

Uppvärmning av avloppsvatten

Behov och förutsättningar i Norrland



Rapportnummer: B2490

I samarbete med: MittSverige Vatten och Avfall (MSVA), Miljö och Vatten i Örnsköldsvik AB (MIVA), Luleå miljöresurs AB (LUMIRE), Vatten och Avfallskompetens i Norr AB (Vakin), och Purac AB

Författare: Andriy Malovanyy

Medel från: Stiftelsen Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning (SIVL), Baltic Sea Action Plan genom Nordiska Miljöfinansieringsbolaget (NEFCO) och Svenskt Vatten Utveckling

Granskare: Linda Kanders

Godkännare: Mona Olsson Öberg

ISBN: 978-91-7883-611-6

Förord

Flera reningsverk i norra Sverige kommer behöva byggas om i framtiden som ett resultat av ökad anslutning på grund av nyindustrialisering av Norrland, förändrat klimat, och nya reduktionskrav avseende totalkväve och ammonium. Det finns idag få praktiska erfarenheter att rena bort kväve från kallt avloppsvatten. Projektet Kväverening vid kalla vatten (Kall-N) syftar till att i teori och praktik undersöka just denna fråga närmare. Huvudfokus av Kall-N projektet var att testa rening av kallt vatten i pilotskala, med och utan uppvärmning.

Ett av arbetspaketen i Kall-N-projektet hade till syfte att undersöka om det är tekniskt möjligt och ekonomiskt motiverat att värma upp avloppsvatten för att intensifiera den biologiska reningen. Den här rapporten utgör sammanställning av den utredningen.

Utöver IVL har flera parter bidragit med finansiering och tid till projektet. Pilotanläggningen körts på Fillan reningsverk i regi av MittSverige Vatten och Avfall (MSVA). De andra VA-organisationerna som bidragit till projektet är Miljö och Vatten i Örnsköldsvik AB (MIVA), Luleå miljöresurs AB (LUMIRE) och Vatten och Avfallskompetens i Norr AB (Vakin). Utöver dessa deltog även Purac AB i projektet och extern finansiering har erhållits från Svenskt Vatten Utveckling, Stiftelsen Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning (SIVL) samt från Baltic Sea Action Plan genom Nordiska Miljöfinansieringsbolaget (NEFCO).

Denna utredning genomfördes under 2021 men publicerats under 2024. Den bygger därför på prisbilden år 2021. Det är också en förklaring varför data från 2019 och 2020 utvärderats och inte från senare år.

Sammanfattning

Temperatur har en stark påverkan på hastighet av biologiska processer med minskning av hastigheten med 6-10% för varje 1 °C minskning av temperaturen. Vid införande av kvävereningskrav för reningsverk i Norrland finns det därför risk att det ska krävas väldigt stora bassänger för att kompensera för den periodvis väldigt kalla vattnet som kommer under snösmältningsperioden.

I första delen av rapporten studerades hur vattentemperaturen varierar under året på flera reningsverk i Norrland. Det visades att på vissa avloppsreningsverk (ARV), som Essvik ARV och Fillan ARV i Sundsvall samt Bodum ARV i Örnsköldsvik, är vattentemperaturen mycket lägre än i södra Sverige och sjunker till under 5 °C under snösmältningsperioden. Andra reningsverk, som Öns ARV i Umeå, har däremot endast några grader kallare vatten med vattentemperaturer under kallaste perioden på ca 8 °C. Den största bidragande faktorn till denna skillnad var olika andel av tillskottsvatten i lednigns nätet, med lägre temperaturer för de reningsverk som har mer tillskottsvatten.

I andra delen av rapporten studerades om det är ekonomiskt motiverat att värma upp inkommande avloppsvatten med låggradigt värme för intensifiering av reningen. Det visades att investeringskostnaden för ett nytt reningsverk kan minskas med ca 11% om avloppsvatten värms upp med 2 °C i kombination med en effektiv värmeåtervinning från utgående vatten. För att uppvärmningsalternativet ska vara motiverat krävs det dock att priset för värmen är lägre än 212 kr/MWh. För fallstudien i Sundsvall uppskattades inköpspriset för returvärme från fjärrvärmnätet till 350 kr/MWh, vilket innebär att uppvärmning inte är motiverat. Att värma upp avloppsvatten kan dock vara motiverat för andra reningsverk med andra förutsättningar i värmnätet eller vid tillgång till billig spillvärme från industri.

Summary

Temperature has a strong effect on the activity of biological processes with a reduction in activity by 6-10% for every 1 °C reduction in temperature. When introducing nitrogen treatment requirements for wastewater treatment plants in Norrland, there is therefore a risk that very large basins will be required to compensate for the periodically very cold water that arrives during the snowmelt period.

In the first part of the report it was studied how the wastewater temperature varies during the year at several treatment plants in Norrland. It was shown that at some wastewater treatment plants, such as Essvik and Fillan in Sundsvall as well as Bodum in Örnsköldsvik, the wastewater temperature is much lower than in southern Sweden and drops to below 5 °C during the snowmelt period. Other treatment plants, such as Öns in Umeå, on the other hand, have water only a few degrees colder, with water temperatures during the coldest period of around 8 °C.

The biggest contributing factor to this difference was the different proportion of stormwater in the sewer network, with lower temperatures for the treatment plants that have more stormwater.

In the second part of the report, it was studied whether it is economically motivated to heat incoming wastewater with low-grade heat to intensify the treatment. It was shown that the investment cost for a new wastewater treatment plant can be reduced by approx. 11% if the wastewater is heated by 2 °C in combination with an efficient heat recovery from the outgoing water. For the heating alternative to be motivated, however, it is required that the price for heat is lower than SEK 212/MWh. For the case study in Sundsvall, the purchase price for return heat from the district heating network was estimated at SEK 350/MWh, which means that heating is not motivated. However, heating the wastewater can be motivated for other treatment plants with other conditions in the heating network or with access to cheap waste heat from industry.

Innehållsförteckning

Förord	3
Sammanfattning	3
Summary	4
1 Inledning och bakgrund	7
2 Metod	8
2.1 Kartläggning av vattentemperaturer och flöden på reningsverk i Norrland	8
2.2 Ekonomisk utvärdering av uppvärmning	9
3 Resultat	12
3.1.1 Vattentemperatur och flöde på reningsverk i Norrland	12
3.2 Uppvärmningsstrategier	20
3.3 Ekonomisk utvärdering av uppvärmning	23
3.3.1 Utvärdering för Kubikenborg ARV	23
3.3.2 Jämförelse med andra studier	26
3.3.3 Förutsättningar för uppvärmning med fjärrvärme i Sundsvall	27
4 Slutsatser	28
5 Referensförteckning	29

1 Inledning och bakgrund

Temperatur av inkommande kommunalt avloppsvatten varierar under olika årsperioder och det finns en stor variation av temperaturer mellan olika reningsverk. Skillnader mellan olika reningsverk beror på dricksvattentemperatur och vilket råvatten (ytvatten eller grundvatten) används för dricksvattenproduktion, andel tillskottsvatten i form av dagvatten och inläckage, andel industriavlopp och dess temperatur, uppehållstiden i ledningsnätet, samt geografiska placeringen. Det saknas idag en bra sammanställning av avloppsvattenvariationer i olika delar av landet. För södra Sverige, där det finns krav för kväverening, brukar vattentemperaturen sjunka till 10-12 °C som lägsta veckomedel och det är vanligtvis de temperaturer som ligger till grund för dimensionering av kväverenningsprocessen i södra Sverige. I Norrland finns idag inga krav på kvävereduktion. Eftersom vattentemperaturen påverkar i mindre grad dimensionering för BOD-reduktion är det inte lika viktigt att veta vattentemperaturen, vilket förklarar varför vattentemperaturer på reningsverk i Norrland inte sammanställts tidigare. Ett av målen med denna rapport är just att sammanställa vattentemperaturer och se vilka faktorer påverkar temperaturen mest.

Det är vanligt för större reningsverk i södra Sverige att återvinna värme från utgående avloppsvatten med hjälp av värmepumpar för produktion av fjärrvärme. En omvänd process, uppvärmning av avloppsvatten med låggradigt värme, kan vara relevant för de reningsverk som har kapacitetsbrist och har tillgång till billig låggradigt värme. Uppvärmning av kommunalt avloppsvatten är högst ovanligt både i Sverige och i världen. Uppvärmning vid rening av lakvatten används dock ganska ofta i Sverige. Det finns flera anläggningar som värmer upp vattnet till konstant 20 °C med användning av deponigas, spillvärme från gasmotor som körs på deponigas eller värmepumpar. Även uppvärmning av industriellt avloppsvatten innan behandling i anaeroba system är vanlig. Vid uppvärmning av avloppsvatten används oftast värmeväxling av inkommande och utgående vatten för att minska värmebehovet.

Möjligheten att minska storlekar av biobassänger på kommunala reningsverk har utvärderats i flera studier:

En teoretisk utredning av möjligheten för förbättring av kväveavskiljning på Nykvarns avloppsreningsverk (ARV) i Linköping genom uppvärmning med spillvärme från kraftvärmeverk gjordes i Andersson & Arnell (2002). Alternativet att värma upp vattnet till 20 °C och komplettera reningsverket med extra denitrifikationsvolym uppskattades kosta 2,2 Mkr/år medan andra utbyggnadsalternativ utan uppvärmning för att åstadkomma samma rening uppskattades kosta 6,2-6,6 Mkr/år. Studien såg fördelar både för reningsverket och för värmebolaget som kunde producera mer el vid kallare fjärvärmereturen.

