

2024-08-09

Utredning om byte av energisystem på Lotsbroverket

Sommaren 2024

August Thollander
MARIEHAMN STAD



Sammanfattning

Lotsbroverket är ett reningsverk lokaliserat i Mariehamn på Åland och renar idag avloppsvatten för 30 000 personekvivalenter på Åland. I reningsprocessen separeras rötslam från vattnet, som kräver en jämn temperatur på 38 grader Celsius för att bilda biogas effektivt i rötammaren. Under vintertid har Lotsbroverket haft svårigheter med att bibehålla denna temperatur på grund av problem med gaspannan, vilket har lett till beroende av oljepannan. Detta skapar ett otillförlitligt system med frekventa start- och stoppcykler som destabiliserar rötammarens temperatur. Denna utredning analyserar möjligheterna att byta ut den nuvarande oljepannan mot en värmepump för att säkerställa en jämnare och mer pålitlig energiförsörjning. Tre scenarier har utvärderats:

1. **Scenario 1:** Installera en värmepump som endast tillförer Lotsbroverket med energi.
2. **Scenario 2:** Installera en värmepump som tillförer både Lotsbroverket och Mariehamns hamn med energi.
3. **Scenario 3:** Installera en värmepump som tillförer Lotsbroverket med energi och använder kylslangor för att kyla hamnen.

Analysen visar att en värmepump kan ersätta oljepannan och samtidigt minska koldioxidutsläppen, i linje med EU:s klimatmål att minska utsläppen med 55 % till 2030 och att uppnå klimatneutralitet till 2050. En värmepump skulle också kunna leda till betydande kostnadsbesparingar över tid.

I finansiella analyser har det visat sig att återbetalningstiden för en värmepumpsinvestering varierar mellan 7 till 20 år, beroende på scenario och förutsättningar som elpris och systemets effektivitet (COP). För att värma temperaturen till den eftertraktade temperaturen på 65 grader brukar COP ligga runt 2,5. Återbetalningstiden för dessa värmepumpar blir således cirka 10–13 år för hamnen och 15–20 år för Lotsbroverket.

Utredningen rekommenderar en detaljerad teknisk utvärdering och att offerter inhämtas från flera leverantörer för att säkerställa att den bästa och mest kostnadseffektiva lösningen väljs; av de alternativ som utredning tar fram rekommenderas en värmepump från Huber.

Genom att byta till en värmepump kan Lotsbroverket inte bara förbättra driftsäkerheten och energieffektiviteten utan även minska sina klimatpåverkande utsläpp, vilket bidrar till en hållbar framtid.

Innehållsförteckning

1. Bakgrund.....	1
2. Teori.....	2
2.1 Värmepumpens funktion.....	2
2.2 Värmeeffekt	3
2.3 Nettonuvärdesmetoden	3
3. Lotsbroverkets interna process:	4
3.1 Beskrivning av vattnets väg i Lotsbroverket:.....	4
3.2 Beskrivning av slammets väg i Lotsbroverket:	5
3.3 Beskrivning av värmeslingan.....	6
3.3.1 Rötkammaren.....	8
3.2.3 Luftventilation.....	9
3.2.4 Returvattnets temperatur	9
3.4 Sammanfattning av Lotsbroverkets interna process	10
4. Lotsbroverkets energiförbrukning.....	11
4.1 Befintliga energisystem	11
4.1.1 Oljepannan	11
3.3.2. Råslammets energibehov	13
4.3 Sammanfattning Lotsbroverkets energibehov:	13
5. Energibehov för hamnen i Mariehamn	15
5.1 Sammanfattning hamnens energibehov	16
6. Implementering av värmepump	17
7. Scenarioanalys för värmepumpen.....	18
7.1 Scenario 1: Värmepumpen tillförser endast Lotsbroverket med energi.....	18
7.1.1 Finansiell analys av scenario 1.....	19
7.2 Scenario 2: Värmepumpen tillförser Lotsbroverket med energi och överskottsenergi går till hamnen.....	22
7.2.1 Finansiell analys: scenario 2	22
7.3 Scenario 3: Värmepumpen tillförser endast Lotsbroverket med energi och kyler hamnen med kylslingan.....	23
7.4 Billigare alternativ för värmepumpen	23
7.5 Sammanfattning finansiell analys	24
8. Möjligheter och utmaningar med värmeåtervinning.....	25
8.1 Generella möjligheter.....	25
8.2 Generella utmaningar	25
8.3 Minskad miljöpåverkan:	25

