vilket täcks in av tre forskningsområden:

- A System och reningstekniker med närings- och resursåterföring
- B Metodik, teknik och kunskap för uppströmsarbete och hållbara kretslopp
- C Digitala tekniker för resurseffektiva avloppssystem

Under projektperioden har klustret haft en hög vetenskaplig produktion med 50 publicerade tidskrift- och konferensartiklar med resultat från de projekt som direkt finansieras med klustermedel, samt 11 doktors- och licentiatavhandlingar (referenser finns i verksamhetsberättelserna som kan laddas ned från [va-malardalen.se](http://va-malardalen.se)).

Extern kommunikation av forskningsresultat sker främst genom deltagande i nationella och internationella konferenser och sammankomster, men även hemsidan och det nyhetsbrev som skickas ut ett antal gånger per år är viktiga för spridning av projektnyheter och forskningsresultat.



## KLUSTRETS LÄROSÄTEN

### Kungliga tekniska högskolan

Institutionen för hållbar utveckling,  
miljövetenskap och teknik  
*Avdelningen för vatten- och  
miljöteknik*

### Lunds universitet

Institutionen för biomedicinsk teknik  
*Avdelningen för industriell  
elektroteknik och automation*

### Mälardalens universitet

Akademien för ekonomi, samhälle och  
teknik  
*Forskningsinriktningen Framtidens  
energi*

### Sveriges lantbruksuniversitet

Institutionen för energi och teknik  
*Forskningsgruppen för  
kretsloppsteknik*

### Uppsala universitet

Institutionen för informationsteknik  
*Avdelningen för systemteknik*

Institutionen för geovetenskaper  
*Programmet för luft-, vatten- och  
landskapslära*

## Samarbete inom forskning och utbildning

*Det utarbetade och numera naturliga samarbetet mellan VA-organisationer och lärosäten/institut ger VA-organisationerna möjlighet att påverka prioritering och inriktning för FoU samt initiera samarbetsprojekt som är viktiga för den egna verksamheten.*

Klustrets lärosäten arbetar med att utbilda framtidens anställda inom VA-branschen. Målsättningen har sedan starten varit att bidra till VA-utbildningar i toppklass och att lyfta fram VA som ett viktigt och intressant ämne med många samhälls- och miljötillämpningar. På **grundnivå** finns master- och civilingenjörsprogram, samt ett flertal fristående universitetskurser. Årligen utförs ett trettiootal VA-relaterade **examensarbeten** vid klustrets lärosäten. Examensarbeten är en projektform som lätt går att anpassa till VA-organisationernas behov, samtidigt som de förbereder studenterna för ett arbete inom VA-branschen.

Ett viktigt led i klustrets kunskapsspridning är den kontinuerliga integreringen av forskning inom klustret i utbildning på alla nivåer. I forskningssamarbeten skapas en naturlig möjlighet till utbildning av personal hos VA-organisationerna. Flera av klustrets organisationer medverkar även i kurser för **yrkesverksamma** inom VA, bland annat genom framtagandet av och undervisning i Svenskt Vattens kurser. Klustret samarbetar även med övriga forsknings- och utbildningskluster och Sweden Water Research inom forskarskolan Water Research School. Forskarskolan erbjuder kurser såväl för de ca 20 personer som bedriver sina **doktorandstudier** vid klustrets lärosäten som för yrkesverksamma.

## Nätverket VA-kluster Mälardalen

*VA-kluster Mälardalen har sedan starten år 2010 vuxit till att bli en viktig mötesplats för VA-organisationer, forskningsinstitut och lärosäten. Klustrets parter möts regelbundet i olika former för att utbyta erfarenheter och kunskap, utveckla projektidéer tillsammans och diskutera framtidens miljö- och VA-utmaningar.*

VA-kluster Mälardalen har två årligen återkommande större samlingar – internatet och vintermötet. Teman för mötena bestäms från gång till gång. Under programperioden 2019–2021 har ämnen som projektutveckling och kommunikation getts stort utrymme samtidigt som mötena också har använts för ren kunskapspridning i form av presentationer från pågående klusterprojekt eller från annan aktuell forskning. VA-organisationernas framtidsfrågor har lyfts fram både för intern diskussion inom klustret och med externa gäster utanför klustersfären. För VA-organisationerna kompletterar klustret befintliga nätverk inom branschen genom att erbjuda ett forum där utvecklingsfrågor diskuteras och samverkansprojekt med både lärosäten och andra VA-organisationer initieras. Deltagande i klustret ger också insyn i vad som är på gång inom forskningsvärlden och ger möjligheter att skapa nätverk inom området utanför branschorganisationen. I korta ordalag – det ger ett värdefullt kontaktnät mellan lärosäten, forskningsinstitut och VA-organisationer.

Foto: Peter Holgersson



*”Att vara en del av VA-kluster Mälardalen ger oss möjlighet att nätverka, skapa kontakter och delta i projekt som vi inte hade kunnat driva själva.”*

*Robert Sehlén, TVAB*



## Generella slutsatser från klustersamarbetet

Klustersamarbetet har under ett drygt decennium bidragit till att nya forskningsarbeten har startats upp och det har underlättat att framgångsrikt söka kompletterande projektmedel. Den initiala finansieringen växlas årligen upp till mer än elva gånger vilket är ett viktigt mervärde med programsatsningen. Den stora mängden forskningsresultat från klusterprojekten kan mätas i det stora antal publikationer som produceras årligen, men ett än viktigare resultat är den numera naturliga samverkan mellan akademi och VA-organisationer – en samverkan som i regel lämnar en garanti om att projekten och resultaten kommer till praktisk användning. Samarbetet har förbättrat möjligheterna för en integrerad och bättre anpassad utbildning, både inom grundutbildning, forskarutbildning och utbildning för yrkesverksamma.

VA-kluster Mälardalen är en viktig plattform för relevanta forskningsfrågor kopplade till våra VA-organisationers dagliga arbete. Det skapar möjlighet för samverkan med många olika aktörer inom VA-sektorn och möjlighet att effektivt sprida resultat av forskningen vi utför i samverkan. Många av VA-organisationerna jobbar kontinuerligt med att utveckla innovativa och smarta lösningar. I det arbetet behövs samarbete med forskare och andra organisationer med liknande verksamhet. Engagemang och intresse från klustrets VA-organisationer är en förutsättning för att samarbetet ska fungera. Klustrets roll som koordinator för nätverket är central för att upprätthålla aktivitetsnivån.



*Vi är en del av VA-kluster Mälardalen för att bygga relationer med VA-sektorn, för att kunna utveckla och genomföra relevant forskning tillsammans. Vi ser klustret som en bra plattform för en stark VA-nätverk som bidrar till bättre undervisning, forskning och spridning av forskningsresultat.*

*- Jennifer McConville, SLU*



*För oss betyder VA-kluster Mälardalen att vi kan bedriva forskning som genererar direkt nytta.*

*- Erik Lindblom, IVL*

””

**VA-kuster Mälardalen betyder att vi är uppdaterad inom området och gör våra dagliga beslut mer faktabaserade. Det stärker vårt varumärke, vilket är viktig faktor vid rekrytering av nya medarbetare men också i förmågan att behålla befintlig personal.**

*- Bodil Widell, NODRA*

””

En viktig del i forskningsarbetet är att kommunicera och informera – så väl internt i klustret som nationellt och internationellt – om den forskning som klustret gemensamt utför. Det görs i regel via rapporter, muntliga presentationer och tidskrifter. VA-kuster Mälardalens medlemmar har, utifrån förutsättningarna med en pandemi större delen av programperioden, haft ett högt deltagande på både nationella och internationella konferenser och har publicerat resultat i ett stort antal rapporter och tidskrifter. En fördel med att vi tvingades övergå till digitala möten har varit att deltagandet vid de interna klustereventen, där nyheter från forskningsvärlden har presenterats i olika former, ökade. Det gäller inte minst det årliga internatet som enligt våra medlemmar är fortsatt mycket uppskattat och utgör ett viktigt forum för inspiration och kunskapsöverföring. I slutet av programperioden initierades en satsning på att erbjuda regelbundna webinarier för medlemmarna, något som har tagits emot positivt. En sådan satsning syftar bland annat till att skapa fler tillfällen för kunskapsspridning och möjliggöra en bredare spridning inom varje medlemsorganisation.