IVL har gjort en teoretisk utredning kompletterad med pilotförsök på Sjöstads ARV (Karlstad) under cirka ett halvt år (Arnell et al 2004). Avloppsvattnet värmdes till 20-24 °C. Studien visade att uppvärmning av vatten var motiverat för reningsverk med storlek upp till 100 000 pe. För verk med låga flöden var uppvärmning motiverat vid energipris på max 240 kr/MWh och för medelstora reningsverk vid energipris på 120 kr/kWh.

Som en del av Life+ projektet ITEST körde IVL två aktivslamlinjer på Hammarby Sjöstadsverk under 1,5 år. I den ena linjen behandlades vatten utan uppvärmning och i den andra linjen värmdes vattnet till konstant 20 °C (Fortkamp et al 2013).

I alla dessa projekt har vattnet värmts upp till nära 20 °C. Eftersom temperaturpåverkan inte är linjär ger uppvärmning större besparing i reaktorvolym vid lägre vattentemperatur. Det är således intressant att se om uppvärmning av inkommande avloppsvatten på ett reningsverk i Norrland kan vara ekonomiskt motiverat jämfört med byggnation av större bassängvolym. I den här rapporten görs den utvärderingen för fallstudien i Sundsvall.

2 Metod

2.1 Kartläggning av vattentemperaturer och flöden på reningsverk i Norrland

Kartläggning av vattentemperaturer, flöden och föroreningshalter gjordes för XX avloppsreningsverk ARV i Norrland: Fillan ARV, Essvik ARV och Tivoli ARV i Sundsvall, Bodum ARV i Örnsköldsvik, Öns ARV i Umeå, samt Uddebo ARV i Luleå. Temperaturer och flöden för dessa reningsverk jämfördes även med

temperaturer och flöden för Strängnäs ARV, som ligger i södra Sverige och har kväverenskapskrav och en relativt hög andel av tillskottsvatten.

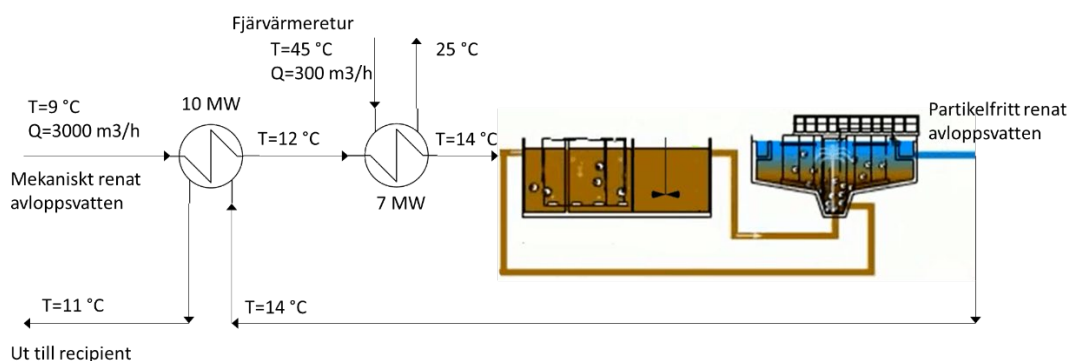
Data för två år, 2019 och 2020, utvärderats i studien för alla studerade ARV. Data för andra år inkluderats för flera av reningsverken beroende av tillgängligheten. Den data som ligger till grund för utredningen är analysresultat från provtagning av inkommande vatten och onlinemätning av flöden och temperaturer.

2.2 Ekonomisk utvärdering av uppvärmning

Ekonomisk utvärdering gjordes med utgångspunkt av kalkyler för investerings- och driftkostnader för Kubikensborg ARV som Ramboll har tagit fram i ett separat projekt. Kubikensborg ARV är ett nytt reningsverk som enligt en av alternativa utformningar av Sundsvalls avloppsvattenhantering kan byggas och ersätta befintliga reningsverk (Tivoli, Fillan och Essvik). Reningsverket består av mekanisk rening, försedimentering med möjlighet för förfällning, MBBR-anläggning med för- och efterdenitrifikation, flotation samt polerande sandfilter.

Reningsverket dimensionerats av Ramboll för årsmedeltemperatur på 9 °C. Utifrån den kalkylen har det tagits fram nya kalkyler för två tänkta scenarier:

Scenario 1. Man värmer upp inkommande vatten med 2 °C genom användning av returvärme på fjärrvärmenätet och värmeåtervinner utgående vatten med inkommande vatten med 60% effektivitet på värmeåtervinningen. Det antas vidare att vattentemperaturen inte ändras under reningsprocessen, dvs den uppvärmning av vatten som uppstår som effekt av luftning, pumpning och biologisk aktivitet likställs med värmeförlusterna från det varmare avloppsvattnet till omgivningen. Uppvärmningen sker året om. Detta ger en effektiv ökning av vattentemperaturen med 5 °C.



Figur 1. Värmebalans för scenario 1.

Scenario 2. I detta scenario är uppvärmning med fjärrvärme fortfarande 2 °C men värmeåtervinning är 80% effektiv, vilket ger en effektiv ökning av temperaturen med 10 °C.

Scenario 3. I detta scenario uppvärms vattnet med 1 °C och värmeåtervinning är 80% effektiv, vilket ger en effektiv ökning av temperaturen med 5 °C.

Om man värmer upp avloppsvatten för att effektivisera kvävereningen kommer det på flera sätt påverka utformning av reningsverket och kostnader. Följande antaganden har gjorts i projektet:

1. *Mindre volymer i biosteg.* Högre hastigheter för BOD-reduktion, nitrifikation och denitrifikation vid högre temperatur kräver mindre bärartyta, dvs både volym av bärare och volym av biobassänger kan vara mindre. Det antogs att temperaturen påverkar biologiska processerna lika i alla zoner och att temperaturkoefficienten är 1,08, enligt slutsatser av pilotförsök som genomfördes i projektet. Det ger 32% minskning av biostegsvolymer i scenario 1 och 3 och 54% minskning i scenario 2. Investeringskostnaden för biobassänger och bärarmaterial skalades ner enligt samma procentsatser.
2. *Högre luftförbrukning.* Högre temperatur ger högre luftförbrukning, vilket påverkar både investeringskostnad (större blåsmaskiner och luftningssystem) och driftkostnad (elförbrukning för blåsmaskiner). Luftförbrukning ökar både eftersom endogen respiration ökar (högre nedbrytning av slam) och eftersom syreöverföringseffektiviteten är lägre vid högre temperatur. Bara minskning av överföringseffektiviteten togs med i beräkningen. Vid 5 °C högre temperatur (scenario 1 och 3) ger beräkningen 10% högre luftförbrukning och vid 10 °C högre temperatur (scenario 2) 25% högre luftförbrukning. Investeringskostnaden för luftningssystemet samt elkostnad för luftning skalades upp med samma procentsatser.
3. *Uppvärmningsanläggning.* Utgående ledning måste gå nära inkommande ledning för att möjliggöra effektiv placering av en uppvärmningsanläggning. Anläggningen består av värmeväxlare för värmeåtervinning samt uppvärmning med fjärrvärme, tillhörande rörsystem, större pumpar i befintlig pumpstation samt en extra pumpstation. Värmeväxlare har dimensionerats och prisuppskattats av Alfa-Laval för scenario 2 och skalats för andra scenarier utifrån ändrad erforderlig värmeöverföringsytan. Kostnaden för annan maskin förutom värmeväxlare antogs vara 100% av kostnaden för värmeväxlarna. Kostnaden för en extra pumpstation och överbyggnaden beräknades enligt samma a-priser som användes av Ramboll för övriga kalkyler. Underhåll av uppvärmningsanläggningen beräknades med 1,5% av investeringskostnaden per år.

Förutom dessa tre punkter finns även andra faktorer som påverkar reningskostnaden men som försumrades i utvärderingen:

- Högre nedbrytning av bioslam vid varmare vatten borde ge något lägre biogasproduktion;
- Elförbrukning för pumpning av vatten genom värmeväxlarna;
- Tvättkemikalier för värmeväxlarna;
- Personalkostnader för drift och underhåll av uppvärmningsanläggningen;
- Eventuell omdragning av ledningar för uppvärmningsanläggningen;
- Utebliven markkostnad för mer kompakt reningsverk.

I de omräknade investeringskostnads kalkylerna har samma påslag använts som i Rambolls originalkalkyl. Investeringskostnaden omräknats till annuitetskostnad med användning av kalkylräntan på 4% samt avskrivningstiden på 30 år för bygg och 15 år för maskin/process.

Dessa antaganden påverkar väsentligt utfallet av utvärderingen. Därför gjordes känslighetsanalys för att illustrera enskild påverkan av dessa parametrar på resultatet. Följande parametrar utvärderats (understruket värdet avser det som användes i beräkningen):

- Temperaturkoefficient: 1,04, 1,06, 1,10
- Kalkylränta: 2%, 4%, 6%
- Avskrivningstid bygg: 20 år, 30 år, 45 år
- A-pris betongbassäng i biosteg: 2500 kr/m³; 3500 kr/m³; 4500 kr/m³
- Pris bärare 4000 kr/m³; 5750 kr/m³, 7500 kr/m³
- Kostnad annan utrustning förutom värmeväxlare i uppvärmningsanläggningen: 60%, 100%, 140% av kostnaden för värmeväxlarna

Förutom dessa parametrar utvärderats också hur olika sätt att beräkna med påslag på maskinkostnaden påverkar utvärderingen. I Rambolls kalkyl läggs följande påslag på hela maskinkostnaden: 30% montage och igångkörning; 40% el/styr; 15% påslag för oförutsedda utgifter (ändrades till 20% i denna utvärdering); 20% byggherrekostnader. Eftersom påslag läggs på varandra gör en liten ändring av påslag väsentlig skillnad på investeringskostnaden. Ett exempel är kostnaden för bärare. I originalkalkylen är kostnaden för själva bärare 48,3 Mkr. Om alla påslag ovan läggs på den kostnaden blir total kostnad av bärare i investeringskalkylen 127 Mkr. De extra påslagen sett från enskilda komponenter kan ibland kännas orimliga. Exempelvis "montage och igångkörning" av bärare med alla de extra påslagen på varandra resulterar i en kostnad av ca 29 Mkr eller 60% av vad själva bärarna kostar. Ett annat exempel att påslag för el/styr på kostnaden av bärare resulterar i en total kostnad av ca 36 Mkr. Det sätet att beräkna kostnader för entreprenader är dock vanlig i förstudiefasen eftersom en mer noggrann beräkning kräver mycket mer arbete som oftast inte är motiverat. En för hög kostnad på ena komponenten jämnar ut en för låg kostnad på andra komponenten. Exempelvis en

enkel nivåbrytare kan kosta 300 kr men kräva många tusen kronor för projektering av elschema, kabeldragning, i/o i styrskaftet och programmering.

