

Värmning av avloppsvatten med spillvärme för att förbättra kvävereningen

Fördjupad studie

Elforsk rapport 03:20

Värmning av avloppsvatten med spillvärme för att förbättra kvävereningen

Fördjupad studie

Förord

Denna studie utgör en syntes och fördjupning av författarnas examensarbeten utförda vid Chalmers Tekniska Högskola under 2001/2002 på temat Värmning av avloppsvatten med spillvärme för förbättrad kväverening.

Detta arbete utgör i huvudsak en fallstudie över möjligheterna att i Linköping förbättra avloppsvattnets kväverening genom att värma avloppsvattnet med hjälp av fjärrvärmereturen.

De tankegångar som utvecklades genom studien har förts vidare genom en av författarna, som beviljats medel från bl a Energimyndigheten och Svenskt Vatten, för en detaljerad fortsättningsstudie.

Denna studie har bekostats av Elforsks förstudiemedel, Svensk Fjärrvärme och Svenskt Vatten.

Gunnar Hovsenius
Elforsk AB

Sammanfattning

Underlag till denna rapport är två examensarbeten gjorda på Chalmers tekniska högskola hösten 2001 och våren 2002. Examensarbetena utfördes med två inriktningar, ett där nyttan av temperaturhöjningen studerades[1] och ett där de energitekniska lösningarna av värmningen utreddes[2]. I denna rapport sammanställs och utreds mer i detalj de resultat som framkom i de två examensarbetena.

För att minska miljöpåverkan på sjöar och hav kommer ökade krav på minskade kväveutsläpp att ställas bland annat på kommunala reningsverk. Kvävehalten in till dessa är konstant under året medan utgående halt kväve varierar med vattentemperaturen och är som lägst sommartid när temperaturen är hög. Om temperaturen på avloppsvattnet kunde höjas vintertid skulle det gynna kväverensningsprocessen och sänka totalkvävemängden ut från reningsverken.

För att värma avloppsvattnet krävs stora värmemängder varför inventering av lågvärdiga energikällor gjorts. En möjlig energikälla är fjärrvärmereturen med en temperatur omkring 50°C. Den tekniska utformningen av uppvärmningen är problematisk på grund av stora flöden och det kraftigt försmutsade avloppsvattnet. För att lösa detta problem föreslås ett system av tubvärmväxlare med kontinuerliga reningssystem.

En fallstudie har gjorts på Tekniska Verken AB i Linköping. Nykvarnsverket har ett kommande krav på sänkt kvävehalt ut från reningsverket och kommer att behöva vidta åtgärder. Ett alternativ har länge varit att ordna kvävereningen i form av en våtmark. Genom att istället värma avloppsvattnet skulle befintliga nitrifikationsbassänger kunna användas och endast en mindre utbyggnad av denitrifikationssteget vara nödvändigt. Detta alternativ har jämförts kostnadsmissigt med våtmarksalternativet och ett kväverensningssteg med biobädd. Denna studie visar på att uppvärmningsalternativet med god marginal skulle vara det mest lönsamma.

En undersökning om vilka orter i Sverige där detta system skulle kunna tillämpas har även gjorts. Ett tiotal orter har enligt det urval som gjorts förutsättningar. Detta utgör, med hänseende till personekvivalenter, en tiondel av Sveriges totala kommunala avloppsvattenrening och cirka 20% av de med framtida kvävekrav. Även andra städer runt Östersjön med ett framtida krav på kväverening skulle kunna vara aktuella.

Summary

This project is based on two final theses made at Chalmers University the autumn 2001 and spring 2002. The theses concentrated on two different aims, one that studied the benefit of the temperature increase[1] and one that investigated the techniques for the heating of the sewage water and the energy supply[2]. In this report are the results from these final theses put together and is studied more in detail.

To be able to reduce the environmental effects at seas and oceans the sewage treatment plants will get increased demands to decrease their discharge of nitrogen. The nitrogen reduction is not working very well during the winter when the temperatures are low. The incoming amount of nitrogen is the same during the year while the outgoing amount varies and is lowest during the summer when the temperatures are high. If the temperature of the sewage water could be warmer also during the winter it could gain the nitrogen reduction process and the amount of nitrogen out of the treatment plants would be lower.

A large amount of heat will be needed to be able to heat the sewage water and an inventory of energy sources is necessary. A possible heat source could be the returning water of the district heating system with a temperature about 50 °C. It will be problems when heating the large amount of dirty sewage water. To solve these problems a system of tube heat exchangers with continuous cleaning system is used.

A case study has been done of Tekniska Verken AB in Linköping Sweden. They are going to get a demand of lower nitrogen amount out of the treatment plant, Nykvarn, and have to act. One alternative has for a long time been to build a wetland. By heating the sewage water existing nitrification basins can be used and only smaller extension of the denitrification step would be necessary. This alternative has been compared, according to the cost, with the alternative of a wetland and a nitrification step with a biofilter. According to the results in this study the heating alternative would be the most profitable.

Investigation of which cities in Sweden this type of system can be used has been done. Around ten cities in Sweden have a potential according to the made selection. Also other cities in the Baltic Sea region with future demands of nitrogen depletion can be of interests.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	MÅL.....	1
1.3	AVGRÄNSNINGAR	2
2	FUNKTIONER I ETT AVLOPPSRENINGSVRK.....	3
2.1	NITRIFIKATION	3
2.1.1	<i>Processlösningar för nitrifikation.....</i>	<i>4</i>
2.2	DENITRIFIKATION	4
3	ENERGITEKNISKA ALTERNATIV.....	5
3.1	VÄRMEÖVERFÖRING.....	5
3.1.1	<i>Plattvärmväxlare</i>	<i>5</i>
3.1.2	<i>Tubvärmväxlare</i>	<i>5</i>
3.1.3	<i>Spiralvärmväxlare.....</i>	<i>6</i>
3.2	VÄRMEPRODUKTION	6
3.2.1	<i>Spillvärmeleveranser</i>	<i>7</i>
3.2.2	<i>Rökgaskondensering</i>	<i>7</i>
3.2.3	<i>Kraftvärmeverk.....</i>	<i>8</i>
4	FALLSTUDIE LINKÖPING	9
4.1	VÄRMEBEHOV OCH TILLGÅNG	10
4.1.1	<i>Gärstadverket idag.....</i>	<i>10</i>
4.1.2	<i>Ny avfallspanna på Gärstadverket.....</i>	<i>10</i>
4.2	VAL AV VÄRMEVÄXLINGSSYSTEM.....	11
4.3	RESULTAT	14
4.3.1	<i>Alternativ med uppvärmning i aktivslamprocessen</i>	<i>14</i>
4.3.2	<i>Alternativ med endast utbyggnad av bassängvolymen.....</i>	<i>14</i>
4.3.3	<i>Alternativ med biobäddar för nitrifikation</i>	<i>15</i>
4.3.4	<i>Alternativ med våtmark</i>	<i>15</i>
5	MÖJLIGA SVENSKA ORTER.....	16
5.1	URVAL.....	16
6	SLUTSATSER.....	18
7	REFERENSER	19

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Denna rapport bygger på två examensarbeten gjorda på Chalmers tekniska högskola. I dessa studerades genom beräkningar vad en förhöjd temperatur i kvävereningsteget[1] hos ett kommunalt avloppsreningsverk kan innebära i form av förbättrad kväverening. Examensarbetena omfattade två fallstudier, Göteborg och Linköping. De energitekniska alternativen för avloppsvattnets temperaturhöjning utvärderade[2] och ekonomiska slutsatser drogs. En slutsats av examensarbetena var att Linköpingsfallet vara intressant på grund av deras behov av förbättrad kväverening och samtidigt behov av en sänkt fjärrvärmereturtemperatur. De beräkningar som gjordes var endast övergripande. Bassängkostnaderna var inte specificerade på botten och väggar och inte heller gjutnings- och driftskostnader var medräknade. För att beräkna värmeväxlarkostnaden användes en överslagsmässigt beräknad yta och inga kostnader för pumpning medtogs. I detta projekt har en mer detaljerad studie av Linköpingsfallet skett och de ekonomiska beräkningarna har gjorts mer verklighetstroga.