Medverkande VA-organisationer vittnar om att klustret är givande och sammanfattningsvis kan det konstaterats att projektprogrammet bekräftat att klustertanken fungerar och har en viktig funktion att fylla. Klustret skapar förutsättningar för ett unikt nationellt samarbete inom VA-forskning som ofta utmynnar i gemensamma projekt med såväl en akademisk höjd som praktiskt tillämpbara resultat.

## VA-kluster Mälardalen – en kort historik

Att VA-kluster Mälardalen och de andra klustren överhuvudtaget kom till berodde på den satsning av högskoleprogram som Svenskt Vatten gjorde 2008 och som grundade sig på en utredning av Hallvard Ødegard (SVU rapport Nr 2008–03). Under 2008–2009 var det ett flertal möten mellan olika lärosäten i Mälardalsregionen för att hitta samarbetspartners och skriva en avsiktsförklaring. I den första ansökan (utan några deltagande VA-organisationer) kallades klustret "RENA". Den fick avslag (vilket sett i efterhand var bra) och en ny version togs fram med följande ganska förpliktande inledningstext:

*"Vi avser skapa ett starkt och brett VA-kluster i Mälardalen med en bas i VA-organisationernas verksamhet och lärosätenas forskning och utbildning".*

Och det gick vägen, ansökan godkändes och vi var på gång! Vid starten 2010 hade klustret 12 medlemsorganisationer. Klustret har sedan start haft fem lärosäten som medlemmar. Detta ger en unik akademisk bredd men ger förstås mindre med projektmedel per lärosäte. Under den första programperioden var det mycket fokus på att hitta samarbetsformer, ta fram organisationsscheman, och hitta former för informationsspridning (inklusive hemsida och nyhetsbrev). Vid programperiodens slut hade klustret växt med fyra nya VA-organisationer och ett institut (JTI).

Ansökan för perioden 2013–2015 var betydligt mer strukturerad än den första ansökan, med detaljerade verksamhetsmål och tydliga projektplaner. Detta underlättade betydligt uppföljningsarbeten och avrapporteringar. Perioden präglades av konsolidering och utveckling. Samarbeten fördjupades och nya forskningsprojekt skapades. Under 2014 utvärderades Svenskt Vattens högskoleprogramsatsning av Hallvard Ødegard som kallade satsningen en stor succé. Vid programperiodens slut hade klustret växt till 18 medlemmar.

För projektperioden 2016–2018 definierades ett nytt prioriterat forskningsområde: Metodik och kunskapsunderlag för uppströmsarbete. De fyra klustren samarbetade tillsammans med Sweden Water Research för att ta fram en ansökan om en forskarskola. Ansökan beviljades och forskarskolan Water Research School startade. Klustret hade en imponerande produktion av doktorer. Under treårsperioden försvarades 11 doktorsavhandlingar. Många av klustrets forskare fick fina utmärkelser t ex erhöll Håkan Jönsson Föreningen Vattens förnämligaste miljöpris Vattenpriset.

**Några slutsatser från de gångna åren är att klusterformen:**

- är efterfrågad bland Svenskt Vattens medlemmar, och fyller en viktig funktion som delvis saknats tidigare. Speciellt värdesätter deltagande VA-organisationer det nätverk som klustret utgör, den betydande forskning som har kommit till stånd samt att det är möjligt att delta i och påverka forsknings- och utvecklingsprojekt
- ger ett mervärde genom nya forskningssamarbeten och projektmedel
- ökar möjligheterna för en integrerad och förbättrad VA-utbildning

**Några aspekter som är viktiga att tänka på är**

- Engagemang och involvering från alla klustrets medlemsorganisationer är nödvändigt för en fungerande klusterverksamhet inklusive att skapa en "klusterkänsla" och att information om klustrets arbete får en bred spridning.
- Det tar tid att få igång samarbeten. Det är en utmaning att involvera alla medlemmar
- Klusteradministration, kommunikation och informationsspridning är viktigt men resurskrävande

*Som ordförande för VA-kuster Mälardalen mellan åren 2010–2018 har det varit fantastisk resa och förmån att se klustret så framgångsrikt utvecklats. Jag vill tacka vår nya ordförande sedan 2019 Magnus Arnell och övriga medlemmar i klustret för en mycket lyckad treårsperiod.*



Bengt Carlsson, Uppsala universitet  
Ordförande i VA-kuster Mälardalen 2010–2018

## Utmärkelser för forskare vid deltagande lärosäten under programperioden

Namn	Organisation	Utmärkelse	Årtal
Jennifer McConville	Sveriges lantbruksuniversitet	Docent i ämnet teknologi	2020
Foon Yin Lai	Sveriges lantbruksuniversitet	Docent i ämnet miljöanalys, inriktning miljö kemi	2020
Bengt Carlsson	Uppsala universitet	Excellent lärare	2021
Annika Nordin	Sveriges lantbruksuniversitet	Docent i ämnet teknologi	2021
Björn Vinnerås	Sveriges lantbruksuniversitet	Professor i Kretsloppsteknik	2021
Jennifer McConville & Foon Yin Lai	Sveriges lantbruksuniversitet	SLU:s karriärbidrag för särskilt framstående forskare	2021

”

*VA-klustret ger enkla och direkta kopplingar till ett stort antal VA-organisationer för lärosäten vilket ofta utmynnar i gemensamma projekt med såväl en akademisk höjd som praktiskt tillämpbara resultat.*

*- Ulf Jeppsson, Lunds universitet*

”

# Sammanfattning av programperioden

## 2019

År 2019 var det första året i programperioden och stort fokus lades därför på uppstart av nya projekt och mål för den nya perioden. Forskningsprojekt har bedrivits och startats upp inom de tre prioriterade forskningsområdena för denna period: A) System och reningstekniker med närings och resursåterföring; B) Metodik, teknik och kunskap för uppströmsarbete och hållbara kretslopp; och C) Digitala tekniker för resurseffektiva avloppssystem.

Klustret genomgick vissa organisationsförändringar under 2019, bland annat genom att Magnus Arnell (Lunds universitet) tillträdde som ny klusterordförande. Klustrets tidigare beredningsgrupp togs bort till förmån för mer frekventa ledningsgruppsmöten. Ett av målen för år 2019 var att öka den gemensamma projektutvecklingen mellan klustrets medlemmar och skicka in fler ansökningar i samverkan. En riktad aktivitet för detta genomfördes på det årliga internatet som genomfördes på Lidingö i augusti. Projektutveckling ses som ett stort värde med klustersamverkan.

Under året har klustermedlemmarna deltagit i flera konferenser och seminarier och presenterat resultat från forskning- och utvecklingsprojekt. Klustermedlemmar deltog bland annat på avloppskonferenserna NAM i Sundsvall i februari och NordIWA i Helsingfors i september samt modelleringskonferensen Watermatex i Köpenhamn i september. Klustret hade ett stort engagemang i Watermatex genom Ulf Jeppsson, Lunds universitet som var ordförande för konferensen och med många deltagare och presentatörer.

