

Examensarbete, Högskolan på Åland, Utbildningsprogrammet för maskinteknik

ENERGIOPTIMERING PÅ LOTSBROVERKET

Niclas Nyholm, Christoffer Wallén



Datum för publicering: 13.05.2016
Handledare: Florian Haug, Göran Henriksson

EXAMENSARBETE

Högskolan på Åland

Utbildningsprogram:	Maskinteknik
Författare:	Niclas Nyholm, Christoffer Wallén
Arbetets namn:	Energioptimering på Lotsbroverket
Handledare:	Florian Haug, Göran Henriksson
Uppdragsgivare:	Lotsbroverket, Mariehamns stad

Abstrakt

Examensarbetet har utförts på begäran av Lotsbroverket och Mariehamns stad. Arbetets syfte är att fortsätta med den energioptimering som Fyrvall och Al-Husseiny började i och med sitt examensarbete "Optimering av energianvändandet på Lotsbroverket". Det man strävar efter är att använda så mycket gratis energi som möjligt, alltså energi som t.ex. biogas, överloppsvärme etc. för att försöka minska mängden inköpt el och värme.

På Lotsbroverket önskar man öka biogasproduktionen och minska mängden gas som i dagsläget facklas bort. För att detta skall vara möjligt måste råslammets temperatur höjas samt att man måste kunna använda biogasen bättre genom att undersöka olika gasförbrukares användning. Undersökningar om utnyttjande av värme från verkets blåsmaskiner för att effektivera uppvärmningen av ventilationsluften har också utförts.

Det vi efter våra undersökningar kommit fram till är att det första som bör göras är att installera en kombibrännare eftersom den är relativt billig och har en kort återbetalningstid. Även lösningen med en kombination av en slam/slam-värmeväxlare och en kombibrännare skulle vara lönsam. Denna lösning bidrar till ökning av gasproduktion vilket innebär att mängden el och värme från gasmotorn ökar och att oljeanvändningen minskar eftersom kombibrännaren nu kan använda en del av den bortfacklade gasen.

Nyckelord (sökord)

Energioptimering, reningsverk, rötning, biogas, slamvärmeväxlare, luft/vatten-värmeväxlare, kombibrännare, ventilation

Högskolans serienummer:	ISSN:	Språk:	Sidantal:
2016:02	1458-1531	Svenska	59

Inlämningsdatum:	Presentationsdatum:	Datum för godkännande:
13.05.2016	13.05.2016	13.05.2016

DEGREE THESIS

Åland University of Applied Sciences

Study program:	Mechanical Engineering
Author:	Niclas Nyholm, Christoffer Wallén
Title:	Energy Optimization at Lotsbroverket
Academic Supervisor:	Florian Haug, Göran Henriksson
Technical Supervisor:	Lotsbroverket, Mariehamn municipality

Abstract

The degree thesis has been undertaken on request by Lotsbroverket and the Town of Mariehamn. The objective of the thesis is to continue with energy optimization that Fyrvall och Al-Husseiny began with their thesis Optimization of the Utilization of Energy at Lotsbroverket. The aim is to use as much free energy as possible for example energy as biogas, waste heat etc. so that the amount of bought electricity and heat can be minimized.

Lotsbroverket wishes to increase the biogas production and reduce the amount of gas that is currently flared away. To make this possible it would be required to increase the temperature of the sludge and get a better use of the biogas throw-out exploring different gas consumer's use. A study on the use of heat from the air blowers of the plant to increase the heating of ventilation air has also been carried out.

The conclusion we reached is that the first thing that should be done is to install a dual fuel burner because it is relatively cheap and has a short payback period. A solution with a combination of a sludge/sludge heat exchanger and a dual fuel burner would also be profitable. This solution would mean an increase in biogas production, which in other terms means that the amount of electricity and heat from the gas engine would increase and the use of oil decrease because the dual fuel burner could use the gas instead of flaring it.

Key words

Energy optimization, wastewater treatment plant, digestion, biogas, sludge heat exchanger, air/water heat exchanger, dual fuel burner, ventilation

Serial number:	ISSN:	Language:	Number of pages:
2016:02	1458-1531	Swedish	59

Handed in:	Date of presentation:	Approved on:
13.05.2016	13.05.2016	13.05.2016

OPINNÄYTETYÖ

Ahvenanmaan korkeakoulu

Koulutusohjelma:	Konetekniikka
Laatija:	Niclas Nyholm, Christoffer Wallén
Työn nimi:	Energian optimointi Lotsbroverketissä
Ohjaava opettaja:	Florian Haug, Göran Henriksson
Toimeksiantaja:	Lotsbroverket, Maarianhaminan kaupunki

Tiivistelmä

Opinnäytetyö on tehty Lotsbroverketin ja Maarianhaminan kaupungin pyynnöstä. Työn tarkoitus on jatkaa energianoptimointia jonka Fyrvall och Al-Husseiny aloittivat opinnäytetyössään ”Optimering av energianvändandet på Lotsbroverket”. Tarkoituksena on käyttää niin paljon ilmaisesta energiaa jota laitos tuottaa, niin kuin biokaasua, ylijäämä lämmön etc. ja täällä tapaa vähentää ostetun sähkön ja lämmön osuutta.

Lotsbroverket toivoo lisätä biokaasutuotantoa ja vähentää määrän kaasua joka tänä päivänä poltetaan harakoille. Jotta tämä olisi mahdollista täytyy lieteen lämpötilaa nostaa ja biokaasun käyttöä tehostaa tutkimalla eri vaihtoehtoja biokaasun käyttämiseen. Tutkimus laitoksen ilmapuhaltimista kehittyvän lämmön käyttämisestä laitoksen ilmanvaihdon lämmittämiseen on myös tehty.

Olemme todenneet tutkimuksissamme että ensimmäinen asia joka kannattaisi tehdä on asentaa yhdistelmäpoltin vanhan öljypolttimen sian. Yhdistelmäpoltin olisi suhteellisen halpa ja sillä olisi lyhyt takaisinmaksuaika. Myös ratkaisu missä olisi sekä liete/liete lämmönvaihdin ja yhdistelmä poltin olisi kannattava. Tämä ratkaisu edistäisi kaasuntuotannon lisääntymistä, mikä tarkoittaisi sähkön ja lämmön kasvua laitoksen kaasumoottorista. Öljyn käyttö vähenisi myös merkittävästi koska yhdistelmäpoltin voisi käyttää harakoille menevän lämmön.

Hakusanoja

Korkeakoulun sarjanumer:	ISSN:	Kieli:	Sivumäärä:
2016:02	1458-1531	Ruotsi	59

Jättöpäivä:	Esityspäivä:	Hyväksymispäivä:
13.05.2016	13.05.2016	13.05.2016

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INTRODUKTION	9
1.1	Motiv	9
1.2	Syfte	9
1.3	Frågeställningar	9
1.4	Avgränsningar	10
1.5	Projektet	10
1.6	Projektmedlemmar	10
1.7	Definitioner	11
2	BAKGRUND	12
2.1	Lotsbroverket	12
2.2	Reningsprocess	13
2.2.1	Vattnet	13
2.2.2	Slammet	14
3	GAS	16
3.1	System	16
3.1.1	Produktion	16
3.1.2	Kvalitet	16
3.1.3	Bortfackling	17
3.2	Gasförbrukare	18
3.2.1	Gasmotor	18
3.2.2	Pannor	19
4	KOMBIBRÄNNARE	22
4.1	Syfte	22
4.2	Den nya kombibrännaren	22
4.3	Användning	23

5	ANVÄNDNING AV DET VARMA RÖTSLAMMET	26
5.1	Syfte	26
5.2	Värmeväxlarens funktion	26
5.3	Problem med flödet	27
5.3.1	Problem med flödesmätning	28
5.4	Sätt att undgå det låga flödet	28
5.5	Installation och möjlig energiutvinning	29
5.5.1	Normal slam/slam-värmväxlare	29
5.5.2	Återcirkulera rötslammet	31
5.5.3	Cirkulationsloop över värmväxlare	31
5.5.4	Rörslinga i slammagasinet med värmväxlare till råslamlagret	32
6	ANVÄNDNING AV DEN HETA BIOLOGILUFTEN	33
6.1	Biologin	33
6.2	Blåsmaskinerna och dess syfte	33
6.3	Tillvaratagande av värme	34
6.4	Genomförbarhet	35
6.5	Förvärmning av ventilationsluften	38
6.6	Värmebehov	40
6.7	Värmning av avloppsvattnet med värme från blåsmaskin	40
7.	EKONOMI FÖR BIOGASANVÄNDNINGEN	43
7.1.	Kostnadsanalys för de olika installationerna	43
7.1.1.	Slam/slam-värmväxlare	45
7.1.2.	Slam/slam-värmväxlare med cirkulation av rötslammet	46
7.1.3.	Slam/slam-värmväxlare med kombibrännare	48
7.1.4.	Slam/slam-värmväxlare med cirkulation på rötslammet och kombibrännare ..	49
7.1.5.	Endast kombibrännare	51
7.2.	Känslighetsanalys för de olika lösningarna	52

7.2.1. Ändrat gasflöde.....	52
7.2.1. Ändrad kalkylränta.....	54
8. SLUTSATSER.....	56
8.1. Utvärdering.....	56
8.2. Utvecklingsmöjligheter	57
REFERENSER	58
BILAGOR.....	59

1 INTRODUKTION

1.1 Motiv

Vi blev intresserade av arbetet då vi fick höra att det finns möjligheter att optimera energiåtgången på reningsverket Lotsbroverket i Mariehamns stad. Dessutom har tidigare studerande gjort ett liknande arbete vilket gör att vi kommer att fortsätta från deras slutsatser. Vissa av deras slutsatser har redan blivit förverkligade men vi vet att det ännu finns möjligheter för stora inbesparningar gällande energiutnyttjande på områden de inte forskade i men också i områden de forskade i.

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att göra en fortsättning på den energioptimering som Isak Al-Hussein och Joel Fyrvall gjorde år 2014 i sitt examensarbete ”Optimering av energianvändandet på Lotsbroverket”. Vi skall dock också undersöka delar av processen som inte tagits upp i deras arbete. Vårt huvudsakliga syfte med detta arbete är att gå vidare med energioptimeringen och på så vis få ner driftskostnaderna för verket ännu mer. Vi vet att det finns en hel del områden i processen där utnyttjande av energin ännu inte är så optimal den skulle kunna och borde vara. Områdena vi har fått i uppdrag att undersöka presenteras längre fram i arbetet.

1.3 Frågeställningar

Under denna punkt av arbetet kommer vi att klargöra de önskemål och frågor som uppdragsgivaren gett oss. Dessa frågor och önskemål kommer sedan att förklaras mer ingående senare i arbetet.

- 1 Är det lönsamt att installera en kombibrännare i den befintliga oljebrännaren? Hur mycket kan inbesparas genom att använda mindre olja?
- 2 Kan det ingående råslammet värmas av det utgående rötslammet?
- 3 Kan ventilationsluften värmas av biologiluftan?
- 4 Om tiden hinner till: Kan systemet delas upp i två, alltså i ett varmt och ett kallt system?

1.4 Avgränsningar

Här kommer vi förklara vad vi tänkt oss att skall ingå i varje fråga som tagits upp i stycket 1.3 ovan.

- 1 Vi kommer här att undersöka om det är lönsamt att investera i en ny kombibrännare. Önskemålet av uppdragsgivaren är en brännare med steglös reglering, vilket vi vet att finns till den befintliga pannan.
- 2 På denna punkt tar vi upp mätvärden för det in- samt utgående slammet från rötkammaren för att sedan kunna dimensionera en värmeväxlare som passar just denna anläggning. Vi skall också undersöka om det är tekniskt möjligt att installera den uträknade värmeväxlaren.
- 3 Här skall vi ta reda på om det är möjligt att, utan att störa biologiprocessen, ta vara på den värme som bildas av luften som kommer från blåsmaskinerna.
- 4 Vi kommer här att undersöka om det lönsamt att dela upp systemet så att man med hjälp av värmepumpar kan ta tillvara energi på utloppsvattnet som för tillfället åker rakt ut ur reningsverket.

1.5 Projektet

Vi kan i det tidigare examensarbetet läsa att det var den forne driftsingenjören Johan Pettersson som år 2010 startade projektet med att utnyttja energin på Lotsbroverket bättre, dock hamnade detta projekt på hyllan efter att det blivit presenterat på papper. 2011 blev projektet presenterat åt Fyrvall och Al-Husseiny som sedan år 2012 kom igång med det hela. Ifjol (2014) presenterades sedan deras arbete (Fyrvall & Al-Husseiny, 2014). För vår del kom arbetet igång på hösten 2015 under Tomas Möorns ledning.

1.6 Projektmedlemmar

- Tomas Mörn, el- och automationsingenjör, driftingenjör på Lotsbroverket
- Göran Henriksson, överlärare, handledare för arbetet
- Florian Haug, överlärare i teknik, handledare för arbetet
- Niclas Nyholm, studerande (maskinteknik)
- Christoffer Wallén, studerande (maskinteknik)

1.7 Definitioner

Under denna punkt kommer vi kort beskriva olika grundläggande begrepp för att få en bättre förståelse över arbetet.

- Rötkammare – En sluten, gastät tank, dit slammet från de olika processerna i verket samlas. I rötkammaren samlas slam för att rötas, dvs. att en biologisk nedbrytning av organiskt material sker. Genom nedbrytningen bildas rötgas.
- Rötgas – Gasen som bildas under rötningen. Denna gas består till största del av metan och används oftast till uppvärmning men kan också användas för elproduktion och som bränsle till fordon. Denna gas kallas vanligtvis biogas.
- Råslam – slammet som ännu är ”orötat”, med andra ord det slam som ännu inte nått rötkammaren.
- Röt slam – slammet som gått genomgått röttningsprocessen och lämnat rötkammaren.
- Värmevärde – ett värde på hur mycket energi ett bränsle innehåller.
- Biologi – biologi i detta arbete syftar på den biologiska reningen på verket. Denna process beskrivs mer noggrant i ett senare skede.
- Gasklocka – en tank där rötgasen lagras
- Fackling – då rötgasproduktionen är större än förbrukningen och gasklockan fyllts måste gasen förbrännas, av denna förbränning tas ingen energi till vara utan allt går rakt ut i luften.
- Avloppsvatten – det vatten som ännu inte är renat.
- Utloppsvatten – det vatten som genomgått reningsprocessen och är så rent att det kan pumpas ut i havet.

2 BAKGRUND

2.1 Lotsbroverket

Lotsbroverket är placerat intill västra hamnen i Mariehamn och har varit i drift sedan 1979. Under åren 2004-2006 gjordes stora om- och tillbyggnationer på reningsverket, för att klara de nya reningskraven för kväve, fosfor och BOD (Biochemical Oxygen Demand). BOD kan förklaras som en analys över hur snabbt organismer förbrukar syrgas i en specifik mängd vatten. BOD används ofta för att få en inblick över vattendrags ekologiska och kemiska status. (Fyrvall & Al-Husseiny, 2014)

Enligt myndighetskrav skall anläggningen klara av följande reningsresultat:

- CODcr: 125 mg/l, kvartalsmedelvärde (75 % reduktion)
- BOD7: 10 mg/l, kvartalsmedelvärde (95 % reduktion)
- Totalfosfor, (Ptot): 0,3 mg/l, kvartalsmedelvärde (95 % reduktion)
- Totalkväve (Ntot): 15 mg/l, årsmedelvärde (70 % reduktion)
- SS: 35 mg/l, kvartalsmedelvärde (90 % reduktion)

För att i enkelhet få en bättre förståelse över vad dessa parametrar betyder och vad avloppsvattnet består av förklaras parametrarna i korthet nedan.

- COD, Chemical Oxygen Demand, som BOD också ett mått på att mäta vattnets innehåll av syreförbrukande organiskt material. I detta fall används istället för mikroorganismer som i BOD ett kemiskt oxidationsmedel.
- Totalfosfor, ett mått på avloppsvattnets totala innehåll av fosforföreningar.
- Totalkväve, ett mått på avloppsvattnets totala innehåll av kväveföreningar.
- SS, suspenderade ämnen, avloppsvattnets innehåll av partikulära föroreningar. Detta mäts genom att filtrera ett vattenprov. När filtret torkat väger man filtret och på så vis får reda på hur mycket partiklar som fastnat.

Kraven och förklaringarna är tagna ur Puracs processmanual för Lotsbroverket. (Purac, 2007)

Idag är verket dimensionerat för en anslutningsstorlek på 30 000 PE (personequivallenter), dock finns det möjlighet att utöka kapaciteten då ett antal bassänger från det gamla verket inte används idag. Idag består verket av två bassänghallar vilka mäter ungefär 1500 m²

respektive 2050 m². Dessa hallar är belägna i ett bergrum bakom kontors- och verkstadsutrymmena som kan ses utifrån. (Fyrvall & Al-Husseiny, 2014)

2.2 Reningsprocess

I detta kapitel beskrivs reningsprocessen för avloppsvattnet samt slammet. I figur 1 nedan finns ett schema över hela denna process för att ge en bättre överblick för läsarna.

2.2.1 Vattnet

Under denna rubrik förklaras hur avloppsvattnet transporteras under dess väg till verket, i verket, samt ur verket. Detta för att ge läsarna en inblick över hur reningsverket fungerar för att få en bättre förståelse för arbetet.

I Mariehamn med omnejd finns till antalet 15 stycken pumpstationer utplacerade. Dessa har till uppgift att pumpa vattnet från hushållen och industrierna till Lotsbroverket. Dessa pumpstationer är av stor betydelse för att säkerställa en ordentlig drift. När vattnet pumpats från pumpstationerna till reningsverket rinner vattnet genom ett sandfång och rens-galler, där de största partiklarna fastnar för att sedan transporteras till en container genom en strumpa, som förhindrar att lukt sprids. Efter att de största partiklarna har avlägsnats åker vattnet vidare och järnsulfat tillsätts, vars uppgift är att hjälpa till vid flockningen men också att motverka övergödning (Fyrvall & Al-Husseiny, 2014).

Vattnet åker sedan ut i bergrummet till försedimenteringsbassängerna. Här sedimenteras partiklarna från vattnet. Partiklarna sjunker till botten medan vattnet åker vidare till den biologiska reningen (biologin). Biologin består av tre delar där denitrifikation och nitrifikation sker (Fyrvall & Al-Husseiny, 2014).

I nitrifikationsdelen av biologin sker en oxidation av ammonium till nitritjoner. Denna process är en process i två steg som är möjlig tack vare den bakteriekultur som råder i bassängerna. Denitrifikationsdelen är den del av biologin där nitratet förvandlas till kvävgas. Genom att förvandla nitratet till kvävgas minskas utsläppen av nitrat. Orsaken till detta är att nitrat bidrar till övergödning av hav och sjöar (Fyrvall & Al-Husseiny, 2014)

Efter biologin skall vattnet sedimenteras i de bassängerna som kallas mellansedimenteringsbassänger. Principen för dessa bassänger är den samma som i

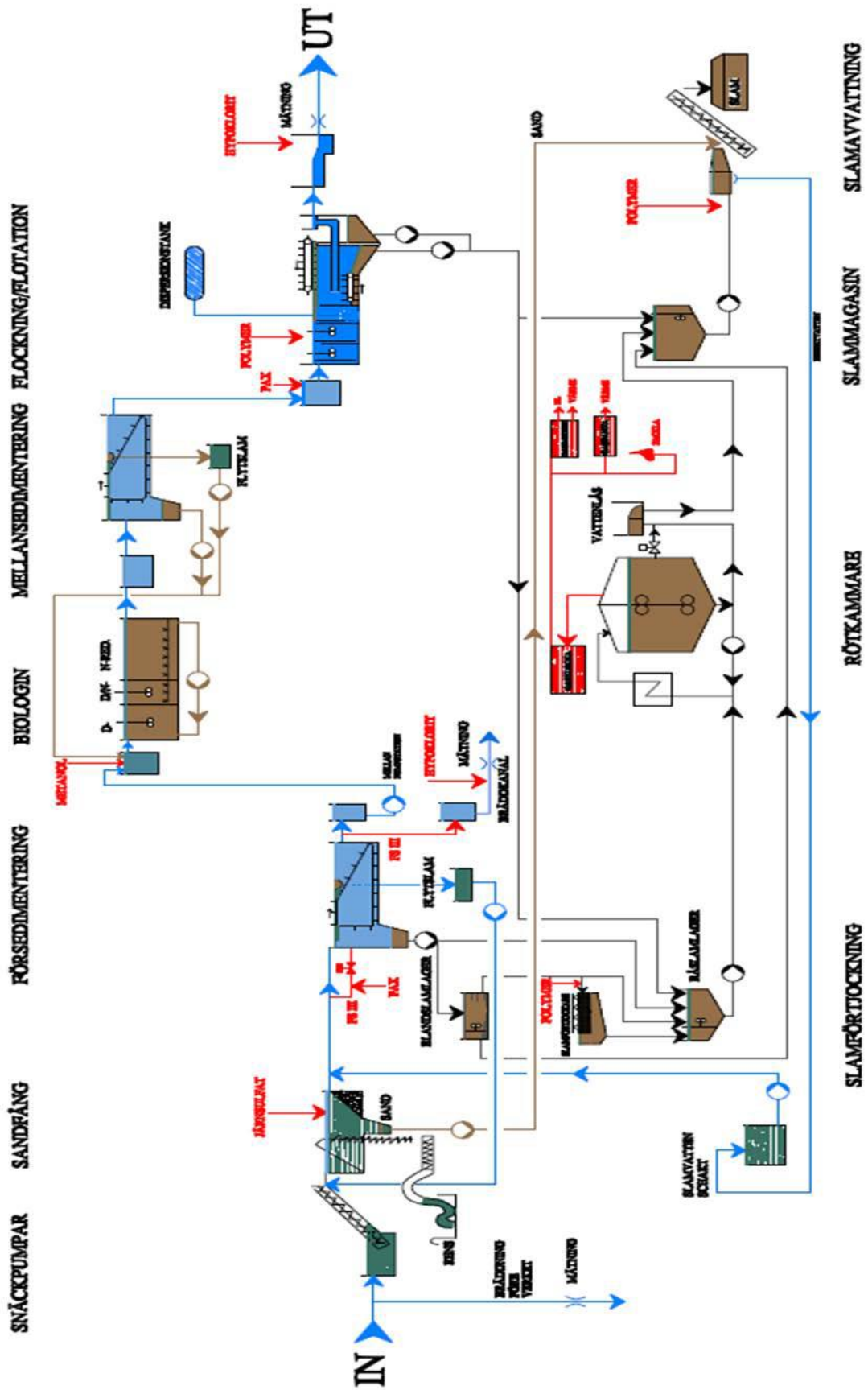
försedimenteringen. När vattnet passerat mellansedimenteringsbassängerna tar det sig till flockningen/flotationen. Denna del av processen kan också kallas den kemiska reningen. Det är nämligen här som polymer tillsätts för att få de sista partiklarna att flocka sig och på så vis separeras från vattnet. Här tillsätts även ett oxidationsmedel, hypoklorit.