Grundtanken bakom examensarbetena är en ökad miljömedvetenhet på nya områden. Till följd av höga halter av näringsämnen till mark och vatten sker igenväxning av sjöar och hav. Vår stora tillförsel av främst kväve och fosfor medför igenväxning av sjöar och hav. Eutrofiering är i dag ett uppmärksammat miljöproblem.

Reningsverk runt den svenska kusten - från norska gränsen till Norrtälje - kommer att få skärpta krav på sina kväveutsläpp. De reningsverk som har allt för höga halter totalkväve ut från verken kommer att behöva förbättra sin kvävereningsprocess. Det finns ett antal olika processlösningar vilka medför olika stora investeringskostnader.

En viktig aspekt i detta arbete är en samtidig nytta genom en mer effektiv energiproduktion, både el och värme, genom en sänkt fjärrvärmeretur in till kraftvärmeverken. Genom att använda avloppsvattnet som värmesänka skulle fjärrvärmereturen kunna sänkas och rökgaskondenseringsanläggningar skulle kunna fungera bättre.

1.2 Mål

Syftet med denna rapport har varit att utreda om alternativet med uppvärmning i aktivslamsteget i ett kommunalt avloppsreningsverk är ekonomiskt jämfört med andra processlösningar för att minska kväveutsläpp. Målet har varit att i så stor utsträckning som möjligt ta fram kostnaden för att klara ett totalkväveutsläpp från Nykvarnverket i Linköping på 10 mgNtot/l.

Ett annat mål med denna studie har varit att se den nytta den sänkta fjärrvärmereturtemperaturen har i Linköpings energisystem. Detta genom ett mer effektivt tillvaratagande av värme i befintlig rökgaskondenseringsanläggning och en eventuell ökad elproduktion i planerad byggnation av ny avfallspanna.

Även en undersökning om vilken potential denna typ processlösning har i svenska orter har gjorts.

1.3 Avgränsningar

I urvalet av möjliga svenska orter har endast de reningsverk som har 10 000 personekvivalenter eller mer tagits med. Endast orter med ett idag utbyggt fjärrvärmesystem har studerats.

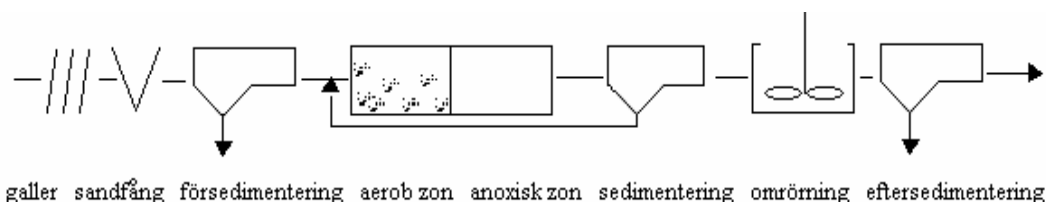
Värmeförluster till luften och omgivningen har inte medtagits utan antas, vilket även beräkning i tidigare studie[2] visat, vara relativt små. Vid stora värmeförluster skulle detta problem behöva lösas till exempel genom övertäckning av bassänger.

2 Funktioner i ett avloppsreningsverk

Ett avloppsreningsverk kan delas upp i tre steg. Det mekaniska, det biologiska och det kemiska steget.

Det mekaniska stegets uppgift är att reducera mängden mekaniska föroreningar. Efter att ha runnit i långa, ibland milslånga, kanaler kommer vattnet till ett galler. Gallret som vanligtvis har en spaltvidd på 20-30 mm fångar upp det grövsta materialet så som textilier och bindor. Det bortsorterade rensat avvattnas och förs till deponi. Därefter rinner vattnet genom ett sandfång där partiklar med större diameter än 0,15 mm avskiljs medan suspenderat material och lösta partiklar finns kvar. Sist i det mekaniska steget kommer en försedimenteringsbassäng där vattenhastigheten sänks så att mindre partiklar kan sjunka till botten. Detta reducerar avloppsvattnets innehåll av biologiskt material och avlastar det biologiska steget. I det biologiska steget bryter bakterier ner det organiska materialet och kvävet till koldioxid respektive kvävgas. En del av det slam som produceras genom nedbrytningen recirkuleras till aktivt slambassängen och resten tas ur processen och genomgår en vidarebehandling.

I det kemiska reningssteget avskiljs fosfor. Reduceringen sker i regel genom en kemisk rening genom att tillsätta kemikalier, ofta väljs järnsulfat eller aluminiumsulfat som faller ut fosfor. Den kemiska reningen kan ske genom för-, simultan-, direkt- eller efterfällning.



Figur 2.1 Flödesschema över reningsverk.

2.1 Nitrifikation

Det första steget i kvävereningen kallas nitrifikation. Med det menas att kvävet i form av ammonium oxideras till nitrat med hjälp av syre.

Detta sker enligt formel:



För att upprätthålla en god nitrifikation krävs en syrehalt på 1-2 mg/l[3]. Eftersom även syreförbrukande föroreningar (BOD) finns i avloppsvattnet beror syreförbrukningen också på oxidationshastigheten av BOD. Detta betyder att det organiska materialet har

en hämmande effekt på nitrifikationshastigheten och därför ska kvoten biologiskt material relativt kväve vara så låg som möjligt. Denna kvot uttrycks som COD/N-tot.

De bakterier som har hand om nitrifikationen är långsamväxande men tillväxten ökar med temperaturen. Slammet måste ha en viss minsta uppehållstid i bassängen, slamålder, för att tillräckligt med bakteriemassa ska kunna upprätthållas.

Den hastighet med vilken bakterierna omvandlar ammonium till nitrat anses öka proportionellt mot temperaturen i intervallet 0– 30°C. Mellan 30 och 35°C är hastigheten konstant och vid högre temperaturer minskar hastigheten och går mot noll[4]. Nitrifierande bakterierna är känsliga för hastiga temperaturvariationer.

2.1.1 Processlösningar för nitrifikation

Det finns flera olika processlösningar för att utföra nitrifikation i ett avloppsreningsverk, exempel är aktivslamprocessen och nitrifikation i biobädd.

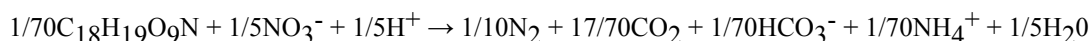
Principen för aktivslamprocessen är att hålla en massa av aktiva mikroorganismer, främst bakterier, i suspension i en tank med hjälp av omrörning och luftning. Bakterierna oxiderar ammoniumjonerna till nitrat.