8.4 Fler utvecklingsområden för Lotsbroverket.....	27
9. Slutsats & Åtgärdsförslag	28
Referenser	29
Bilagor	30
Bilaga 1: Beräkning av värmeslingans flödes hastighet:	30
Bilaga 2: Beräkning av oljeförbrukningens effekt:	31

Figurförteckning

Figur 1. Kompressorcykeln.....	2
Figur 2. Utloppstemperatur från maj 2023 till april 2024.....	5
Figur 3. Slammet och vattnets väg i Lotsbroverket.	5
Figur 4. Värmeslingans retur och framledning.....	7
Figur 5. Värmeslingan från framledning.....	8
Figur 6. Värmeväxlarens varmvatten.....	8
Figur 7. Vattnets värme på inlopp till ventilationens värmeväxlare.	9
Figur 8. Beräknat medelvärde av ventilationens medeltemperatur.	9
Figur 9. Returens temperatur.	10
Figur 10. Lotsbroverkets oljeförbrukning i liter över åren 2019–2023.....	12
Figur 11. Effekt som krävs för att värma upp råslammet.	13
Figur 12. Fjärrvärmebehov för hamnen från juni 2019 – april 2024.	15

Tabellförteckning

Tabell 1. Oljepannans producerade energi genom åren.....	12
Tabell 2. Effekten som krävs för att klara månaderna med högst tryck.....	12
Tabell 3. Hamnterminalen och tullpackhuset fjärrvärmeförbrukning under 2023.....	16
Tabell 4. Elpriser beroende på olika COP.....	19
Tabell 5. Förbrukade liter olja under åren 2019 – 2023.....	19
Tabell 6. Enklare investeringskalkyl för värmepumpen Huber Wastewater RoWin.....	20
Tabell 7. Lönsamhetskalkyl för Huber Wastewater RoWin.	20
Tabell 8. Enklare investeringskalkyl för IVT:s värmepump GEO 264.....	20
Tabell 9. Kostnadsbesparingen per år är ett medel av kostnadsbesparingen av COP 2,3 senaste 5 åren	21
Tabell 10. Enklare investeringskalkyl för IVT:s värmepump GEO 264.....	21
Tabell 11. Kostnadsbesparingen per år är ett medel av kostnadsbesparingen av COP 2,5 senaste 5 åren.....	21
Tabell 12. Hamnens kostnadsbesparing beroende på värmepumpens COP.....	22
Tabell 13. Återbetalningstid för investeringen av två Huber Wastewater RoWin.....	22
Tabell 14. Återbetalningstid för investeringen av två Veissmanns Vitocal 350 – G Pro.....	23
Tabell 15. Återbetalningstid för investeringen av en Huber Wastewater RoWin.....	24
Tabell 16. Oljepannan och värmepumpens miljöpåverkan för scope 1 & scope 2.....	26

1. Bakgrund

Lotsbroverket, som idag använder en oljepanna för att tillhandhålla värmeenergi till verksamheten främst under vintermånaderna, står inför utmaningar med stabil drift i gaspannan och temperaturkrav i rötkammaren. Samtidigt krävs det att Lotsbroverket minskar sin klimatpåverkan för att möta EU:s direktiv om att fasa bort fossila bränslen med 55% till 2030 och vara klimatneutrala till 2050 (Europaparlamentet, 2023). Om Lotsbroverket inte byter ut sin oljepanna riskerar de att bryta mot regler och lagstiftningar om miljöpåverkan, vilket kan generera kostnader i form av böter och omställningskostnader. Eftersom oljepannan värmer vatten för olika processer har därför Lotsbroverket varit intresserade av att installera en värmepump som substitut till oljepannan. I och med att hamnen i Mariehamn ligger ett stenkast bort från Lotsbroverket finns det möjligheter för synergier av ett eventuellt delat användande av en värmepump.