Kostnaden för just bärare står för en stor del av investeringskostnaden och kostnaden för dessa ändras mycket med införande av uppvärmning. Även om färre och mindre bassänger kan innebära en någon lägre kostnad för installation och el/styr av andra komponenter (som givare och omrörare) kommer förmodligen minskningen inte vara så stor som det är blir med användning av de standard påslagsatserna. Därför görs känslighetsanalys även på påslagssatser. I första alternativet läses absoluta värden av påslagen på installation och igångkörning samt el/styr. I andra alternativet läses även absoluta värden av de andra påslagen.

3 Resultat

3.1 Vattentemperatur och flöde på reningsverk i Norrland

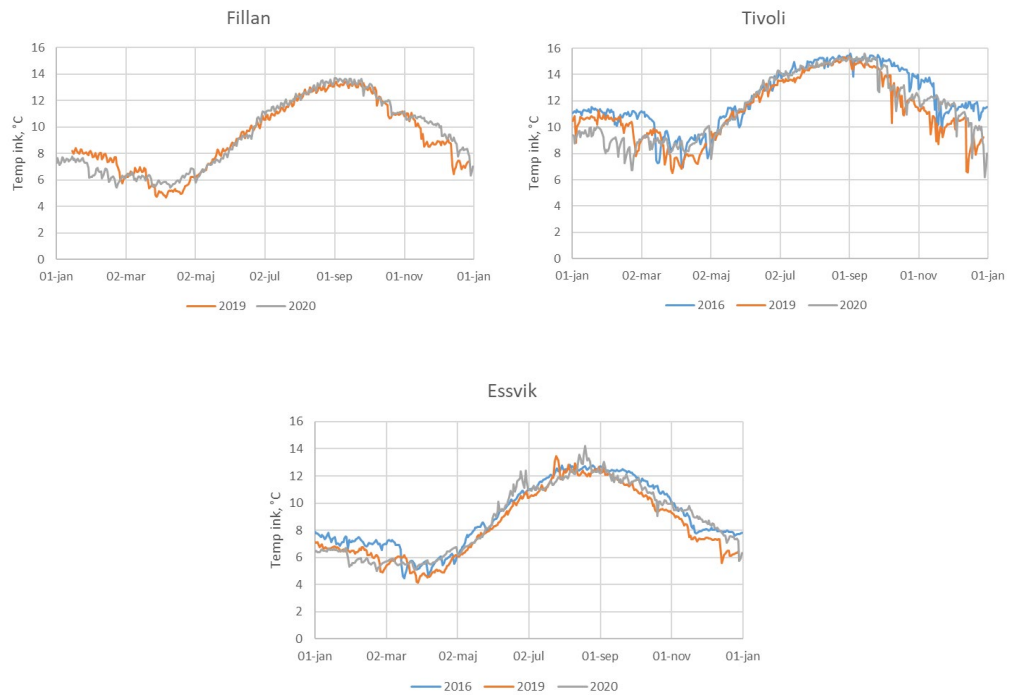
3.1.1 Sundsvall

Avloppsvatten från centrala Sundsvall samt Alnön och Njurunda renas på tre reningsverk: Fillan ARV (belastning ca 23 000 pe), Tivoli ARV (belastning ca 57 000 pe) samt Essvik ARV (belastning ca 11 000 pe). MSVA utreder om dessa reningsverk i framtiden antingen ska kompletteras med kväverening eller läggas ner och vattnet kommer överföras till ett nytt reningsverk. Pilotförsök i projektet genomförts på Fillan ARV. Därför läggs en större vikt i denna delrapport på utvärdering av historiska data från Fillan ARV.

Variation av temperatur på de tre reningsverken presenteras för år 2016 (endast för Tivoli och Essvik, temperaturdata för Fillan saknas), 2019 och 2020 (Figur 1).

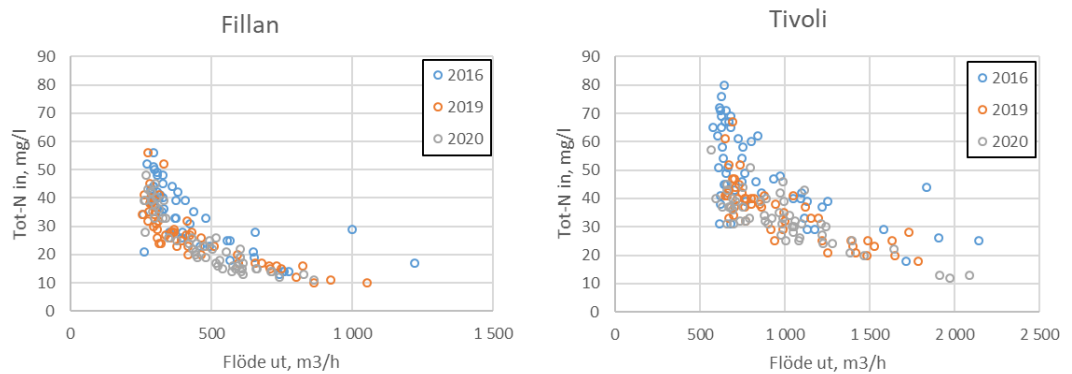
Vattentemperaturen mäts med dedikerade temperaturgivare före försedimenteringssteget, dvs nära till inloppet till reningsverken.

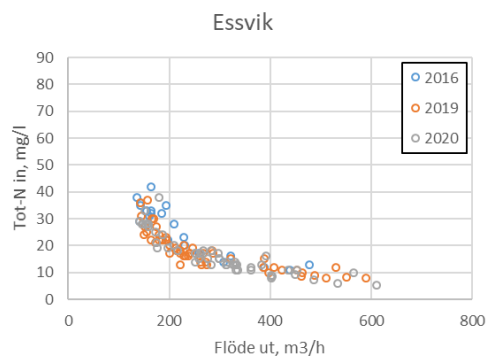
Temperaturgivarna kalibreras regelbundet från januari 2019. Vattentemperaturen är ca 2 °C högre på Tivoli jämfört med Fillan och Essvik. Temperaturen sjunker som veckomedel till ca 5 °C på Fillan, ca 4,5 °C på Essvik och även ner till 4 °C under enstaka dagar. På Tivoli är temperaturen som regel högre än 7 °C och kan sjunka ner till 6 °C vissa dagar.



Figur 1. Temperatur av inkommande avloppsvatten på tre reningsverk i Sundsvall

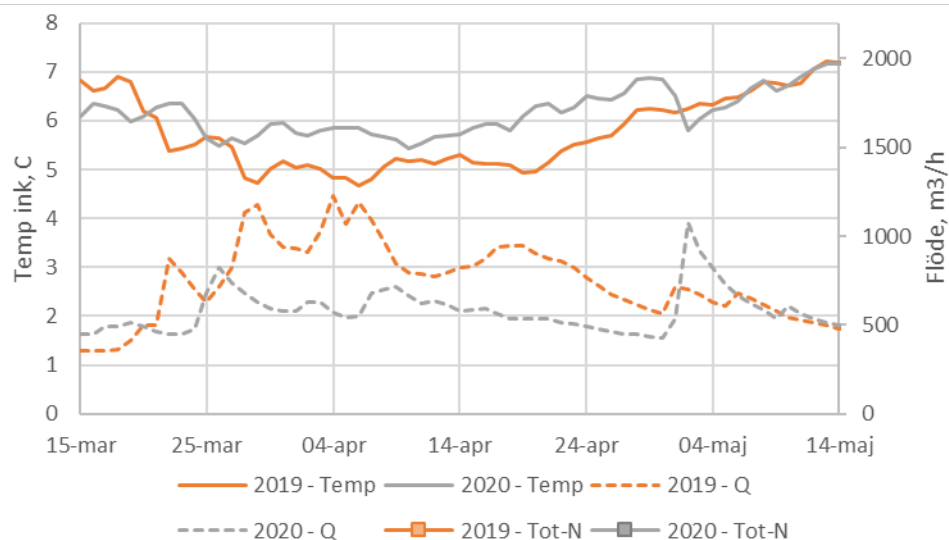
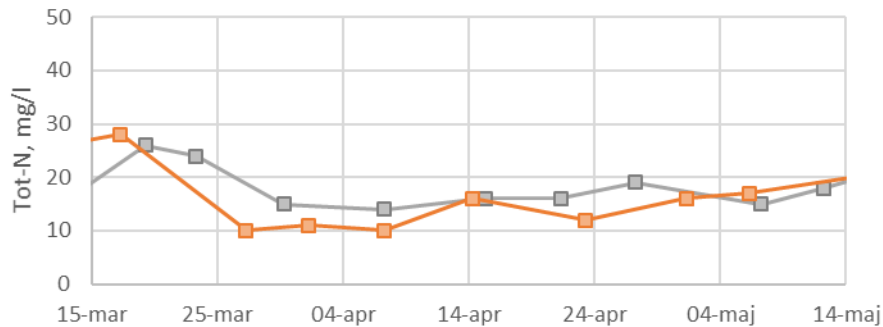
En av de viktigaste orsakerna till så stor skillnad i temperaturer mellan dessa verk är att andelen ovidkommande vatten är olika. Man kan se att kvävehalter är väsentligt lägre på Fillan ARV och Essvik ARV jämfört med Tivoli ARV, vilket är ett resultat av en större utspädning (Figur 2). En annan potentiell orsak är att storleken på ledningsnätet och respektive uppehållstiden i ledningsnätet kan vara olika.