En biobädd är ett torn med ett poröst bäddmaterial. Vattnet sprids över bädden och därmed skapas det förutsättningar för att det ska ske en tillväxt av biomassa på bäddmaterialet, ett så kallat biofilter. Om luft blåses in underifrån och syresätter vattnet och om kontaktytan är tillräckligt stor i förhållande till avloppsvattenmängden som strilas över bädden kan bakterierna på ytan oxidera ammoniumjonerna till nitrat. Tillväxten medför att lagret av mikroorganismer på bäddmaterialet ökar i tjocklek. Detta lager skalas dock av och följer med vattnet ut ur biobädden[5]. En biobädd är inte lika känslig för temperaturskillnader som en aktivslamprocess, där är det istället diffusiviteten genom bäddmaterialet som bestämmer nitrifikationshastigheten. Halten syre är också en begränsande faktor, vilket gör att syreöverföringen till vattnet och syrets löslighet är viktigt. Syrets löslighet i vattnen sjunker med ökande temperaturer[6].

2.2 Denitrifikation

Denitrifikationen är det andra steget i kvävereningen. Här omvandlas nitrat till kvävgas. Denna process är anoxisk och med det menas att det är nitrat och inte syre som är det oxiderande ämnet [4].

Bruttoformeln för denitrifikation kan se ut så här:



Reaktionen beror dock på sammansättningen av det organiska materialet.

3 Energitekniska alternativ

De energitekniska alternativen för att höja temperaturen i det biologiska reningssteget omfattar värmeväxling med tillhörande utrustning och möjliga värmekällor.

3.1 Värmeöverföring

För att klara en temperaturhöjning av det ofta stora avloppsvattenflödet krävs avancerad värmeväxlingsteknik. God värmeöverföring är en viktig faktor för att få bra energiekonomi i värmeväxlarna. Då värmeväxlingen kommer att ske med försmutsande fluid förekommer problem. De värmeöverförande ytorna kommer snabbt att få en beläggning vilket kraftigt försämrar värmeöverföringen.

För att kunna erhålla en bra värmeöverföring krävs att ytorna i värmeväxlaren hålls rena. Rengöringsmetoden väljs beroende på typ av värmeväxlare och typ av process. I litteraturen[7] finns flera tekniker för att hålla värmeväxlarytor rena.

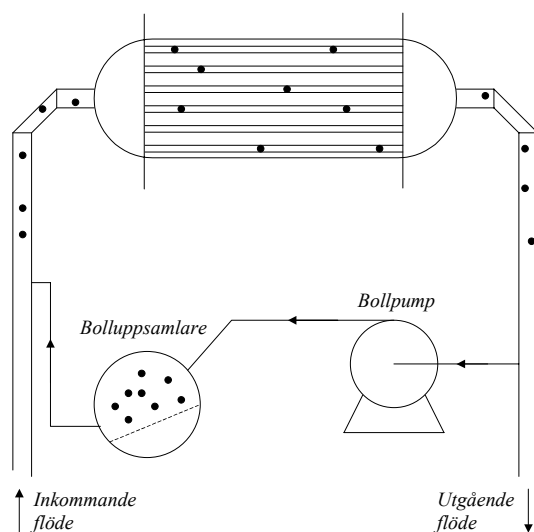
3.1.1 Plattvärmeväxlare

Plattvärmeväxlare kan rengöras under ett driftstopp. Värmeväxlaren skruvas isär och rengöringen sker manuellt. Detta är dock en metod som kan medföra problem. Det är svårt att efter en isärtagning av delarna få alla packningar att sluta tätt igen. Detta gäller speciellt vid låga temperaturer.

Även rengörning under drift är möjlig då med hjälp av kemikalier eller bakblåsning. Alfa-Laval har framtagit en teknik, Clean In Place, för rengöring utan nermontering med hjälp av kemikalier, vilket kan medföra säkerhetsrisker.

3.1.2 Tubvärmeväxlare

För tubvärmeväxlare finns tekniker som inte medför ett driftstopp under rengöringen. Dock finns endast tekniker för kontinuerlig renhållning inuti tuberna. För tubernas utsidor är det nödvändigt med manuell rengöring. För att klara av att genomföra en kontinuerlig rengörning krävs alltså att den orena vätskan passerar inuti tuberna och att mediet på utsidan ej är försmutsande.



Figur 3.1.1 Rengöringssystem med hjälp av skumplastbollar enligt fabrikat Taprogge.

En beprövad teknik är att låta *skumplastbollar*, Taprogge teknik[8], följa med flödet genom tuberna för att avlägsna smuts på väggarna.

Bollarna passerar kontinuerligt genom tuberna så att ingen beläggning byggs upp och en bra värmeöverföring kan uppehållas.

För att ta bort partikellager och biofilmsbildning på väggarna har bollarnas diametrar gjorts 1-2 mm större än tubdiametern för att de skall pressas mot tubväggarna.

Denna teknik används med bra resultat i avloppsvattenförångare på Rya värmepumpstation, tillhörande Göteborg Energi AB.

Även för tubvärmväxlare kan problemen med påväxningar lösas med manuell rengöring. Detta är dock ingen bra metod för avloppsvatten då det kommer att krävas att man rengör mycket ofta. Kraftfulla metoder kan ofta vara nödvändiga för att klara av att få rena ytor, ibland krävs även kemikalier.

3.1.3 Spiralvärmväxlare

Spiralvärmväxlaren har på grund av sin utformning, endast en kanal för varm respektive kall ström, en självrenande effekt. Vid mycket kraftig försmutsning av värmeöverföringsytorna kan dock manuell rengöring vara nödvändig. Locket på spiralvärmväxlaren kan monteras av för att komma åt ytorna. För att rengöra ytorna kan kemisk rening vara möjlig.

3.2 Värmeproduktion

Med en produktionsanläggning för fjärrvärme menas en enhet som med hjälp av tillförd energikälla, bränslen, producerar hett vatten. Det finns flera olika typer av produktionsanläggningar som använder olika tekniker och olika bränslen, ofta igår flera olika anläggningstyper inom ett fjärrvärmeområde. Vilka anläggningar som finns kopplade till fjärrvärmenätet är beroende av vilken kommun som studeras. Olika anläggningar används i olika utsträckning beroende på årsvariationer och konsumenternas behov. De anläggningar som är bäst ur miljöhänsyn och de som har

lägst driftkostnad är de som används i störst utsträckning medan till exempel pannor med oljeeldning endast tas i bruk under mycket kalla perioder.

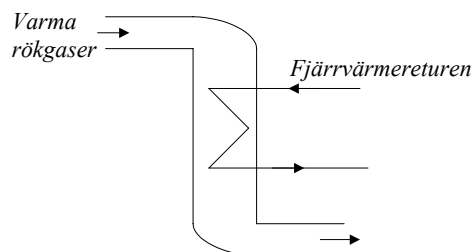
3.2.1 Spillvärmeleveranser

Värme som i olika typer av industrier betraktas som ett kylbehov kan tas tillvara som så kallad spillvärme. Stora industrier såsom pappers- och massabruk och raffinaderier är processer med stora spillvärmemängder. För att ta tillvara detta värme kan procesströmmarna värmeväxlas direkt med fjärrvärmenätet eller via ett internt system för att motverka läckage från processen till fjärrvärmenätet.

Vid låga temperaturer på spillvärmets kan en värmepump användas för att lyfta temperaturen till rätt nivå. Denna teknik utnyttjas idag till exempel för att ta tillvara värme i utgående avloppsvatten. Det renade avloppsvattnet från reningsverken betraktas som en spillvärmekälla där man med hjälp av en värmepump kan tillvarata vattnets värmeinnehåll som annars skulle gå direkt till recipienten.

3.2.2 Rökgaskondensering

Rökgaserna från en panna innehåller vattenånga antingen från kemiskt bundet väte eller från fukt i bränslet. Fukt kan också tillsättas vid förbränningen. Genom att låta till exempel fjärrvärmereturen värmeväxla rökgaserna till låg temperatur så kan vattenångan fås att kondensera ut. Detta innebär att stora mängder spillvärme kan tillvaratas. Genom att mer värme kan fås ut ur samma mängd tillfört bränsle så ökar pannans verkningsgrad.