Innan vattnet får åka ut till havet kontrolleras det att vattnet verkligen uppfyller de reningskrav som vi beskrivit i kapitel 2.1. (Fyrvall & Al-Husseiny, 2014)

2.2.2 Slammet

Som vi i stycket 2.2.1 ovan nämnt sedimenteras och flockas partiklar bort från vattnet. Dessa smutsiga partiklar, som här efter kallas slam, pumpas till ett blandslamlager. I detta skede är det en del vatten bundet till partiklarna. För att få bort detta vatten går slammet genom en trumförtjockare där slammet avvattnas. Här tillsätts även polymer, som gör slammet fastare och blir på så vis lättare att hantera. När slammet genomgått trumförtjockaren hamnar det i råslamlagret för att sedan pumpas till röt-kammaren där rötningen sker (Fyrvall & Al-Husseiny, 2014).

I röt-kammaren rötas slammet och biogas bildas. Denna biogas driver i dag en gasmotor samt en gaspanna. När slammet sedan rötats klart skickas det vidare till slammagasinet där det sedan pumpas till två slamcentrifuger där slammet torkas för att slutligen hamna i containrar för bortkörning. (Fyrvall & Al-Husseiny, 2014)



Figur 1 Schema över reningsprocessen på Lotsbroverket (Fyrvall & Al-Husseiny, 2014)

3 GAS

Av det slam som rötats i röt-kammaren bildas biogas. Biogasen består i huvudsak av metan och koldioxid men även till mindre del av t.ex. ammoniak, vätesulfid samt svavelväte. Biogasen kan användas för olika ändamål som t.ex. framdrivningsbränsle till fordon samt el- och värmeproduktion. På Lotsbroverket används gasen för att driva en gaspanna och en gasmotor. Gasen facklas även bort då produktionen är större än förbrukningen, vilket är slöseri med energi (Alvarez, 2006).

3.1 System

Systemet på reningsverket består i huvudsak av röt-kammaren där rötgasen bildas, gasklockan där gasen lagras, en gasmotor och en gaspanna som förbrukare samt facklan. Även mätutrustning är installerad där metanhalt, flöden, volym i gasklockan och tryck mäts. Dessa kan avläsas lokalt eller från övervakningssystemet.

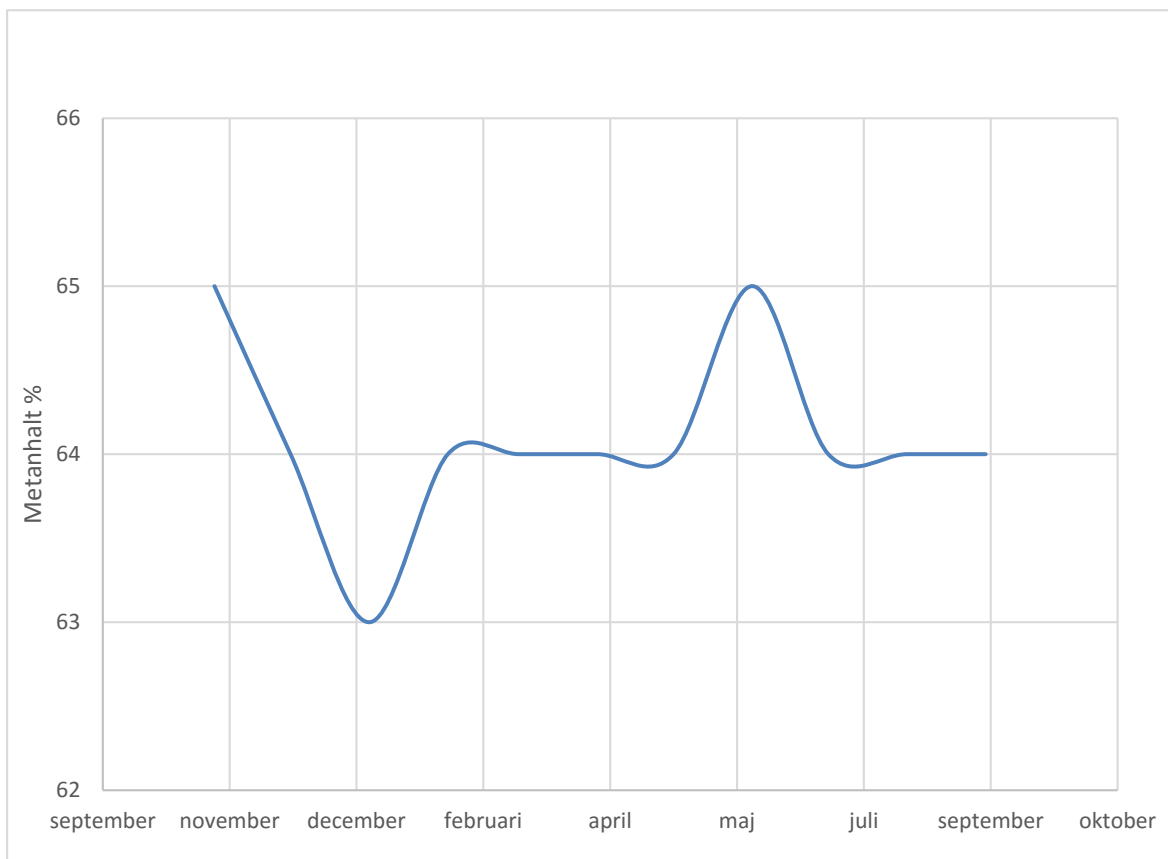
3.1.1 Produktion

Produktionen av gasen varierar beroende på årstid då temperaturen på det inkommande slammet är lägre då det är kallt ute. För att gasproduktionen skall vara stabil krävs det att temperaturen i röt-kammaren också är stabil och rör sig runt en temperatur på 37°C. Sjunger temperaturen i röt-kammaren blir nedbrytningshastigheten sämre vilket innebär en sämre gasproduktion. Blir däremot temperaturen för hög kan bakterierna i röt-kammaren dödas, vilket också leder till en sämre gasproduktion. Också omrörningen i röt-kammaren är av stor betydelse för gasproduktionen (Purac, 2007).

3.1.2 Kvalitet

I arbetet Optimering av energianvändandet på Lotsbroverket kan vi läsa att gaskvaliteten inte uppfyller de krav och önskemål förbrukarna har för att fungera optimalt. Det uträknade värmevärdet baserat på den tillverkade elen beräknas till 16 MJ/m³ och det med hjälp av metanmätare uppmätta värmevärdet till 20 MJ/m³. Vi kan dock konstatera att dessa värden skiljer sig från värden uppmätta det senaste året då en metanhaltsmätare installerats. Metanhalten i gasen har det senaste året (2015) konstant rört sig kring 64 % vilket vi kan se från figur 2. Detta motsvarar ca 24 MJ/m³ vilket är betydlig förbättring.

Orsaken till denna skillnad kan bero på en rad olika faktorer. Gjordes mätningarna i det tidigare arbetet korrekt? En ny cirkulationsvärmesväxlare har installerats, vilket innebär en högre och mer konstant temperatur i röt-kammaren vilket leder till en bättre produktion och kvalitet av gasen. Även den mätare som idag är installerad kan vara felkalibrerad. Vi utgår dock från att den nyinstallerade mätaren stämmer och att gasens kvalitet förbättrats.



Figur 2 Från diagrammet kan vi se att metanhalten ständigt rör sig kring 64 %.

3.1.3 Bortfackling

Som tidigare i arbetet nämnts facklas gasen bort om gasklockan fylls för mycket.

Gasklockans lagringskapacitet är ca 45 m³ och när volymen i gasklockan överstiger 44,5 m³ måste gasen facklas bort ända tills volymen i klockan sjunkit till 40 m³ (Fyrvall & Al-Husseiny, 2014). Enligt rapporter från 2010-2014 har ca 7-8 % av den totala gasproduktionen facklats bort. Detta kan låta som obetydlig siffra, men i själva verket handlar det om en stor mängd bortkastad energi. Det är dock svårt att få ett medeltal för den bortfacklade gasen då störningar i processen förekommit. Dessa störningar kan t.ex. vara att gasmotorn stått stilla, att det utförts underhåll på gaspannan och så vidare.

Det är därför också svårt att få en inblick i exakt hur mycket energi som facklats bort. Vi har beslutat att inte ta med värden från åren 2013, 2014 och 2015 då facklingsmängderna var betydligt högre än tidigare år. Detta beror på att en hel del nyinstallationer utförts. Bland annat har en ny gasmotor installerats vilket leder till uppehåll i användningen av gasen.

Det vi då kom fram till var att det mellan åren 2010 och 2013 facklats bort ca 130 000 kWh energi per år, vilket totalt sett blir nästan 400 000 kWh under de tre åren.

3.2 Gasförbrukare

3.2.1 Gasmotor

Den största gasförbrukaren på Lotsbroverket är idag en gasmotor. Den är relativt ny och installerades och kördes igång under försommaren 2015. Gasmotorn började dock fungera korrekt först i september 2015.

Tidigare, då den nya gasmotorn ännu inte installerats, fanns det istället två stycken mindre gasmotorer, som hade varit i bruk på verket sedan 1986. Under 2014 hade det under flera tillfällen uppstått störningar med gasmotorerna. Störningarna berodde främst p.g.a. deras höga ålder. Detta ledde till att verket bestämde sig föra att inskaffa en ny, modernare gasmotor med tillhörande generator för elproduktionen.

Den nya gasmotorn, som ses i figur 3, har en bränsleeffekt på 176 kW, en eleffekt på 64 kW, samt en värmeeffekt på 88 kW. Motorn producerar både el och värme som tas till full användning. Värmet tas både från motorns kylvatten samt avgaserna för att sedan användas till bl.a. uppvärmning av rötkammaren (Höyrytys Oy, 2014).



Figur 3 Den relativt nyinstallerade gasmotorn.

3.2.2 Pannor

Lotsbroverket använder sig idag av två stycken pannor för att producera värme på anläggningen. Värmet används främst för att värma upp vattnet i cirkulationsvärmexlaren som i sin tur värmer upp rötkammaren. Dock används värmet från pannorna också till andra ändamål såsom duschvatten, värmning av ventilationsluft osv. Största delen går ändå till värmning av värmexlaren.

Den ena pannan är utrustad med en oljebrännare, som främst används som ”backup”-brännare då gasen inte räcker till eller då den andra pannan är ur drift. På den andra pannan är en gasbrännare installerad, som installerades i början av året 2014. De två pannorna kan studeras i figur 4. Pannan som gasbrännaren är installerad på förnyades under renoveringen av verket år 2006. Den används som primär brännare av den gas som producerats i rötningsprocessen.

Nu när den nya gasmotorn har installerats går inte gasbrännaren längre kontinuerligt eftersom gasen inte alltid räcker till. Detta för att man på Lotsbroverket har bestämt att gasmotorn skall gå så mycket som möjligt eftersom den producerar både el och värme. Det är heller inte nyttigt för gasmotorn att starta och stoppa allt för mycket under ett dygn, vilket också bidrar till att den är prioritet 1. Då det finns ett värmebehov och gas finns tillgängligt går förstås

också gasbrännaren. Gasbrännaren går under ett år i medeltal ca 7-8 h per dygn. Man bör dock observera att detta är ett medeltal. Under t.ex. varma sommandagar går den inte alls medan den under kalla vinterdagar går mera.



Figur 4 Pannorna som är installerade idag, gaspannan till höger och oljepannan till vänster på bilden.

Oljebrännaren används endast då gasproduktionen är för liten eller då gasbrännaren inte kan köras. Båda pannorna kan också vara i drift samtidigt då det under vinterhalvåret är betydligt kallare ute, vilket leder till att röttemperaturerna sjunker.

När gasen i gasklockan, där gasen samlas, stiger till 35 m³ startar gasbrännaren och när volymen sjunkit till 18 m³ stoppar brännaren. (Fyrvall & Al-Husseiny, 2014).

Den nuvarande oljebrännaren planeras att bytas ut mot en ny kombibrännare som kan köras både med den producerade gasen och med lätt brännolja. Detta beskrivs närmare i stycke 4.

Oljebrännaren förbrukade 27 858 liter lätt brännolja mellan juli 2014 och september 2015. Det betyder ca 27 900 € med de oljepriserna som rått under den perioden. Man kan då

konstatera att det handlar om en stor summa pengar som kunde sparas om oljebrännaren gick mindre eller inte alls. Denna mängd olja har dock under perioden som nämns ovan varit ovanligt hög eftersom ett antal installationer gjorts, vilket lett till att oljepannan gått mer än vanligt. Vi vill dock belysa hur viktigt det är att gasförbrukarna fungerar som de skall för att undvika liknande situationer på nytt.

4 KOMBIBRÄNNARE

4.1 Syfte

På begäran av Lotsbroverket skall vi undersöka om det skulle vara lönsamt att installera en kombibrännare på den panna där det för tillfället sitter en oljebrännare. Orsaken till detta är att rötningsprocessen producerar så mycket metangas att den nuvarande utrustningen, en gasbrännare och en gasmotor, inte kan förbruka all gas som produceras. Detta leder till att en stor del gas måste facklas ut. Om det då finns ett värmebehov startas den befintliga oljebrännaren vilket inte är lönsamt när det finns "gratis" gas tillgängligt. Lotsbroverket installerade i juli 2014 en ny cirkulationsvärmeväxlare i rökammaren. Efter denna installation har temperaturen i rökammaren höjts vilket gynnar gasproduktionen och gör att det idag finns mera gas att använda och därför skulle en till gasförbrukare vara av intresse.

En viktig faktor som är gör kombibrännaren intressant är det ostadiga och emellanåt mycket höga oljepriset. Det senaste året har priset på oljan sjunkit till samma nivå som år 2010, medan det under åren 2011-2014 var mycket högt. Detta innebär, förstås, att man vill undvika att köra oljebrännaren och istället använda metangasen till så stor del som möjligt. Dock vill man, för säkerhets skull, ändå ha möjligheten att köra med lätt brännolja ifall det skulle hända att metangasproduktionen tillfälligt stoppas under t.ex. större underhållsarbeten eller störningar. (Ölly- ja biopoltoaineala ry, 2015)

Det är alltså ytterst viktigt att man under vintermånaderna kan säkerställa att värmeproduktion är tillräcklig då utetemperaturen kan sjunka ordentlig och på så vis kyla ner anläggningen rejält. Vid situationer som denna är det alltså väldigt viktigt att det finns möjlighet att köra på flera bränslen än gas.

4.2 Den nya kombibrännaren

På pannan, dit den tänkta kombibrännaren skall installeras, sitter idag en oljebrännare av typen Oilon KP-H 50. Denna brännare har en kapacitet på upp till 830 kW. Den planerade kombibrännaren kommer att var en brännare av samma fabrikat, alltså Oilon. Viktigaste orsaken till detta är att installationen blir absolut lättast så. Den planerade brännaren, Oiloin

GKP-50 M har samma installationsmått som den befintliga vilket alltså betyder att den passar direkt på den befintliga pannan. Denna brännare har en effekt på 100-800 kW beroende på bränsle, gastryck och effektläge.

Fördelen med denna typ av brännare är att den har modulerande reglering när den körs på gas, vilket betyder att den steglöst reglerar effekten beroende på behovet. Dock finns effektregering i endast två steg vid oljekörning.

4.3 Användning

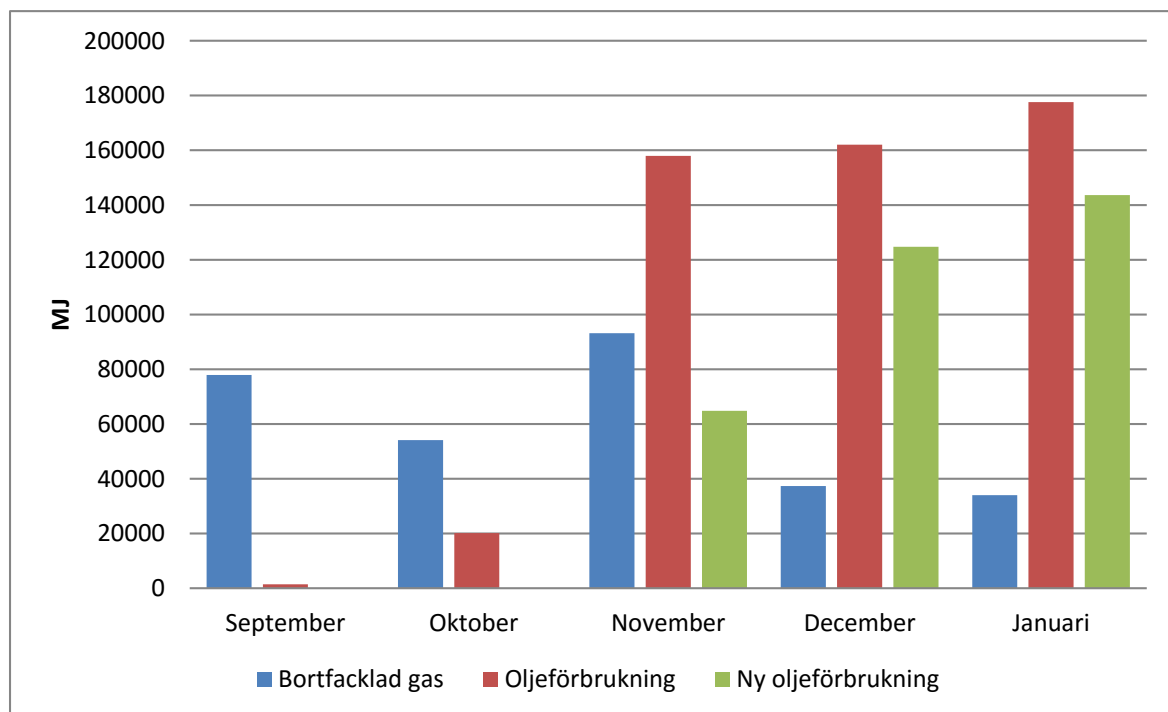
Som tidigare nämnts skall man försöka använda sig av gasen så mycket som möjligt eftersom den är gratis. Genom att studera årsrapporterna kan man se hur mycket gas som facklats bort under de senaste åren för att sedan kunna beräkna hur mycket den nya kombibrännaren kunde vara i drift. Ett stort problem är dock driftsstörningar som rått under vissa perioder. Dessa störningar gör att mängden bortfacklad gas inte är korrekt under dessa perioder. Även t.ex. att reningsverket installerat bl.a. ny gasmotor leder till mängden bortfacklad gas har ändrats. Det är därför svårt att få realistiska värden på mängden bortfacklad gas för en längre tid.

Vi har i detta arbete valt att undersöka perioden mellan september 2015 och januari 2016, en relativt kort tid, men under denna period har inga större driftsstörningar skett plus att man här har den nya gasmotorn i användning. Gasmotorn installerades redan på våren 2015 men det var inte förrän i september som den fungerade korrekt.