Figur 2. Samband mellan flöde och kvävehalter på reningsverk i Sundsvall

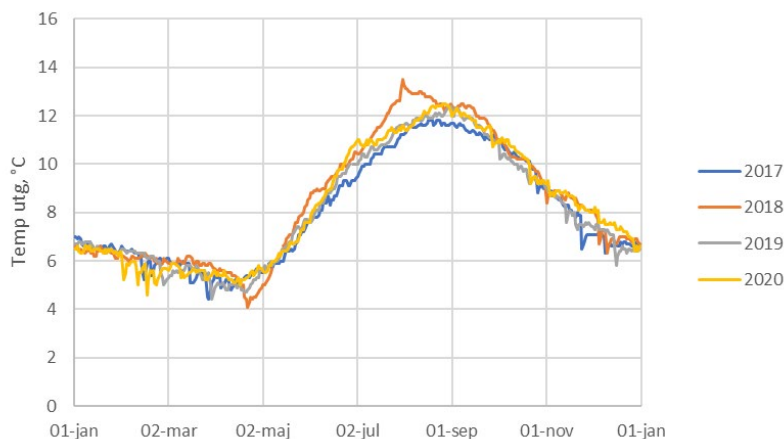
Även skillnad i temperaturen på samma reningsverk under olika år kan förklaras av varierande andelen ovidkommande vatten. Som ett exempel visas en period med de kallaste temperaturerna på Fillan ARV i Figur 3. Man kan se att temperaturen var 0,5-1 °C lägre under april 2020 jämfört med april 2019 men även att flödet var högre och kvävehalten var lägre under 2020. Generellt är en kombination av högt flöde och låg temperatur utmanande för biologiska reningen. Beroende på reningskrav kan en period med högt flöde och låg temperatur vara mer eller mindre besvärlig. Man ser exempelvis att kvävehalter under april 2019 ligger bara något högre än 10 mg/l. Vid ett reningsmål på kvävereduktion ner till 10 mg/l krävs nästan ingen reduktion alls under denna period. Om kravet i stället är att reducera viss andel av inkommande kväve (exempelvis 70% reduktion) kommer det vara svårt att uppfylla kravet utan en allt för stor anläggning. Det är värt att notera att kvävekrav alltid ställs på årsbasis och en lägre reningsgrad under kallaste perioden inte behöver betyda överskridandet av reningskravet.



Figur 3. Flöde, temperatur och kvävehalt på Fillan ARV under den kallaste perioden.

3.1.2 Örnsköldsvik

Inom Örnsköldsviks kommun finns tre stora reningsverk: Bodum, Prästbordet och Knorthem. Temperaturdata analyserades för Bodum reningsverk som renar vatten från ca 10 000 personer. Vattentemperaturen mäts med en dedikerad temperaturgivare i utgående vatten. Temperaturprofiler för fyra år visar att temperaturen är väldigt lik från år till år. År 2018 sticker något ut från de andra åren då de lägsta temperaturerna infaller ca 3 veckor senare än för de andra åren och håller sig vid 4,5 °C under längre tid samt att sommartemperaturerna är högre. En möjlig förklaring till detta är mer intensiv snösmältning samt väldigt torr och varm sommar 2018. Temperatursprofilen liknar den från Essvik ARV där liknande lägsta och högsta temperaturer observerats.

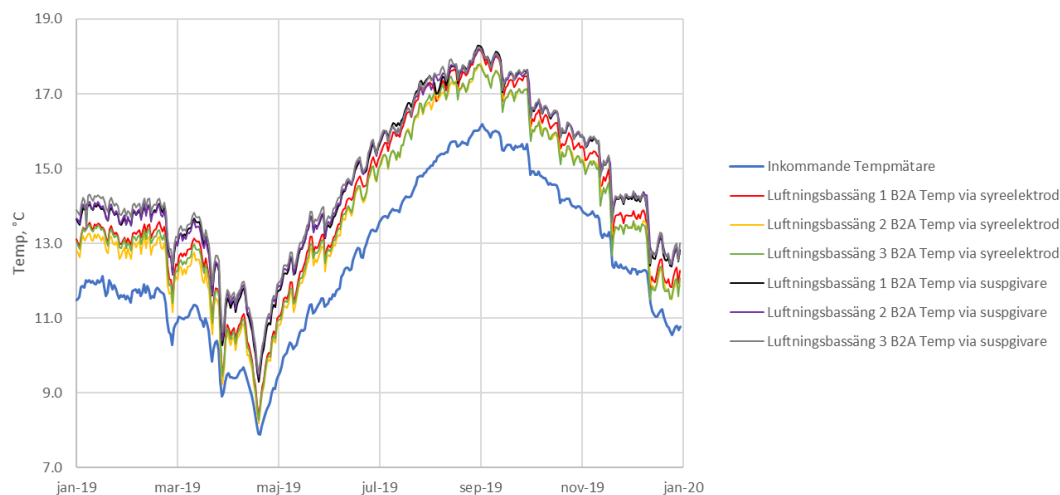


Figur 4. Temperatur av utgående avloppsvatten på Bodum ARV

3.1.3 Umeå

Det största reningsverket i Umeå är Öns ARV som tar emot avloppsvatten från ca 105 000 personer. På reningsverket loggar man temperaturen både från en dedikerad temperaturgivare som mäter temperaturen i inkommande vatten samt temperaturen som syre- och susp-givare mäter. Temperaturmätare som är integrerade i syre-, susp-, och pH-givare används för automatisk temperaturkompensering och brukar vara relativt noggranna men ofta inte är kalibrerade eftersom någon grad skillnad gör väldigt liten påverkan på den mätta parametern.

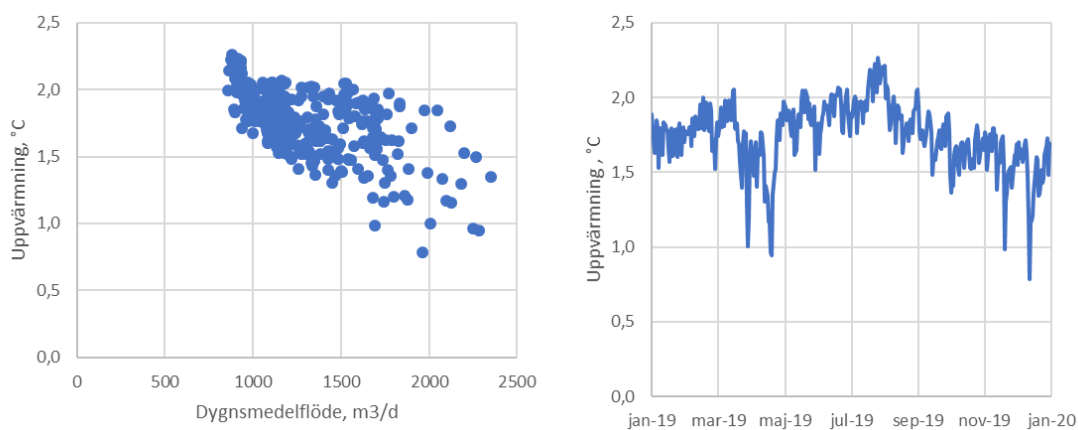
Temperaturmätning under 2019 visar att inkommande vatten på Öns ARV är något varmare än på Tivoli ARV (Figur 5). Det finns dock en stor skillnad mellan temperaturen som mäts i inkommande vatten och temperaturen i biosteget (Figur 5).



Figur 5. Temperatur av avloppsvatten på Öns ARV mätt med olika givare

Dessutom finns en ganska stor skillnad mellan de olika mätarna som finns i biosteget - 0,9 °C mellan min- och max-värdet i medel. Eftersom temperaturmätarna inte kalibrerades är det svårt att säga om temperaturen verkligen är högre eller om mätarna i biosteget, eller mätaren i inkommande vatten visar fel.

Den observerade uppvärmningen i reningsverket verkar vara högre vid lägre flöde (vilket är logiskt då uppehållstiden på reningsverket är längre och vattnet är mer koncentrerat och samma mängd energi tillförs mindre volym vatten). Även viss årsvariation observeras (Figur 7).