Figur 3.2.1 Schematiskbild över rökgaskondensering med fjärrvärmevatten.

I en rökgaskondenseringsanläggning är det önskvärt att få en låg inkommande temperatur på fjärrvärmereturen så att mer vattenånga kan kondensera ut.

Genom rökgaskondensering kan även de utgående rökgaserna renas effektivare. Detta gäller speciellt vid avfallsförbränning. Partiklar, tungmetaller och saltsyra kan infångas och på så sätt renas rökgaserna innan de lämnar verket. Alltså har rökgaskondensering förutom det ökade tillvaratagandet av energi även en positiv miljöeffekt.

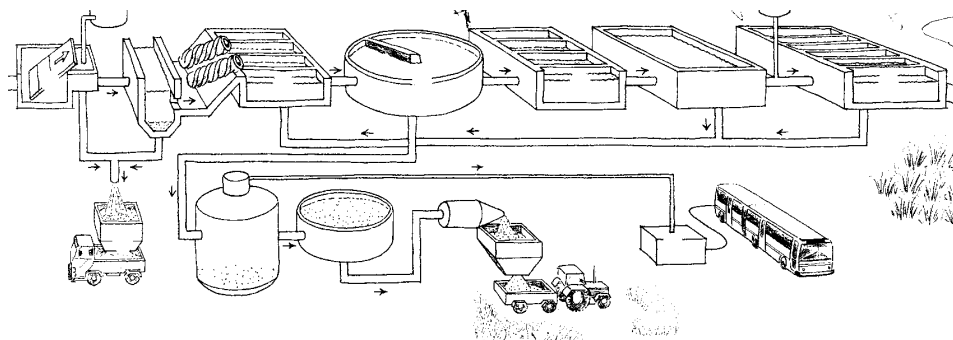
3.2.3 Kraftvärmeverk

I ett kraftvärmeverk produceras både värme och el. Detta medför att bränslet utnyttjas bättre. I ett kraftvärmeverk kan uppemot 90 % av bränslets energiinnehåll utnyttjas. Ett exempel på kraftvärmeverk är så kallade gaskombikraftverk. Bränslet här är gas som i en gasturbin genererar el. Efter gasturbinen tillåts de heta avgaserna att producera ånga som i en ångturbin genererar el. De fortfarande varma avgaserna värmväxlas med det avkylda vattnet i fjärrvärmenätet och producerar på så vis fjärrvärme.

Det val av bränsle som görs påverkar även möjligheten till maximal värmeutvinning. Bränslen innehåller olika mängder fukt - biobränslen och avfall innehåller stora mängder fukt. Fukten i bränslet förångas vid förbränningen och den bildade ångan innehåller stora energimängder. Genom att låta denna ånga kondensera i en så kallad rökgaskondenseringsanläggning, beskrivs i separat avsnitt, kan denna energi tas tillvara. Genom att använda rökgaskondensering kan verkningsgraden höjas.

4 Fallstudie Linköping

Nykvarns reningsprocess består av en mekanisk, en biologisk och en kemisk del. Den biologiska delen består av en aktivslamprocess med efterdenitrifikation.



Figur 4.1 Flödesschemat över Nykvarns reningsverk. 1) galler, 2) deponi av avskilt material, 3) förluftning, 4) försedimenteringsbassänger, 5) luftningsbassänger, 6) sedimenteringsbassänger, 7) denitrifikation och eftersedimenteringsbassänger, 8) slammet rötas, 9) Producerad el används inom avloppsverket, 10) avvattning av slammet.

Luftningsbassängerna består av en nyare och en äldre del. Till den äldre går 60 % av flödet och den har en volym på 2835 m^3 . Den nyare bassängen har en volym på 2800 m^3 och till den går återstoden av flödet. För luftning har verket ett relativt gammalt system med Inkaluftare. Ingen reglering av luftningen sker och Inkaluftarna ger stora luftbubblor vilket leder till dålig syresättning. Recirkuleringen av slammet över luftningsbassängerna utgör cirka $50 \text{ m}^3/\text{h}$ och slamhalten är $5 \text{ kg}/\text{m}^3$ [9].

Denitrifikationen sker i två bassänger med en sammanlagd volym av 1600 m^3 . Till dessa går ett flöde på $840 \text{ m}^3/\text{h}$ främst från den gamla luftningsbassängen. För att öka denitrifieringsbassängernas kapacitet görs nu ett försök med att sänka ner korgar med kulor på vilka bakterierna kan växa och på så sätt öka kontaktytan mellan bakterierna och vattnet[9].

pH värdet hålls nästan konstant med ett värde på 7.5. Värdet för den suspenderade halten i den gamla luftningsbassängen är $3,5 \text{ kg}/\text{m}^3$ och $3,6 \text{ kg}/\text{m}^3$ för den nyare delen. Slamåldern är 5 dygn.

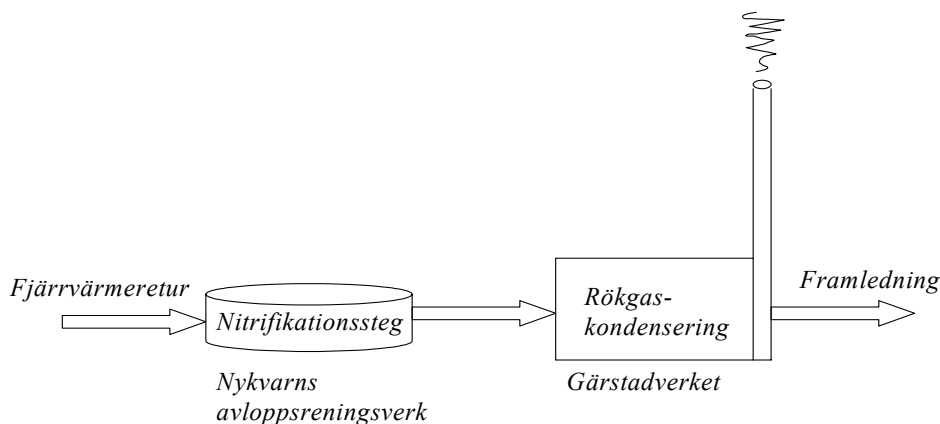
Dimensionerna för luftningsbassängerna är[9]:

Gamla delen (biolog 1): Djup: 4 m som går upp till 2 m i slutet av bassängen,
Bredd: 4,5 m, Längd: 35 m. Antal bassänger i gamla delen: 6 st.
Detta ger Volymen: 2835 m^3

Nyare delen (biolog 2): Djup: 4 m, Bredd: 5 m, Längd 35 m.
Antal bassänger i nya delen: 4 st.
Detta ger Volymen: 2800 m^3

4.1 Värmebehov och tillgång

Den externa värmekällan för spetsvärmningen av avloppsvattnet har i Linköpingsfallet tänkts vara fjärrvärmereturen. En utbyggnad av fjärrvärmenätet är planerad och en tänkt dragning av fjärrvärmeledningen går via Nykvarns reningsverk[9].



Figur 4.2 Schematisk bild över tänkt fjärrvärmedragning.