På uppdrag av Lotsbroverket har 3 scenarion utretts:

1. Installera en värmepump som möter värmebehovet i Lotsbroverket.
2. Installera en värmepump som möter värmebehovet i Lotsbroverket och vars överskott delas med hamnen och eventuellt blir ett substitut för hamnens inköp av fjärrvärme från Mariehamn energi.
3. Installera en värmepump som möter värmebehovet i Lotsbroverket och vars kylslina hjälper hamnen i Mariehamns kylbehov.

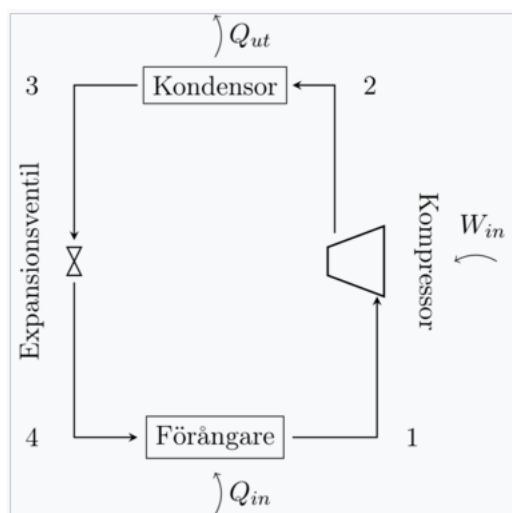
Information har hämtats från Lotsbroverkets data, där rapporten har utgått från årsrapporter, drifrapporter, labbrapporter samt sparade temperaturmätningar från Lotsbroverkets egna datorprogram. Utöver det har tidigare rapporter använts som källor, samt Tomas Mörn, chefsdriftsingenjör på Lotsbroverket. Ytterligare extern information om värmepumpar har hämtats från säljare på respektive företag. Vidare har källorna som använts bedömts som trovärdiga.

2. Teori

Teori som har behandlats är kopplade till termodynamiken, strömningsläran, och värmeöverföring, som är centrala för att förstå värmepumpens funktion och dess potentiella tillämpning i Lotsbroverket. Beräkningarna rör hur mycket energi som behövs för att motsvara oljepannans effekt, energi från utloppsvatten och finansiella värden.

2.1 Värmepumpens funktion

En värmepump har som grundfunktion att överföra värme från ett kallt medium till ett varmt medium (Çengel et al., 2021). Värmepump, liksom kylskåpet, består av en cyklisk process, där ett köldmedium används för att transportera värme. Den vanligaste cykliska processen är kompressorprocessen, där huvuddelarna är en kompressor, kondensor, strypåordning och en förångare (Çengel et al., 2021). Processen börjar med att ett köldmedium går in i kompressorn som ånga. Med hjälp av utifrån tillförd elenergi kan ångan komprimeras till trycket i kondensorn. I kondensorn avger köldmediet värme till omgivningen när det kondenserar och blir till vätskeform. Vidare går köldmediet in i en strypventil där trycket och temperaturen minskas drastiskt, vilket gör det redo för det sista steget; i förångaren hämtar köldmediet värme från den kalla sidan och förångas innan den går in i kompressorn igen (Çengel et al., 2021). kompressorcykeln går att se nedan i figur 1.



Figur 1. Kompressorcykeln. Illustrerar hur en värmepump fungerar, där köldmediet genomgår en kompressorprocess och överför värme från den kalla till den varma sidan

Valet av köldmedium har stor påverkan på vilka tryck som uppkommer och vilka material som kan användas, det vanligaste köldmediet är ammoniak. I Lotsbroverkets fall Värmepumparnas effektivitet mäts i COP (*coefficient of performance*) och är kvoten mellan hur mycket värmeenergi man får ut och den tillförda elenergin. Ekvationen för COP kan betraktas nedan (Çengel et al., 2021).