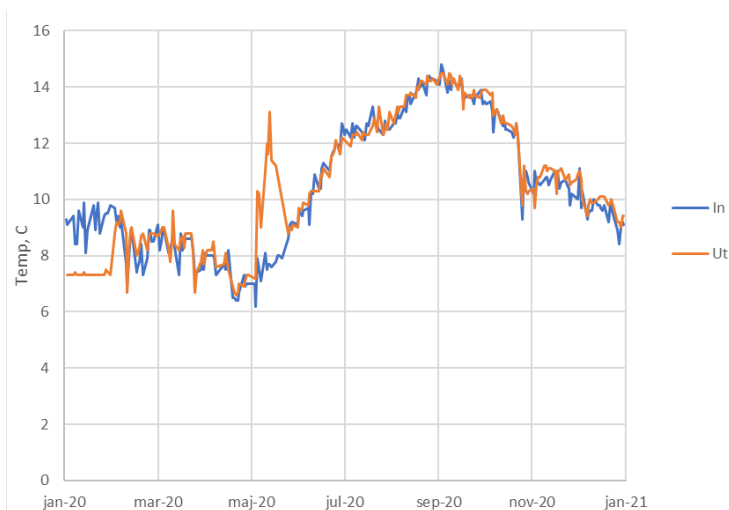


Figur 6. Uppvärmning av vatten på Öns ARV.

Det absoluta värdet av uppvärmningen är fortfarande väldigt osäker eftersom temperaturmätarna inte kalibrerades. Det gjordes även mätningar med en portabel temperaturgivare i olika punkter på reningsverket. Enligt dessa mätningar var temperaturen i biosteget 0,5-0,6 °C högre än i inkommande vatten. Dessa resultat tyder på att temperaturen i biosteget är något högre än i inkommande vatten. Eftersom temperaturen varierar under dygnet och det finns viss fördröjning av vatten i olika reningssteg bör dessa slutsatser användas med stor försiktighet.

3.1.4 Luleå

Uddebo ARV är det största reningsverket i Luleå och tar emot vatten från ca 67 000 personer. Temperaturen mäts på reningsverket med en dedikerade mätare i inkommande och utgående vatten. Det finns dock ingen loggning av temperaturen utan temperaturen skrivs av manuellt av driftpersonal. Inkommande och utgående temperaturen skiljer sig inte mycket från varandra (Figur 8). Om man bortser från perioder under jan-feb och maj där temperaturmätning i utgående vatten verkar vara otillförlitlig är utgående vatten i medel 0,2 °C varmare, vilket ligger dock inom felmarginal av temperatursmätning. Temperatursprofilen är i övrigt likt den på Fillan ARV.

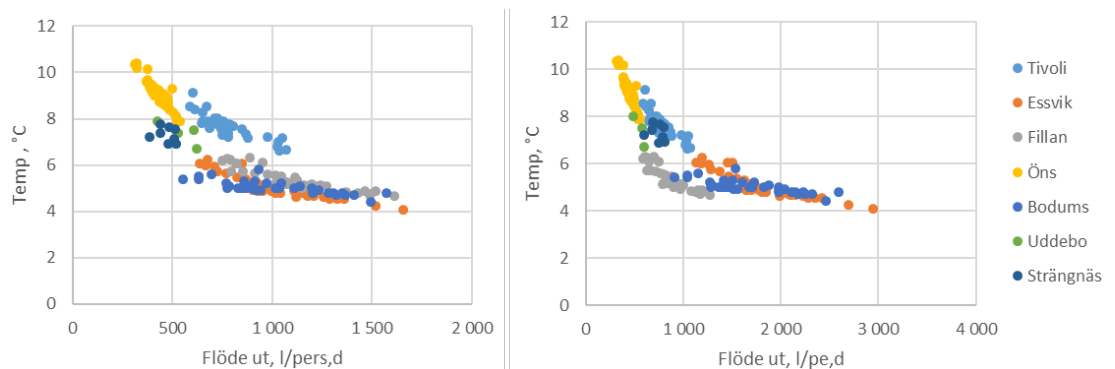


Figur 7. Temperatur av inkommande och utgående avloppsvatten på Uddebo ARV.

3.1.5 Jämförelse mellan reningsverk

Analysen av temperatursvariationer på olika ARV visar således att temperaturen sjunker på vissa av reningsverk i Norrland till 4,0-4,5 °C under

snösmältningsperioden. Perioden med de lägsta temperaturerna varierar lite från år till år och mellan verken men som regel infaller mellan 20:e mars och 5:e maj. På Uddebo ARV i Luleå var de lägsta vattentemperaturerna ca 10 dagar senare än på resten av verken. Man kunde förvänta sig att ju längre norrut reningsverket ligger desto kallare vattentemperaturer skulle det vara. Dock är det inte fallet då vattentemperaturer i Luleå och Umeå är betydligt högre än på vissa reningsverk i Sundsvall. Det som påverkar temperaturer mer är andelen ovidkommande vatten, vilket har rapporterats även tidigare (Ødegaard et al 2023). För att kunna illustrera detta bättre har perioden med de lägsta vattentemperaturerna valts för varje reningsverk och vattentemperaturerna plottats som funktion av specifik tillrinning i l/pe, d och l/pers, d (Figur 9). Förutom norrlandsverk har även Strängnäs ARV inkluderats.

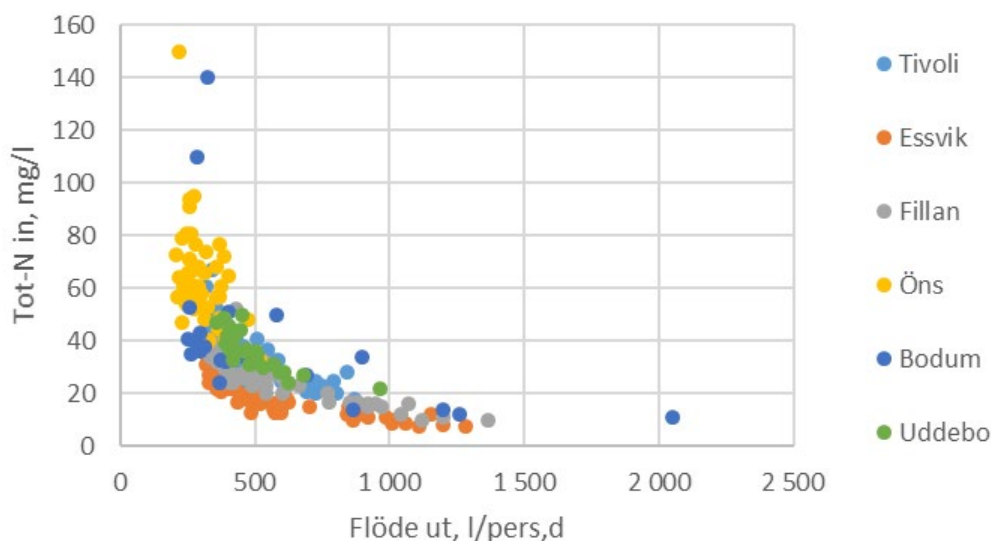


Figur 8. Temperaturer under kallaste perioden i förhållande till specifik tillrinning. Data för temperatur i inkommande vatten under 25/3-3/5 2019 med följande undantag: Uddebo ARV – 15/4-22/5 2020; Bodum ARV – temperatur i utgående vatten; Strängnäs ARV – temperatur i utgående vatten under 4-11/3 2019.

Man ser tydligt att det finns samband mellan andelen ovidkommande vatten och temperaturer under kallaste perioden. Vid de reningsverk som har relativt liten andel ovidkommande vatten och därför låg specifik tillrinning sjunker inte temperaturen lägre än till 6,5 °C (Öns ARV, Uddebo ARV). Vid de reningsverk som har väldigt hög andel av ovidkommande vatten sjunker vattentemperaturen till 4,0 °C (Essvik ARV, Bodums ARV). Strängnäs ARV sticker inte ut särskilt mycket i jämförelse med norrlandsverken och har de lägsta temperaturerna på ca 7 °C. Det visar att vissa reningsverk i Norrland har samma förutsättningar för kväverening som de reningsverk som redan har kvävekrav. Det är dock en stor skillnad mellan reningsverk som har en liknande andel ovidkommande vatten men som är placerad i norra respektive södra Sverige. I norra Sverige är vintern kallare och det samlas mer nederbörd i form av snö som ger en längre och mer långvarig period med kallt utspätt vatten. Det vore intressant att göra en mer noggrann analys och jämförelse mellan fler verk som är placerade i olika delar av Sverige och har olika

andel ovidkommande vatten. Detta ligger dock utanför omfattning av projektet. Om minskat utsläpp av kväve behövdes för att bibehålla god status eller förbättra statusen i recipienten skulle det vara möjligt att införa på vissa reningsverk utan större problem. På andra reningsverk som har längre nät och mer ovidkommande vatten är temperaturer lägre och införande av kväverening är mer problematiskt.

Högre andel ovidkommande vatten leder även till att vattnet är mer utspätt, vilket illustreras för norrlandsverken i Figur 10.



Figur 9. Halt totalkväve i inkommande vatten som funktion av specifik tillrinning.

Vanligtvis utformas krav för kväverening genom att ansätta ett begränsningsvärde avseende totalkväve i utgående vatten som medel under kalenderår, exvis 10 mg/l för reningsverk i större orten och 15 mg/l för mindre reningsverk. Därför behöver reningsverk som har mer koncentrerat avloppsvatten hålla en högre kvävereduktionsgrad jämfört med reningsverk som tar emot utspätt vatten, vilket jämnar ut svårigheten att uppfylla kravet något.