För att tillgodogöra så mycket energi ur bränslet – hushållsavfall - som möjligt kondenseras utgående rökgaser vilket också, som tidigare nämnts, har en rökgasrenande effekt. Om temperaturen på fjärrvärmereturen är högre än 60°C fungerar inte kondenseringen. En sänkning av fjärrvärmereturtemperaturen är därför mycket önskvärd. Det kan vara positivt att sänka temperaturen ytterligare för att på så sätt kunna kondensera ut mer och utvinna mer värme ur samma mängd bränsle.

4.1.1 Gärstadverket idag

Gärstadverket är en anläggning för avfallsförbränning. Idag består anläggningen av tre avfallspannor som producerar omkring 75 MW och har en rökgaskondensering som ger ytterligare 15 MW. Även en oljeeldad gasturbin finns för elproduktion men används i dagsläget mycket sällan.

Om en sänkning av fjärrvärmereturen vore möjlig skulle ytterligare värme kunna tas tillvara i rökgaskondenseringsanläggningen. Genom att sänka rökgastemperaturen från idag omkring 60°C ner till 30°C skulle omkring 14 MW värme kunna utvinnas.

4.1.2 Ny avfallspanna på Gärstadverket

Tekniska Verken i Linköping har sökt tillstånd för att bygga en ny avfallspanna på Gärstadverket. Detta för att kunna tillgodose den ökande efterfrågan på fjärrvärme och kunna stänga de befintliga pannorna för renovering eller ombyggnation.

Idag har Tekniska Verken tillstånd att maximalt elda 250 000 ton avfall/år men kommer att begära att få elda 350 000 ton avfall/år. Idag råder det brist på förbränningskapacitet

i Sverige och 2002 förbjuds all deponi av brännbart avfall, 2005 kommer ett förbud mot deponi av organiskt avfall[9]. Med en värmesänka även sommartid skulle mer avfall kunna eldas, då pannorna i dagsläget inte går med full kapacitet under sommaren. Då ytterligare avfall skulle kunna eldas skulle även detta generera en vinst.

Efter byggnation och renovering kommer det att finnas ett värmeöverskott på omkring 50 GWh[9] vilket måste kylas bort. Detta skulle medföra en värmekälla på omkring 6 MW räknat på 8700 timmar.

Den nya pannan kommer att leverera 50-55 MW värme och 12-16 MW el. Elproduktionen är en diskussionsfråga då högre tryck kan medföra korrosionsproblem. Med en sänkt fjärrvärmeretur till 30°C skulle elproduktionen öka med cirka 4,5 %[9].

En ökad elproduktion på 4,5 % eller 0,7 MW beräknas på en avreglerad elmarknad medföra en inkomstökning på cirka 400 000 kr/år (räknat på 2000 timmar).

Inkomsökning för ökad elproduktion vid ett antaget elpris på 0,25 kr/kWh.

Ökad elproduktion:	Inkomstökning:	
[MW]	[kr/år]	
0.7	1.576.800	hela året
0.7	388.800	2000 timmar

Tabell 4.1 Inkomst från ökad elproduktion i planerad ny panna på grund av en sänkt fjärrvärmeretur temperatur.

Det kommer även att bli mer ekonomiskt gynnsamt att producera kraftvärme enligt 2002 års energiproposition. Citerat ur artikel av Björn Rosengren "*I 2002 års energipropositions förslag att kraftvärmens konkurrenskraft i energisystemet stärks, dels genom certifikatsystemet som ju omfattar biokraftvärme, dels genom att vi aviserar en förändring av kraftvärmebeskattningen så att kraftvärme i kommunernas fjärrvärmesystem beskattas på samma sätt som industrin. Oavsett bränsle är samtidig produktion av värme och el miljö- och energimässigt effektivt. Sammantaget innebär förslagen ökad produktion i svenska kraftvärmeverk och därmed minskad import av kolkraft från våra grannländer*". Detta kommer att innebära stora skattelättnader, vilket kommer att medföra att fjärrvärmepriset kommer att påverkas neråt.

4.2 Val av värmeväxlingssystem

För att värma avloppsvattenflödet kommer stora värmemängder att behövas. Genom att låta det utgående varma flödet värma det inkommande, senare kallad internvärmväxling, kommer tillförseln av externvärme hållas nere. Den typ av värmeväxlare som valts är tubvärmväxlare. Plattvärmväxlaren skulle medföra problem då rening kommer att krävas mycket ofta, spiralvärmväxlaren kan endast

klara mindre flöden. Då avloppsvattnet är smutsigt krävs att detta passerar inuti tuberna för att värmeöverföringsytorna skall kunna hållas rena.

Den värmemängd som finns tillgänglig idag på Gärstadverket genom en förbättrad rökgaskondensering är den begränsande faktorn. Vid ett värmeöverskott på cirka 14 MW skulle det räcka för att spetsvärma avloppsvattnet 6 °C.

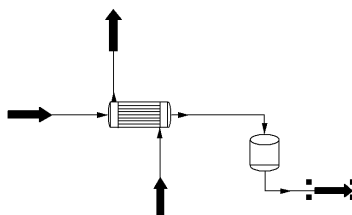
För att beräkna nödvändig värmeöverföringsyta och tryckfallet genom värmeväxlaren har programmet ChemCad/CC-Therm använts. Resultaten redovisas i Bilaga A.2.

		<i>Anmärkning:</i>
Avloppsvattenflöde:	550 kg/s	Medelflöde till Nykvarns reningsverk.
Flöde extern värmekälla:	132 kg/s	Del av fjärrvärmeflödet.
Flöde cirkulerande system:	550 kg/s	Antas samma som avloppsvattenflödet.
Temperatur inkommande avloppsvatten:	12,7 °C	Normal lägsta temperaturnivå på inkommande avloppsvatten.
Temperatur inkommande extern värmekälla:	55 °C	Fjärrvärmereturtemperatur.
Tryck avloppsvatten:	1 bar	Öppna bassänger och kanaler.
Tryck extern värmekälla:	9 bar	Trycket i fjärrvärmeledningen.
Tryck cirkulerande system:	3 bar	Övertryck för att undvika inläckage av avloppsvatten.

Tabell 4.2 Parametrar som använts vid simulering av värmeväxling.

Uppvärmning till 15 respektive 20 °C:

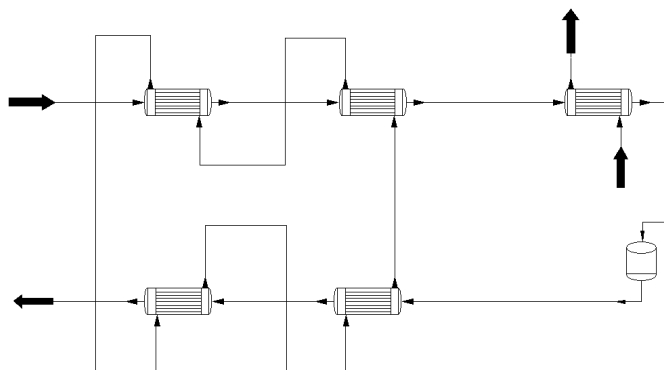
För uppvärmning till 15 respektive 20 grader är det tillräckligt med den externa värmekällan, givet att man önskar sänka fjärrvärmereturen. Detta ger en värmeöverföringsyta på 210 m² respektive 490 m².



Figur 4.3 Modell av värmeväxling för uppvärmning till 15 respektive 20 °C.