[COP]*

$$COP_{\text{värmepump}} = \frac{\text{Begärd effekt}}{\text{Behövd effekt}} = \frac{Q_H}{W_{\text{netto,in}}}$$

*Klamrarna visar hur formeln referats till i texten.

2.2 Värmeeffekt

För att beräkna värmeeffekten som krävs för att värma upp ett medium har följande formel använts (Çengel et al., 2021):

[Värmeeffekt]

$$\dot{Q}_{max} = \dot{m}_{medium} C_p (T_{ut} - T_{in})$$

Där

$$\dot{m}_{medium} = \text{massflöde [kg/s]}$$

$$C_p = \text{specifik värmekapacitet [} \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * ^\circ\text{C]}]$$

$$T_{ut} = \text{temperatur ut ur slingan [} ^\circ\text{C]}]$$

$$T_{in} = \text{Temperatur in i slingan [} ^\circ\text{C]}]$$

$$\dot{Q}_{max} [\text{kW}]$$

Den första lagen av termodynamik indikerar att värmeöverföringen från den varma fluiden motsvarar den värmeöverföring som sker till den kalla fluiden. Eftersom det både är vatten i den kalla slingan och varma slingan används samma specifika värmekapacitet för den kalla och varma fluiden.

2.3 Nettonuvärdesmetoden

För att uppskatta investeringens lönsamhet används nuvärdesmetoden. Nuvärdesmetoden används vid framtagande av investeringskalkyler och kan användas för att beräkna återbetalningstiden, med hänsyn till framtida ränta (Visma Spcs, 2024). Genom att sätta nuvärdet till 0, får man fram tiden (n) det tar för att investeringen ska bli återbetald.

Nettonuvärdesmetoden beräknas med följande formel:

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{S_T}{(1+r)^t} - I$$

Där

T = antal år

S_T = kostnadsbesparingar per år

r = diskonteringsräntan

I = initial investering

Utan ränta på investering, kan beräkna återbetalningstiden:

$$\text{Återbetalningstid} = \frac{\text{Total kostnad}}{\text{Den årliga sparade kostnaden}}$$

3. Lotsbroverkets interna process:

Nedan presenteras Lotsbroverkets interna process, som innefattar vattnets och avloppsslammet väg genom Lotsbroverket. Vidare presenteras även värmeslingan i verket och hur det är kopplat till de olika delarna i Lotsbroverkets process.

3.1 Beskrivning av vattnets väg i Lotsbroverket:

För att få en förståelse hur Lotsbroverket fungerar och vart energibehovet uppstår i Lotsbroverket presenteras avloppsvattnets väg genom reningsverket nedan.

Först pumpas vattnet in från olika pumpstationer i Mariehamns stad. De är placerade på flera ställen och är idag 14; utöver det kommer det inlopp från hela Åland.

Sedan går vattnet genom ett sandfång och ett stort rensgaller som tar bort de största partiklarna, oftast tamponger, snus och andra material som inte ska vara i avloppet. De oönskade föremålen och partiklarna transporteras med mattan till container. Det sker en provtagning på hur mycket näringsämnen som kommer in i vattnet. Det tvättade vattnet går vidare och rens sorteras ut. Efter rens gallret tillsätts järnsulfat som gör att avloppsvattnet flockas.