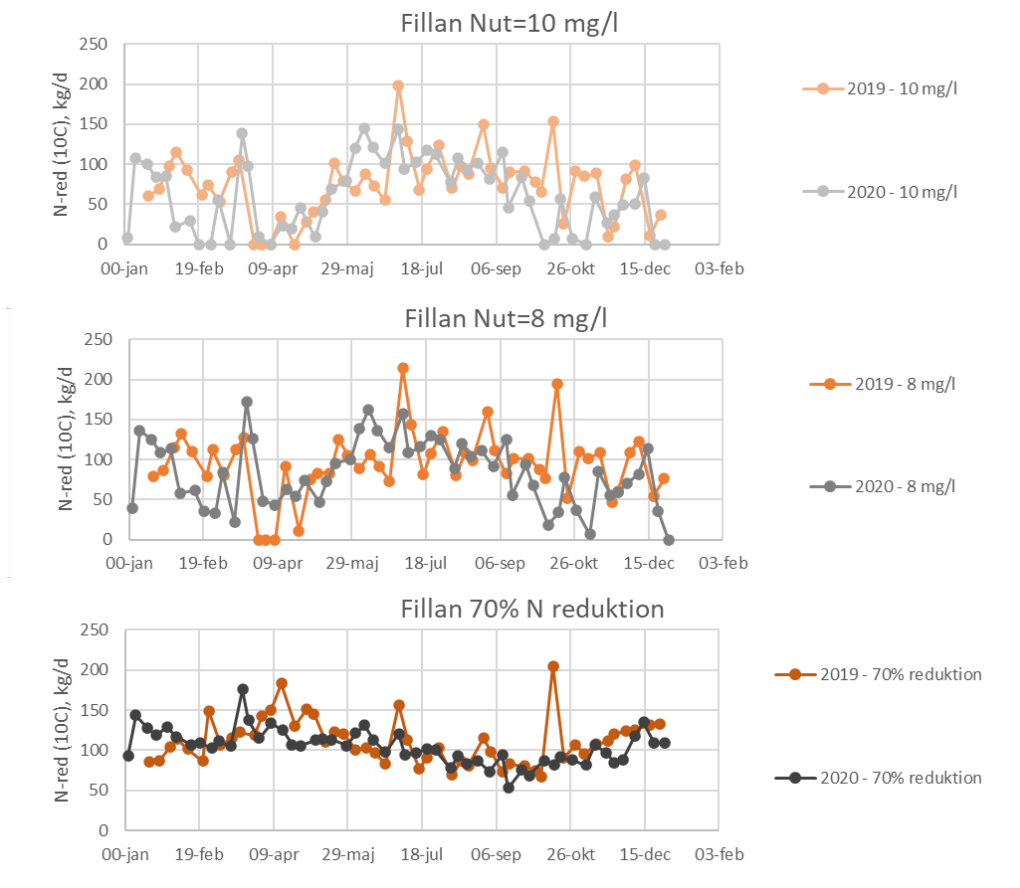
Det förekommer även krav för minst reduktionsgrad avseende kväve i vissa länder (exempelvis i Norge på de reningsverk som har kvävekrav) men det är inte så vanligt i Sverige.

3.2 Uppvärmningsstrategier

Det finns flera möjliga strategier för uppvärmning av vatten. Den första och mest uppenbara alternativet är att värma upp vattnet när det är som kallast för att bibehålla en viss lägsta temperatur. Den strategin kan vara speciellt motiverad för

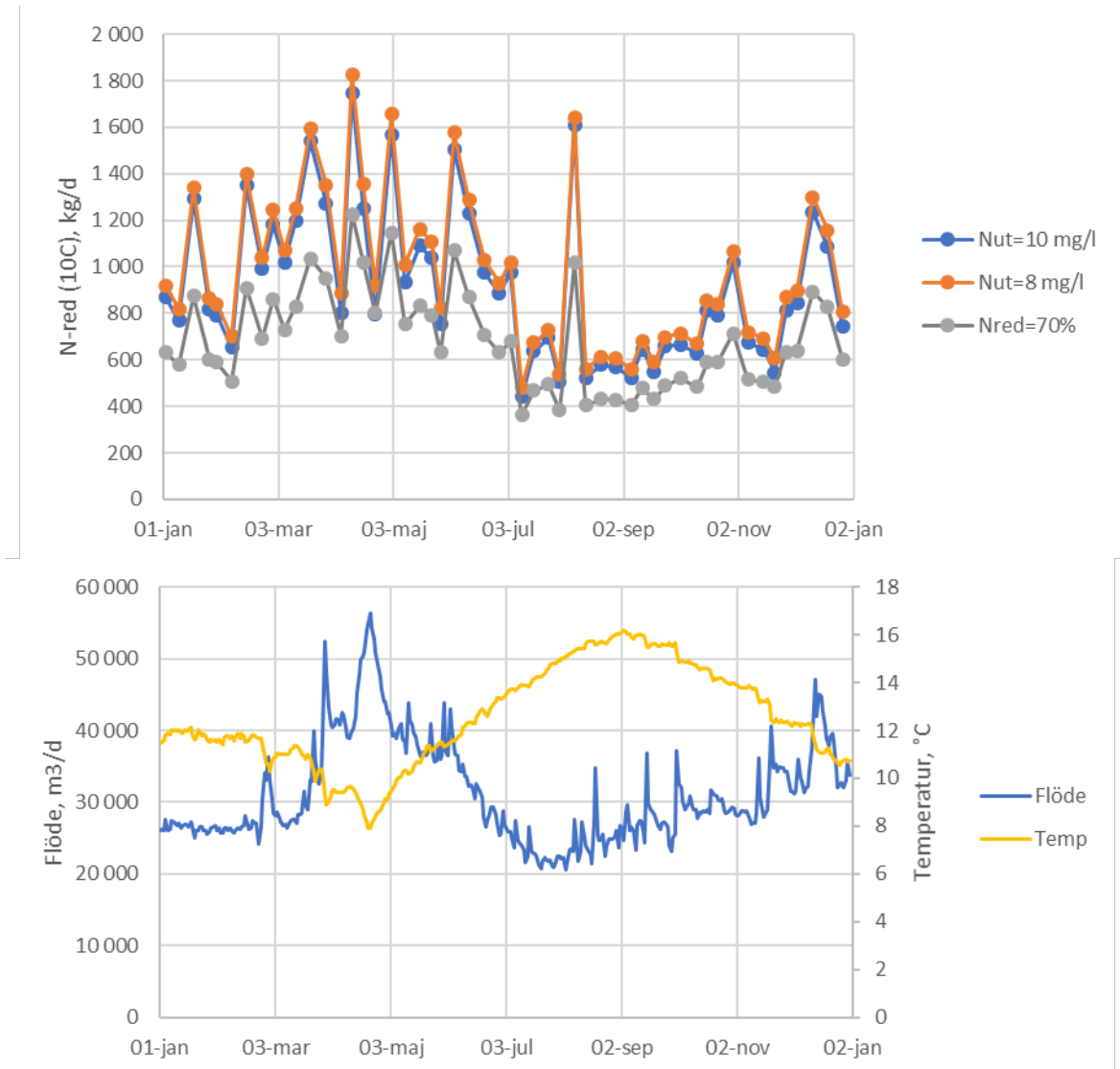
anläggningar med aktivslamprocess. Aktivslamprocessen dimensioneras för en viss minimal temperatur/slamålder. Om slamåldern är lägre än minsta erforderliga slamåldern för en specifik temperatur kommer andel av nitrifierande bakterier minska snabbt i slammet och nitrifikationen förloras helt (så kallat "wash-out"). I MBBR-processen, till skillnad från aktivslamprocessen, finns nitrifierande bakterier på bärare i separata zoner. En för hög belastning för viss temperatur leder därför till lägre kvävereduktion men inte till förlust av nitrifierande bakterier. Att bibehålla viss minimal temperatur är därför inte så viktigt för MBBR som för aktivslamprocessen. Som visades tidigare är vattnet som kallast vid snösmältning när även flödet är högt och kvävehalten är låg. Med denna strategi kommer man därför behöva investera i en anläggning med hög effekt som används under bara någon månad per år och värmer upp höga volymer av vatten för att kunna reducera kvävet som ändå har låga halter i vattnet. Andra möjliga strategier är uppvärmning med en konstant effekt, med ett konstant antal grader året om eller värma upp endast när värmeenergin är som billigast.

Kvävekrav utformas oftast som årsmedel på reduktionsgrad eller utgående kvävekrav. Vid dagens förväntade begränsningsvärde på 8–15 mg/l finns det möjlighet för att jämna ut kvävereduktionen över året och reducera mindre kväve när vattnet är som kallast och mer när vattnet är varmt. Den erforderliga kvävereduktionen för att möta olika reningskrav beräknades i kg N/d och kompenserats för vattnets temperatur med en temperaturkoefficient på 1,08. Ett exempel på resultat av en sådan beräkning för Fillan ARV och ett krav på reduktion av kväve till 8 mg/l, 10 mg/l, samt reduktion med 70 % visas i Figur 12. Resultaten visar att vid haltkrav är kapacitetsbehovet lägst i perioder med kallast vatten (mars-maj) samt vid kraftig nederbörd på hösten, eftersom vattnet är så utspätt att mindre kväve behöver reduceras för att nå begränsningsvärdet. Vid krav på reduktionsgrad är behovet störst just när vattnet är utspätt och kallt.



Figur 10. Kvävereduktionskapaciteter för Fillan ARV vid olika hypotetiska kvävekrav.

Liknande utvärdering har även gjorts för Öns reningsverk som har mycket högre kvävehalter och lägre andel ovidkommande vatten (Figur 13). Här är det inte så stor skillnad mellan reduktion till 10 mg/l och 8 mg/l eftersom inkommande halter är högre. Störst kapacitet för kvävereduktion behövs vintertid oavsett reningskrav. Det är också svårare att jämma ut utgående halter på årsbasis genom att reducera mer under tiden när temperaturen är högre. Detta eftersom skillnaden mellan inkommande halter och det hypotetiska begränsningsvärdet är högre. Vattentemperaturen på Öns ARV är dock hög vilket minskar incitamenten för uppvärmning över huvud taget.