### Under året försvarades följande doktorsavhandling:

**Linda Kanders**, Mälardalens universitet, doktorsavhandling:

*"Start-up and operational strategies for deammonification plants: - a study with one-stage moving bed biofilm reactors treating reject water"*

## 2020

Programperiodens andra år präglades starkt, precis som samhället i övrigt, av den coronapandemi som svepte in i början av 2020. I stort sett alla möten fick genomföras digitalt vilket delvis försvårade nätverkande och friare dialog men som samtidigt öppnade nya dörrar, bland annat genom att öppna VA-kuster Mälardalens årliga internat för fler deltagare. Internatet innehöll bland annat kortare presentationer från alla medlemsorganisationer, bikupediskussioner om kommunikation av forskningsresultat samt en paneldiskussion om slamspridning på åkermark.

Konferenser är en viktig del i klustrets kommunikation av forskningsresultat. Många fick under året ställas in, flyttas fram eller genomföras på andra sätt. Trots det deltog VA-kuster Mälardalens medlemmar, både lärosäten och VA-organisationer, på nationella och internationella konferenser i den utsträckning det var möjligt.

Klustrets ordförande och sekreterare deltog i två klusterledarträffar för SVU:s projektprogram (Dag&Nät, VA-teknik Södra och DRICKS). Samarbete med övriga kuster sker även genom olika forskningsprojekt. Framför all sker ett samarbete med VA-teknik Södras medlemmar med gemensamma ansökningar och projektsamarbeten. Som exempel har projektet "Hållbarhetsanalys av värmeåtervinning ur avloppsvatten (HÅVA)" avslutats under programperioden och projektet "Digital tvilling för hållbar och resurseffektiv drift av avloppsreningsverk" startats upp.

### Under året försvarades följande två doktorsavhandlingar och en licentiatavhandling:

**Jenna Senecal**, Sveriges Lantbruksuniversitet, doktorsavhandling:

*"Safe Nutrient Recovery from Human Urine - System and Hygiene Evaluation of Alkaline Urine Dehydration"*

**Luis Fernando Perez Mercado**, Sveriges Lantbruksuniversitet, doktorsavhandling:

*"Farm-based technologies for management of risks from irrigation with wastewater-polluted sources in Cochabamba, Bolivia"*

**Isaac Owusu-Agyeman**, Kungliga tekniska högskolan, licentiatavhandling:

*"Recovery of organic carbon from municipal waste streams"*

## 2021

Klustret ansökte under året om en femte programperiod (2022–2024) som beviljades av Svenskt Vatten i december 2021. En stor del av arbetet i klustret ägnades åt det förberedande arbete som har krävts för att ta fram ansökan, med bland annat projektutvecklingsworkshop, diskussioner angående finansieringsformer och tematisk inriktning, samt möten med de tre andra klustren för att synkronisera respektive klusters ansökan. VA-kluster Mälardalen har, precis som samhället i övrigt, tydligt märkt av coronapandemin även under år 2021. Styrgrupps- och ledningsgruppsmöten, samt Vintermöte och Internat hölls enligt plan om än digitalt. De digitala mötena begränsar nätverkandet som i normala fall är en del av VA-kluster Mälardalens kärna. Avsaknaden av fysiska träffar har därför påverkat klustret negativt, något som blev tydligare under pandemins andra år.

Det löpande arbetet i klustret har handlat om att fortsätta, och i vissa fall avsluta, de projekt som har drivits inom våra huvudsakliga forskningsområden. Forskningsresultat har presenterats på både nationella och internationella, digitala och fysiska konferenser. Några som särskilt kan nämnas är IWA Digital World Water Congress som genomfördes digitalt över två veckor i maj och juni, WRRmod2021 som även den genomfördes digitalt i augusti samt NordIWA 2021 som genomfördes digitalt i september.

### Under året försvarades följande sex doktorsavhandlingar och en licentiatavhandling:

**Oscar Samuelsson**, Uppsala universitet, doktorsavhandling:

*"Sensor Fault Detection and Process Monitoring in Water Resource Recovery Facilities"*

**Frank Menger**, Sveriges Lantbruksuniversitet, doktorsavhandling:

*"Hidden in the Water: Development of screening strategies to identify new organic contaminants of emerging concern"*

**Prithvi Simha**, Sveriges Lantbruksuniversitet, doktorsavhandling:

*"Alkaline Urine Dehydration: how to dry source-separated human urine and recover nutrients?"*

**Claudia Cascone**, Sveriges Lantbruksuniversitet, doktorsavhandling:

*"Optical sensors in drinking water production: Towards automated process control in relation to natural organic matter"*

**Wiebe Dürig**, Sveriges Lantbruksuniversitet, doktorsavhandling:

*"Wide-scope screening for contaminants of emerging concern in archived biota: Method development, suspect prioritisation, and non-target screening in a novel identification tool"*

**Rikard Tröger**, Sveriges Lantbruksuniversitet, doktorsavhandling:

*"Occurrence and removal of organic micropollutants in drinking water: Analytical approaches for wide-scope screening of contaminants of emerging concern"*

**Aubrey Shenk**, Mälardalens universitet, Licentiatavhandling:

*"Investigation of nitrogen recovery from concentrated wastewater"*



## VA-kluster Mälardalens utveckling – några reflektioner

*VA-kluster Mälardalen bedriver idag forskning o utbildning som ligger i den internationella frontlinjen. Att många VA-organisationer och forskningsinstitut samarbetar nära med universitet o högskolor är vitalt. Akademiska forskare och praktiskt verksamma ingenjörer formulerar problemställningar och forskningsutmaningar tillsammans. Att forskarna har tillgång till trovärdiga och fullskaliga experiment är ytterligare en förnämlig möjlighet och inte särskilt vanligt internationellt.*

*Det har inte alltid varit så här gynnsamt. IWAs Biennial World Water Congress i Beijing 2006 blev en viktig väckarklocka för svensk VA-forskning. Jag var då editor-in-chief för Water Science and Technology och hade yttersta ansvaret för publikationerna från konferensen och fick därmed en god överblick. En stor konferens blir en värdemätare på vem o vad som dominerar vattenforskningen. Sverige var inte längre med i elitserien. Av 1700 inlämnade långa eller korta artiklar till konferensen kom 20 från Sverige. Av dessa valdes nära 300 bidrag ut för muntliga presentationer av vilka 5 kom från Sverige. Två svenska bidrag eller 1% av de 200 publicerade artiklarna i Water Science and Technology kom från Sverige och tillbakagången från tidigare konferens var generande.*

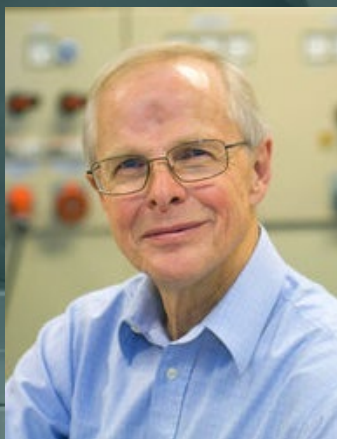
*Beijingkonferensen gav anledning till agerande på flera fronter. Jag skrev ett öppet brev till Nationalkommittén för Vatten någon månad efter Beijing. Många forskare inom vatten- o avloppsteknik hade erfarit i flera år att stödet till forskningen i Sverige låg på svältgränsen. I förhållande till omsättningen i branschen satsades ett par tiondels promille på mer långsiktig kompetensuppbyggnad. Det gick att överleva med internationellt stöd. Samtidigt hade många svenska reningsverk personal med imponerade kompetens och flera konsultfirmor var internationellt konkurrenskraftiga, men satsningen på att förnya professionen och att få in unga människor med en uppdaterad kompetens i branschen var otillräcklig.*