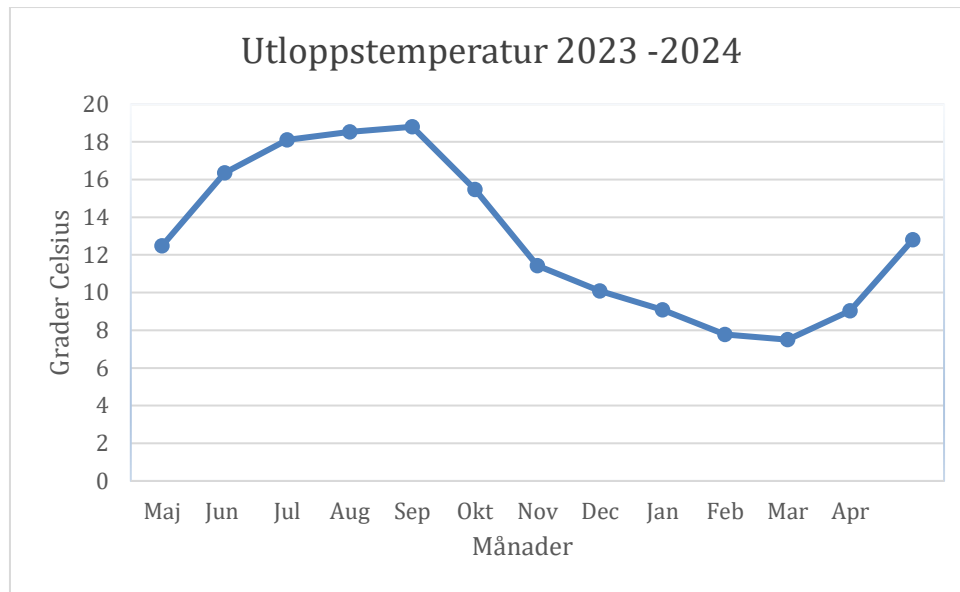
Efter det går vattnet till första sedimenteringen där partiklarna får sedimentera och sjunka till botten medan vattnet åker vidare till den biologiska reningen med hjälp av rännor vid ytan. Vissa partiklar kan finnas kvar i vattnet men de största har sjunkit till botten. Här finns pumpar som sitter på gejderrör så de kan lyftas upp. Det sitter en automatisk skrapa på ytan som går cirkulärt från ytan till botten och tillbaka. Skrapan tar bort skumtacket, partiklar och trycker vidare vattnet. På botten trycker skrapan ner slammet i ett rör som för slammet vidare mot röt-kammaren. Vattnet rinner ner i rännan och tillbaka till den vanliga processen. En pump pumpar upp vattnet till kvävereningen.

Den biologiska reningen av vattnet är uppdelad i denitrifikation och nitrifikation.

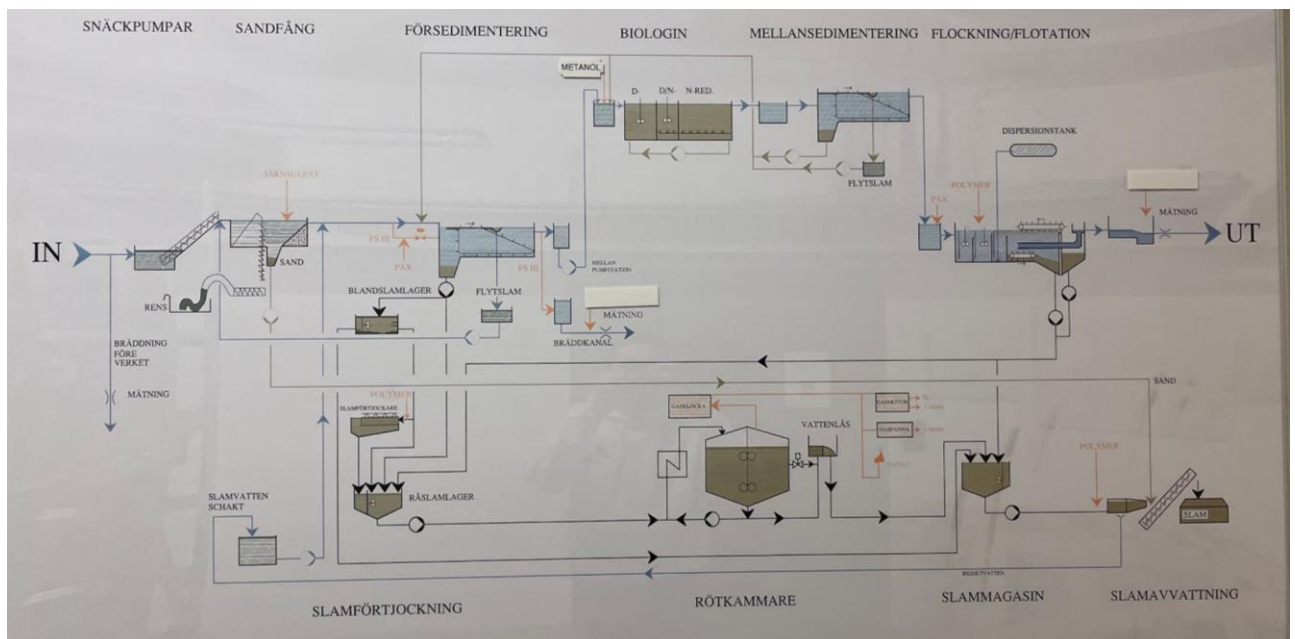
Den biologiska reningen är en av de mest energikostsamma delarna i verket, enligt Tomas. Elen som det krävs för att driva dessa kommer från gasmotorn samt el som köps in.