Oljeförbrukningen har även den bestämts genom årsrapporterna och sedan har vi granskat hur mycket av denna förbrukning som kunde minskas om en kombibrännare installeras. Det vi gjort för att göra beräkningar på detta är att se hur mycket energi som den bortfacklade gasen och den förbrukade oljan innehåller. Genom att veta hur mycket energi som gasen innehåller kan den sedan subtraheras från oljans, för att då få fram hur mycket som kunde sparas. Vissa månader är oljebehovet så litet att det ändå kommer att facklas bort gas, medan gasen under andra månader inte räcker till för den värmning som behövs. Priset på oljan har legat på runt 1 €/liter under det senaste året och vi har valt att göra beräkningarna med priset 1,05€/liter.

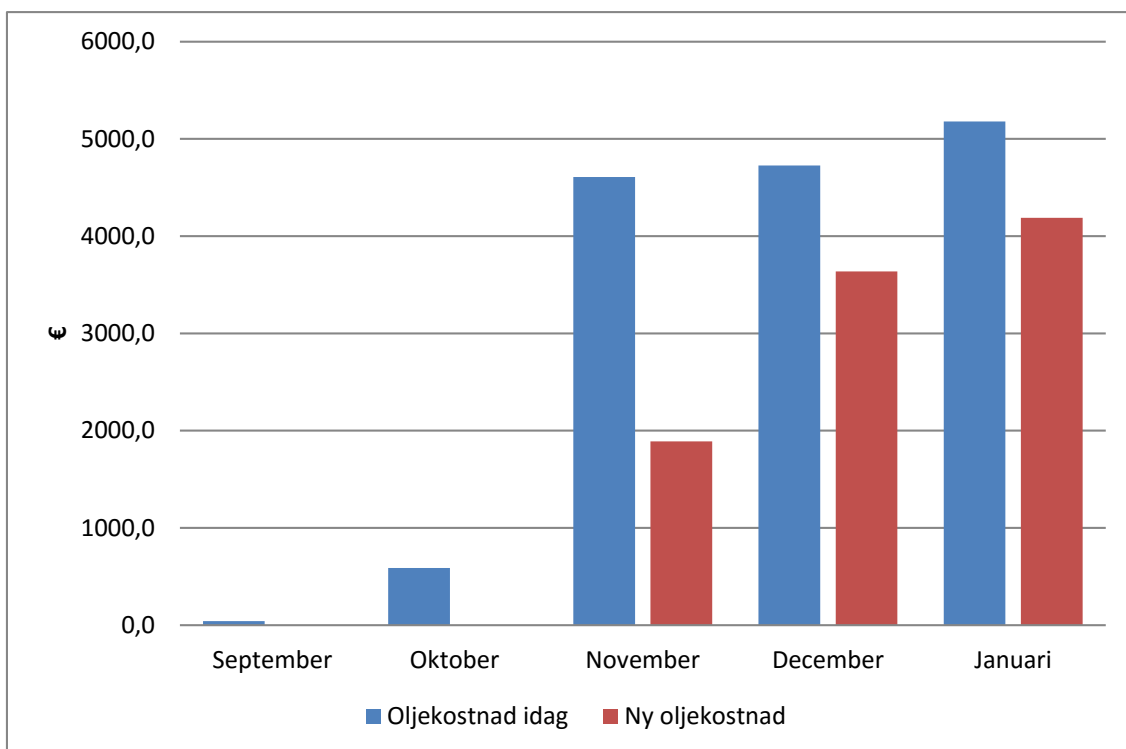
Under tiden från september 2015 till januari 2016 har det bortfacklats totalt 12 354 m³ gas vilket motsvarar 296 496 MJ energi. Under samma period har det förbrukats 14 422 liter olja vilket motsvarar 519 192 MJ energi. I energiberäkningarna har ett värmevärde på 36 MJ/liter använts för oljan respektive 24 MJ/m³ för gasen. Vi har här valt att räkna med energimängderna som förbrukats med oljan respektive det som finns till förfogande i form av bortfacklad gas. Det är alltså de totala energimängderna i gasen samt oljan som använts, utan att ta några verkningsgrader för pannorna i beaktande. Genom våra beräkningar har man kunnat konstatera att man, under just denna period, kunde man ha sparat 5 427,1 € i oljekostnader om den bortfacklade gasen hade använts i största möjliga mån. Den tänkta kombibrännaren har ett pris på 7 800 € plus installationskostnader på ca 2 200 € vilket skulle betyda att återbetalningstiden skulle vara relativt kort. I figur 5 och 6 kan energimängderna för ovan nämnda tid studeras.

När energimängderna är kända kan sedan den nya oljekostnaden beräknas.



Figur 5 Energimängderna i den bortfacklade gasen, den använda oljan samt hur den nya oljeförbrukningen skulle se ut.

Vi antar här att man kan använda all bortfacklad gas i kombibrännaren istället för att köra med olja. Kostnaderna kan studeras i figur 6 nedan.



Figur 6 Kostnaderna hur de ser ut idag samt hur de kunde se ut om en kombibrännare var installerad.

I figur 6 kan vi se att man under september och oktober månad helt och hållet kunde undvika att använda olja. De övriga månaderna måste man dock fortfarande använda olja för att klara värmebehovet.

5 ANVÄNDNING AV DET VARMA RÖTSLAMMET

5.1 Syfte

Syftet med att installera en värmeväxlare på det utgående rötslammet är att ta tillvara den värmeenergi som idag åker rakt ut från anläggningen. Den ideala temperaturen i rötchammaren är som ovan nämnts 37°C. Det är alltså denna temperatur man eftersträvar för att gasproduktion skall vara så optimal som möjligt. I dagens läge sitter en relativt nyinstallerad cirkulationsvärmeväxlare monterad på rötchammaren. Genom denna värmeväxlare cirkulerar slammet för att värmas upp av vatten som i sin tur värmts av pannorna.

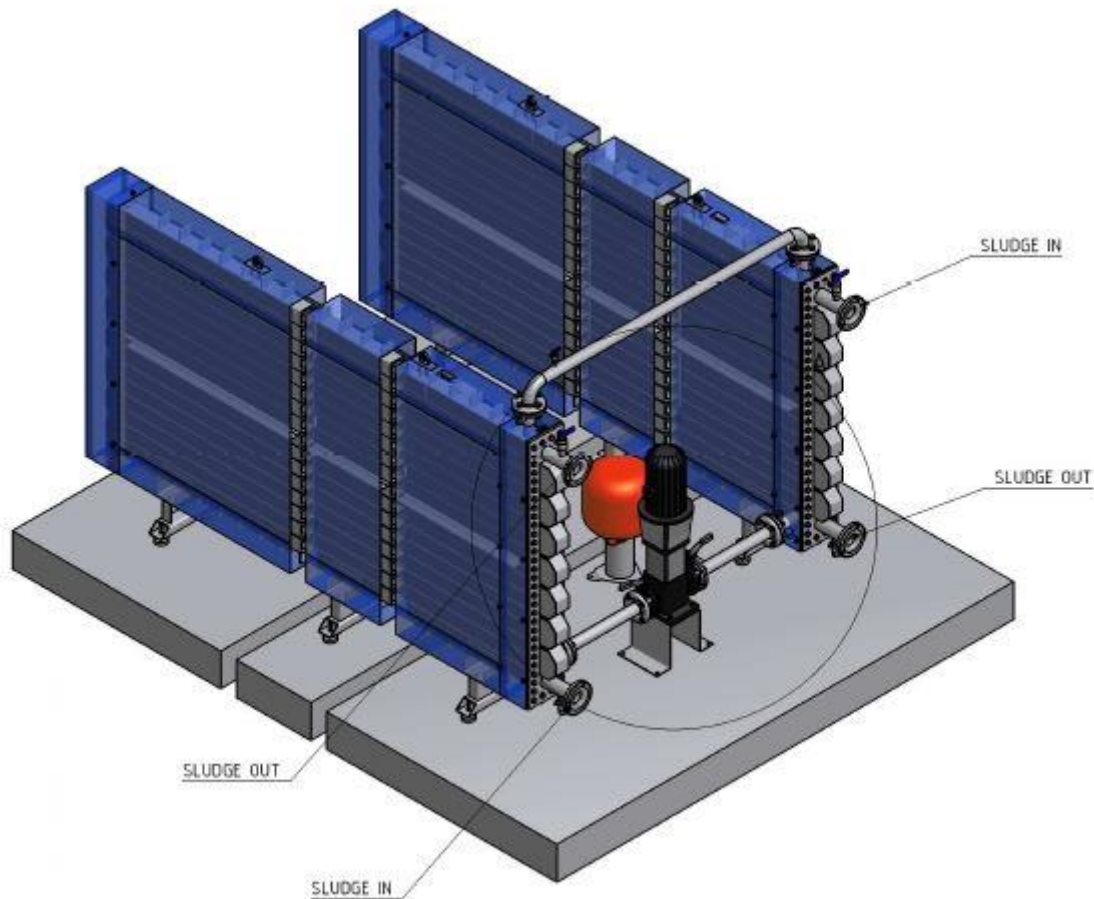
Det krävs alltså en stor mängd energi att värma upp det inkommande slammet vars temperatur varierar mellan ca 12-20°C beroende på årstid. Skulle man då kunna använda sig av värmen som åker ut med rötslammet skulle belastningen på denna cirkulationsvärmeväxlare minska betydligt. Detta skulle innebära att behovet av oljeeldad energi också minskar samt att gasproduktionen skulle förbättras.

Skulle en värmeväxlare installeras skulle detta innebära att det rötade slammet kommer att ha en lägre utgående temperatur. Denna temperatursänkning har dock ingen påverkan på slamavvattningen efter rötchammaren (Holm, 2016). Man bör även tänka på att värmeväxlaren måste spolas ur till helger då den inte är i användning för att undvika beläggningar.

5.2 Värmeväxlarens funktion

Värmeväxlarenheten som är tänkt att installeras är av typen slam/slam och består egentligen av två värmeväxlare. En värmeväxlarenhet som med hjälp av ett slutet vattenledningssystem transporterar värme mellan värmeväxlarna.

Som vi i figur 7 kan se är värmeväxlarenheten uppbyggd av två skilda värmeväxlare, där rötslammet i den ena värmer upp cirkulationsvatten. Detta vatten cirkulerar sedan, med hjälp av en pump, genom den andra värmeväxlaren och värmer det kalla råslammet. Det är alltså vattnet som är det värmeöverförande mediet i denna installation.



Figur 7 Skiss över slam/slam-värmeväxlarenhet där man även kan se pumpen som cirkulerar vattnet mellan värmeväxlarna (Holm, 2016).

5.3 Problem med flödet

Tanken är att placera slam/slam-värmeväxlaren mellan rötslams- och råslamslinan, så att det varma rötslammet skulle värma det kalla, ingående råslammet. Problemet med dessa typer av värmeväxlare är att ett relativt högt flöde behövs för att de skall fungera effektivt. Detta eftersom man vill ha ett turbulent flöde för att värmeöverföringen skall vara så stor som möjlig, men också för att undvika beläggningar som kan uppstå med låga flöden. Ett rekommenderat flöde på 7-8 m³/h till och från rötchammaren skulle vara det optimala för att få en bra verkningsgrad. Dock räcker ett flöde på ca 4 m³/h för att få ett någorlunda vettigt energiutbyte (Haug, 2015-2016). På Lotsbroverket är flödet idag ca 3 m³/h, vilket inte uppfyller kriterierna för att värmeväxlaren skall vara effektiv. Lösningar samt andra möjligheter för att uppfylla kriteriet beskrivs i stycke 5.4.

5.3.1 Problem med flödesmätning

För att kontrollera in- samt utgående flöde ur röt-kammaren har två flödesmätare installerats. Den ena mätaren mäter det inkommande råslammet medan den andra mäter det utgående röt-slammet. Problemet med dessa mätningar är att mätarna visar olika värden, vilket har kunnat konstateras vid granskning av årsrapporterna. Flödet in till röt-kammaren borde i stort sett vara lika med flödet ut ur röt-kammaren. Endast en bråkdel av det ingående försvinner genom att bilda biogas samt att slammets sammansättning ändras, vilket kan påverka mätningarna lite. Granskas flödena från förra året (2015) kan vi se att 25 708 m³ råslam åkt in i röt-kammaren medan endast 18 170 m³ röt-slam åkt ur röt-kammaren. Skillnaden är alltså ca 7 500 m³ slam, vilket inte är rimligt.

Genom att även granska flödet genom centrifugerna kan vi se att råslamsflödet samt centrifugflödet i stort sett är lika. De två centrifugerna som är installerade har, under år 2015, centrifugerat totalt 25 867 m³ slam. Detta ger en skillnad på ca 150 m³ mot råslamsmätaren, vilket är, med tanke på flödena, en minimal skillnad.

För att säkerställa att det är röt-slamsmätaren som visar fel bestämde vi oss för att kontrollmäta slamflödena på både röt- samt råslamlinan. Denna kontrollmätning utfördes med mätaren Flexim Fluxus F601, en portabel ”clamp on”- mätare. Detta innebär att man med hjälp av två eller flera givare monterade på röret mäter flödet med ultraljud. Med denna mätare kunde dock konstateras att slammet är för tjockt för att överhuvudtaget få någon signal mellan de två givarna som mäter flödet. För att kunna mäta substanser som slam och dylikt borde en mätare som använder sig av en lägre frekvens användas. Sådan mätutrustning har dock inte funnits till förfogande och därför har inte flödet inte kunnat kontrollmätas (Eierholen, 2016).

I detta arbete anses därför det uppmätta inkommande råslamsflödet vara det som visar rätt eftersom det, som ovan nämnt, stämmer överens med flödet genom centrifugerna.

5.4 Sätt att undgå det låga flödet

Som i stycket 5.3 ovan kunnat konstateras är flödet över röt-kammaren för lågt. Det finns dock sätt att lösa detta problem så att energiutbytet blir så stort som möjligt. Ett sätt är att

installera en cirkulationsloop över värmeväxlaren. Detta innebär alltså att man cirkulerar slammet genom värmeväxlaren för att på så vis få ett högre flöde (Holm, 2016).

Ett annat sätt, som ett reningsverk i Höganäs i Sverige använder sig av, är att tillsätta rötat slam efter slamförtjockaren. Med andra ord tillsätter man slam som redan passerat rötkammaren till slamförtjockaren vid råslamlagret för att på så vis få ett högre flöde genom värmeväxlarenheten. (Holm, 2016)

Ett tredje alternativ är att installera en rörslinga i slammagasinet som sedan är kopplad till en slam/vatten-värmeväxlare. I rörslingan skulle vatten värmas upp av det utgående rötslammet för att sedan cirkulera genom värmeväxlare som skulle vara monterad på råslamslinan till rötkammaren. Med denna typ av installation skulle anläggningen vara oberoende av flödet över rötkammaren och ett så gott som konstant energiutbyte kunde utövas. Det som dock bör beaktas är att ha en ordentlig omrörning i slammagasinet för att undvika att hår och dylikt lägger sig som en beläggning på rörslingan i tanken.

I det tidigare gjorda examensarbetet kan vi läsa att flödesproblemet kan lösas med hjälp av stötviss pumpning, vilket vi avråder från och inte kommer att ta upp i detta arbete eftersom denna typ av pumpning orsakar ostabilitet i rötkammaren vilket inte gynnar gasproduktionen (Holm, 2016).

5.5 Installation och möjlig energiutvinning

I detta stycke kommer vi att presentera hur mycket energi som kan tas till vara med de i stycke 5.3 nämnda alternativen. Vi kommer även att presentera installationsmöjligheter med tanke på utrymme och rördragning.

5.5.1 Normal slam/slam-värmeväxlare

Fastän flödet är något för lågt har vi ändå valt att ta med beräkningarna på en slam/slam-värmeväxlare för att möjliggöra en jämförelse mellan de olika alternativen. Som i det tidigare gjorda examensarbete kunnat konstateras är rummet där den befintliga cirkulationsvärmeväxlaren ett lämpligt utrymme att göra en möjlig installation. Detta eftersom rummet är EX-klassat och har tillräckligt med installationsutrymme för den nya

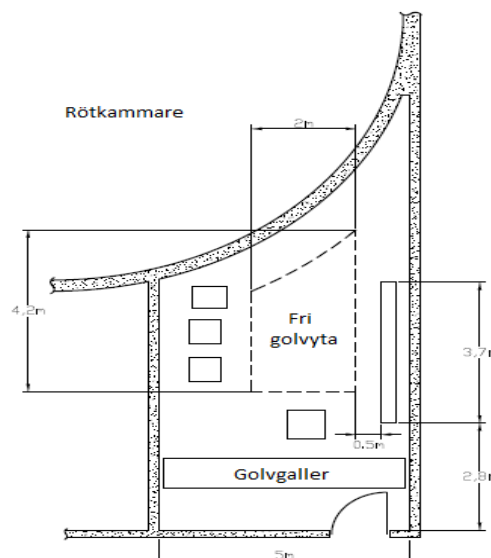
värmewäxlarenheten. Också rördragningen skulle här vara någorlunda lätt eftersom slamrören till enheten är placerad i rummet till vänster om det rum där installationen är tänkt, vilket vi kan se i figur 8 nedan (Fyrvall & Al-Husseiny, 2014).

Vi har valt att fråga Läckeby Products om en offert på en värmewäxlarenhet som skulle passa anläggningens driftsparametrar. Det som dock begränsar oss är det lediga utrymmet. Maximala längden på värmewäxlarna är 3 m eftersom de endast tillverkas i två längder, 3 m och 6 m. I tabell 1 nedan kan vi studera de värden vi gett Läckeby för att kunna utföra beräkningar för värmewäxlaren.

Tabell 1 Givna värden för beräkning av värmewäxlare.

Värden för värmewäxlare		
Flöde	3	m ³ /h
Temp. In	15	°C
Temp. Ut	36	°C
Max längd	3	m

Med dessa värden givna får vi ut en effekt på 32 kW med värmewäxlarenheten VSV40-120 (se bilaga 1). Priset för denna typ av värmewäxlare är ca 250 000 SEK styck, alltså skulle det innebära en kostnad på ca 500 000 SEK för två värmewäxlare. I detta pris ingår som sagt de två värmewäxlarna och vattenkretsen. All installation och övrig rördragning tillkommer.



Figur 8 Förslag på var värmewäxlarenheten kunde installeras (Fyrvall & Al-Husseiny, 2014).

Det är svårt att bestämma exakt hur mycket som skulle besparas genom att installera en värmewäxlare av denna typ då råslammets temperatur varierar beroende på utetemperaturen.

Det som även bör tas i beaktande är att metanproduktionen också ökar då råslammets temperatur ökar vilket innebär att vår tillgång till ”gratis energi” i form av biogas stiger.

Exakt hur mycket gasproduktionen stiger är omöjligt att svara på men vi kan anta att den mängd som nu produceras på sommaren också skulle produceras under vinterhalvåret. Skillnaden mellan vinter och sommarhalvåret under år 2015 är ca 2900 m³ per månad. Vi skulle alltså ha tillgång till 2900 m³ mera gas varje månad, vilket skulle kunna användas i kombibrännaren istället för att köra oljebrännaren och på så vis spara på utgifterna.

5.5.2 Återcirkulera rötslammet

Som ovan beskrivs skulle man här ta ca en tredjedel av det slam som redan passerat röt-kammaren och föra in detta efter slamförtjockaren. Det positiva med detta är att det rötade slammet har en rensande funktion i rören samt att det redan är varmt, vilket gör att temperaturen då inte sänks i röt-kammaren. Att slammet är varmt har också en negativ inverkan, vilket kan konstateras på effekten på värmeväxlaren längre ner i stycket. Här skulle samma värmeväxlare som i stycke 5.5.1 användas, dock här med ett högre flöde samt temperatur. Det negativa med denna typ av installation är att den är dyrare eftersom ett rör som transporterar det redan rötade slammet efter slamförtjockaren måste installeras.

Enligt bilaga 2 skulle vi dock inte få ut lika hög effekt som med installationen i stycke 5.5.1, fastän flödet nu är 1 m³/h högre. Detta beror på att rötslammets temperatur nu stigit från ca 15 °C till 20,3 °C eftersom man kört in det varma rötslammet på nytt. Effekten med denna installation är 24 kW, vilket är 8 kW mindre än i stycke 5.5.1. Som redan nämnts har dock rötslammet en rensande funktion, vilket skulle innebära att man undviker fettbeläggningar i värmeväxlarna. Dessa fettbeläggningar kan uppstå vid installationer som nämnts i stycke 5.5.1 och kan på så vis med tiden gradvis sänka effektiviteten (Holm, 2016).

Värmeväxlarenheten skulle även vid denna installation placeras i samma utrymme som i stycket 5.5.1.