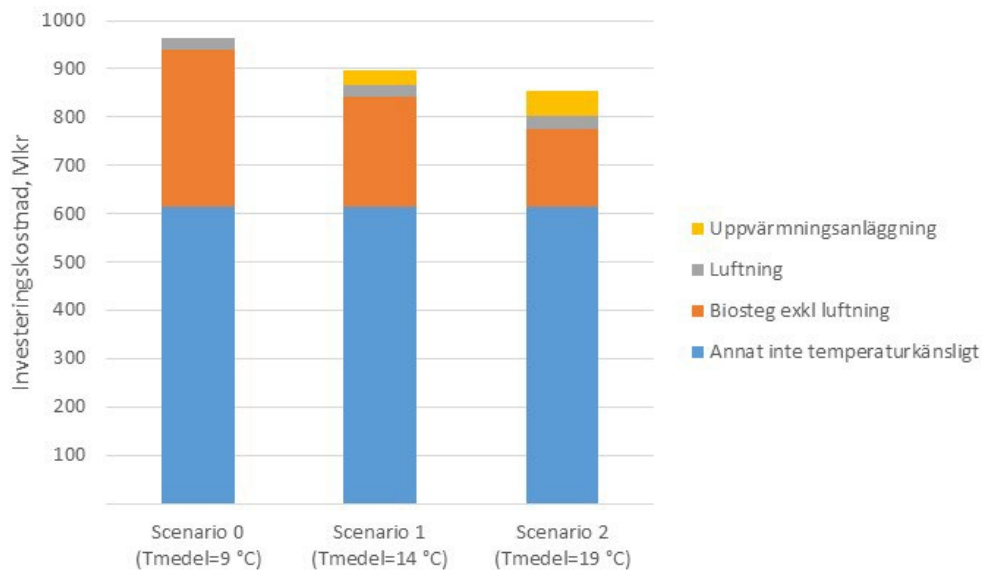
Figur 11. Normaliserad kvävereningsskapacitet som krävs för Öns ARV vid olika reningskrav (högre); flöde och temperatur (lägre).

3.3 Ekonomisk utvärdering av uppvärmning

3.3.1 Utvärdering för Kubikenborg ARV

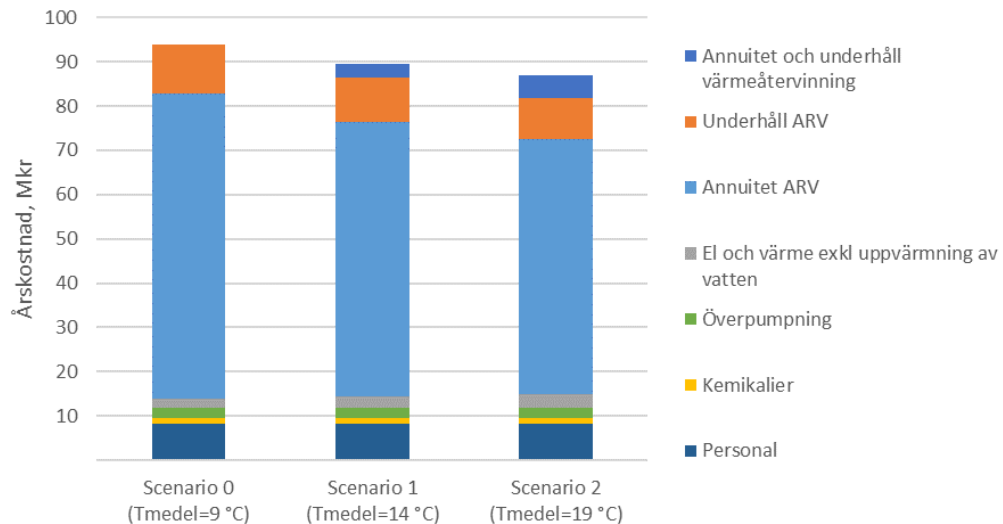
Jämförelsen av investeringskostnader för de olika alternativen visade att trots att biosteget kan göras mer kompakt och mindre kostsam genom att värma upp avloppsvattnet kommer totala investeringskostnaden påverkas marginellt (Figur 15). Något högre investeringskostnad för luftning påverkar inte kalkylen nämnvärt. Relativt hög kostnad av uppvärmningsanläggningen minskar den

vinsten som ett mindre biosteg ger. Den mest betydande faktorn är dock att en stor del av investeringskostnaden (ca 65%) är för komponenter som dimensioneras utifrån flödet och inte påverkas av en högre temperatur. Investeringskostnaden minskar totalt med ca 66 Mkr eller 7% för scenario 1 och med ca 109 Mkr eller 11% för scenario 2.



Figur 12. Investeringskostnad för alternativ med och utan uppvärmning.

När investeringskostnaden omräknas till annuitetskostnad står den för hela 73% av totala årskostnaden i scenario 0 och överskuggar alla andra kostnadsposter, som energiförbrukning eller kemikalier (Figur 16). För scenario 1 och 2 inkluderas inte kostnaden för uppvärmning i Figur 16. Potentiell minskning av årskostnaden, dvs den minskning man kunde ha fått om värmnet kunde fås kostnadsfritt, är ca 4,5 Mkr/år i scenario 1 och 7,1 Mkr/år i scenario 2, vilket utgör 5% respektive 8% av årskostnaden i scenario 0.

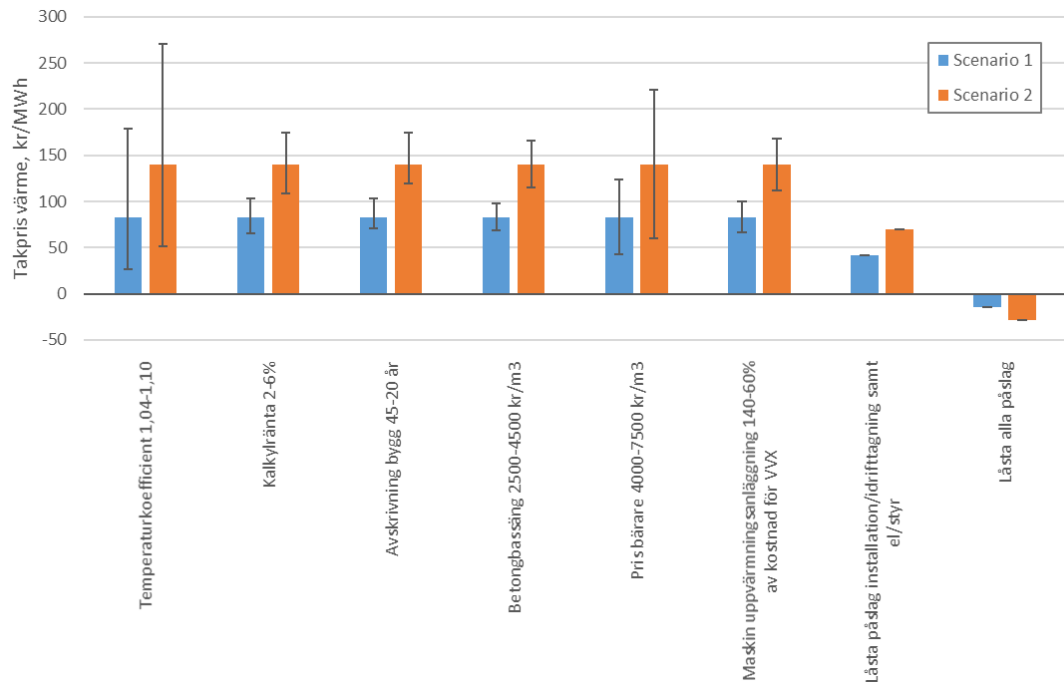


Figur 13. Årskostnad Kubikensborg ARV för olika uppvärmningsscenario. OBS: kostnad för uppvärmning av vatten är inte medräknat i scenario 1 och 2.

I båda scenarierna antas att avloppsvattnet värms upp med 2 °C med fjärrvärme året om, vilket kräver 33,6 GWh/år. Man kan därför beräkna att scenario 1 blir lönsamt jämfört med scenario 0 vid värmepris <u>134 kr/MWh</u> och scenario 2 blir lönsamt vid värmepris <u>212 kr/MWh</u>. Scenario 2 är därför mer fördelaktigt än scenario 1 eftersom lönsamheten nås vid ett högre värmepris. I scenario 2 antas en högre effektivitet av värmeåtervinning (80%, jämfört med 60% i scenario 1), vilket kräver en större värmeåtervinningsanläggning men ger 5 °C varmare vatten i biosteget. Det är därför en kombination av en optimal effektivitet på värmeåtervinningen och en optimal extern värmetsats som kommer ge den mest fördelaktiga ekonomiska utfallet. Även andra scenarier undersöktes, exempelvis uppvärmning med externt värme med 1 °C men värmeåtervinningsgrad på 80% eller uppvärmning med 10 °C endast med externt värme. Ekonomiska utfallet blev dock sämre än för scenario 1 och 2.

Känslighetsanalysen visar att de parametrar som påverkar mest utfallet av ekonomiska utvärderingen är temperaturkoefficienten, pris av bärare samt sättet att beräkna påslag på maskinkostnaden (i huvudsak på bärare). De flesta parametrarna ändrar utfallet av båda scenarierna åt samma håll, och Scenario 2 blir alltid mer fördelaktigt än Scenario 1, med undantaget av alternativet där alla påslag läses i ekonomiska kalkylen. De högsta takpriserna för värme (mer fördelaktigt att värma upp vatten) uppnås om temperaturkoefficienten är hög (processen känslig mot temperatur) och när pris på bärare är hög. Känslighetsanalysen visar även att osäkerheten i den grova kalkylen (sättet att beräkna vissa delar av kalkylen med nyckeltal/påslag) påverkar utfallet stort. I de mest pessimistiska alternativen räcker

det även inte med att få värmets gratis för att kalkylen ska gå ihop för uppvärmning. Detta på grund av den höga kostnaden för värmeåtervinningsanläggningen.