Uppvärmning till 25 °C:

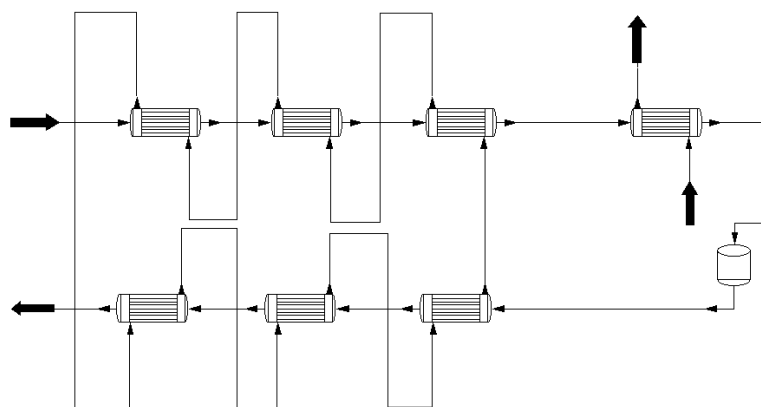
För att värma till 25°C behövs två värmeväxlingsenheter i den första värmeväxlingen, en i den andra och två i den sista. Den nödvändiga värmeöverföringsytan kommer här att vara 8840 m².



Figur 4.4 Modell av värmeväxling för uppvärmning till 25 °C.

Uppvärmning till 30 °C:

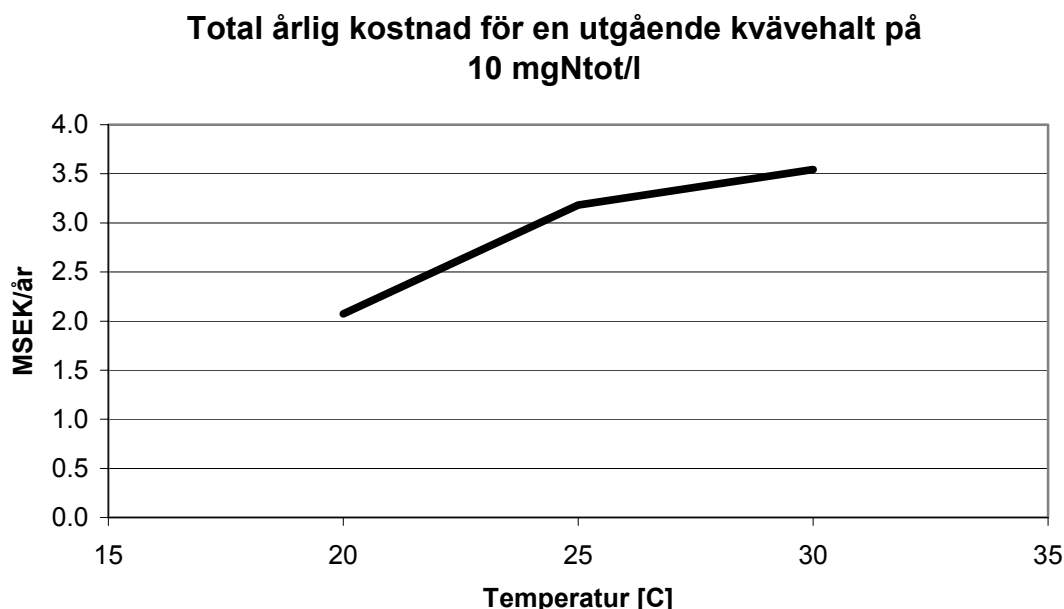
För uppvärmning till 30 °C krävs en större yta. För att klara uppvärmningen kommer 3 enheter behövas i den första värmeväxlingen, 1 i den externa och 3 i den sista. Cirka 13400 m² värmeöverföringsyta behövs i detta fall.



Figur 4.5 Modell av värmeväxling för uppvärmning till 30 °C.

4.3 Resultat

4.3.1 Alternativ med uppvärmning i aktivslamprocessen



Figur 4.6 Total årlig kostnad för en utgående kvävehalt på 10 mgNtot/l.

Uppvärmning av avloppsvattnet till 20°C ger en total årlig kostnad på 2.1 MSEK. I denna kostnad är även nödvändig utbyggnad av denitrifikationsbassängen inkluderad.

4.3.2 Alternativ med endast utbyggnad av bassängvolymen

För att komma ner i en utgående totalkvävehalt på 10 mg/l utan uppvärmning av avloppsvattnet krävs en utbyggnad av nitrifikations- och denitrifikationsbassänger. Här är en processlösning med fördenitrifikation för att reducera behovet av extern kolkälla studerad. I detta fall har förfällningen tagits bort för att tillräckligt med BOD ska finnas tillgängligt vid denitrifikationen.

Bassängerna är dimensionerade för ett 10 gradigt vatten vilket ger en slamålder på 12 d och en denitrifikationshastighet på 0,56 gN/kgSS,h. Slamhalten i systemet beräknas vara 4 kgSS/m³ och kvävehalten i slammet från nitrifikationen beräknas vara 4,5 %.

Den totala volymen blir då den erfordrade volymen för denitrifikationen samt nitrifikationen vilken har beräknats till 45700 m³. Det betyder att den nuvarande volymen på 5635 m³ är alldeles för liten och att en utbyggnad med lite dryg 40000 m³ kommer att krävas. Investeringskostnaden har i detta alternativ beräknats till cirka 90 MSEK och den årliga kostnaden till 6.6 MSEK.

4.3.3 Alternativ med biobäddar för nitrifikation

Biobäddarna sätts in i processen efter försedimenteringen och vattnet passerar sedan en aktivslambehandling med luftning där det kvarvarande biologiska materialet bryts ner och en viss nitrifikation sker. För att omvandla nitraten till kvävgas behövs en tillbyggnad av en denitrifikationsbassäng. Den behöver vara lika stor som i fallet med endast utbyggnad av bassänger och kostnaden adderas till biobäddskostnaden i ekonomiavsnittet. Vattnet går även igenom ett kemiskt steg innan det når recipienten.

Biobädden är dimensionerat för en vattentemperatur på 10 C och ett plastmedia med en luft/vatten/plast kontaktyta på 230 m²/m³. Volymen för biobädden blir enligt beräkningar 2609 m³ som delas upp på ett antal biobäddar. Arean för denitrifikationsbassängen blir 25 000 m².

Den årliga kostnaden, att jämföra med övriga alternativ, blir i detta fall 6.2 MSEK/år.

4.3.4 Alternativ med våtmark

I en våtmark sker reduktionen av föroreningar genom vattenväxternas upptag och även genom biologiska, kemiska och fysiska processer. Exempel på sådana processer är sedimentation, absorption, utfällning och omvandling med hjälp av bakterier. Både nitrifikationen och denitrifikationen kan gynnas då det bildas omväxlande syrerika och syrefattiga förhållanden i marken. För denna processlösning sker då nitrifikationen i de nuvarande luftningsbassängerna i verket och denitrifikationen sker i en våtmark där döda växtdelar används som kolkälla. Våtmarken är placerad 3-4 km från reningsverket. Denna lösning är inte direkt jämförbara då man inte kan komma ner i 10 mgNtot/l ut från verket utan endast når en halt på 15 mgNtot/l.

Våtmarken upptar 120 ha och beräknas kunna rena vattnet till en halt på 15 gN/l innan det når recipienten.

Uppköp av mark, pumpar och rörledningar för vattentransport ger en kostnad på ca 50 MSEK. Detta ger en årlig kostnad på 3.7 MSEK/år.

5 Möjliga svenska orter

5.1 Urval

En undersökning har gjorts om vilka större orter i Sverige det skulle vara möjligt att förbättra kvävereningen i avloppsreningsverken genom avtappning av lågvärdigt värme till reningsprocessen.

Svenska orters reningsverk med mer än 10 000 personekvivalenter anslutna har studerats. De orter togs bort som idag inte har något utbyggt fjärrvärmenät och de med reningsverk som inte har något krav på kväveavskiljning.