5.5.3 Cirkulationsloop över värmeväxlare

Genom att installera en cirkulationspump som skulle cirkulera slammet genom värmeväxlaren på den kalla sidan (där det uppvärmda vattnet värmer det kalla, ingående,

råslammet) kunde flödet höjas. Detta skulle dock inte leda till någon märkbar effekthöjning från det första fallet. Denna installation skulle också som i stycke 5.5.2 innebära att man har bättre förutsättningar för att förhindra fettbeläggningar i värmeväxlaren eftersom flödet här är högre. Effekten kan anses vara samma som i stycket 5.5.1. Även denna installation skulle innebära lite högre kostnader än i första fallet, eftersom man här vore tvungen att installera en cirkulationskrets vilket omfattar rör samt en pump. Också här skulle man använda sig av samma värmeväxlarenhet som i styckena 5.5.1 och 5.5.2. Värmeväxlarna skulle också placeras på samma ställe som i de två fallen ovan. (Holm, 2016).

5.5.4 Rörslinga i slammagasinet med värmeväxlare till råslamlagret

Som ovan beskrivits skulle man här bygga in en värmeväxlare i form av en rörslinga inne i slammagasinet. För att kunna installera denna rörslinga krävs mycket jobb med tanke på all rördragning både i tanken men också till och från tanken. En annan nackdel med denna typ av installation är att man inte kommer åt att varken inspektera eller rengöra detta rör om inte tanken töms, vilket är både arbetsdrygt samt tidskrävande.

Med tanke på värmeöverföringen och hur mycket energi som skulle kunna tas tillvara är denna lösning heller inte mest optimal. Vid installation av värmeväxlare och dylikt önskar man ett turbulent flöde, vilket inte är fallet i tanken där slammet står relativt still. Detta innebär med andra ord att värmeöverföringen skulle vara mindre än i system där ett turbulent flöde förekommer (Holm, 2016).

Denna typ av installation fungerar i teorin bra medan den i praktiken är svår att genomföra. I samråd med Robert Holm på Läckeby Products har vi därför bestämt att inte gå vidare med denna idé eftersom det inte är lönt varken ekonomiskt- eller tidsmässigt.

6 ANVÄNDNING AV DEN HETA BIOLOGILUFTEN

6.1 Biologin

När det inkommande vattnet passerat försedimenteringen åker det till den biologiska processen för att där minska på det oönskade kvävet. Kvävet måste reduceras så att vattnet, när det passerat de olika delarna i processen, kan släppas ut i naturen. Det är i detta skede det är enklast att få bort de oönskade organismerna och skadande ämnen som kan finnas i det inkommande avfallsvattnet. Det gör man genom att låta vattnet passera genom en nitrifikations- och denitrifikationsprocess som kort nämnts tidigare i arbetet. I nitrifikationsprocessen tillsätts syre till biologibassängen för att öka syrehalten och få en gynnsammare omgivning för bakterierna att omvandla ammoniumet till nitrat. (Kimari, 2001) (Fyrvall & Al-Husseiny, 2014)

6.2 Blåsmaskinerna och dess syfte

Till arbetet hör att undersöka om det finns möjlighet att ta tillvara värme från luften efter blåsmaskinerna. Lotsbroverket är idag utrustat med tre blåsmaskiner, varav två av dem syns i figur 9. Dessa används för att syresätta biologibassängerna. Vid normal drift är det en blåsmaskin som går men ibland också två. På t.ex. vårarna när snön och is smälter innehåller det inkommande vattnet mycket syre vilket kan leda till att inte en enda blåsmaskin går.



Figur 9 Två av tre blåsmaskiner, luft/vatten-värmeväxlaren är planerad att möjligen installeras på den bortre blåsmaskinen.

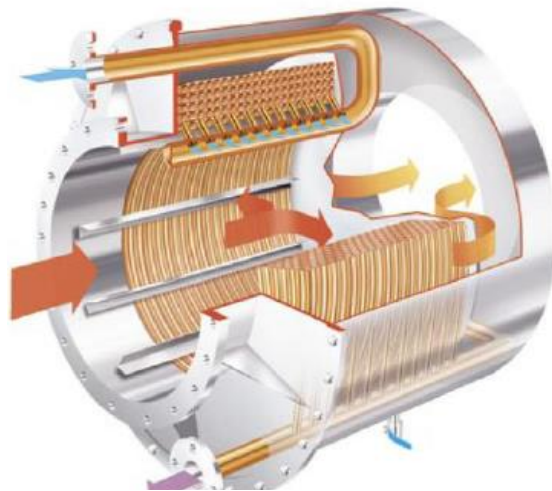
Blåsmaskinernas funktionsprincip är att suga åt sig luft från rummet där de är placerade för att sedan blåsa ut luften med ett högt flöde i ett rör på andra sidan maskinen. Röret går sedan till bassängerna där luften blåses ut genom små hål i gummistavar placerade på bassängbotten. I samband med att luften sugas in för att sedan pressas ut med ett högt flöde värms också luften upp. Det är denna värme som skall försöka tas vara på och användas för att värma ventilationsluften (Purac, 2007).

6.3 Tillvaratagande av värme

För att ta tillvara på värmets från luften är det tänkt att en luft/vatten värmeväxlare skulle installeras på luftröret efter en av blåsmaskinerna. Enligt tillverkaren av blåsmaskinen värms luften upp till 94°C, detta är dock genast vid utloppet.

För att säkerställa temperaturen ca 60 cm efter blåsmaskinen, där en värmeväxlare skulle kunna installeras, kontrollmättes temperaturen på röret. Temperaturen vid just detta ställe på röret varierade mellan 71-74°C. Inga större temperaturändringar borde uppstå då temperaturen i blåsmaskinsrummet är relativt konstant. En sak som man bör ta i beaktande är att man brukar säga att halveringstiden för gummistavarna dubblas med var 10:e grad över 70°C. Livslängden blir alltså betydligt kortare om luftens temperatur är högre än 70°C. På Lotsbroverket hinner dock luften kylas ner från ca 71°C till ca 52°C förrän det når gummistavarna och har därför ingen större inverkan på livlängden (Holm, 2016). Luft/vatten-värmeväxlaren installeras som en del av röret. Man kapar alltså av röret för att sedan installera värmeväxlaren i den bortkapade delen.

Luften strömmar in i värmeväxlaren och pressas mot en vägg placerad i den bakre ändan. Luften strömmar sedan ut mot periferin och passerar där ett eller flera lager av kopparslingor. I dessa kopparslingor cirkulerar vattnet och värms upp av den heta luften, det varma vattnet skall sedan värma upp ventilationsluften (Holm, 2016). Skiss och beräkningar över Läckeby Products luft/vatten-värmeväxlare i figur 10 samt bilaga 4 och 5.



Figur 10 Luft/vatten-värmeväxlare med flödesriktningar för luften och vattnet.

6.4 Genomförbarhet

Innan en eventuell värmeväxlare kan installeras måste en genomförbarhetsstudie genomföras. Orsaken till detta är att luftens temperatur sjunker i och med ett värmeutbyte i värmeväxlaren. Det som måste undersökas är alltså hur mycket denna temperatursänkning påverkar biologin i bassängerna. Skulle det vara så att luften tillför en stor mängd energi i form av värme till biologin skulle detta innebära att det inte är möjligt att installera en värmeväxlare.

För att beräkna förhållandet mellan vattnets energi och den energi som luften tillför till vattnet måste vattenflödet, dess temperatur samt luftflödet och luftens temperatur vara kända. Dessa värden kan avläsas från månadsrapporterna, från blåsmaskinernas tekniska data samt uppmätt data. Vattnets temperatur varierar förstås beroende på årstid. Beräkningar gjorda i detta stycke är baserade på värden från 2015. Vattentemperaturen som använts är det inkommande vattnets temperatur och inte bassängernas eftersom ingen rapportering av detta finns.

Vi var även i kontakt med Mari Heinonen från HRM (Helsingforsregionens Miljötjänster) för att fråga hennes åsikt om en eventuell påverkan på biologibassängens temperatur om biologiluftens temperatur sänks (Heinonen, 2016). Det har enligt henne endast en minimal påverkan, vilket vi även kan konstatera genom att kontrollera beräkningarna, tagna ur Alvarez böcker Energiteknik, nedan:

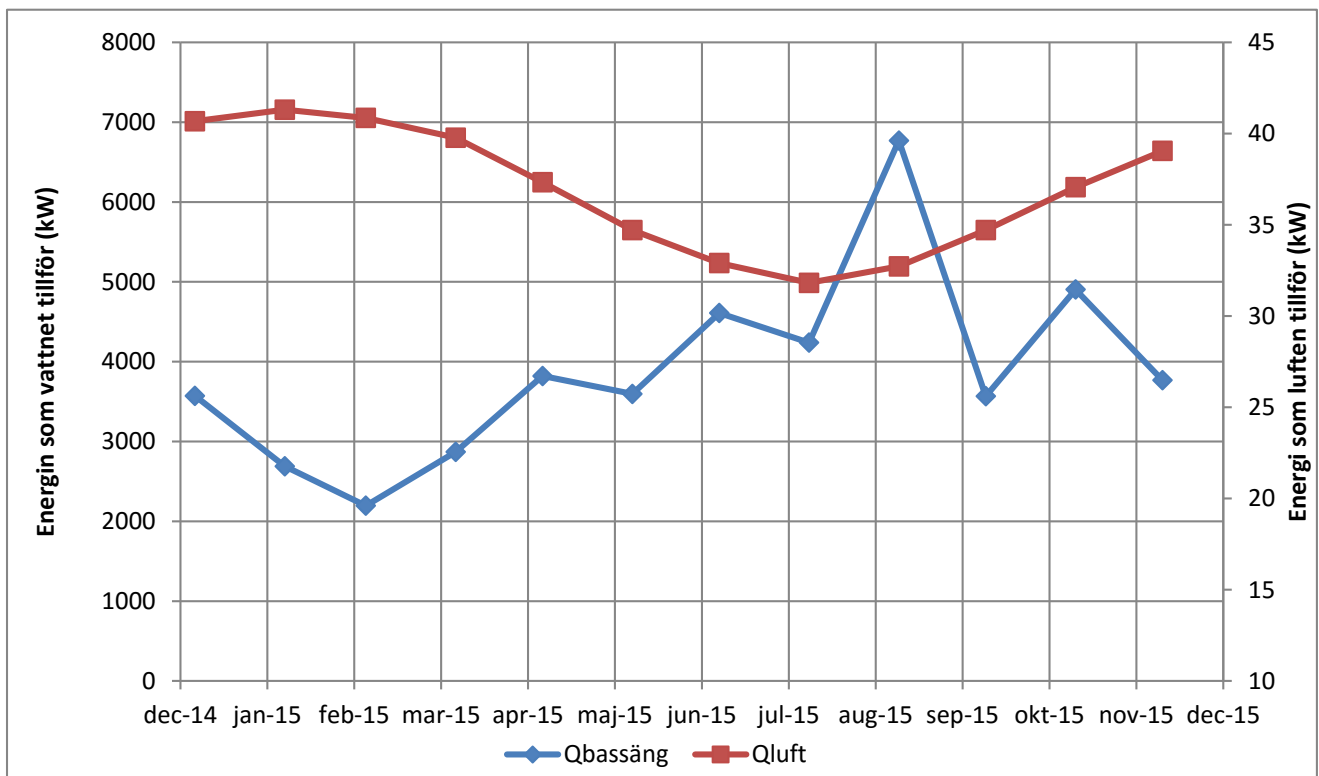
$$\dot{Q}_{luft} = \dot{V} * \rho * c_p * (t_2 - t_1)$$

\dot{V} är tillverkarens angivna luftflöde på 0,453 m³/s och ρ är luftens densitet på 1,994 kg/m³. c_p är luftens specifika värmekapacitet som i detta fall är 1,005 kJ/kg°C, där t_2 är 52 °C och är luftens temperatur före bassängen. Det inkommande vattnets temperatur t_1 är 7 °C. Med dessa värden, uppmätta i januari 2015 fås då en effekt på 24,3 kW.

Luften tillför alltså 24,3 kW till det inkommande vattnet, vilket vi kan jämföra med energimängden som vattnet innehåller genom att beräkna samma sak för vattnet:

$$\dot{Q}_{vatten} = \dot{m} * c_p * t_1$$

\dot{m} är vattnets massflöde. De övriga faktorerna har samma betydelse som i beräkningarna ovan men här med egenskaperna för vatten istället för luft. I januari 2015 var avloppsvattnets medelflöde 122,07 kg/s och hade en temperatur på 7°C. Specifika värmekapaciteten för vatten är i dessa beräkningar 4,18 kJ/kg°C. Med dessa värden kan effekten beräknas till 3 571,8 kW. Man kan nu konstatera att energin som luften tillför endast är en bråkdel på ca 1,1 % av energin i vattnet just denna månad. För att få en helhet i det hela finns nedan ett diagram (figur 11) där detta kan studeras månadsvis.



Figur 11 Energin som vattnet samt luften tillför bassängen.

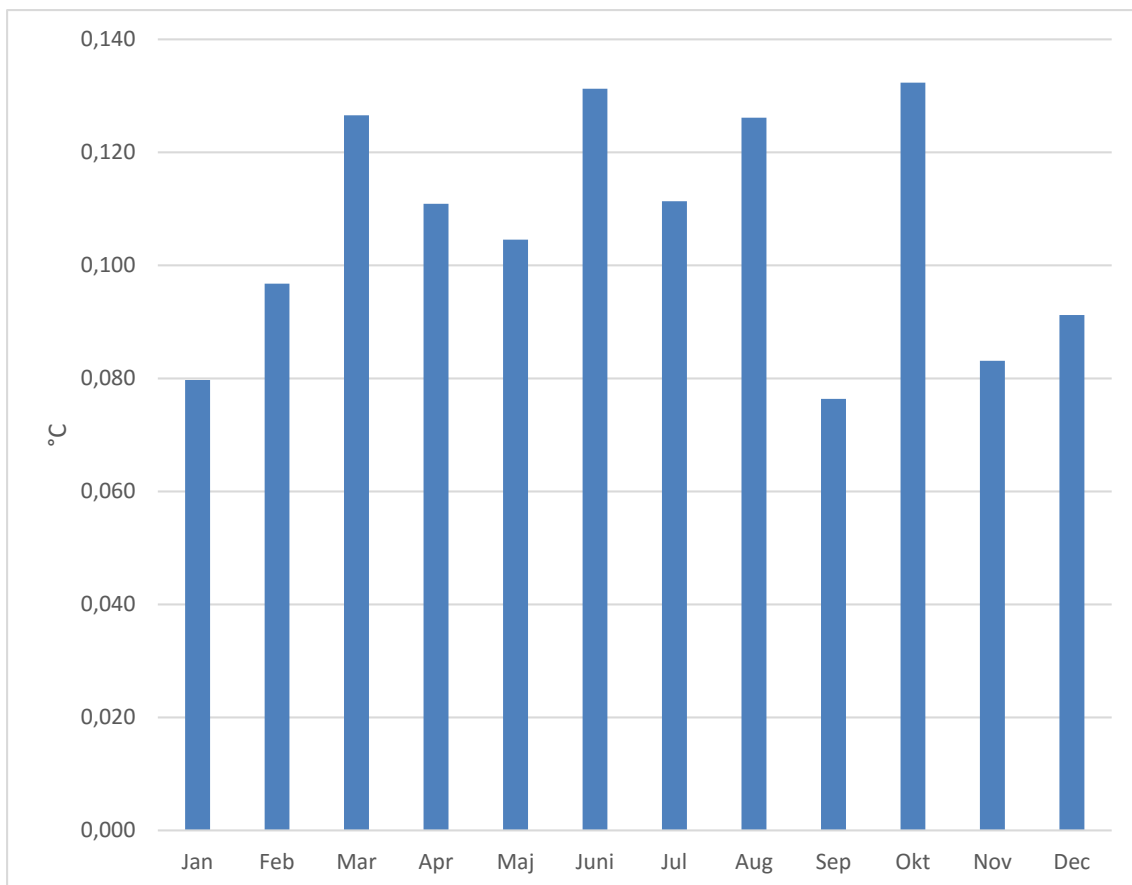
För att få en ännu bättre inblick i hur mycket den varma luften påverkar det inkommande vattnets temperatur har även beräkningar för hur mycket temperaturen i bassängen stiger genom luften. En positiv sak som en lägre lufttemperatur medför är att luften löser sig bättre i

vatten vid lägre temperaturer (Henriksson, 2015-2016). Följande beräkningar har gjorts för att kontrollera hur mycket vattnet värms av luften:

$$\Delta T = \frac{\dot{Q}_{luft}}{\dot{m} * c_p}$$

Genom att använda medelvärden för avloppsflödet och avloppstemperaturen för varje månad under 2015 kan sedan luftens påverkan på vattnet beräknas.

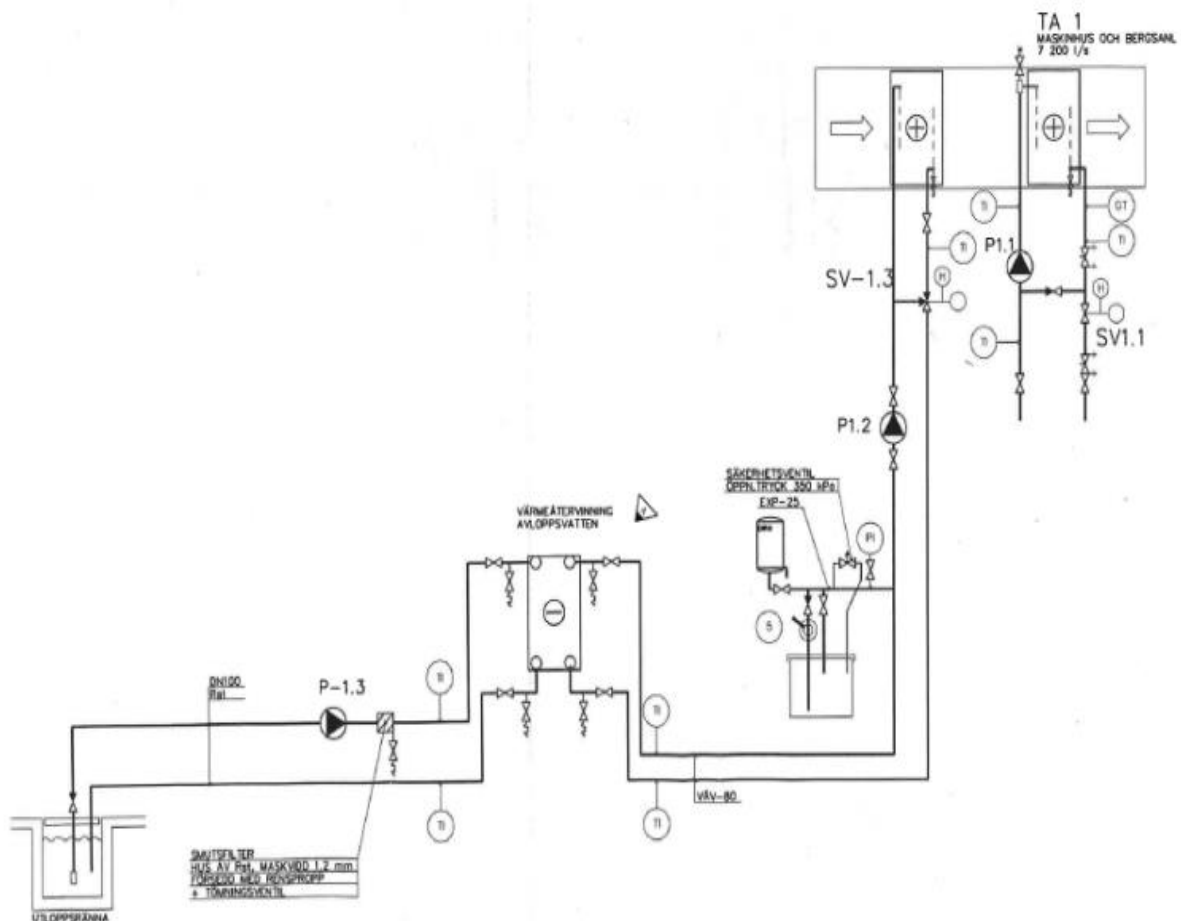
Luften höjer alltså temperaturen i bassängen, i januari månad 2015, med under 0,1°C. För att få en inblick över hur mycket värme luften tillförde bassängen har ett diagram gjorts (figur 12). Med detta känt kan man alltså konstatera att det är av minimal betydelse om lufttemperaturen sänks genom att installera en luft/vatten värmväxlare.



Figur 12 Luftens påverkan på avloppsvattnet under år 2015.