*”Stockholmskonferensen är med all rätt beundrad för sin förmåga att fånga beslutsfattarnas intresse inför de stora vattenfrågorna, inte minst i utvecklingsländerna. På vilket sätt kan vi sedan understödja den satsningen med ett tekniskt kunnande som kommer till glädje för både utvecklingsländer och industriländer och som ger trovärdighet åt vår vilja?”*

*Citat ur Gustaf Olssons öppna brev till Nationalkommittén för Vatten, 2 november 2006*

*Krisen blev en väckarklocka. Professor Hallvard Ødegaard från Trondheim fick i uppdrag att föreslå en struktur för svensk VA-forskning. Ur hans förslag bildades Mälardalsklustret 2010 tillsammans med flera andra kluster i Sverige. Jag har haft förmånen att i den rådgivande gruppen bevittna en fantastisk utveckling under dessa tolv år. Med en generös inställning och stöd från Svenskt Vatten har klustret kunnat gå vidare och attrahera stora forskningsanslag. Ledarskapet och engagemanget inom klustret har varit imponerande. Arbetet med VA-forskning idag är angeläget inte bara för vattenforskare. Allt fler inser att vattenfrågan är vital för hela vårt samhälle och vår civilisation. Vattenforskning berör idag många discipliner, inte bara många ingenjörsgrenar utan också t.ex. socialvetenskaper, beteendevetenskaper, ekonomi och naturligtvis människors hälsa. Detta gör att klustrets utmaningar hela tiden vidgas och frågeställningarna sträcker sig långt utöver förståelsen av enhetsprocesser. Vi måste begripa hur hela det urbana vattensystemet påverkas av inte minst klimatförändringar. Detta i sin tur ger stora utmaningar som kräver intimt samarbete mellan många discipliner.*

*Det är viktigt att Mälardalsklustret fortsätter att prioritera ett tätt samarbete mellan problemägare och forskare. Problemdriven forskning kommer alltid att vara vital och trovärdig och kan också garantera att akademisk forskning inte isolerar sig från alla komplexa utmaningar som finns i vattenområdet.*



Gustaf Olsson  
Professor emeritus, Lunds universitet

## Resultat från projektperioden – i urval

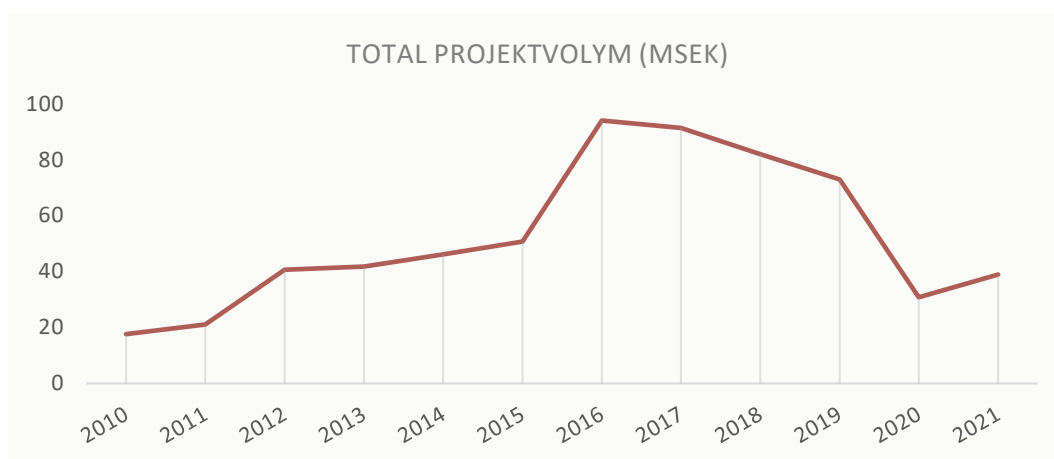


*Genom samarbete och samfinansiering kan vi delta i fler projekt än om vi skulle driva dessa själva inom bolaget. Vi får också en plattform där vi kan bli informerade om pågående projekt samt kan sprida kunskap om pågående forskning och utvecklingsprojekt bland kollegor inom bolaget.*

*-Kristina Stark Fujii, SVOA*



Den samlade projektvolymen inom VA-kuster Mälardalen har totalt uppgått till drygt 142 MSEK under perioden 2019–2021. Det motsvarar en uppväxling av SVU- och SIVL-medlen med 17 gånger. Den faktiska projektfinansieringen speglar en del av nyttan med VA-kuster Mälardalen, men för att få en komplett bild bör det även beaktas att det totalt har genomförts närmare 100 forsknings- och utvecklingsprojekt under programperioden, och att 17 av våra 20 medlemmar har varit direkt involverade i ett eller flera av dessa projekt. Många av projekten har dessutom genomförts i samarbete med andra VA-organisationer utanför klustret.



Än viktigare är att följa upp är vad vår forskning uppnår och hur forskningen omsätts i praktiken. I efterföljande avsnitt följer vi upp ett urval av de projekt som har genomförts under programperioden.

## Metoder för hållbar slamhantering och återföring av växtnäring och organiskt material till produktiv mark

<b>Finansiering</b>	Mälarenergi, Eskilstuna Energi och Miljö, VA-kuster Mälardalen, ÅForsk (den sistnämnda för inköp av laboratorieutrustning/material).
<b>Projektpartners</b>	Mälardalens Universitet, Mälarenergi, Eskilstuna Energi och Miljö
<b>Kontakt</b>	Eva Thorin, Mälardalens universitet, eva.thorin@mdu.se Ida Sylwan, Mälardalens universitet, ida.sylwan@mdu.se

### Syfte och mål

Projektet syftar till att studera processer och metoder för att separera metaller och näringsämnen vid reningsverken och därmed att öka möjligheten för återföring av näringsämnena till jordbruksmark. Möjligheten att återföra mullbildande ämnen och energieffektivitet ska även beaktas. I målsättningarna ingår:

- Ökad kunskap om hur biokol kan adsorbera metaller i avloppsvatten.
- Modell för adsorption av metaller i biokol
- Ökad kunskap om flöden av näringsämnen och metaller i avloppsreningsverk och påverkan av olika driftparameterna och processutformning.
- Översikt över möjligheter att separera slamkvaliteter vid avloppsvattenrening för effektiv återvinning av näringsämnen och energi.

### Resultat och slutsatser

Möjligheten att separera metaller från inkommande vatten genom adsorption till biokol har undersökts i verkligt avloppsvatten (studier utförda med biokol och metallösning). Effekten av biokolstillsats i samband med primärsedimentering har modellerats (publikation 1, manuskript; presentation 6). Resultaten indikerar att adsorptionen av vissa metaller (Cu och Ni) begränsades i verkligt avloppsvatten jämfört med metallösningar (som tidigare studerats). Modellering indikerade en potential för betydligt förbättrad avskiljning av Cd från avloppsvatten i samband med primär-sedimentation, dock indikerades även en risk för att Ni frigörs från biokolet vilket kan leda till ökade koncentrationer i primärrenat vatten.