Figur 14. Känslighetsanalys av ekonomisk utvärdering av uppvärmningsscenarioer.

3.3.2 Jämförelse med andra studier

Den beräknade pristaket för värmekostnad för Kubikenborg ARV är i paritet med vad som rapporterat i en tidigare studie där uppvärmning av avloppsvatten testades på Sjöstads ARV i Karlstad och ekonomiska kalkyler gjordes utifrån resultat av pilotförsöken (Arnell et al 2004). Avloppsvattnet värmdes upp till 20-25 °C och värmeåtervinning föreslogs för att minska värmebehovet. Det är dock oklart vilken effektivitet av värmeåtervinningen antogs i studien. I studien har ett pristak på 240 kr/MWh beräknats för verk med låga flöden och ca 120 kr/MWh för medelstora verk.

Uppvärmning av avloppsvatten för intensifiering av kväverening testades även i ett annat projekt där möjligheten undersöktes för Nykvarnsverket i Linköping (Andersson & Arnell 2002). Olika uppvärmningsalternativ utvärderades i rapporten. För uppvärmning av vatten från 10 °C till 15 °C respektive 20 °C föreslås endast uppvärmning med fjärvärmereturen medan för uppvärmning till 25 °C och 30 °C föreslås även värmeåtervinning från utgående avloppsvatten. Slutsatsen av rapporten är att uppvärmning till 20 °C är mest lönsam. Inget pristak angivits i det

projektet men rapporten visar att uppvärmning av vatten ger tre gånger lägre årskostnad i jämförelse med utbyggnad av biosteget.

I båda projekten har det visats att uppvärmning av avloppsvatten kan vara ett lönsamt alternativ till utbyggnad av biosteget. Slutsatserna gäller dock endast om värmnet kan fås för en låg kostnad. I båda fallen antogs att fjärrvärmereturen används som värmekälla, vilket ger inte bara positiva effekter för reningsverken men även för fjärrvärmenätet/energibolagen. Det beror på följande faktorer:

- Genom att sänka temperatur på fjärrvärmereturen kan elproduktion öka med upp till 4%, vilket ger extra inkomst.
- Genom att sänka fjärrvärmereturen från 55 °C med några grader kan mer vatten kondenseras i rökgaskondenseringen vilket ger både bättre rening och förbättrat uttag av värme från rökgaserna.
- Om uttag av värme kan öka kan energibolagen elda mer avfall, vilket är speciellt viktigt sommartid när värmeförbrukning i fjärrvärmenätet är låg.

3.3.3 Förutsättningar för uppvärmning med fjärrvärme i Sundsvall

Inom projektet har det förts diskussioner med Sundsvall Energi för att utreda förutsättningar för uppvärmning av avloppsvatten med returvärme. Det visade sig dock att förutsättningarna är helt annorlunda jämfört med vad som rapporterats för Linköping och Karlstad:

- Returvärmetemperaturen är lägre (ca 45 °C), vilket gör att ytterligare kylning inte kommer påverka möjligheten att producera el eller möjliggöra större uttag av värme i rökgaskondenseringsanläggning;
- Med dagens energipriser är elproduktion inte prioriterad. Anläggningen styrs för att tillgodose behovet av värme i fjärrvärmenätet och elproduktionen ökar endast under perioder när värmebehovet är låg;
- Det finns en liten överkapacitet under sommartid vilket gör att om värmeuttaget var högre skulle man kunna förbränna mer avfall.

Sammanfattningsvis, kommer uttag av värme från returvärmeledningen leda till att man behöver tillföra samma mängd energi i form av bränsle eller köpa in det extra värmnet från närliggande industri för marknadspriser. Värmen kan därför säljas till reningsverket bara för marknadspris, eventuellt till något rabatterat pris om reningsverket kan ta emot stora mängder värme sommartid och möjliggöra förbränning av mer avfall på förbränningsanläggningen. Värmepriset varierar under året beroende på tillgång/behov. Enligt Sundsvall Energi kan man preliminärt räkna på ett genomsnittligt värmepris 350 kr/MWh. Ett pris på låggradig värme från industrin brukar ligga på 100-200 kr/MWh enligt Sundsvall Energi.

Utifrån de genomförda beräkningarna är det tydligt att användning av returvärme för uppvärmning av avloppsvatten i Sundsvall inte är ett gångbart alternativ på grund av att lokala förutsättningar gör att det inte medför något värde för energibolaget att returvärme har en lägre temperatur.

Det angivna spannet för priset på låggradig värme (100-200 kr/MWh) är inom spannet för de beräknade takpriserna för värme (134-212 kr/MWh). Om det finns närliggande industrier som har låggradigt värme kan det därför vara lönsamt att värma upp avloppsvattnet. För den placering av Kubikenborg ARV som utreds av Sundsvall Vatten är exempelvis Kubikenborg Aluminiums fabrik en möjlig källa till spillvärme (aluminiumsmältning, stora mängder av spillvärme finns). Problemet med det alternativet är att om man kommer bygga ett nytt kompaktare reningsverk behöver man ha tilltro på att man kan använda spillvärmerna för det avtalade priset en överskådlig tid framöver. Det blir mycket dyrare att behöva bygga ut reningsverket för att klara reningskravet i fall industrin lägger ner produktionen, flyttar någon annanstans eller höjer priset. För att kunna besluta om att ta den risken måste incitamentet vara tillräckligt stort. Även om spillvärmerna kan fås kostnadsfritt kan den 8% lägre investeringen eller 5% lägre totalkostnaden vara inte tillräckliga för att motivera ett så långsiktigt beslut.

Uppvärmning av vatten med spillvärme kan dock vara intressant för de reningsverk som når kapacitetstaket eller får ett hårdare reningskrav och inte kan intensifiera reningen på annat sätt (exempelvis ombyggnad från aktivslam till MBBR eller MBR) eller om den intensifieringen inte räcker till, speciellt om det finns platsbrist på området.

4 Slutsatser

Sammanställning av temperaturer och flöden på flera reningsverk i Norrland visade att vattentemperaturer är väldigt olika på olika reningsverk och beror främst på andelen ovidkommande vatten och inte den geografiska placeringen. Vissa reningsverk har vattentemperaturer liknande de som ligger i södra Sverige, medan vissa har mycket lägre temperaturer som sjunker till under 5 °C under snösmältningsperioden.

Den ekonomiska utvärdering som gjordes inom projektet för fallstudie i Sundsvall visade att uppvärmning med returvärme i fjärrvärmenätet inte kommer vara lönsamt under de förutsättningar som användes i studien. För att uppvärmning ska vara lönsam krävs att värmepriset är lägre än 134-212 kr/MWh beroende på antagande om effektivitet av värmeåtervinning, vilket är mycket lägre än det pris

på låggradig fjärrvärme på ca 350 kr/MWh som uppskattades i studien i samråd med Sundsvall Energi. Studien visade dock att uppvärmningen kan vara lönsam i andra städer med bättre förutsättningar i fjärrvärmesystemet, om det finns närliggande industrier med mycket spillvärme eller om genom uppvärmning av vatten kan utbyggnad av ett reningsverk undvikas.

En annan slutsats av studien är att temperaturmätning inte alltid är så tillförlitlig på reningsverk. Temperaturen mäts oftast av många givare som är placerade i olika punkter på reningsverket men det är sällan dessa är kalibrerade eller att värdena loggas. Det var också svårt att entydigt visa om temperaturen ökar under reningen eller förblir stabil. Om temperaturen är fel med 1 °C kan det leda till att reningsverket byggs större än behövs, vilket för reningsverk i ca 100 000 pe storleken kan innebära ca 18 Mkr högre investering enligt de kalkyler som studerats i projektet. Om temperaturen är fel åt andra hållet kommer marginalen för att klara kravet minska. Det visar vikten av att mäta temperaturen med kalibrerade mätare om data kommer ligga som underlag för dimensionering av reningsverket.

Referensförteckning

- Andersson, H., Arnell, J., 2002. Värmning av avloppsvatten med spillvärme för att förbättra kvävereningen: Fördjupad studie. Elforsk rapport 03:20.
- Arnell, J., Bergström, R., Ek, M., Hansen, B., 2004. Energi och miljöinventering genom utnyttjande av lågvärdigt värme från kraftvärmeverk och fjärrvärmeanläggningar för effektivisering av avloppsvattenrening. IVL rapport B1587.
- Fortkamp, U., Junestedt, C., Baresel, C., Westling, K., Ek, M., 2013. Increased total efficiency in sewage treatment – ITEST Evaluation report. IVL rapport B2149.
- Ødegaard, H., Rusten, B., Karlsson, L. (2023). En kunskapsmanställning: Avloppsvattenrening för att reducera kväve i kalla avloppsvatten med MBBR-processen. IVL rapport B2464.

STOCKHOLM

Box 21060, 100 31 Stockholm

GÖTEBORG

Box 53021, 400 14 Göteborg

MALMÖ

Nordenskiöldsgatan 24
211 19 Malmö

KRISTINEBERG

**(Center för marin forskning
och innovation)**

Kristineberg 566
451 78 Fiskebäckskil

SKELLEFTEÅ

Kanalgatan 59
931 32 Skellefteå

BEIJING, CHINA

Room 612A
InterChina Commercial Building No.33
Dengshikou Dajie
Dongcheng District
Beijing 100006
China

© IVL SVENSKA MILJÖINSTITUTET AB | Tel: 010-788 65 00 | www.ivl.se