Efter den biologiska reningen är det dags för avloppsvattnet att gå till mellansedimenteringen, sedan tar sig vattnet till flockningen där det utförs en kemisk rening. Här tillsätts polyaluminiumklorid och eventuellt polymer vid behov för att få bort de sista partiklarna att flocka ihop sig och separeras från vattnet. Olika metoder med polymer genererar olika mycket slam. Ju mer slam desto mer värmeenergi måste tillföras till röt-kammaren för att värma upp slammet. Sedan går renat avlopp in i en dispersionstank där tryckluft tillsätts i botten av tanken för att partiklarna ska röras om, flocka sig och åka upp till ytan där de transporteras bort av en skrapa.

Innan avloppsvattnet åker ut i havet mäts volymflödet. Det sker ytterligare en mätning för att säkerställa att det utgående vattnet uppfyller reningskraven. Vattnet som åker ut är fyllt av bakterier och därför inte drickbart men utöver det är vattnet rent och en diskussion har förts ifall man kan återanvända vattnet mer effektivt men inga studier har gjorts. Utgående temperatur på vattnet har börjat mätas och Lotsbroverkets möjlighet att återanvända värmen har tagits upp tidigare. Vattentemperaturen från de mätningarna visar att utloppstemperaturen är som lägst 4,5 och som högst 22 grader. Utloppstemperaturen från juli 2023 till juli 2024 visas i figur 2.



Figur 2. Utloppstemperatur från maj 2023 till april 2024.



Figur 3. Slammet och vattnets väg i Lotsbroverket.

3.2 Beskrivning av slammets väg i Lotsbroverket:

Först kommer slammets från inloppsvattnet till försedimenteringen; som även innehåller bildat slam från den biologiska reningen, innan den åker vidare till blandslamslagret. Vidare från blandslamslagret pumpas slammets till slamförtjockaren, där flytande polymer tillsätts och gör slammets mer trögflytande.

Från förtjockaren pumpas slammets till råslamslagret. Från råslamslagret pumpas slammets till rötammaren. Med hjälp av en värmeväxlare kan värme från Lotsbroverkets värmeslinga (den slinga med framledningsvattnet) överföras till rötslammets. Värmen från mediet (vattnet) i värmeväxlaren går

in i rötkammaren för att hjälpa rötslammet hålla den ideala temperaturen på 37 grader Celsius. Inuti rötkammaren bildas metangas och koldioxid som används för att driva gaspanna och gasmotorer och det produceras som mest biogas när slammets temperatur är 37 grader Celsius.