Reningsverk med mycket stora flöden medför ett stort uppvärmningsbehov, de verk med allt för stora flöden sorterades därför bort. Typ av värmeproduktion togs i beaktande.

Ett annat urvalskriterie för möjliga orter har varit om de redan idag uppfyller krav på kväverening. För avloppsreningsverk med 10 000 till 100 000 personekvivalenter anslutna är kravet på utgående totalkväve 15 mgNtot/l och för verk med mer än 100 000 personekvivalenter är kravet 10 mgNtot/l. Endast de reningsverk som inte redan idag uppfyller sina krav har tagits med i detta urval.

11 orter i Sverige skulle enligt ovanstående urval vara lämpliga. Tillsammans har de omkring en miljon personekvivalenter vilket utgör 10 % av Sveriges totala antal personekvivalenter, knutna till kommunala reningsverk. Det motsvarar även 20 % av de som kommer få ett kvävekrav. Övriga länder så som till exempel Baltikum skulle kunna vara en intressanta att studera.

Ort	Reningsverk	Pe	Flöde m ³ /h	Recipient	mgN/l	Befintlig kväveavskiljning	Befintlig värmeproduktion
BORÅS	Gässlösa	113220	1875	Inland, Kattegat	13	Biobädd, Aktivslam	Kraftvärme, Biobränsle
ESKILSTUNA	Ekeby	83000	1891	Inland, Östersjön	18	Aktivslam utan denitr.	Kraftvärme, Biobränsle
KARLSTAD	Sjöstadsverket	88000	1255	Inland, Kattegat	30	Aktivslam utan denitr.	Kraftvärme, Avfall, Biobränsle
KATRINEHOLM	Rosenholm	33000	416	Inland, Östersjön	26	Biobädd	Kraftvärme, Biobränsle
LINKÖPING	Nykvarn	167000	1670	Inland, Östersjön	23	Aktivslam delvis denitr.	Kraftvärme, Avfall, Biobränsle
LJUNGBY	Ljungby ARV	17500	337	Inland, Kattegat	<20	Aktivslam	Kraftvärme, Biobränsle
MOTALA	Karshult	40000	542	Inland, Östersjön	20-21	Aktivslam med fördenitr.	Biobränsle
NORRKÖPING	Slottshagen	124900	1875	Kust, Östersjön	18	Aktivslam med fördenitr.	Kraftvärme, Avfall, Biobränsle
TROLLHÄTTAN	Anvidstorp	47430	1458	Inland, Kattegat	20-22	Aktivslam utan denitr.	Biobränsle
UPPSALA	Uppsala ARV	142000	2083.3	Inland, Östersjön	13-14	Aktivslam	Avfall, Biobränsle
VÄSTERÅS	Kungsängen	100000	2250	Inland, Östersjön	12	Aktivslam	Kraftvärme, Biobränsle

Tabell 5.1 Urval av möjliga svenska orter.

6 Slutsatser

Denna studie har visat på att uppvärmning av avloppsvatten kan vara en kostnadseffektiv metod för att uppnå låga utsläpp av kväve från kommunala avloppsreningsverk. För kombinationen Nykvarns avloppsreningsverk och Gärstadverket i Linköping har de årliga kostnaderna beräknats till 2.1 MSEK för det fall då avloppsvattnet värms till 20°C och resthalten kväve uppgår till högst 10 mgNtot/l. Kväverening genom att utnyttja våtmark har beräknats kosta 80 % mer och ge en utgående halt av kväve på 15 mgNtot/l.

Total årlig kostnad [MSEK/år]

Uppvärmning	Utbyggnad	Biobäddar	Våtmark
2.1	6.6	6.2	3.7

Tabell 6.1 Tabell över kostnader för olika alternativ till förbättrad kväverening på Nykvarnsverket i Linköping.

Alternativet med uppvärmning av avloppsvattnet är förutom kostnadseffektivt även platssparande då de övriga kräver stora utbyggnader.

Även värmning till 25 och 30°C skulle i denna jämförelse vara lönsamma alternativ med en total kostnad på 3.2 respektive 3.5 MSEK/år, se Figur 4.6. Värmning till dessa högre temperaturer medför en ännu mindre bassängutbyggnad dock krävs en större värmeväxlingsyta. Då skulle värmning av avloppsvattnet även ske sommartid vilket får andra positiva effekter så som möjlighet att förbränna mer avfall.

I fallet med våtmark måste tas hänsyn till att detta alternativ inte kommer ner i en totalkvävehalt ut från verket på 10 mgNtot/l och kan alltså inte direkt jämföras med de övriga alternativen.

Det finns ett flertal reningsverk i Sverige, se Tabell 5.1, som skulle kunna använda sig av denna typ av kvävereningsförbättring. Även andra länder runt Östersjön skulle vara intressanta att undersöka.

7 Referenser

- [1] Andersson H, "Uppvärmning av avloppsvatten med spillvärme för att förbättra kvävereningen – Temperaturens inverkan på kvävereningen". Examensarbete Chalmers tekniska högskola 2002
- [2] Arnell J, "Uppvärmning av avloppsvatten med spillvärme för att förbättra kvävereningen – Energitekniska alternativ för värmning". Examensarbete Chalmers tekniska högskola 2002
- [3] Junkins R, Deeny K, Eckhoff T; "The activated sludgeprocess: Fundamental of Operation", 1983
- [4] Henze M, Harremoës P, la Cour Jensen J, Arvin E; "Wastewater treatment-Boiological and Chemical Processes", 1997
- [5] Hedberg T; Utbildningsmaterial från kurs i Processteknik- Dricksvatten och Avloppsvatten, Chalmers tekniska högskola Göteborg
- [6] Boller M, Gujer W, Tschui M; "Parameters affecting nitrifying biofilms reactors"
- [7] Bott T.R; "Fouling of Heat Exchangers", Elsevier, Amsterdam 1995
- [8] Informationsmaterial, Taprogge-reningsteknik, C.A Mörck AB www.ca-morck.se
- [9] Lindahl Inge, Processingenjör Tekniska Verken Linköping AB

Bilagor

A Energitekniska beräkningar

A.1 Värmemängd sänkt fjärrvärmeretur befintlig rökgaskondensering

Uppskattning av möjlig värmemängd vid en sänkt fjärrvärmereturtemperatur till Gärsåadverket.

$$\text{Rökgasflöde} = 43,4 \text{ Nm}^3/\text{s} [9]$$

$$\Rightarrow 43,4 * (70+273/273) * 1 = \text{ca } 55 \text{ kg/s}$$

Hänsyn har tagits till avvikande från ideal temperatur.

Sänkt rökgastemperatur från omkring 60 °C till 40 °C. Rökgaserna har antagits innehålla ca 10 % CO₂.

$$h_{60^\circ\text{C}} = 0,9*464 + 0,1*51,7 = 422,8 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{40^\circ\text{C}} = 0,9*167 + 0,1*34,1 = 153,7 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Ytterligare värme } Q = m*\Delta h = 55 * (423-154) = 14 \text{ MW}$$

A.2 Simuleringsresultat

Val av antal värmeväxlare som bör kopplas i serie har baserat på simuleringsresultat från CC-Therm.

Investeringskostnaden för pumpar och elkostnad till följd av tryckfall har medtagits i totalkostnaden.