För ökad förståelse av hur näringsämnen och metaller fördelar sig på olika flöden i avloppsreningsverk och hur det påverkas av olika driftparametrar och processutformning har:

- Massbalans över metaller och näringsämnen har beräknats utifrån mätdata från projektpartners.
- En reviewartikel publicerats med avseende på metallavskiljning i samband med primärsedimentation (publikation 3).
- En journalartikel baserad på tidigare utförda försök har publicerats (publikation 4)

I övrigt redovisas i publikation 5, 6 och 7 ökad kunskap om flöden och möjlig återvinning av näringsämnen. Publikation 5 och 6 är delar i licentiatavhandling Schenk A. (tidigare Beckinghausen A.) Investigation of nitrogen recovery from concentrated wastewater, Mälardalen University Press

Licentiate Theses, ISSN 1651-9256, som också finansierats av fakultetsanslag, och publikation 2 ger en översikt över kunskapsläget vad gäller framställning och användning av biokol.

Med anledning av föräldraledighet (för doktoranden Ida Sylwan, feb-nov 2019 samt jan-okt 2021) har projektet förlängts till april 2023. Fortsatta studier pågår, med avseende på möjlig optimering av biokolets adsorptionskapacitet för metaller (beroende på pyrolysförhållanden, typ av substrat samt aktivering). Vidare utredning av energiaspekter, ekonomiska aspekter och massbalans för metaller och näringsämnen över reningsprocessen planeras också ingå i journalartikel/doktorsavhandling.

Tekniken för ökad avskiljning av metaller bedöms ha potential främst med avseende på vissa metaller i samband med primärsedimentation, särskilt Cd. För implementering i den svenska VA-branschen skulle dock ytterligare utredning och försök i pilotskala först krävas. En osäkerhet bedöms vara det framtida regelverket rörande slamåterföring, då metoden bygger på att slam (bioslam) fortsatt kan återföras till jordbruksmark. Avsättning för förbrukat biokol (mättat med tungmetaller) har inte heller utretts.

Vidare, är det inte realistiskt att biokol från slam används för avskiljning av ammonium från avloppsvattenströmmar för produktion av ammoniumgödsel, då stora mängder behövs och möjligheten att regenerera biokolet för fler avskiljningscykler är låg. Däremot skulle adsorption av ammonium från koncentrerade avloppsvattenströmmar till biokol kunna användas för att öka näringsinnehållet för användning av biokolet som gödningsmedel.

#### Publikationer i urval

1. Sylwan, I., & Thorin, E. (2022). *Potential of sludge-derived char as a heavy metal sorbent during primary settling of municipal wastewater*, Manuskript färdigställt, Abstract inskickat för presentation vid World Water Congress & Exhibition, Copenhagen, 2022.
2. Xie Y., Wang L., Li H., Johansson Westholm L., Carvalho L., Thorin E., Yu Z., Yu X., Skreiberg Ø. (2022). A critical review on production, modification and utilization of biochar. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 161, 105405.
3. Sylwan, I., & Thorin, E., (2021). Removal of Heavy Metals during Primary Treatment of Municipal Wastewater and Possibilities of Enhanced Removal: A Review. *Water*, vol. 13, 1121. <https://doi.org/10.3390/w13081121>
4. Sylwan, I., Runtti, H., Johansson Westholm, L., Romar, H., & Thorin, E. (2020). Heavy Metal Sorption by Sludge-Derived Biochar with Focus on Pb<sup>2+</sup> Sorption Capacity at µg/L Concentrations. *Processes*, vol. 8, 1559; <https://doi:10.3390/pr8121559>
5. Beckinghausen A., Reynders J., Merckel R., Wu Y. W., Marais H., Schwede S. (2020). Post-pyrolysis treatments of biochars from sewage sludge and *A. mearnsii* for ammonia (NH<sub>4</sub>-n) recovery. *Applied Energy*, vol. 271, 115212
6. Beckinghausen A., Odlare M., Thorin E., Schwede S. (2020). From removal to recovery: An evaluation of nitrogen recovery techniques from wastewater. *Applied Energy*, vol. 263, 114616
7. Sylwan I., Zambrano J., Thorin E. (2019). Energy demand for phosphorus recovery from municipal wastewater. *Energy Procedia*, vol. 158, ss. 4338-4343

## Kolåtervinning för en hållbar avloppsvattenrening

<b>Finansiering</b>	Energimyndigheten, KTH, IVL, SVU
<b>Projektpartners</b>	KTH, IVL, Syvab
<b>Kontakt</b>	Elzbieta Plaza, KTH, elap@kth.se

### Syfte och mål

Huvudfokus för studien var på biobaserad kolåtervinning från kommunalt avloppsvatten genom att utforska processoptimering och dynamik hos mikrobiella samhällen av befintliga och nya teknologier för återvinning av biobaserade produkter. Studien omfattade: 1) biogasproduktion genom direkt anaerob granulatbaserad rening av kommunalt avloppsvatten; och 2) produktion av nya kemikalier i form av flyktiga fettsyror (VFA) från avloppsslam och annat kommunalt organiskt avfall genom samfermentering. Målet var att utveckla en innovativ och hållbar teknik för att avlägsna kol från kommunalt avloppsvatten, och att samtidigt erhålla värdefulla produkter för olika applikationer som bidrar till en optimal resursåtervinning.

### Resultat och slutsatser

I del 1 klargjordes kopplingen mellan strukturen hos anaeroba granuler och deras vägar för metanproduktion samt påverkan av driftsparametrar för den gemensamma mikrobiella strukturen hos olika granuler. I studien användes två identiska uppflödesreaktorer för anaerob rening (UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket) med varierande granulastorleksfördelning, var och en med en arbetsvolym på 2,5 m<sup>3</sup>. Reaktorerna drevs i totalt 456 dagar under olika temperaturförhållanden (20 - 28 °C) och hydraulisk uppehållstid (HRT, 3 - 5 timmar). En av reaktorerna (UASB1) hade granulat med större storlekar (3–4 mm) medan granulerna i den andra reaktorn (UASB2) hade mindre storlekar (1–2 mm). Granulerna i UASB1 karakteriserades av flerskiktig inre struktur medan granulerna från UASB2 var utan skiktad inre struktur.



UASB-reaktorerna.  
Foto: Elzbieta Plaza

Det mikrobiella samhället för UASB1-granuler dominerades av Methanosaetaceae som är strikt acetoklastiska medan hydrogenotrofa metanogener och formiatanvändare, Methanomicrobiales dominerade UASB2-granulerna. En ökning av temperaturen från 20 °C till 28°C ledde till en ökning av biogasproduktionen för UASB och orsakades av minskningen av metanolösligheten i avloppsvattnet och stabil aktivitet av metanogener. Effektiviteten för avlägsnande av COD och biogasproduktion ökade med HRT med bästa prestanda vid HRT på 5 timmar och en temperatur på 20 °C, där COD-borttagning upp till 85 % erhöles för båda reaktorerna. Biogasproduktionen vid HRT 5 var upp till 102 L/(m<sup>3</sup>·d) och 90 L/(m<sup>3</sup>·d) för UASB1 respektive UASB2. Studien har visat att tillämpningen av granulatbaserad teknik (UASB) för rening av kommunalt avloppsvatten är genomförbar under mesofila temperaturer med mycket god prestanda.