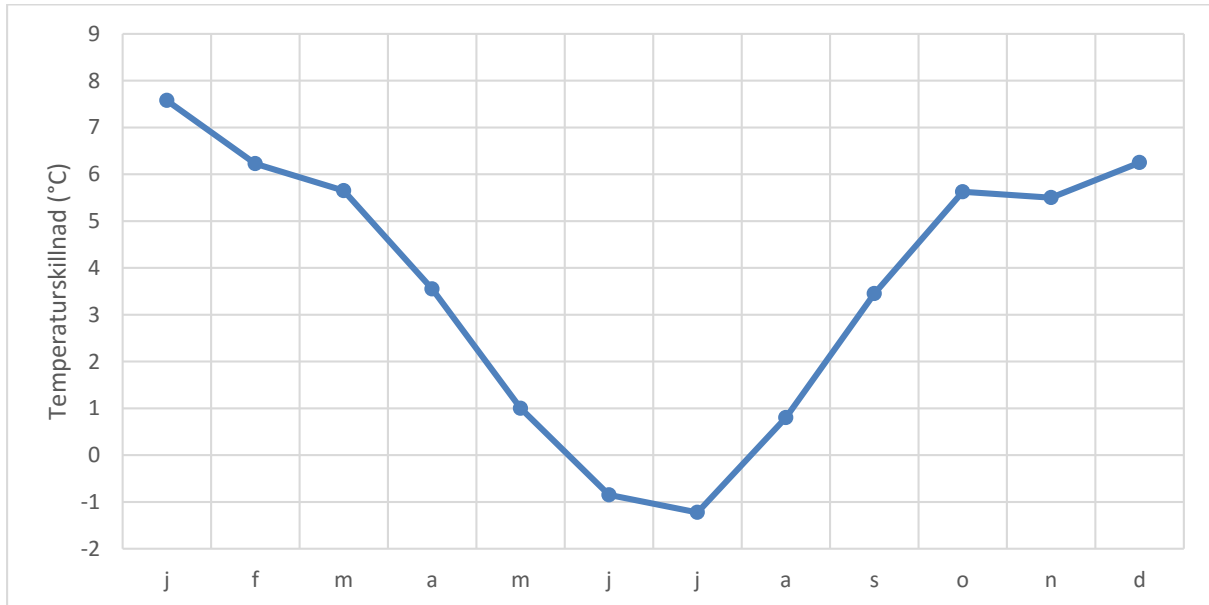
6.5 Förvärmning av ventilationsluften

Idag består systemet som förvärmer ventilationsluften av en plattvärmeväxlare och ett värmebatteri. Till plattvärmeväxlaren pumpas det utgående utloppsvattnet som genom en plattvärmeväxlare värmer en glykolkrets. Glykolkretsen förvärmer sedan ventilationsluften i ett värmebatteri som är placerat i tilluftstunneln. Detta system används då utetemperaturen är 5°C kallare än det ingående avloppsvattnet. Efter förvärmningens värmebatteri är ännu två andra värmebatterier installerade. Följande värmebatteri efter förvärmningen är det värmebatteri som med hjälp av ett delflöde från pannorna värmer upp ventilationsluften till 15°C. Denna ventilationsluft blåses sedan ut i bergstunnlarna. Det sista värmebatteriet är det som värmer maskinhuset, alltså utrymmen som t.ex. kontor, labb, kontrollrum osv. Det sista värmebatteriet värmer även det ventilationsluften med varmvatten från pannorna. Ritning över systemet kan studeras i figur 13 nedan. Under kvälls- och nattetid mellan klockan 20-05 går hela systemet på halveffekt då ingen är på plats.



Figur 13 Ritning över systemet hur det ser idag.

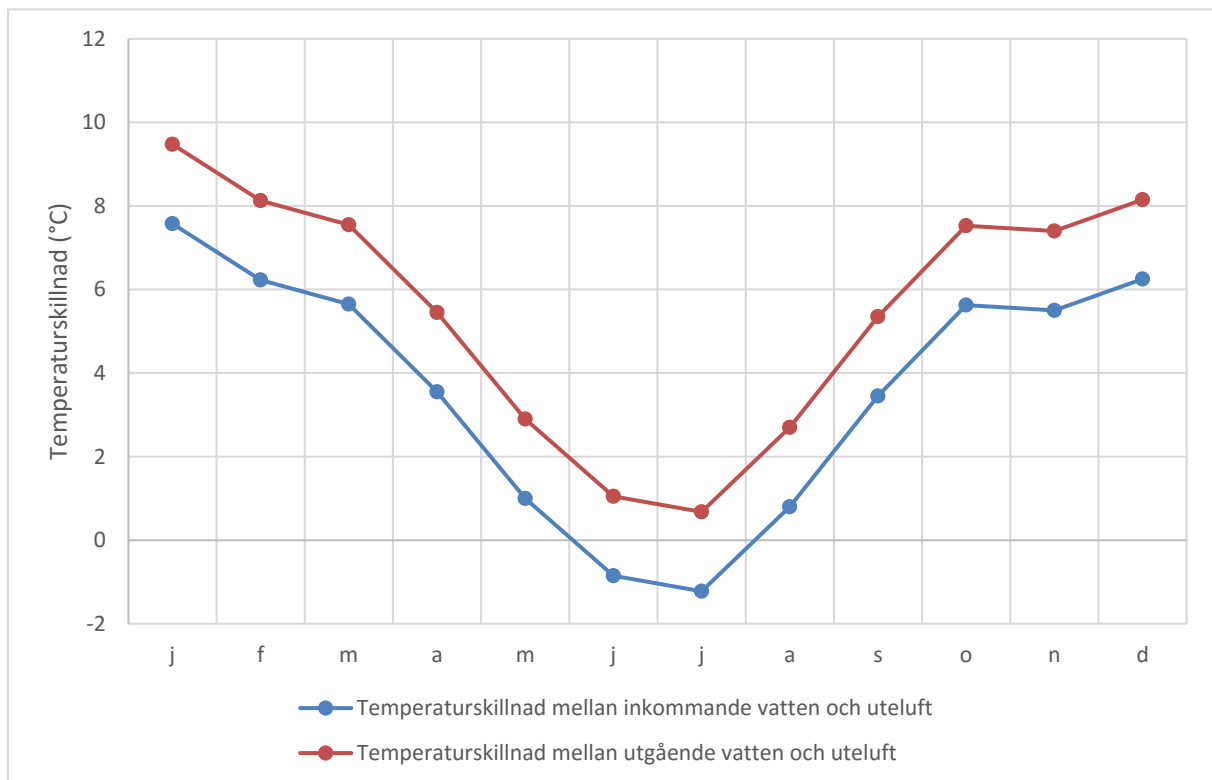
Vi har med hjälp av årsrapporterna för år 2012-2015 studerat sambandet mellan temperaturerna på det inkommande vattnet samt utetemperaturen. Det vi kunnat konstatera är att man i medeltal kunnat använda förvärmningssystemet ca 6 månader per år, alltså under vinterhalvåret. Det inkommande vattnet är på höstarna ännu varmt medan utetemperaturen varit låg. På vårarna är situationen tvärtom, alltså varmt väder men kallt inkommande vatten. Ett diagram har skapats där temperaturskillnaden kan studeras. Diagrammet kan studeras i figur 14.



Figur 14 Temperaturskillnaden på inkommande vatten och uteluften. Värdena som använts för beräkning är medeltemperaturer för varje månad under åren 2012-2015.

Systemet skulle alltså kunna användas under de månader som medeltemperaturskillnaden är över 5 °C, vilket vi från diagrammet kan konstatera att det varit under januari, februari, mars, oktober, november samt december. Skulle dock systemet styras av utloppstemperaturen istället för inkommande avloppstemperatur kunde systemet användas ännu mera, vilket kan studeras i figur 15. Man bör tänka på att diagrammet i figur 14 är medeltemperaturer för varje månad. Som ovan beskrivits är systemet igång på endast halveffekt mellan klockan 20-05 vilket betyder att effektbehovet på natten är mycket mindre än på dagen. Vi har därför valt att inte specificera temperaturskillnaderna mellan t.ex. dag och natt något desto mera.

Skulle temperaturmätningen ske från det utgående utloppsvattnet skulle systemet kunna användas 8 månader istället för 6 månader som idag. Denna lösning skulle vara enkel eftersom det redan sitter en mätare som mäter temperatur samt pH på det utgående vattnet. Det som skulle behöva göras är att koppla upp mätaren till styrsystemet.



Figur 15 Temperaturskillnad mellan inkommande vatten och uteluften samt temperaturskillnad mellan utgående vatten och uteluften.

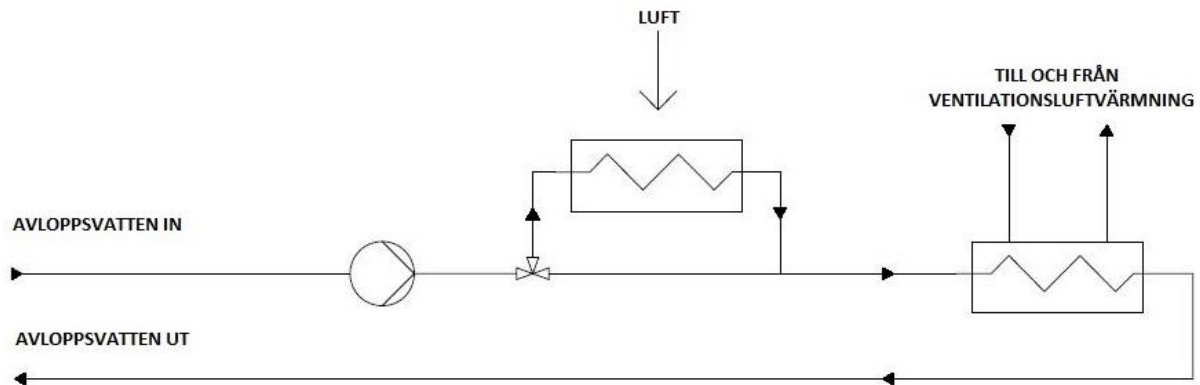
6.6 Värmebehov

Vid en utetemperatur på -20 °C och en önskad temperatur inomhus på 15 °C finns ett värmebehov på ca 300 kW. Vid dessa temperaturer tillför förvärmning ca 55 % av värmebehovet, vilket motsvarar 165 kW. Resten, 45 % eller 135 kW, värms med hjälp av pannorna. Mängden värme som tillförs genom förvärmningen ändras beroende på hur kallt det är ute. Ju kallare det är ute desto högre effekt har förvärmningssystemet (Brönning & Jakobsson, 2014).

6.7 Värmning av avloppsvattnet med värme från blåsmaskin

Ett alternativ är att pumpa utloppsvatten med den befintliga pumpen genom den ovannämnda luft/vatten-värmväxlaren. Då skulle den varma luften från blåsmaskinen värma upp det kalla utloppsvattnet, som i sin tur förvärmer luften. Detta innebär att luftens temperatur är högre då

den når den sista värmeväxlaren, vilket i sin tur innebär att värmebehovet från pannorna minskar. Installationen skulle vara relativt enkel eftersom blåsmaskinen är placerad ca 10 m från där rören till den befintliga värmeväxlaren går. Det enda som då skulle behöva göras är att installera en vattenkrets från de befintliga rören genom den planerade luft/vatten-värmeväxlaren. Även en trevägsventil skulle installeras för att möjliggöra körning utan luft/vatten värmeväxlaren. I figur 16 är detta system uppritat för att ge en bättre överblick över systemet.

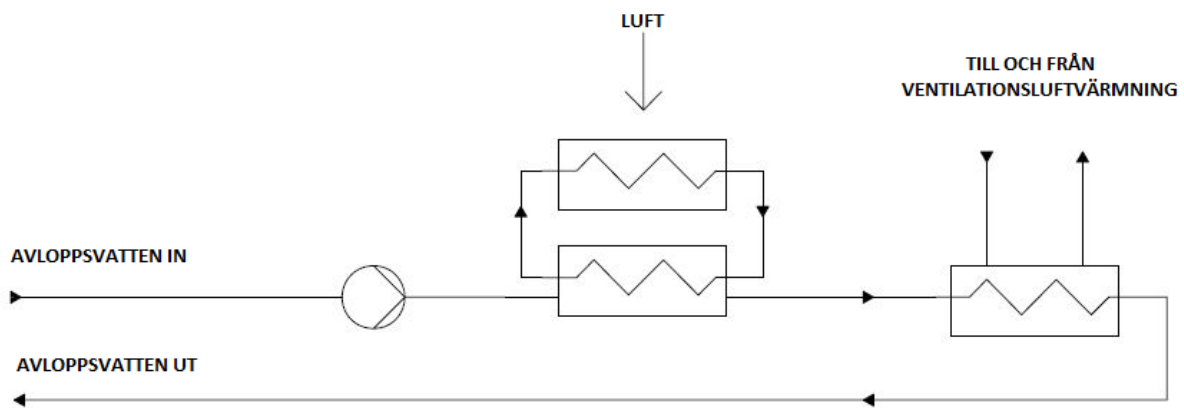


Figur 16 Möjlig installation för att på enklaste sättet utnyttja värme från blåsmaskinen.

Problemet med denna installation är att vattenflödet genom luft/vatten-värmeväxlaren bör vara ca 1 liter/s för att få ut maximal effekt. Pumpen, som ses i figur 15, pumpar avloppsvattnet genom den befintliga värmeväxlaren med ett flöde på ca 9 liter/s. Genom att strypa trevägsventilen kunde man reglera flödet så att vattenflödet genom skulle vara 1 liter/s genom luft/vatten-värmeväxlaren. Man har då ett flöde på 1 liter/s som har temperaturen 13,5°C och ett flöde på 8 liter/s med temperaturen 7°C. När dessa flöden blandas kan följande formel, tagen från Engineering Toolbox, användas för att beräkna temperaturen på blandningen (Engineering toolbox, 2016):

$$T_3 = \frac{\dot{V}_1 * c_p * T_1 + \dot{V}_2 * c_p * T_2}{\dot{V}_1 * c_p + \dot{V}_2 * c_p}$$

\dot{V}_1 och \dot{V}_2 är flödena på 0,008 m³/s respektive 0,001 m³/s. c_p är vattnets specifika värmekapacitet och är i båda fallen 4,18 kJ/kg°C. T_1 samt T_2 är temperaturerna på de två olika vattenflödena och är 7°C respektive 13,5°C. Temperaturen efter att vattnen blandat sig skulle då vara 7,72°C vilket innebär en temperaturhöjning på 0,72°C. En möjlighet för att kunna använda oss av luft/vatten-värmeväxlaren är att installera ytterligare en värmeväxlare. Detta system kan studeras i figur 17 (Holm, 2016).



Figur 17 Ett alternativ för att kunna utnyttja luft/vatten-värmväxlaren.

Det andra alternativet vi undersökte för att kunna utnyttja värme från blåsmaskinen genom luft/vatten-värmväxlaren är att installera ytterligare en plattvärmväxlare. Istället för att ha luft/vatten-värmväxlaren kopplad direkt till avloppsvattenkretsen skulle man här ha en sluten krets mellan luft/vatten-värmväxlaren och den nya plattvärmväxlaren. Installationen skulle bli dyrare och ta mera plats än det första alternativet med luft/vatten-värmväxlaren direkt kopplad till avloppsvattnet. Även här dök dock upp ett problem med flödena. Vattenflödet i luft/vatten värmväxlaren skulle fortfarande vara endast 1 liter/s och i det inkommande avloppsvattnet 9 liter/s. Enligt John Nylund på Alfa Laval skulle man med dessa flöden endast få en temperaturökning på 0,9 °C på avloppsvattnet, från 6 °C till 6,9 °C. Kunde man dock öka flödet genom luft/vatten-värmväxlaren från 1 liter/s till 3 liter/s skulle effekten i den nya plattvärmväxlaren tredubblas från ca 30 kW till 90 kW. Denna effektökning skulle innebära en temperaturökning från 6 °C till 8,4 °C. Detta är dock inte möjligt eftersom luft/vatten-värmväxlaren inte klarar av så stort flöde. I den slutna kretsen tänkte man på Alfa Laval använda sig av en vatten- och glykolblandning istället för endast vatten. Orsaken till detta är för att vattnet inte skall frysa samt att det även hindrar att korrosion uppträder i systemet. (Nylund & Myllymäki, 2016).

Vi ser dock ingen lönsamhet att installera en luft/vatten-värmväxlare då värmeutbytet skulle vara så litet med det rekommenderade flödet.

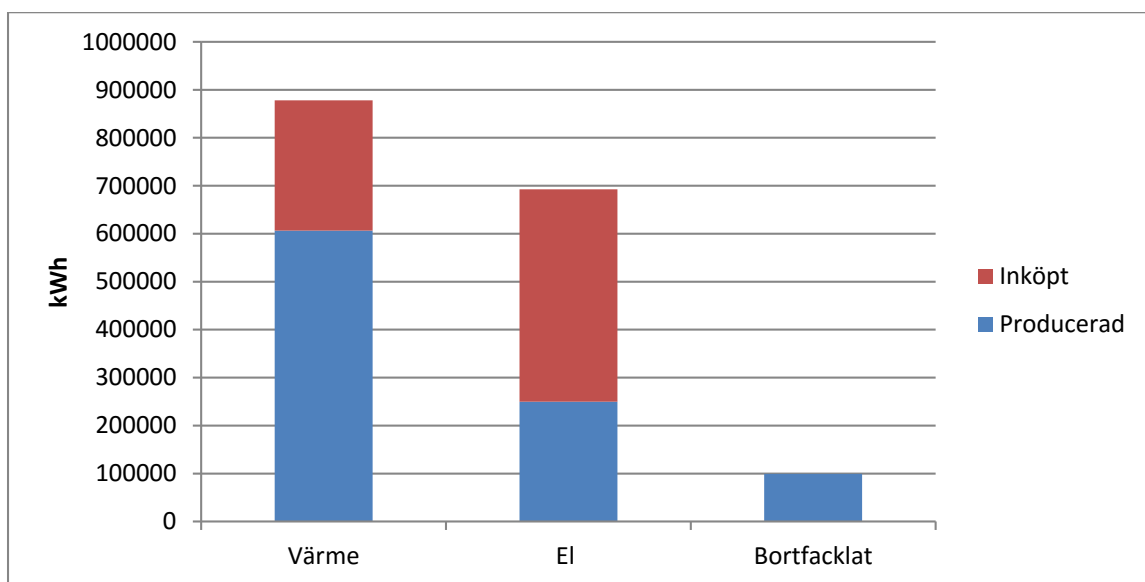
7. EKONOMI FÖR BIOGASANVÄNDNINGEN

I detta stycke skall vi undersöka vad som händer med biogasprocessen om en eventuell slam/slam-värmeväxlare och en kombibrännare installeras. Om en slam/slam-värmeväxlare installeras kommer, som tidigare nämnts, värmebehovet från den oljeeldade pannan att minska och gasmängden kommer att öka eftersom temperaturen i röt-kammaren blir stabilare. I detta stycke skall vi alltså då granska hur vi kan utnyttja gasen maximalt för att sedan undersöka hur mycket man kunde spara med de olika lösningarna.

7.1. Kostnadsanalys för de olika installationerna

Vi skall här presentera de installationsalternativen vi undersökt för att se vilken typ av installation som lämpar sig bäst. Det man vill uppnå är att använda så lite olja som möjligt samt att producera så mycket el och värme som möjligt. Detta lyckas genom att producera mera gas för att få mera driftstimmar på gasmotorn och istället för att elda i oljepannan använda den tänkta kombibrännaren. Priserna som använts i beräkningarna är 1,05 €/l olja, vilket motsvarar 0,105 €/kWh. För elen har vi använt oss av priset 0,135 €/kWh. Priset för elen har fastställts av elräkningar, där vi dividerat priset på elräkningen med den förbrukade mängden el för att få ett medelvärde.

Från figur 18 får vi reda på hur mycket energi som köpts in i form av olja och el samt hur mycket energi som producerats genom användning av gaspanna och gasmotor. Vi kan även se hur mycket gas som facklats bort.



Figur 18 Energifördelning mellan perioden september 2015 till februari 2016.

Observera att dessa energimängder är mellan tidsperioden september 2015 till februari 2016 i alla diagram härifrån och framåt.

Det svåra med dessa beräkningar är att ta allt i beaktande, eftersom så många faktorer hänger ihop. Vi har räknat på fyra olika fall, en konventionell slam/slam-värmeväxlare, ett system med en slam/slam-värmeväxlare med återcirkulation av rötslammet, konventionell slam/slam-värmeväxlare tillsammans med en kombibrännare och ett fall med slam/slam-värmeväxlare med återcirkulation samt kombibrännare.