OPTIMERING				Kostnader:		elkost pump [kr/kWh år]		Kalkylränta [%]:		
Värden från CC-Therm simulering				elverkningsgrad	0.9	[kr/kWh]	0.25	4		
				pumpverkningsgrad	0.8	vx	[kr/m ²]	1000	Livslängd [år]:	20
						pump kost	[kr/kW]	800	Annuiteten:	0.07358175
Temprnivå [C]	Antal vx i serie	Tryckfall/enhet Mantelsida [bar]	Tubsida [bar]	Pumpeffekt [W]	Elkostnad [SEK/år]	Pumpkostnad [SEK]	Värmeväxlingsyta [m ²]	Värmeväxlarkostnad [SEK]	Total årlig kostnad [SEK/år]	
15	1	0.07	0.04	8403	26805	6722	209	209000	42678	
20	1	0.13	0.04	12986	41426	10389	489	489000	78172	
25	2	0.49	0.06	84028	268049	67222	7093	7093000	794910	
wx1	3	0.56	0.08	146667	467867	117333	6858	6858000	981124	
wx1	2	0.49	0.06	84028	268049	67222	6249	6249000	732807	
wx1	2	0.47	0.08	84028	268049	67222	4112	4112000	575563	
wx1	2	0.37	0.06	65694	209565	52556	6249	6249000	673245	
wx2	1	0.15	0.04	14514	46299	11611	617	617000	92554	
wx2	1	0.14	0.04	13750	43863	11000	617	617000	90072	
wx3	2	0.46	0.05	77917	248554	62333	5681	5681000	671159	
wx3	3	0.56	0.08	146667	467867	117333	5555	5555000	885247	
wx3	2	0.37	0.06	65694	209565	52556	6243	6243000	672803	
wx3	2	0.47	0.08	84028	268049	67222	4112	4112000	575563	
30	3	0.64	0.09	167292	533660	133833	8630	8630000	1178519	
wx1	4	0.67	0.11	238333	760283	190667	12124	12124000	1666418	
wx1	3	0.6	0.09	158125	504419	126500	9229	9229000	1192813	
wx1	4	1.08	0.18	385000	1228150	308000	6054	6054000	1686277	
wx1	3	0.36	0.11	107708	343590	86167	7100	7100000	872360	
wx1	3	0.31	0.12	98542	314348	78833	6376	6376000	789306	
wx2	1	0.18	0.05	17569	56047	14056	866	866000	120803	
wx2	1	0.04	0.05	6875	21931	5500	859	859000	85543	
wx2	1	0.04	0.05	6875	21931	5500	858	858000	85469	
wx3	4	0.98	0.15	345278	1101436	276222	8008	8008000	1711004	
wx3	3	0.62	0.11	167292	533660	133833	6167	6167000	997287	

Tabell A.1 Resultat från simulering av värmeväxling i CC-Therm.

Kostnaden för reningsteknik tillkommer till den totala kostnaden. För ett flöde på 550 kg/s beräknas investeringskostnaden för Taprogge- tekniken till 600 000 SEK. Vilket ger en årlig kostnad på 44 000 SEK. Varje värmeväxling kommer att behöva ett reningssystem.

B Dimensionering av olika processlösningar

B.1 Endast utbyggnad av bassängvolym (tillbyggnad av bassäng för fördenitrifikation och utbyggnad av luftningsbassänger)

Dimensionerad för 10 gradigt vatten vilket ger en slamålder på 12 d och en denitr.hast på 0,56gN/kgSS,h. Slamhalten är 4 kgSS/m³ och kvävehalten i slammet från nitrifikationen är 4,5%. Q är medelflödet som ligger på 2127 m³/h, kvävehalten in till verket är 42,3 mg/l och BOD halten är 227,4 mg/l

Nitrifikation:

BOD (kg/d)	Slam prod. (kg/d)	Slam i syst (kg)
Flöde(m ³ /d)*BOD(kg/m ³)	0,6 (gSS/gBOD)*BOD(kg/d)	12 (d)*Slam, prod. (kg/d)
11608,3152	6964,98912	83579,86944

Volym (m ³)
Slam,syst.(kg)/slamhalt (kgSS/m ³)
20900

Befintlig luftningsvolym
5635

Denitrifikation:

Kväve i slam (gN/h)	Kväve red. (gN/h)	Slammängd (kg)
Slam, prod. (kg/d)/24*0,045*1000	(Kväve(mg/l)-10(gränsvärde)) *flöde(m ³ /h)-kväve i slam(gN/h)	Kvävered.(mg/l)/denitr.hast. (gN/kgSS,h)
13059,3546	55642,7454	99362,04536

Volym (m ³)
Slammängd (kg)/slamhalt(kgSS/m ³)
25000

Vtot (m³)
45900

Dimensioner

Bassängerna är 5 m djupa med 0,5 m tillägg över vattennivån och 10 m breda. Väggarna är 30 cm tjocka. För att minska kostnaderna används rörliga bryggor istället för räcken och plattformar. Den denitrifierande delen är försedd med vertikala omrörare och den nitrifierande delen är försedd med membranluftning i botten av bassängen.

Ekonomi

Väggar: 3000 SEK/m²

Botten: 3000 SEK/m²

Grundläggning: 8 MSEK

Detta ger en bassängkostnad på ca 60 MSEK. Maskin och el tillkommer med ca 30 MSEK ("Maskin och el" inkluderar luftare, omrörare, blåsmaskiner och el)

Totala kostnaderna för en utbyggnad av bassängerna blir då ca 90 MSEK. Den årliga kostnaden, att jämföra med övriga alternativ, blir då 6.6 MSEK/år.

B.2 Biobäddar för nitrifikation

Plastmediet i biobädden har en luft/vatten/plast kontaktyta på 230 m²/m³. BOD-belastningen ska inte vara högre än 3-5g BOD₇/m²d. Den hydrauliska belastningen bör vara minst 2 m³/m² h räknat på bädden överyta. BOD_{7dim} är 50g/m³, som är medelvärdet av BOD efter första sedimenteringsbassängen (där biobädden skulle förläggas) och Q är medelflödet in till verket.

Biobädd:

Aöveryta (m ²) Q / hyd.bel	A _{bio} hudstäckt (m ²) BOD _{7dim} * Q * 24 / BOD _{bel}	V _{biobädd} (m ³) A _{bio} hudstäckt / kontaktyta
1000	600 000	2609
		Höjd _{biobädd} (m) V _{biobädd} / Aöveryta
		2,6

Denitrifikation:

Kväve i slam (gN/h) Slam, prod. (kg/d)/24*0,045*1000	Kväve red. (gN/h) (Kväve(mg/l)-10(gränsvärde)) *flöde(m ³ /h)-kväve i slam(gN/h)	Slammängd (kg) Kvävered.(mg/l)/denitr.hast. (gN/kgSS,h)
13059,3546	55642,7454	99362,04536
		Volym (m ³) Slammängd (kg)/slamhalt(kgSS/m ³)
		25000

Ekonomi

Biobäddsfyllnad med kontaktyta 230 m²/m³ kostar 3500 kr/m³. Den totala omkostnaden med spridare, pumpar etc. brukar beräknas dubbla materialkostnaden. Kostnaden för biobädden blir då 18,3 MSEK. Sedan tillkommer kostnaden för denitrifikationsbassängen vilken har en volym på ungefär hälften av volymen vid fallet med endast utbyggnad av fallet. Kostnaden approximeras därför också vara ungefär hälften, alltså (90/2 MSEK) 45 MSEK. Den årliga kostnaden för kolkälla på 1,5 MSEK tillkommer även. Den årliga kostnaden, att jämföra med övriga alternativ, blir då 6.2 MSEK/år.

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS – ELFORSK – AB
Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 25 30. Telefax 08-677 25 35
www.elforsk.se