Del 2 syftade till att utforska genomförbarhet och processoptimering för att återvinning av VFA från kommunalt organiskt avfall. Studien fokuserade på effekterna av substratförhållandet mellan primärslam och externt organiskt avfall (OW) och bedömde robusthet och dynamik hos det mikrobiella samhället av VFA-systemet i långsiktig drift. Substratproportionernas inverkan på alkalisk samrötning klargjordes med korttidssatsreaktorer med olika substratproportioner vid initialt pH 10 och pH 5. Därefter gjordes en långtidsstudie med tre semikontinuerliga reaktorer under basiska (pH 10 och 9) förhållanden, sura (pH 5) förhållande samt utan pH-kontroll som kördes i upp till 315 dagar. Samfermenteringssystemet skalades upp i en 2 m<sup>3</sup> kontinuerlig reaktor med olika typer av OW under 264 dagar för att fastställa effekten av variationer i substratet på VFA-systemet på lång sikt. Resultaten visade att VFA-produktionen ökade med en ökad andel organiskt avfall tack vare högre tillgång på biologiskt nedbrytbara organiska ämnen. Ättik- och propionsyror var de mest dominerande fettsyror under alkaliska betingelser (pH 10 och 9), medan kapronsyra dominerade under sura (pH 5) betingelser och utan pH-kontroll. Det mikrobiella samhället under alkaliskt pH dominerades av Bacillaceae och Dysgonomonadaceae med de senare som huvudaktör för att återställa produktionen på lång sikt. Utan pH-kontroll var det genomsnittliga pH-värdet 5,3, och det mikrobiella samhället dominerades av Lachnospiraceae som korrelerade med produktion av kapronsyra och andra fettsyror. Pilotreaktorn på 2 m<sup>3</sup> visade robusthet vid substratvariabilitet. VFA-rika vätskor visade lovande potential som kolkällor för denitrifiering och produktion av polyhydroxialkanoater (PHA).



Pilotanläggningen, utifrån och inifrån.  
Foto: Elzbieta Plaza



Detta projekt visade att vi kan förvandla avloppsreningsverk till bioraffinaderier för att återvinna värdefulla resurser i form av kol genom både direkt anaerob behandling av kommunalt avloppsvatten och samrötning av slam med kommunalt organiskt avfall. Projektet visade att kommunalt avloppsvatten har en enorm potential för resursåtervinning på grund av det organiska innehållet som gör det möjligt att få fram biobaserade kemikalier och bioenergi i framtida hållbara reningsverk.

#### Publikationer i urval

Owusu-Agyeman, I., Plaza E., & Cetecioglu, Z. (2021) Long-term alkaline volatile fatty acids production from waste streams: Impact of pH and dominance of Dysgonomonadaceae. *Bioresource Technology*, vol. 246, 126621.

Owusu-Agyeman, I., Balachandran, S., Plaza, E., & Cetecioglu, Z. (2021). Co-fermentation of municipal waste streams: Effects of pretreatment methods on volatile fatty acids production. *Biomass and Bioenergy*, vol. 145, 105950.

Owusu-Agyeman, I., Plaza, E., & Cetecioglu, Z. (2021). A pilot-scale study of granule-based anaerobic reactors for biogas recovery from municipal wastewater under sub-mesophilic conditions. *Bioresource Technology*, vol. 337, 125431.

Owusu-Agyeman, I., Plaza, E., & Cetecioglu, Z. (2020). Production of volatile fatty acids through co-digestion of sewage sludge and external organic waste: effect of substrate proportions and long-term operation. *Waste Management*, vol. 112, ss. 30–39.

Owusu-Agyeman, I., Plaza, E., & Cetecioglu, Z. (2020). Wastewater to energy: Relating granule size and biogas production of UASB reactors treating diluted municipal wastewater. I: Naddeo, V., Balakrishnan, M., & Choo, K.-H. (red.) *Frontiers in Water-Energy-Nexus – Nature-based Solutions, Advanced Technologies and Best Practices for Environmental Sustainability*: Schweiz: Springer International Publishing.

Owusu-Agyeman, I., Eyice, Ö., Cetecioglu, Z., & Plaza, E. (2019). The study of structure of anaerobic granules and methane producing pathways of pilot-scale UASB reactors treating municipal wastewater under sub-mesophilic conditions. *Bioresource Technology*, vol. 290, 121733.



## Förekomst av läkemedelsrester i slamgödslad åkermark och vidare spridning till miljön

<b>Finansiering</b>	SVU, Syvab, Eskilstuna Strängås Energi och Miljö, Käppalaförbundet, Enköpings kommun, Växjö kommun, Uppsala Vatten och Avfall, Tekniska verken i Linköping
<b>Projektpartners</b>	Uppsala universitet, Sveriges lantbruksuniversitet
<b>Kontakt</b>	Sahar Dalahmeh, Uppsala universitet, Sahar.Dalahmeh@geo.uu.se

### Syfte och mål

Syftet med detta projekt är att undersöka om spridning av kommunalt avloppsslam orsakar förhöjda halter av läkemedelsrester i odlingsjordar i Sverige och om slamgödslingen bidrar till spridning av läkemedelsrester till omgivande miljö (t.ex.grundvatten).

Specifika mål med projektet var att:

1. Undersöka om kontinuerlig, regelbunden och långvarig spridning på åkermark leder till ackumulering av läkemedel i jorden eller om jordens förmåga att bryta ner läkemedlen eventuellt förbättras över tid. För att uppnå detta nyttjades långliggande slamförsök i: i) Lanna ramförsök (23 år av slamspridning), ii) Igelösa, Skåne (40 år av slamspridning) och iii) Ultuna ramförsök (65 år av slamspridning).
2. Undersöka nedbrytningsprofiler och uppskatta läkemedelshalter inom olika tidsintervall efter slamspridning (0, 1, 3, 7 och 30 dygn efter spridning). För att uppnå detta mål undersöktes jordprover från Lanna försöksfält efter att slam hade spridits på marken år 2021.
3. Undersöka om regn på nyligen slamgödslad åkermark orsakar läckage av läkemedelsrester från mark till grundvatten. Detta undersöktes genom att studera rörlighet av läkemedelsrester i jord efter regn som simulerades ske 7 dagar respektive en månad efter slamspridning. Rörligheten i jorden undersöktes i en lysimeterstudie, där mätningar utfördes på intakta (opåverkade) jordkolonner upptagna i Lanna försöksfält.

### Resultat och slutsatser

Studien om långvarig ackumulering av läkemedelsrester i jord på Lanna, Igelösa och Ultuna försöksfält visade att läkemedel generellt sett inte ackumuleras över tid. Vid screening av läkemedel i jordprov detekterades inga läkemedel, förutom i ett fältprov från Igelösa (4 ton slam/ha). Uppmätt halt i jord var i detta fältprov 160 ng Triclocarban/g TS. De 24 vanligaste förekommande läkemedlen i Sveriges avloppsvatten och slam analyserades också. Resultaten visade att jorden enbart har innehållit påvisbara halter av Citalopram i Lanna och Oxazepam i Ultuna.

Genrebild över vetefält.

Foto: Ruud Morijn



Vad gäller kortsiktigt beteende och nedbrytning av läkemedelsrester i jord strax efter slamspridning visade analyserna att inga läkemedelsrester, förutom citalopram och sertralin, kunde detekteras eller kvantifieras i jorden på Lanna fältförsök inom 3 månader efter slamspridningen. Nedbrytningen och utspädningen av läkemedelsresterna i jorden verkar ske väldigt fort och det tycks heller inte ske någon ackumulering över det studerade tidsintervallet (1–90 dagar).

Rörlighet av läkemedelsrester i slamgödslad åkermark som respons på regn undersöktes också i projektet. Regnutsatta lerprov med en slamspridningsmängd på 8 ton slam/ha undersöktes. Proverna innehöll fyra läkemedel: metoprolol, amlodipin, sertralin och citalopram, i koncentrationer över detektionsgränserna varav endast sertralin och citalopram kunde kvantifieras, båda till 6ng/g. I lakvatten av lerjord var paracetamol det enda kvantifierbara läkemedlet medan karbamazepin och diklofenac var de enda andra i övrigt detekterbara läkemedlen.