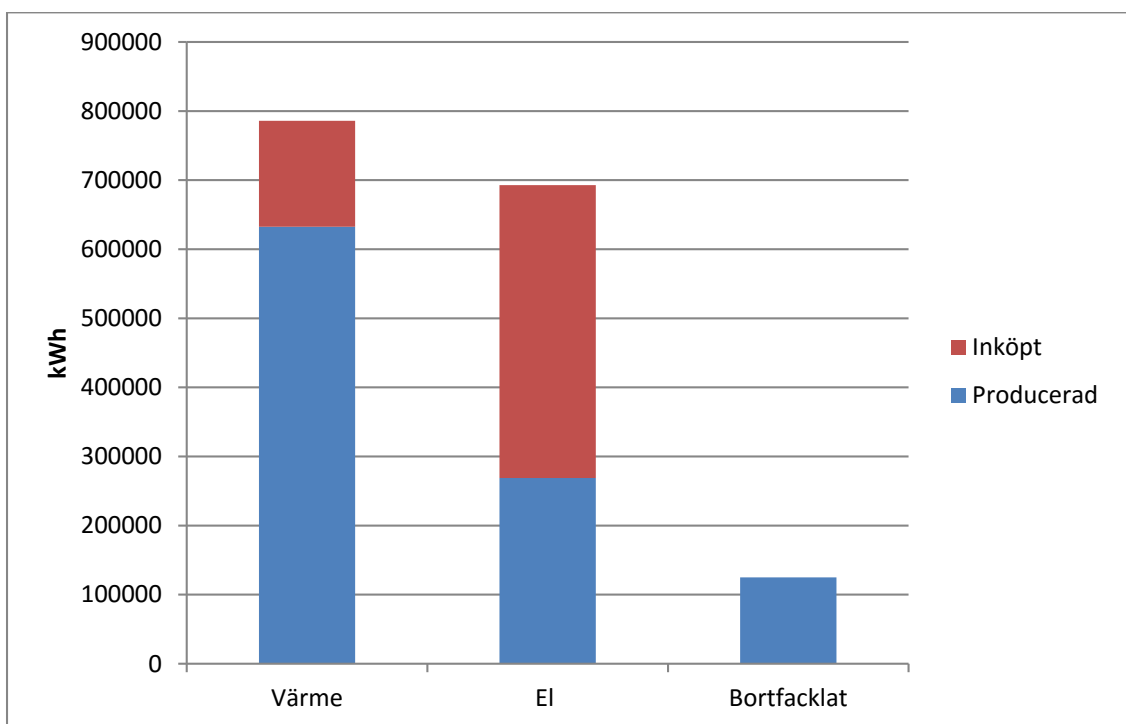
Då vi räknat på slam/slam- värmeväxlarna har vi använt oss av effekter på 32 kW respektive 24 kW. Det som också tagits i beaktande är att man inte har ett kontinuerligt flöde genom värmeväxlarna, eftersom reningsverket är obemannat på helgerna. Vi har därför valt att räkna med att slammet passerar värmeväxlarna under dygnets alla timmar, 5 dagar i veckan. I beräkningarna som omfattar värmeväxlare har vi antagit att gasproduktionen ökar med 3000 m³ gas per månad med installationen av konventionell slam/slam-värmeväxlare samt 2500 m³ per månad med installation av slam/slam-värmeväxlare och rötslamcirkulation. Gasen fördelas sedan så att gasmotorn har prioritet ett, vilket betyder att gasmotorn använder så mycket gas som möjligt för att uppnå sina maximala drifttid på 720 timmar per månad. Gasen som gasmotorn inte kan förbruka används sedan vid behov i gaspannan samt i kombibrännaren. All överlopps gas facklas bort. Vi har även tagit i beaktande att gasmotorn är känslig för dålig gaskvalitet. Genom att räkna hur många timmar gasmotorn gått med en viss mängd producerad gas kom vi fram till att den använder mellan 65 % och 71 % av gasen. Vi har därför bestämt att anta att gasmotorn endast kunde använda 67,5 % av gasmängden värmeväxlarna tillför, för att vara på säkra sidan. Kalkylräntan vi använt oss av är 2,5 % och är den ränta vi använt i alla våra investeringskalkyler.

Eftersom vi inte haft tillgång till mätdata från en längre tidsperiod än september-februari är investeringskalkylerna baserade på just denna period. Under resterande månader är värmebehovet mycket mindre eftersom det är varmare ute då vilket innebär att oljebehov också är minimalt. Den lilla gasmängd som skulle tillföras genom att installera en slam/slam-värmeväxlare skulle då användas i gasmotorn, som redan nu nästan går sina maximala driftstimmar per månad. På grund av detta anser vi, för att vara på den säkra sidan, att man utifrån data från september till februari kan göra investeringskalkylerna årliga istället för

halvåriga. Detta just på grund av den lilla besparing som kunde göras under det varma halvåret.

7.1.1. Slam/slam-värmeväxlare

Tanken med att installera en slam/slam-värmeväxlare är att förvärma slammet innan det kommer till röt-kammaren. Genom detta minskas värmebehovet från oljepannan vilket leder till att oljekostnaderna minskar och att gasmotorn samt gaspannan nu har mer gas att förbruka. Då man valt att ha gasmotorn som prioritet ett kommer gasen i första hand att förbrukas där. Nackdelen med denna typ av installation jämfört med installationen med värmeväxlare och kombibrännare är att vi här måste fackla mera gas, eftersom allt inte kan förbrukas. I figur 19 kan vi se att energifördelningen ändras genom att det inköpta värmebehovet minskas samt att vi nu kan producera mera el. Vi ser också att mängden bortfacklad energi ökar. Orsaken till detta är att vi nu har ökat gasproduktion men fortfarande har samma gasförbrukare som i dagsläget, alltså en gasmotor och en gaspanna. Gasmotorns drifttimmar ökar då den har mera gas att använda vilket producerar både värme och el.



Figur 19 Energifördelningen om en konventionell slam/slam-värmeväxlare skulle installeras.

Från tabell 2 kan vi se att återbetalningstiden skulle landa på 5,6 år.

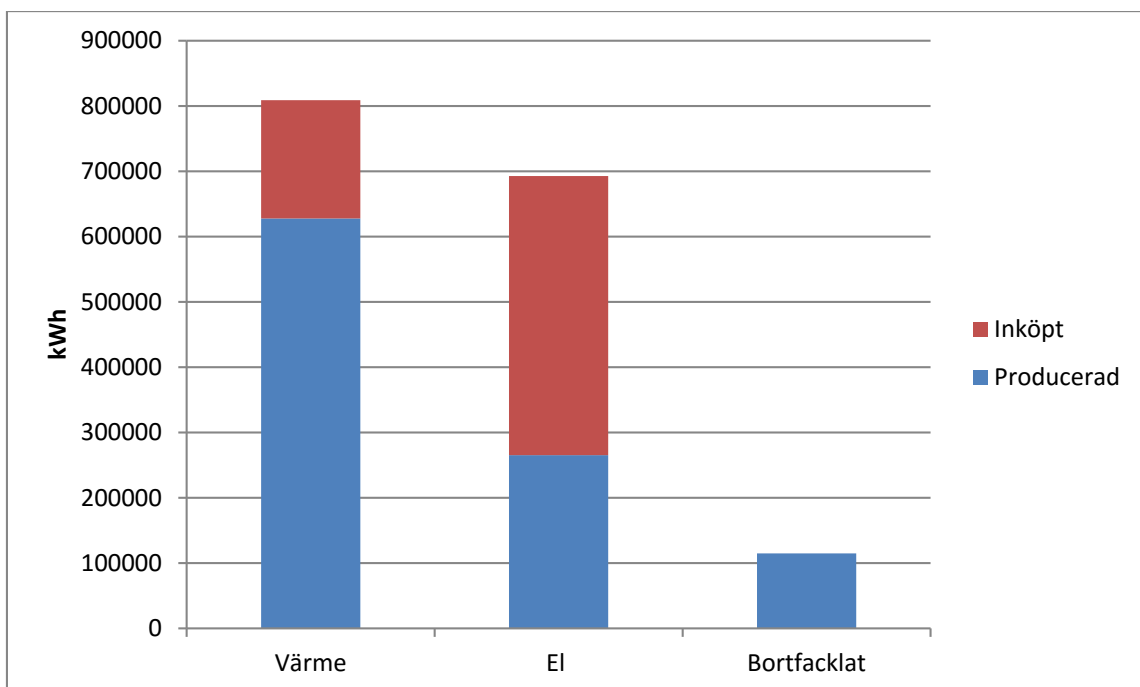
Tabell 2 Investeringskalkyl för installation av endast en slam/slam-värmeväxlarenhet.

Endast VVX					
Oljekostnader					
Dagens oljekostnad	28517,0	€	Ny oljekostnad	16105,4	€
Producerad el					
Dagens elproduktion	33721,9	€	Ny elproduktion	36279,1	€
Investeringskostnad			Inbesparing med ny investering		
2st VVX	55000	€	Besparing	14968,6	€
Installation av VVX	10000	€	Kalkylränta	2,5 %	
Totalt	65000	€	Återbetalning	5,6	år
Nuvärde av inbesparing			Ackumulerade nuvärde		
År 1	14603,6	€	År 1	14603,6	€
År 2	14247,4	€	År 2	28850,9	€
År 3	13899,9	€	År 3	42750,8	€
År 4	13560,9	€	År 4	56311,6	€
År 5	13230,1	€	År 5	69541,7	€
År 6	12907,4	€	År 6	82449,2	€
År 7	12592,6	€	År 7	95041,8	€
År 8	12285,5	€	År 8	107327,2	€
År 9	11985,8	€	År 9	119313,0	€
År 10	11693,5	€	År 10	131006,5	€

7.1.2. Slam/slam-värmeväxlare med cirkulation av rötslammet

Denna installation är som tidigare nämnts i stort sett lika som den vanliga slam/slam-värmeväxlarinstallationen. Dock tillkommer här lite högre installationskostnader eftersom extra rör samt en pump måste installeras.

Också effekten är här lägre eftersom temperaruten på slammet stigit då det cirkulerats, vilket minskar verkningsgraden på värmeväxlarna. Med denna metod undviker man dock beläggningar som kan uppstå med lägre slamflöde och upprätthåller effekten på värmeväxlarna längre. Jämför man energifördelningarna i figur 19 och 20 ser man att skillnaden är liten men ändå märkbar.



Figur 20 Energifördelningen då vi cirkulerar rötslammet för att få ett högre flöde.

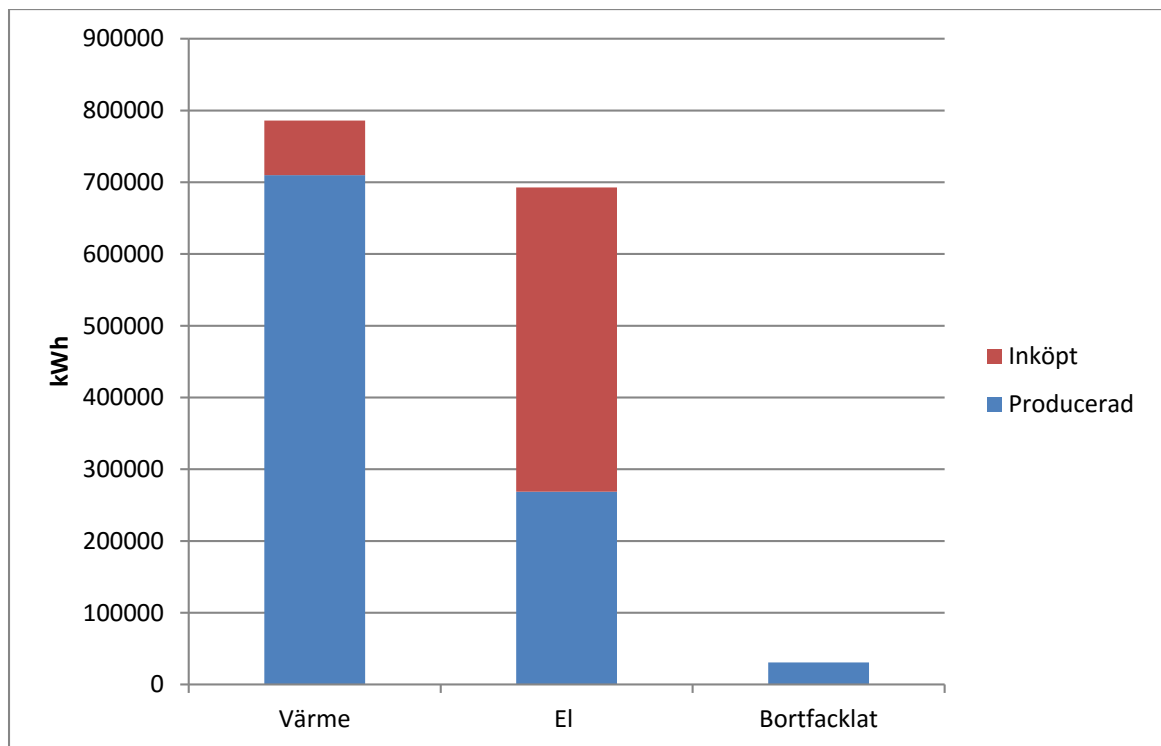
Från tabell 3 ser vi att återbetalningstiden nu stigit från föregående fall. Återbetalningstiden för denna typ av installation skulle bli 7,7 år, vilket är ca 2 år längre än fallet ovan.

Tabell 3 Investeringskalkyl för lösningen med värmeväxlarenhet samt cirkulation av rötslammet.

VVX + Rötslam				
Oljekostnader				
Dagens oljekostnad	28517,0	€	Ny oljekostnad	18524,6 €
Producerad el				
Dagens elproduktion	33721,9	€	Ny elproduktion	36279,1 €
Investeringskostnad			Besparing av ny investering	
2st VVX	55000	€	Besparing	11579,6 €
Installation av VVX	15000	€	Kalkylränta	2,5 %
Totalt	70000	€	Återbetalning	7,7 år
Nuvärde av inbesparing			Ackumulerade nuvärde	
År 1	11297,2	€	År 1	11297,2 €
År 2	11021,6	€	År 2	22318,8 €
År 3	10752,8	€	År 3	33071,6 €
År 4	10490,6	€	År 4	43562,2 €
År 5	10234,7	€	År 5	53796,9 €
År 6	9985,1	€	År 6	63781,9 €
År 7	9741,5	€	År 7	73523,5 €
År 8	9503,9	€	År 8	83027,4 €
År 9	9272,1	€	År 9	92299,5 €
År 10	9046,0	€	År 10	101345,5 €

7.1.3. Slam/slam-värmeväxlare med kombibrännare

Med denna installation ökar gasproduktion i samma mängd som i stycket 7.1.1. Skillnaden här är att gasen som inte gasmotorn och gaspannan kan förbruka nu kan användas i kombibrännaren, vilket bidrar till en ännu lägre oljekostnad. Denna installation tillför mest energi av de fyra olika fallen, vilket vi kan se i figur 21 och i tabell 4. I figur 21 har vi dock optimala förhållanden utan beläggningar osv. Små beläggningar skulle säkert uppstå med tiden vilket bidrar till sänkt effekt. Skulle denna lösning installeras skulle investeringskalkylen se ut enligt tabell 4.



Figur 21 Så här ser energifördelningen ut om en slam/slam-värmeväxlare samt en kombibrännare skulle installeras.

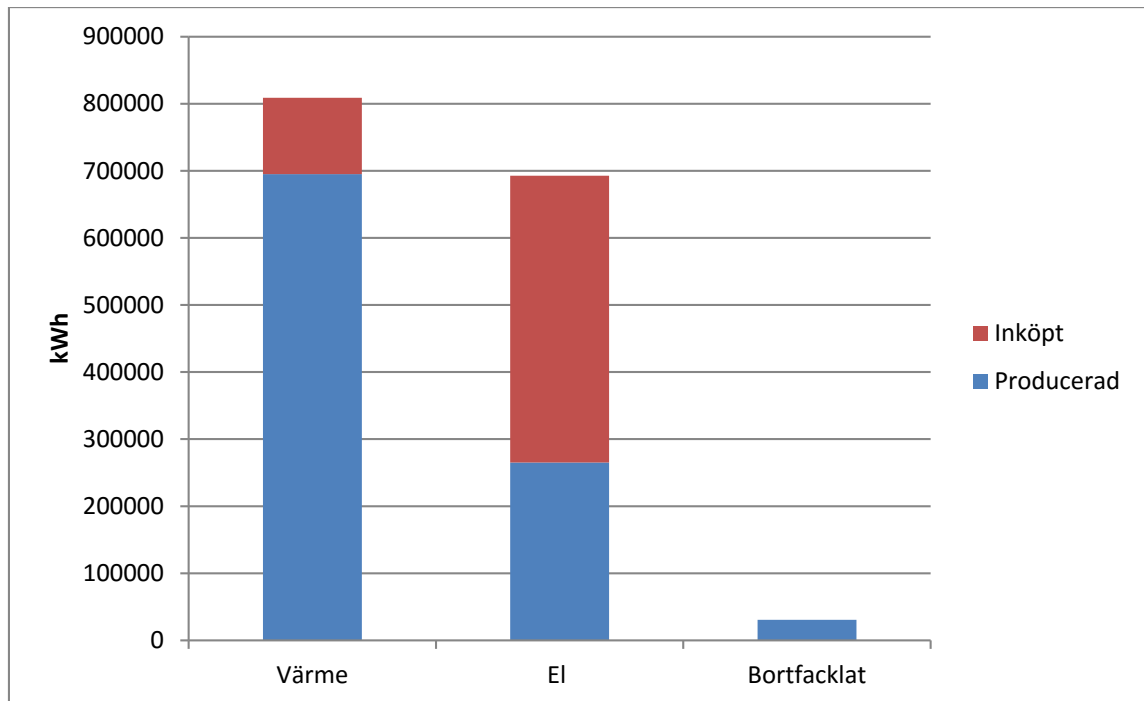
Med denna lösning minskar återbetalningstiden till 4,2 år som vi kan se i tabell 4. Detta börjar vara innanför ramarna för stadens önskade återbetalningstid.

Tabell 4 Investeringskalkyl för lösningen med slam/slam-värmeväxlare samt en kombibrännare.

VVX + Kombibrännare					
Oljekostnader					
Dagens oljekostnad	28517,0	€	Ny oljekostnad	7974,2	€
Producerad el					
Dagens elproduktion	33721,9	€	Ny elproduktion	36279,1	€
Investeringskostnad			Besparing med ny investering		
2st VVX	55000	€	Besparing	23099,8	€
Installation	10000	€	Kalkylränta	2,5 %	
Kombibrännare	7800	€	Återbetalningstid		
Installation	2200	€	4,2 år		
Totalt	75000	€			
Nuvärde av inbesparing			Ackumulerade nuvärde		
År 1	22536,4	€	År 1	22536,4	€
År 2	21986,8	€	År 2	44523,2	€
År 3	21450,5	€	År 3	65973,7	€
År 4	20927,3	€	År 4	86901,0	€
År 5	20416,9	€	År 5	107317,9	€
År 6	19918,9	€	År 6	127236,8	€
År 7	19433,1	€	År 7	146669,9	€
År 8	18959,1	€	År 8	165629,0	€
År 9	18496,7	€	År 9	184125,7	€
År 10	18045,6	€	År 10	202171,3	€

7.1.4. Slam/slam-värmeväxlare med cirkulation på rötslammet och kombibrännare

Ifall denna lösning skulle väljas innebär det att man här har samma gasökning som i stycket 7.1.2. men här ännu ha en kombibrännare installerad. Energifördelningen skulle då se ut som i figur 22.



Figur 22 Energifördelning med slam/slam-värmeväxlare med cirkulation av rötslammet samt en kombibrännare.

Denna installation tillför inte lika mycket energi som i installationen i stycket 7.1.2. men är säkrare med tanke på beläggningar i tuberna. Investeringskalkyl för denna installation kan studeras i tabell 5.

Tabell 5 Investeringskalkylen för lösningen med slam/slam-värmeväxlarenhet, kombibrännare samt cirkulation av rötslammet.

VVX/Rötslam + Kombibrännare				
Oljekostnader				
Oljekostnad	28517,0	€	Oljekostnad	10393,4 €
Producerad el				
Dagens elproduktion	33721,9	€	Ny elproduktion	36279,1 €
Investeringskostnad			Besparing med ny investering	
2st VVX	55000	€	Besparing	18647,7 €
Installation	15000	€	Kalkylränta	2,5 %
Kombibrännare	7800	€	Återbetalningstid	
Installation	2200	€	5,5 år	
Totalt	80000	€		
Nuvärde av inbesparing			Ackumulerade nuvärde	
År 1	18192,9	€	År 1	18192,9 €
År 2	17749,1	€	År 2	35942,0 €
År 3	17316,2	€	År 3	53258,2 €
År 4	16893,9	€	År 4	70152,1 €
År 5	16481,8	€	År 5	86634,0 €
År 6	16079,8	€	År 6	102713,8 €
År 7	15687,7	€	År 7	118401,4 €
År 8	15305,0	€	År 8	133706,5 €
År 9	14931,7	€	År 9	148638,2 €
År 10	14567,5	€	År 10	163205,7 €

Med denna lösning har vi en återbetalningstid på 5,5 år vilket är lite längre än med lösningen i stycke 7.1.3. Denna lösning är dock, som tidigare nämnts, den lösningen som är säkrast med tanke på att undvika beläggningar och på så vis upprätta hålla det maximala värmeutbytet i värmeväxlarna under en längre tid.

7.1.5. Endast kombibrännare

Denna lösning skulle inte tillföra något till gasproduktionen men skulle däremot göra så att gasanvändningen skulle bli flexiblare. Oljeanvändningen skulle minska eftersom denna brännare då skulle använda sig av gasen som idag facklas bort. Detta är heller ingen dyr investering vilket vi kan se i tabell 6.

Tabell 6 Investeringskalkyl för kombibrännaren.

