

## Populärvetenskaplig sammanfattning

Vattenförsörjning är grundläggande för människan och samhället men vattenanvändning ger också upphov till avloppsvatten. Till skydd av hälsa och miljö samlas avloppsvatten upp i ledningsnät och renas vid avloppsreningsverk. På goda grunder röstades den sanitära revolutionen fram som det största medicinska framsteget sedan 1840 av läsarna av den prominenta vetenskapliga tidskriften *British Medical Journal* 2007. Trots stora framsteg fortsätter avloppsreningen alltsedan införandet att utvecklas vartefter kunskap, medvetenhet och reningskrav ökar. Kunskapen om den mänskliga påverkan på klimatet genom utsläpp av växthusgaser har vidgat utmaningarna för avloppsreningsverken utöver enbart vattenkvalitet och kostnader. Energieffektivitet och växthusgasutsläpp behöver utvärderas integrerat med vattenkvalitet och driftskostnader för en vidare bedömning av hållbarhet.

Detta forskningsprojekt har med hjälp av matematiska modeller visat på betydelsen av att både inkludera de kraftigt dynamiska effekterna i reningsprocesserna och påverkan från upp- och nedströms processer – såsom produktion av energi och kemikalier och utsläpp av renat vatten – som driften av reningsverk ger upphov till. Simuleringar av bland annat förbättrad primär rening med tillsats av fällningskemikalier eller avancerade reningsprocesser för kraftigt minskade utsläpp har gjorts. Resultaten visar att minskad övergödning kan uppnås samtidigt som utsläppen av växthusgaser minskar. Men den ökade förbrukningen av framförallt kemikalier leder till en flerfaldig ökad förbrukning av naturresurser, både fossila och materialresurser.

Matematisk modellering av avloppsreningsverk har en lång historik och är praxis inom industrin i flera delar av världen. I det här projektet har den reningsverksövergripande modelleringsplattformen *Benchmark Simulation Model nr. 2* använts och vidareutvecklats för multikriterieanalys av avloppsreningsverk. För att kunna simulera energieffektivitet och växthusgasutsläpp tillsammans med utgående vattenkvalitet och driftskostnader har modellplattformen utvecklats inom följande tre områden.

**Energi för luftning** Då luftning för att syresätta de biologiska reningsprocesserna är den mest energikrävande processen på ett avloppsreningsverk har en detaljerad modell för att utvärdera funktion och energiförbrukning av luftningssystemet implementerats. Luftningsmodellen har testats i tre fallstudier på svenska reningsverk där den visade sig passa bra för syftet samtidigt som den var robust och enkel att anpassa till verkliga förhållanden.

**Samrötning** Att utvinna energi från organiskt material i avloppsvattnet genom anaerob rötning av avloppsslam är vanligt vid större reningsverk. Vid rötning bryts det organiska materialet ner, vilket inte bara leder till produktion av energirik biogas utan också till mindre slammängder. Många kommunala reningsverk har en överkapacitet i sina rötkammare som innebär att externt organiskt material kan pumpas in (s.k.

samrötning) och på så sätt öka biogasproduktionen. Rötningsmodellen har utvecklats för att kunna göra dynamiska simuleringar av samrötning och en metod för att karakterisera externa substrat har också tagits fram. En simuleringsstudie visar att modellering är ett värdefullt verktyg för att utvärdera gasproduktion, processtabilitet och påverkan på reningsverkets vattenrening.

**Växthusgasutsläpp** Flera mätkampanjer av växthusgasutsläpp på avloppsreningsverk har tidigare visat på en stor variation av mängderna för olika utsläpp. Den nuvarande förståelsen av detta är att den kraftiga växthusgasen lustgas ( $N_2O$ ) ofta är den största källan och utsläppen av den dessutom varierar kraftigt beroende på processförhållandena. Driftstrategin och andra yttre förhållanden har därför en stor påverkan på växthusgasutsläppen. Modellbiblioteket i plattformen har därför uppdaterats med en ny bioprocessmodell som inkluderar produktion av lustgas. Dessutom har diffusa utsläpp av koldioxid, metan och lustgas från övriga delar av reningsverket lagts till. Flera fallstudier på olika typer av reningsprocesser har genomförts, vilka visar på den kraftiga variationen i lustgasproduktion och därmed på vikten av att använda dynamiska processmodeller om växthusgasproduktion ska kunna uppskattas. Men kalibreringen av modellerna till mätdata visar också att de modeller som fanns tillgängliga för detta inte fångar alla möjliga produktionsvägar för lustgas och fortsatt forskning behövs inom området.

Alla dessa modifieringar inkluderades i modellplattformen Benchmark Simulation model nr. 2 och testades i en fullskalig fallstudie vid reningsverket Käppala i Lidingö. Processmodellen kopplades till en livscykelanalysmodell för att inkludera processer utanför reningsverket som beror på reningsverkets drift. På så sätt kunde de viktiga och dynamiska processerna på reningsverket beskrivas samt miljöpåverkan från resursanvändning och utsläpp av vatten utvärderas integrerat. Modellverktyget som tagits fram i projektet kan synliggöra motsättningar och avvägningar mellan olika miljöpåverkanskategorier och resultaten användas som beslutsunderlag för möjliga förändringar av avloppsreningsverk.