**Vill du veta mer?**

Kontakta Sahar Dalahmeh, Uppsala universitet, sahar.dalahmeh@geo.uu.se

## Hållbarhetsanalys av värmeåtervinning ur avloppsvatten (HÅVA)

<b>Finansiering</b>	FORMAS, SVU, Sweden Water Research, Käppalaförbundet, Tekniska verken i Linköping, AB Stångåstaden
<b>Projektpartners</b>	Lunds universitet, RISE – Research Institutes of Sweden, Sweden Water Research, Käppalaförbundet, Tekniska Verken i Linköping, AB Stångåstaden
<b>Kontakt</b>	Ulf Jeppsson, Lunds universitet, ulf.jeppsson@iea.lth.se Magnus Arnell, RISE, magnus.arnell@ri.se

### Syfte och mål

Projektet syftade till att möjliggöra en mer omfattande återvinning av värme ur avloppsvatten genom att analysera hur och var detta bäst utförs inom säkra gränser utan negativ påverkan på andra delar av stadens tekniska försörjningssystem, främst avloppsvattenreningen. Ett modellverktyg har utvecklats, vilket har validerats och tillämpats i fallstudier hos de medverkande VA-organisationerna i Malmö, Linköping och Stockholmsområdet (samarbete även med energiföretag och fastighetsbolag). För att uppnå detta syfte har målen varit att:

- beskriva kunskapsläget avseende värmeåtervinning ur avloppsvatten, speciellt med hänsyn till svenska förhållanden,
- genomföra en systemanalys av olika möjligheter för värmeåtervinning ur kommunalt avloppsvatten.



### Resultat och slutsatser

Uppvärmning av tappvarmvatten utgör lejonparten av den totala energianvändningen i den urbana vattencykeln, upp till 90 procent. Uppskattningar visar att 780 till 1 150 kWh per person och år används i svenska hushåll i form av varmvatten. Denna energi hamnar huvudsakligen i avloppsvattnet. Variationerna i varmvattenanvändning är stora och det går att göra besparingar på brukarnivå. Ändå finns det stor potential för energieffektivisering genom värmeåtervinning ur avloppsvatten med värmeväxlare och värmepumpar. Beroende på utformning och plats för värmeåtervinningen torde upp till ca 300 kWh per person och år vara möjlig att återvinna.

Värmeåtervinning ur avlopp är lovande ur ett energiperspektiv, men det finns också utmaningar på systemnivå där motstridiga målsättningar inte tidigare har undersökts fullt ut. Om värmeåtervinningen resulterar i lägre inloppstemperatur för avloppsvattnet till reningsverket kan det leda till försämrad rening och ökade utsläpp till recipienten av framför allt kväve, samt till ökade driftskostnader för energi och kemikalier. I det undersökta systemet ingår hela avloppssystemet från uppkomsten av avloppsvatten i fastigheter över ledningsnätet till rening i reningsverk och utsläpp till recipient.



En matematisk modell för flöde, temperatur och föroreningsbelastning av avloppsvatten har byggts upp. Modellen inkluderar generering av hushållsspillvatten, energibalans i byggnad, ledningsnät och reningsverk, drift- och reningsprocesser på reningsverk, samt energiåtervinning med värmeväxlare och värmepumpar i olika delar av systemet.

De temperatursänkningar som uppmättes i studien visade sig inte ha någon signifikant påverkan på reningseffekten i avloppsreningsverket. Med tanke på osäkerheterna i modellen har ingen signifikant ökning av ammonium- och totalkväve i utgående vatten påvisats. Kostnaden för och vinsten med värmeåtervinning tillfaller den som tar ut och återbrukar värmen om inte andra avtal sluts. Det gäller fastighetsägarna i fastigheter och VA-organisationen på reningsverk. Om det inte går att visa att värmeåtervinning påverkar avloppssystemet negativt bör det utredas om det är rimligt att hindra kunderna från att återvinna den energi som de själva värmt upp vattnet med. Tekniken existerar idag och är tämligen enkel att införa i större skala, även på lägenhets- och fastighetsnivå, inte minst vid större renoveringar eller nybyggnation.

Några aspekter som kan behöva belysas ytterligare är:

- ekonomisk analys och lämplig affärsmodell,
- juridiska aspekter (vem äger energin i vattnet?),
- livscykelanalys för att relatera nyttan av värmeåtervinning mot insatsen av att tillverka, installera och driva utrustningen,
- påverkan i ledningsnätet (t ex eventuell ökad risk för igensättning)

#### Publikationer i urval

Arnell M., Ahlström M., Wärrff C., Saagi R., Jeppsson U. (2021). "Plant-wide modelling and analysis of WWTP temperature dynamics for sustainable heat recovery from wastewater". *Water Science and Technology* 84(4), 1023-1036. doi: 10.2166/wst.2021.277 Open access.

Arnell M., Saagi R., Wärrff C., Ahlström M., Jeppsson U. (2021). Värmeåtervinning ur avloppsvatten – Energiåtervinning och påverkan på avloppssystemet. Teknisk slutrapport nr 2021-26, Svenskt Vatten, Stockholm. Open access.

Reyes D. (2019). Modeling heat recovery from urban wastewater systems – Case study from Malmö. Thesis M.Sc., Water and Environmental Engineering, Department of Chemical Engineering, Lund University, Lund, Sweden. Open access.

Saagi R., Arnell M., Reyes D., Wärrff C., Ahlström M. and Jeppsson U. (2021). "Modelling temperature dynamics in sewer systems – Comparing mechanistic and conceptual modelling approaches". *Water Science and Technology*, 84(9), 2335-2352. doi: 10.2166/wst.2021.425 Open access.

Saagi R., Arnell M., Wärrff C., Ahlström M., Jeppsson U. (2022). "City-wide model-based analysis of heat recovery from wastewater using an uncertainty-based approach". *Science of the Total Environment* 820. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153273 Open access.

Wärrff C., Arnell M., Jeppsson U., Sehlén R. (2020b). "Modelling heat recovery potential from household wastewater". *Water Science and Technology* 81(8), 1597-1605. Open access.