Kombibrännare					
Oljekostnader					
Dagens oljekostnad	28517,0	€	Ny oljekostnad	21316,8	€
Investeringskostnad			Besparing av nya investering		
Kombibrännare	7800	€	Besparing	7200,2	€
Installation	2200	€	Kalkylränta	2,5 %	
Totalt	10000	€	Återbetalningstid	1,8	år
Nuvärde av inbesparing			Ackumulerade nuvärde		
År 1	7024,6	€	År 1	7024,6	€
År 2	6853,3	€	År 2	13877,8	€
År 3	6686,1	€	År 3	20563,9	€
År 4	6523,0	€	År 4	27087,0	€
År 5	6363,9	€	År 5	33450,9	€
År 6	6208,7	€	År 6	39659,6	€
År 7	6057,3	€	År 7	45716,9	€
År 8	5909,5	€	År 8	51626,4	€
År 9	5765,4	€	År 9	57391,8	€
År 10	5624,8	€	År 10	63016,6	€

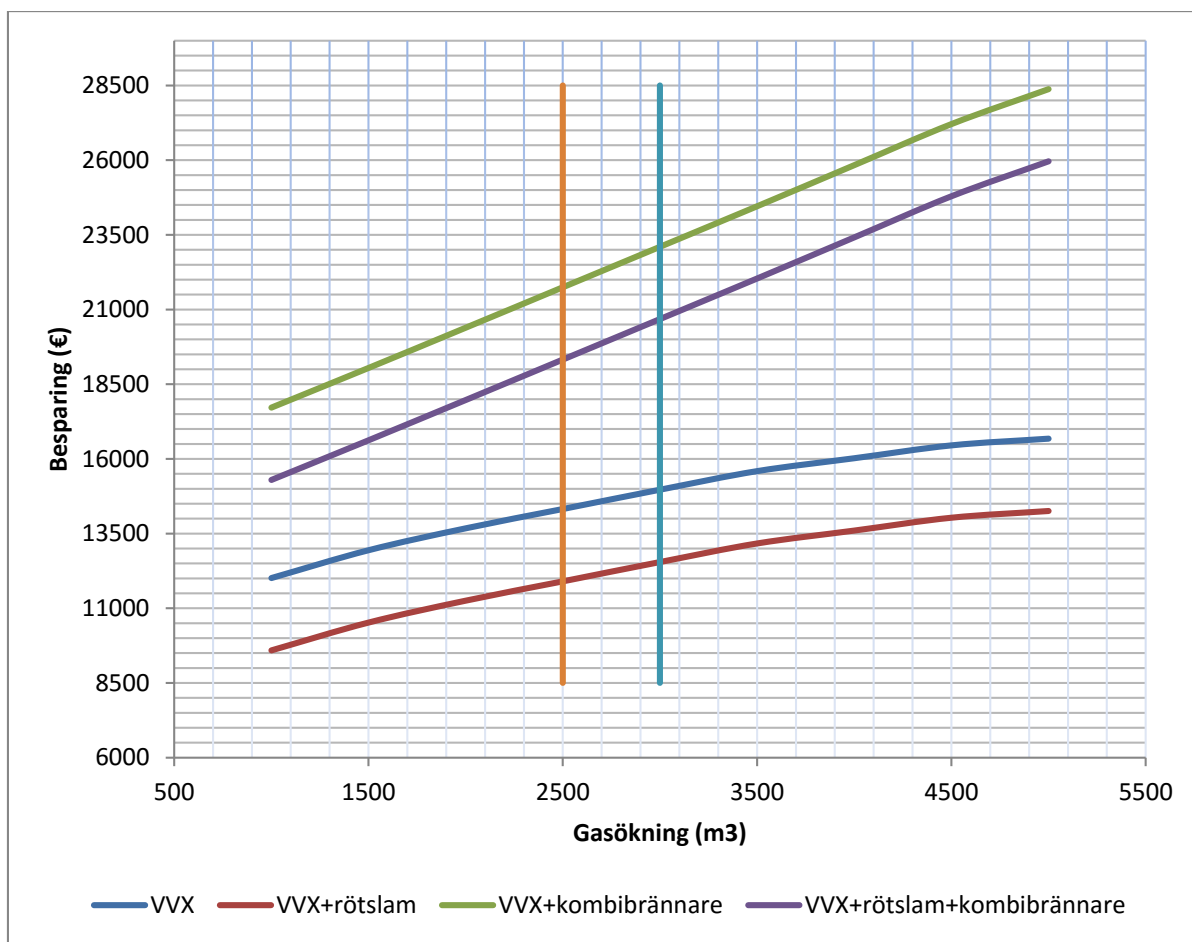
Från tabell 6 kan vi se att återbetalningstiden för kombibrännaren är 1,8 år. Denna återbetalningstid är helt klart inom stadens önskemål, vilket gör att detta är en lösning man genast borde investera i. Denna lösning kräver heller inte mycket underhåll och det underhåll som krävs borde personalen på reningsverket i stort sett klara av att utföra själv.

7.2. Känslighetsanalys för de olika lösningarna

För att få en bättre inblick över hur känsliga investeringskalkylerna är har vi bestämt oss att göra en känslighetsanalys för att se vad som påverkar mest. Man kan då se vad som händer med t.ex. återbetalningstiden om kalkylräntan ökar eller om gasproduktionen av någon orsak skulle minska med t.ex. 10 %.

7.2.1. Ändrat gasflöde

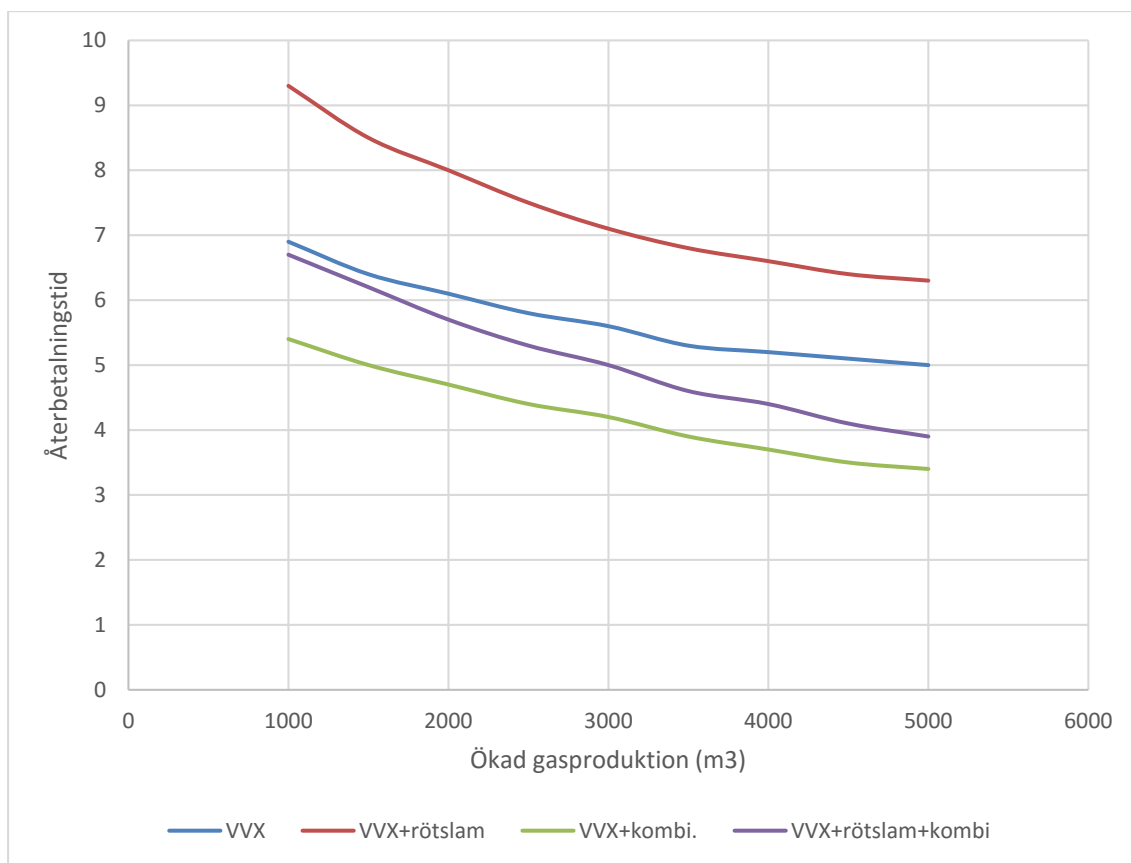
Gasproduktion är en av de faktorerna som spelar störst roll med tanke på hur mycket man kan spara vilket kan konstateras ur figur 23. Det är också den faktorn som mest kommer att variera med tanke på utetemperaturer och flöden in i reningsverket ständigt varierar.



Figur 23 Gasökningens påverkan på hur mycket som kan sparas.

Det vi tydligt kan se från diagrammet i figur 23 är att de lösningar som omfattar kombibrännaren har en brantare lutning, vilket innebär att redan en liten ändring i gasmängden spelar in i hur mycket som kan sparas. Kurvorna som endast omfattar värmeväxlare har en flackare lutning eftersom de är mindre beroende av gasen då inga nya gasförbrukare installeras. De vertikala sträckerna är markeringar för antagna gastillökningar på 3000 m³ och 2500 m³, som vi beskrivit i stycke 7.1.

I figur 24 kan vi även studera vad som händer med återbetalningstiden vid olika gasökningar. I figur 24 kan vi också här se att de kurvor som har de brantaste lutningarna är de lösningar som innebär en installation av en kombibrännare. Den brantaste kurvan har dock lösningen med slam/slam-värmewäxlare med cirkulation av rötslammet. Orsaken till detta är att skillnaden på oljeförbrukningen mot de andra här är mycket större. Denna lösning ger alltså så liten effekt från värmewäxlarna att mängden inköpt värme är stor.

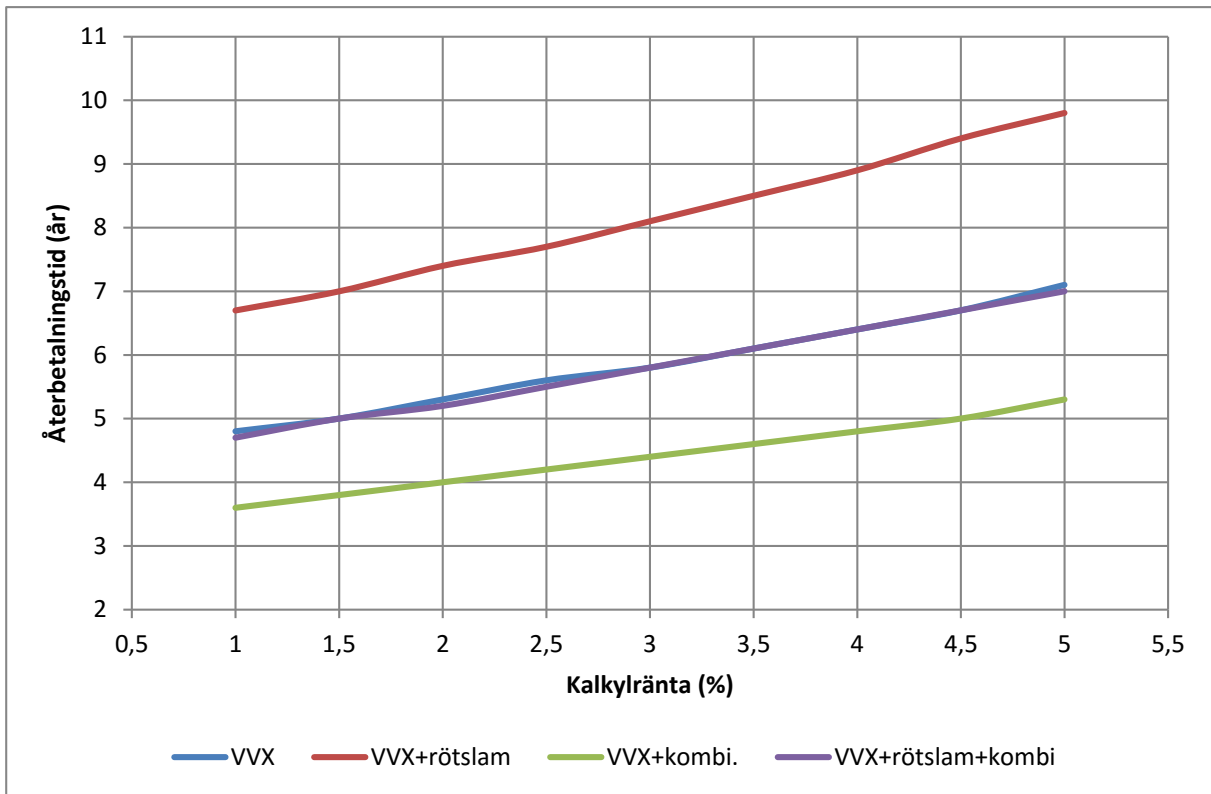


Figur 24 Gasmängdens påverkan på återbetalningstiden.

7.2.1. Ändrad kalkylränta

I detta avsnitt skall vi granska hur kalkylräntan påverkar slutresultatet för att få en uppfattning över hur känsliga våra resultat är. I figur 25 kan vi studera återbetalningstiderna för de olika lösningarna ifall kalkylräntan ändras.

Vi kan här se att installation av slam/slam-värmeväxlare och slam/slam-värmeväxlare med cirkulation av rötslammet och en kombibrännare har i stort sett liknande kurvor. Detta innebär att de har samma återbetalningstid fastän man i den ena lösningen har införskaffat mera utrustning för ett dyrare pris. Vi kan också se att den röda kurvan, alltså kurvan för slam/slam-värmeväxlare med cirkulation av rötslammet, har brantast lutning. Det är alltså den lösningen som är mest känslig för ändringar i kalkylräntan.



Figur 25 Kalkylräntans påverkan på återbetalningstiden.

8. SLUTSATSER

Vårt förslag är att direkt investera i en kombibrännare eftersom den är relativt billig och att återbetalningstiden är så pass kort som 1,8 år. Med denna lösning ändras heller inga driftsparametrar med tanke på gasproduktion osv. vilket gör att den snabbt och enkelt kan installeras. Genom att installera kombibrännaren kan man då minska på den bortfacklade gasens mängd och på så vis också minska på mängden inköpt olja.

Den lösningen som på längre sikt lönar sig är att installera en slam/slam-värmeväxlare med cirkulation av rötslammet i kombination av en kombibrännare. Denna lösning har en längre återbetalningstid än vad man på staden önskar vilket gör att den kanske inte ser intressant ut. Man bör dock tänka på att den tänkta värmeväxlarenheten är väldigt driftssäker och kräver minimalt underhåll. Tänker man då att värmeväxlarenheten har en livslängd på ca 25 år är återbetalningstiden på 5,5 år relativt kort. Man bör även ta i beaktande att ifall verket planerar att utvidgas kommer detta att innebära att flödena genom rökammaren troligtvis kommer att öka vilket leder till att värmeväxlarenheten blir effektivare.

Angående ventilationen ser vi ingen lönsamhet i att installera en luft/vatten-värmeväxlare. Den kan inte användas i dagens system eftersom den inte klarar av de vattenflöden som förvärmningssystemet kräver för att köras optimalt.

8.1. Utvärdering

Även vi skall, som Fyrvall och Al-Husseiny också gjorde, diskutera hur pass tillförlitligt arbetet är. Eftersom en rad olika nyinstallationer gjorts under den senaste tiden har det varit väldigt svårt för oss att kunna använda oss av mätdata som noterats tidigare än september 2015 vilket försvårat arbetet. Det påverkar också hur tillförlitliga våra beräkningar är eftersom vi inte t.ex. vet hur mycket överloppsgas det kommer att finnas under sommarmånaderna eftersom gasmotorn aldrig körts som den skall då. Vi har också valt att inte använda oss av mätvärden som varierar kraftigt från de övriga. Det har också varit extremt svårt att göra beräkningar på gasanvändningen eftersom så många parametrar hänger ihop och påverkar varandra.

Arbetet har krävt mycket mera tid än vad vi från början tänkte och vi har under arbetets gång stött på många problem som gjort att vi har tvingats tänka i helt andra banor än vad vi från början gjorde. Arbetet har på så vis varit väldigt utmanande men också väldigt givande.

8.2. Utvecklingsmöjligheter

Under arbetets gång har vi stött på saker som kunde undersökas för att se om möjlighet för förbättring finns. En av dessa saker är ventilationssystemet. Man bör undersöka om man kan ta tillvara på den använda varma luften som nu åker rakt ut från reningsverket genom att t.ex. installera en rotor. Här skulle man också kunna undersöka om det lönar sig att ha kvar den befintliga ventilationsluftsfövärmningen eller om det är effektivare att ta den ur bruk och endast ha en rotor. Med en rotor skulle man då med hjälp av den ”förbrukade” uppvärmda ventilationsluften värma den kalla inkommande ventilationsluften.

Man bör även undersöka pannornas styrsystem då det kommit till kännedom att t.ex. gaspannan har kunnat stå still över en helg eftersom inga alarm för detta kommit. Vid sådana fall startar oljebrännaren vilket innebär att dyr olja används istället för gas. Man kunde också undersöka hur optimalt pannsystemet egentligen är med tanke på att vattnet nu cirkulerar genom pannorna fastän de inte går. För att undvika detta kunde t.ex. reglerbara ventiler på utgående vattenrör från pannan installeras. Dessa ventiler skulle då förhindra att vattnet pumpas genom t.ex. oljepannan då endast gaspannan används. Man bör dock ta i beaktande det att inte är nyttigt för pannorna att bli helt kalla. Därför kunde man kanske ha ett litet vattenflöde genom den eller de pannor som inte används för tillfället. För tillfället sitter endast en givare som mäter temperaturen på det utgående vattnet. Denna givare är placerad efter pumpen. Vi tror dock att det skulle vara bättre att ha temperaturgivare direkt efter varje panna.

Också systemet för förvärmning av ventilationsluften har sina brister. Man mäter idag temperaturen på det inkommande avloppsvattnet istället för det utgående utloppsvattnet. Det utgående utloppsvattnet är ca 2°C varmare än det inkommande avloppsvattnet. Skulle man istället styra systemet så att förvärmningen är igång då utloppsvattnet är 5°C varmare än uteluften skulle systemet vara igång mera än vad det idag är. Denna brist borde vara relativt lätt att åtgärda och skulle även minska oljeanvändandet då mängden köpt värme från pannorna minskar.

REFERENSER

- Alvarez, H. (2006). *Energiteknik*. Lund: Studentlitteratur.
- Brönning, P., & Jakobsson, L. (den 15 Oktober 2014). Förstudie Lotsbroverket. Solna, Sverige.
- Eierholen, T. (den 12 Februari 2016). Säljingenjör. (C. Wallén, & N. Nyholm, Intervjuare)
- Engineering toolbox. (2016). *Mixing fluids*. Hämtat från Engineering toolbox:
http://www.engineeringtoolbox.com/mixing-fluids-temperature-mass-d_1785.html
- Fyrvall, J., & Al-Husseiny, I. (2014). *Optimering av energianvändandet på Lotsbroverket*.
Mariehamn: Högskolan på Åland.
- Haug, F. (2015-2016). Överlärare i teknik. (C. Wallén, & N. Nyholm, Intervjuare)
- Heinonen, M. (Februari 2016). Jälkifosfori enhetschef. (N. Nyholm, Intervjuare)
- Henriksson, G. (2015-2016). Överlärare. (C. Wallén, & N. Nyholm, Intervjuare)
- Holm, R. (Februari 2016). Marketing and Sales Director, Läckeby Products. (C. Wallén, Intervjuare)
- Höyrytys Oy. (2014). *Motordata*.
- Kimari, P. (2001). *Lämpötilan vaikutus nitrifikaationopeuteen Turun jätevedenpuhdistamolla*. Turku: Turun ammattikorkeakoulu.
- Nylund, J., & Myllymäki, O. (Mars 2016). Technical sales, Sales engineer. (N. Nyholm, Intervjuare)
- Purac. (2007). *Processmanual*. Purac.
- Ölly- ja biopolttaineala ry. (2015). *1.1 Öljytuotteiden kuluttajahintaseuranta*. Hämtat från Ölly & Biopolttaineala: <http://www.oil.fi/fi/tilastot-1-hinnat-ja-verot/11-oljytuotteiden-kuluttajahintaseuranta> den 2 12 2015

BILAGOR

BILAGA 1: Slam/slam-värmeväxlarenhet, beräkning

BILAGA 2: Slam/slam-värmeväxlarenhet, beräkning med slamcirkulation

BILAGA 3: Slam/slam-värmeväxlarenhet

BILAGA 4: Luft/vatten-värmeväxlare, beräkning

BILAGA 5: Luft/vatten-värmeväxlare, ritning

BILAGA 1

Slam/slam-värmeväxlarenhet, beräkning

Dimensionering - Värmeväxlarenhet slam/slam

Projekt: **Lotsbroverket**
 Proj.del:
 Position: **Värmeåtervinning vid 15grC**

Utförd av: Robert Holm
 Skapad: 16-02-12
 Rev.dat:

Version: 2010-12-15

Typ av värmeväxlare: VSV 40 - 1 20	L= 3,00
---	----------------

VSV 40

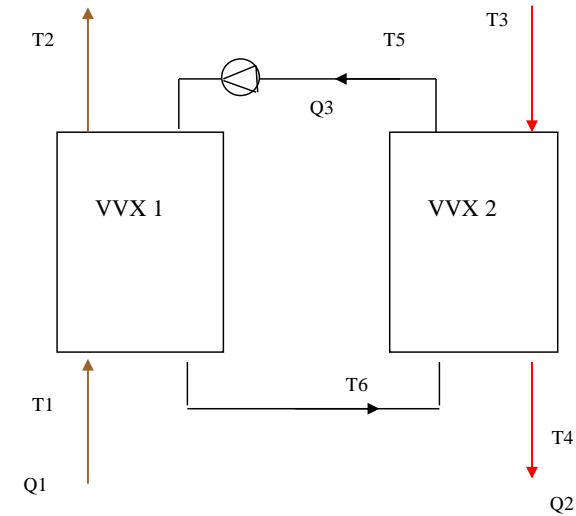
Slam/vatten-data

		RÅSLAM		RÖTSLAM	
		1 (slam)	2 (vatten)	1 (slam)	2 (vatten)
Flöde nr					
Densitet r	Kg/m ³	1017	1000	1017	1000
Värmekapacitet c	J/kg,K	3970	4180	3970	4180
Värmeledningsförmåga	W/m,K	0,56	0,56	0,56	0,56
Värmeledningsförmåga rörvägg	W/m,K	15		15	
Mättemperatur t	°C	10	10	10	10
Kinematisk viskositet n	m ² /s*10 ⁻⁶	49,44	1,40	14,96	1,40
Ingående temperatur ti	°C	15,0	27,7	36,0	24,9
Viskositet in	m ² /s*10 ⁻⁶	44,00	0,94	8,50	1,00
Förväntad utg. Temp.	°C	24,7	24,9	26,1	27,7
Viskositet ut	m ² /s*10 ⁻⁶	35,49	1,00	10,42	0,94
Viskositet medel	m ² /s*10 ⁻⁶	39,45	0,97	9,40	0,97
Prandtl-tal medel	Prm	284,4	7,3	67,7	7,3

Dimensionering av växlare

		RÅSLAM		RÖTSLAM	
		1 (slam)	2 (vatten)	1 (slam)	2 (vatten)
Flöde nr					
Tubdiameter, inv	DI mm	40,5		40,5	
Tubdiameter, utv	DY mm	44,5		44,5	
Tjocklek tubrör	t mm	2,0		2,0	
Kanalbredd flöde 2	G mm		65,0		65,0
Hydraulisk Diameter	d _h mm	40,5	26,7	40,5	26,7
Inloppstemperatur	TI °C	15,0	27,7	36,0	24,9
Flöde, totalt	MT m ³ /h	3,0	10,0	3,0	10,0
Flöde, totalt	l/s	0,83	2,78	0,83	2,78
Rörlängd/steg	Ll m	3,00	3,0	3,00	3,0
Antal plan	N st	20	20	20,00	20
Antal slingor / plan	NR st	1	1	1,00	1
Hastighet	V m/s	0,65	1,04	0,65	1,04
Friktionskoefficient	F	0,100	0,027	0,038	0,027
Reynold's tal Medel	Re	664	28 609	2 789	28 603
Värmeövergångstal,	H W/m ² ,K	994	5023	1922	5023
Värmegenomgångstal,	K W/m ² ,K	747		1173	
Re ingående	Rei	596	29 467	3 083	27 757
Re utgående	Reu	739	27 768	2 515	29 467
Utgående temperatur	°C	24,7	24,9	26,1	27,7
Skuvningshastighet	S ⁻¹	127,8		127,8	
Tryckfall	mVP	4,9	5,9	2,6	5,9
Effekt	kW	32		-33	

RÅSLAM		RÖTSLAM	
P=	32 KW	P=	-33 KW
T ₁ =	15,0 °C	T ₃ =	36,0 °C
T ₂ =	24,7 °C	T ₄ =	26,1 °C
T _{5a} =	27,7 °C	T _{5b} =	27,7 °C
T _{6a} =	24,9 °C	T _{6b} =	24,9 °C
Tryckfall slam	4,9 mVP	Tryckfall slam	2,6 mVP
Tryckfall vatten	5,9 mVP	Tryckfall vatten	5,9 mVP
Slamvolym:	77 l	Slam volym /st	77 l
Vattenvolym	160 l	Vattenvolym /st:	160 l
Temp.verkn.grad:	76,6%		



Råslam	Rötslam
K= 1,5	K= 0,5
n= 0,3	n= 0,28
v= 49,4	V= 15,0

Vattenblandning	
Procent Glykol:	0%
Procent Vatten:	100%

Teknisk spec. / st	Slamsida	Vattensida
Längd: 3,7 m	Design tryck: (mVP) 80,0	80,0
Bredd: 0,2 m		
Total Höjd: 1,9 m	Varav Benstöd = 0,4 m	
Vikt (tom): 911 kg		
Vikt (Full): 1150 kg		

BILAGA 2

Slam/slam-värmeväxlarenhet, beräkning med slamcirkulation

Dimensionering - Värmeväxlarenhet slam/slam

Projekt: **Lotsbroverket**
 Proj.del:
 Position: **Värmeåtervinning vid 15grC+rötslam**

Utförd av: Robert Holm
 Skapad: 16-02-12
 Rev.dat: 16-03-17

Version: 2010-12-15

Typ av värmeväxlare: VSV 40 - 1 14	L= 3,00
---	----------------

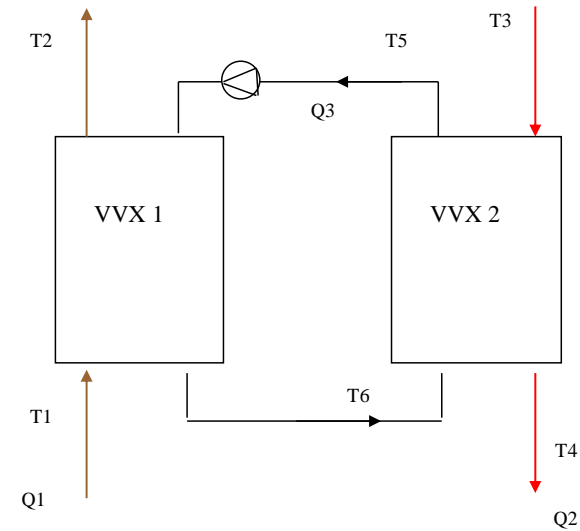
Slam/vatten-data

		RÅSLAM		RÖTSLAM	
		1 (slam)	2 (vatten)	1 (slam)	2 (vatten)
Flöde nr					
Densitet r	Kg/m ³	1017	1000	1017	1000
Värmekapacitet c	J/kg,K	3970	4180	3970	4180
Värmeledningsförmåga	W/m,K	0,56	0,56	0,56	0,56
Värmeledningsförmåga rörvägg	W/m,K	15		15	
Mättemperatur t	°C	10	10	10	10
Kinematisk viskositet n	m ² /s*10 ⁻⁶	26,95	1,40	14,96	1,40
Ingående temperatur ti	°C	20,3	28,8	36,0	26,7
Viskositet in	m ² /s*10 ⁻⁶	21,29	0,92	8,50	0,96
Förväntad utg. Temp.	°C	25,8	26,7	28,6	28,8
Viskositet ut	m ² /s*10 ⁻⁶	18,90	0,96	9,89	0,92
Viskositet medel	m ² /s*10 ⁻⁶	20,05	0,94	9,16	0,94
Prandtl-tal medel	Prm	144,5	7,0	66,0	7,0

Dimensionering av växlare

		RÅSLAM		RÖTSLAM	
		1 (slam)	2 (vatten)	1 (slam)	2 (vatten)
Flöde nr					
Tubdiameter, inv	DI mm	40,5		40,5	
Tubdiameter, utv	DY mm	44,5		44,5	
Tjocklek tubrör	t mm	2,0		2,0	
Kanalbredd flöde 2	G mm		65,0		65,0
Hydraulisk Diameter	d _h mm	40,5	26,7	40,5	26,7
Inloppstemperatur	TI °C	20,3	28,8	36,0	26,7
Flöde, totalt	MT m ³ /h	4,0	10,0	3,0	10,0
Flöde, totalt	l/s	1,11	2,78	0,83	2,78
Rörlängd/steg	L1 m	3,00	3,0	3,00	3,0
Antal plan	N st	14	14	14,00	14
Antal slingor / plan	NR st	1	1	1,00	1
Hastighet	V m/s	0,86	1,04	0,65	1,04
Friktionskoefficient	F	0,100	0,027	0,038	0,027
Reynold's tal Medel	Re	1 743	29 498	2 862	29 485
Värmeövergångstal,	H W/m ² ,K	1608	5077	1939	5076
Värmeegenomgångstal,	K W/m ² ,K	1050		1182	
Re ingående	Rei	1 642	30 154	3 083	28 827
Re utgående	Reu	1 850	28 852	2 651	30 154
Utgående temperatur	°C	25,8	26,7	28,6	28,8
Skuvningshastighet	S ⁻¹	170,5		127,8	
Tryckfall	mVP	6,1	4,1	1,8	4,1
Effekt	kW	24		-25	

RÅSLAM		RÖTSLAM	
P=	24 KW	P=	-25 KW
T ₁ =	20,3 °C	T ₃ =	36,0 °C
T ₂ =	25,8 °C	T ₄ =	28,6 °C
T _{5a} =	28,8 °C	T _{5b} =	28,8 °C
T _{6a} =	26,7 °C	T _{6b} =	26,7 °C
Tryckfall slam	6,1 mVP	Tryckfall slam	1,8 mVP
Tryckfall vatten	4,1 mVP	Tryckfall vatten	4,1 mVP
Slamvolym:	54 l	Slam volym /st	54 l
Vattenvolym	112 l	Vattenvolym /st:	112 l
Temp.verkn.grad:	65,2%		



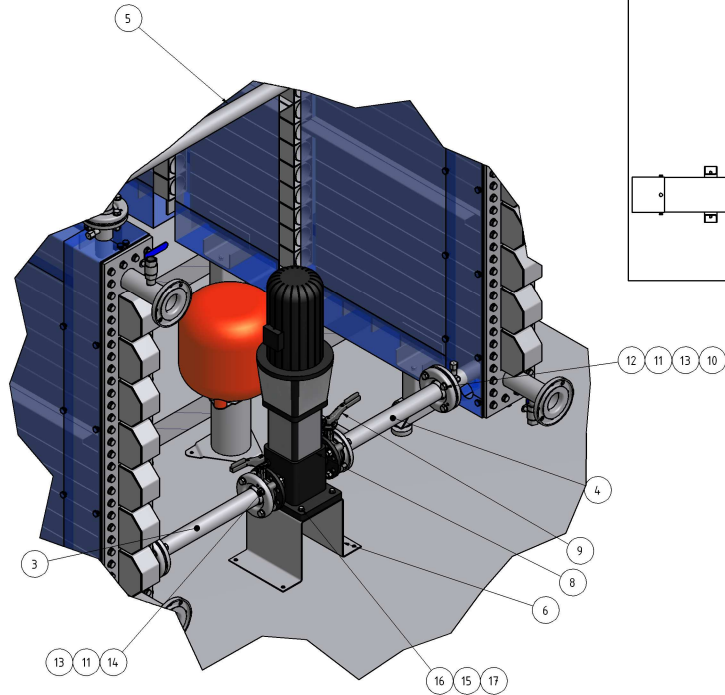
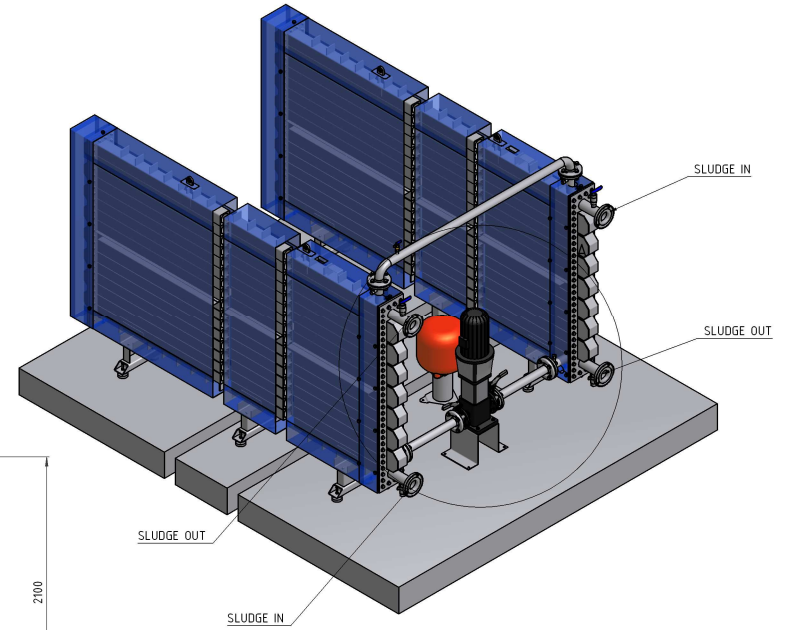
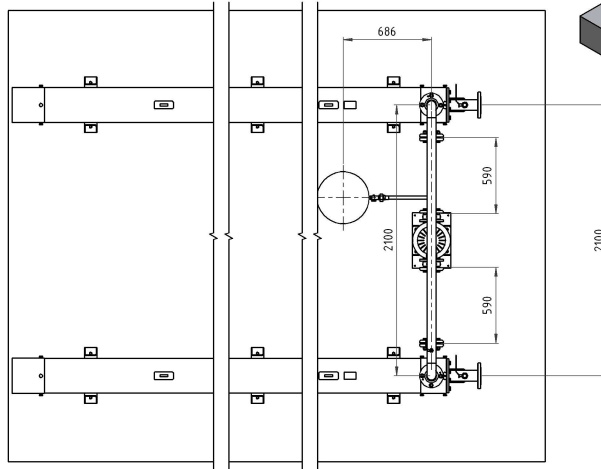
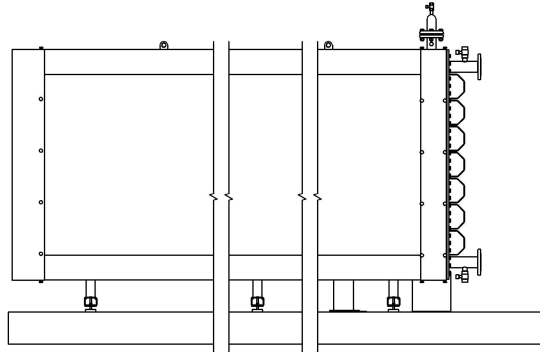
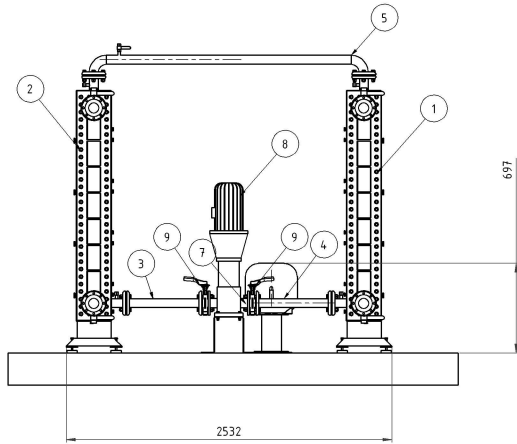
Råslam	Rötslam
K= 1	K= 0,5
n= 0,3	n= 0,28
v= 26,9	V= 15,0

Vattenblandning	
Procent Glykol:	0%
Procent Vatten:	100%

Teknisk spec. / st	Slamsida	Vattensida
Längd: 3,7 m	Design tryck: (mVP) 80,0	80,0
Bredd: 0,2 m		
Total Höjd: 1,5 m	Varav Benstöd = 0,4 m	
Vikt (tom): 685 kg		
Vikt (Full): 852 kg		

BILAGA 3

Slam/slam-värmeväxlarenhet



17	4	ISO 4033 - M12	Sexkantsmutter	Steel	
16	4	90512	SKRUV M6S	A4	M12x60
15	8	ISO 7090 - 12 - 140 HV	Plain washers, chamfered - Normal series - Product grade A	Stainless Steel	
14	8	90333	SKRUV M6S	A2	M16x120
13	24	91560	MUTTER M6M	A2	M16
12	16	90329	SKRUV M6S	A2	M16x80
11	48	91757	BRICKA RB	A2	M16
10	4	51106	GUMMPACKNING DN 65	RUBBER	Ø122/69 t=3,0
9	2	-	VRIDSPJÄLLVENTIL		DN 65 VM 304.0+3090
8	1	96122011	GRUNDFOS PUMP	Cast Iron	CR 32-3 50 Hz
7	1	IPX 2-35I-typ 1-1	EXP KÄRL IPX 35 MED BENSTÖD		35I, Ventilats typ 1
6	1	10100039-001	PUMPKONSOL	1.4301	969x300x4,0
5	1	10-100039-R2	RÖR 3		
4	1	10-100039-R1	RÖR 2		Ø69x2,0
3	1	10-100039-R1-1	RÖR 1		Ø69x2,0
2	1	201-1301-508-10100039	VSV 80-116		
1	1	201-1301-508-10100039-2	VSV 80-116		
Qty		Part Number	Description	Material	Comments

LÄCKBY PRODUCTS
 Heat exchangers
 Phone +46 480 381 80 www.lackby.se

10100039 PURAC
 LAY-OUT
 HEAT RECOVERY

Drawn by: Max H	Checked: N/A	Contract Number: 1120
Approved by:	Checked by:	Issue Date: 2010-02-16
File name: 201-1301-L08-10100039-001	Drawing Number: 201-1301-L08-10100039	Rev: 1

BILAGA 4

Luft/vatten-värmeväxlare, beräkning

Dimensionering värmeväxlare luft/vatten - VLV

Projekt:
 Proj.del:
 Position:

Utförd av:
 Skapad:
 Rev.dat:

Dimensionering värmeväxlare

Anslutningsdiameter mm
 Antal slingor (5,3 varv typ 1122) st
 Slingans ytterdiameter 571 mm
 Slingans längd 6491 mm

Kylmedium in

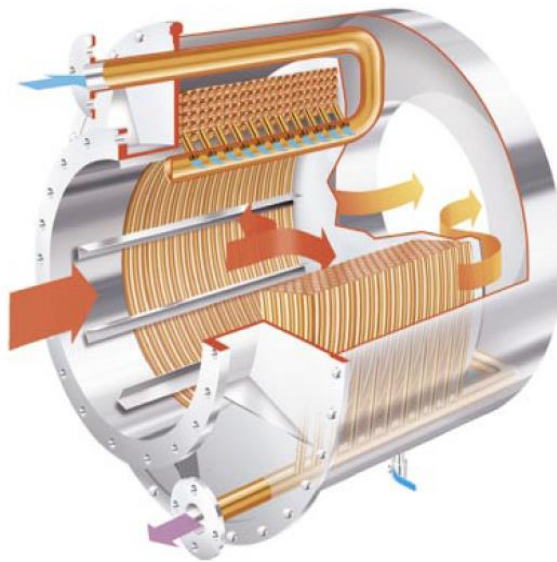
Volymflöde	<input type="text" value="1,0"/>	l/s
Glykolhalt vikt	<input type="text" value="0"/>	% (max 50 %)
Glykolhalt volym	<input type="text" value="0,0"/>	%
Frys punkt	<input type="text" value="0,0"/>	°C
Temperatur	<input type="text" value="7"/>	°C
Densitet	<input type="text" value="1000"/>	kg/m ³
Hastighet	<input type="text" value="0,89"/>	m/s

Luft in

Volymflöde	<input type="text" value="1632"/>	nm ³ /h
Temperatur	<input type="text" value="71"/>	°C
Övertryck	<input type="text" value="76"/>	kPa
Densitet	<input type="text" value="1,806"/>	kg/m ³
Hastighet v1	<input type="text" value="6,6"/>	m/s

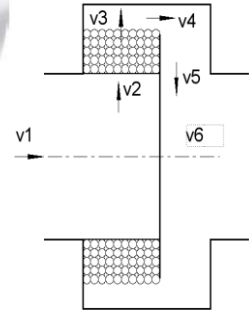
Kylmedium ut

Temperatur	<input type="text" value="13,5"/>	°C
Tryckfall	<input type="text" value="6,9"/>	kPa
Tryckfall	<input type="text" value="0,7"/>	mVP
Trolig uttemperatu	<input type="text" value="13,5"/>	°C



Luft ut

Temperatur	<input type="text" value="24,9"/>	°C
Tryckfall	<input type="text" value="459"/>	Pa
Tryckfall	<input type="text" value="0,05"/>	mVP
Effekt	<input type="text" value="27"/>	kW



BILAGA 5

Luft/vatten-värmeväxlare, ritning