## Osäkerhetsanalys och simulering för resilient dimensionering av reningsverk

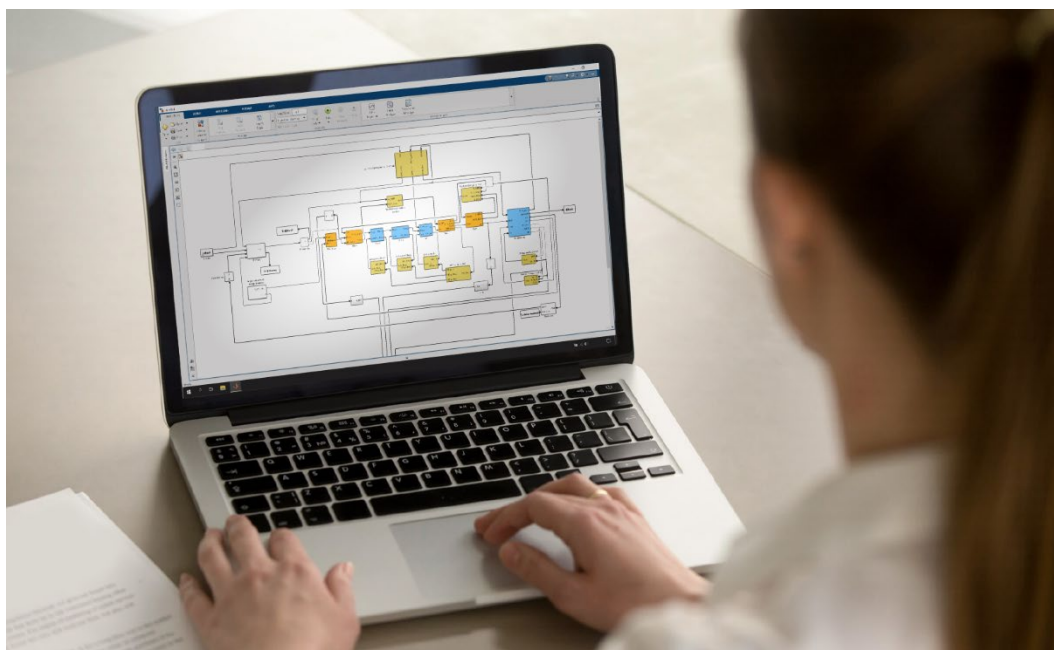
<b>Finansiering</b>	Stockholm Vatten och Avfall, Uppsala Vatten och Avfall, Stiftelsen för IVL, Svenskt Vatten utveckling.
<b>Projektpartners</b>	Stockholm Vatten och Avfall, Uppsala Vatten och Avfall, Stiftelsen för IVL, Svenskt Vatten utveckling.
<b>Kontakt</b>	Erik Lindblom, IVL Svenska Miljöinstitutet/Lunds universitet, erik.u.lindblom@ivl.se Oscar Samuelsson, IVL Svenska Miljöinstitutet, oscar.samuelsson@ivl.se

### Syfte och mål

Projektets syfte är att få ökad förståelse, och sprida kunskap om, de många osäkra antaganden som oundvikligen måste göras vid dimensionering av avloppsreningsverk. Målet är att utveckla och demonstrera praktiskt användbara metoder för att hantera osäkerheterna, samt att analysera möjligheterna med att simulera dynamiska modeller som alternativ till traditionella dimensioneringsberäkningar.

### Resultat och slutsatser

Projektet slutförs under 2022 och har hittills analyserat olika dimensioneringsmetoder, metoder för känslighetsanalys samt utvärdering av olika dimensioneringsmetoder i två pågående ombyggnadsprojekt i Uppsala och Stockholm.



Osäkerheterna är stora i det inledande dimensioneringskedet då dimensionerande förutsättningar fastställs. Genom att använda osäkerhetsanalys kan bättre beslut tas för vilken dimensionerande belastning som ska väljas, där även själva osäkerhetsmetoden är enkel att tillämpa.

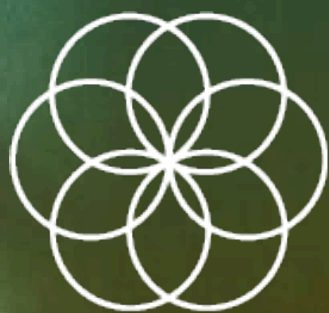
Nationellt finns ingen tillämpad standard/riktlinje för hur reningsverk skall dimensioneras utan olika antaganden (ekvationer, parametervärden) görs för olika reningsverk. I synnerhet historiskt tycks också dokumentation över dimensioneringsarbete vara bristfällig vilket bidrar till att göra antagandena icke-transparanta.

I projektet studeras även hur modeller kan användas vid dimensionering och verifiering av en färdigställd process. Det finns flera situationer där modeller är fördelaktiga jämfört med traditionella dimensioneringsriktlinjer. Tre exempel är: 1) när utsläppskraven avviker från vad som normalt används i riktlinjerna, 2) när osäkerhets- eller känslighetsanalys med många fall ska analyseras och 3) när reningsverkets resurs- och klimatpåverkan ska optimeras samtidigt som utsläppskraven ska uppnås. De traditionella riktlinjerna är dock mera beprövade och kan snabbt ge en god första dimensionering baserat på historiska belastningsdata.

Trots potentialen med modellbaserad dimensionering saknas riktlinjer för hur dessa bör tillämpas generellt. Detta är något som vi avser studera vidare i ett fortsättningsprojekt vilket blir extra viktigt då skärpta utsläppskrav med kortare tidsskala än årsmedelvärde förväntas genom nya direktiv från EU under 2022 samt möjliga krav på resiliens och resurseffektivitet redan vid dimensioneringen.

#### **Publikationer**

Lindblom, E. and Samuelsson, O. Comparison of guideline and model-based WWTP design for uncertain influent conditions, IWA World Water Conference, Copenhagen 2022 (accepted for presentation)



VA-koncernen  
Mälardalen



# VA-kluster Mälardalen



## Slutredovisning av programperioden 2019–2021

Juni 2022

Sammanfattning av  
Skriv in rapportnumret

### VA-kluster Mälardalen – ett högt värderat forsknings- och utbildningskluster

VA-kluster Mälardalen är ett viktigt och mycket uppskattat nätverk. Det vittnar våra medlemmar om. Som en del i arbetet med slutrapporteringen ställdes två frågor till alla medlemmar: "Varför är ni medlemmar i VA-kluster Mälardalen?" och "Vad betyder VA-kluster Mälardalen för er?". Svaren visar att det våra medlemmar uppskattar mest är det nätverk som klustret utgör och den forskning vi bedriver tillsammans. Nätverket är kärnan i klustret, och tack vare det kan vi genomföra högklassig forskning med såväl akademisk höjd som praktiskt tillämpbara resultat.

Den naturliga kontakten mellan de tretton VA-organisationerna och de sju forskande parterna gynnar VA-forskningen i Sverige och driver teknik- och kunskapsutvecklingen framåt. Klustret ger VA-organisationerna en möjlighet att delta i projekt som genererar direkt nytta i verksamheten och som kan svara på frågor kopplat till de utmaningar de står inför – både på kort och lång sikt. De forskande parterna uppskattar att kunna arbeta med forskning som kommer till användning "på riktigt". Klustret ger också möjligheter för alla medlemmar att delta och driva projekt som de saknar kompetens eller ekonomiska förutsättningar att driva ensamma.

Den samlade projektvolymen inom VA-kluster Mälardalen har totalt uppgått till drygt 142 MSEK under programperioden 2019–2021. Det motsvarar en uppväxling av SVU- och SIVL-medlen med 17 gånger. Den faktiska projektfinansieringen speglar en del av nyttan med VA-kluster Mälardalen, men för att få en komplett bild bör det även beaktas att det totalt har genomförts närmare 100 forsknings- och utvecklingsprojekt under programperioden, och att 17 av våra 20 medlemmar har varit direkt involverade i ett eller flera av dessa projekt. Många av projekten har dessutom genomförts i samarbete med andra VA-organisationer utanför klustret.

Resultaten från denna uppsjö av forskningsprojekt kan knappast sammanfattas på ett rättvist sätt i en slutrapport, än mindre i en sammanfattning som denna. Ett urval av de forskningsprojekt som helt eller delvis finansieras av SVU-medel genom VA-kluster Mälardalen redovisas i slutrapporten, men i övrigt hänvisar vi till vetenskapliga artiklar och andra rapporter enligt de referenslistor som finns både i slutrapporten och de verksamhetsberättelser som har publicerats årligen under programperioden (tillgängliga via klustrets hemsida [www.va-malardalen.se](http://www.va-malardalen.se)).

*Hanna Molin*  
Sekreterare VA-kluster Mälardalen