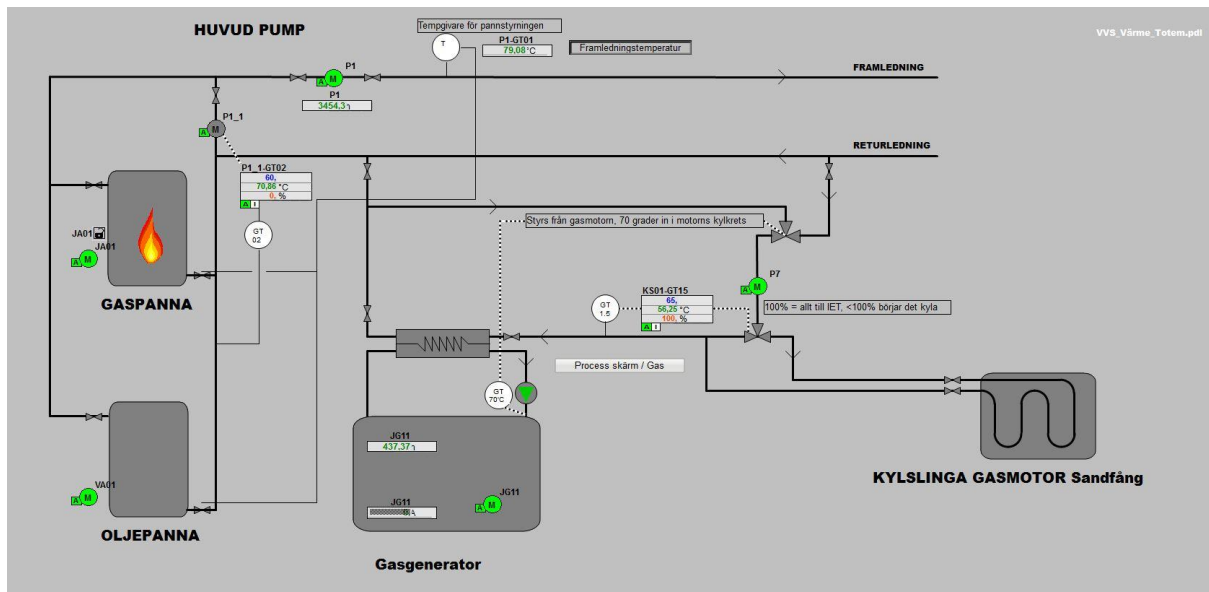
Från rötkammaren går slammet till centrifugen som tar bort vattnet, då vattnet tar plats och kostar att värma upp är det viktigt att slammet är så torrt som möjligt. Till sist transporteras slammet bort via transportskruv till kunder. I dagsläget köps slammet upp av en privatkund som använder slammet till odling av lokala ytor, men har flaggat för att efterfrågan minskar. Det är inte tillåtet att använda slammet som odlingsmedel till livsmedel på grund av slammets bakterieinnehåll.

3.3 Beskrivning av värmeslingan

För att Lotsbroverket ska tillhandahålla värmeenergi till verksamheten krävs en slinga med vatten som värmer upp olika processer, denna slinga benämns som värmeslinga. Nedan följer en översiktlig bild över värmeslingans väg genom Lotsbroverket.

Mediet i slingan är vatten, som transporteras i kulverts genom verket. Vattnet värms upp i gaspanna eller oljepanna till cirka 80 grader Celsius och kallas framledningsvatten efter uppvärmning. Med hjälp av strypventiler kan man sänka framledningsvattnets flöde, vilket påverkar temperaturen. Ventilen är idag inställd efter grundmonteringen, men det går att diskutera huruvida det är värt att justera ventilen manuellt på vintern för att öka temperaturen in till rötkammaren. Under genomgång av strypventilen den 14:e juni visar att temperaturen minskar med ca 18 grader, från 78 till 60 grader Celsius. Rötkammaren tar alltså in så mycket värme som behövs, och konsekvensen blir att överflödigt värme släpps ut. Det bör tilläggas att värdet är uppmätt i juni och eftersom det inte mäts kontinuerligt går det inte att få medelvärde, samt att en enskild mätning kan ge felaktiga mätresultat. Efter det går vattnet till rötkammaren för att värma upp slammet till optimal temperatur inuti rötkammaren. Vattnet går även till en luftvärmväxlare i ventilationen för att värma inomhustemperaturen till 15 grader. Sedan går vattnet tillbaka mot gas- och oljepanna och benämns som returvatten.

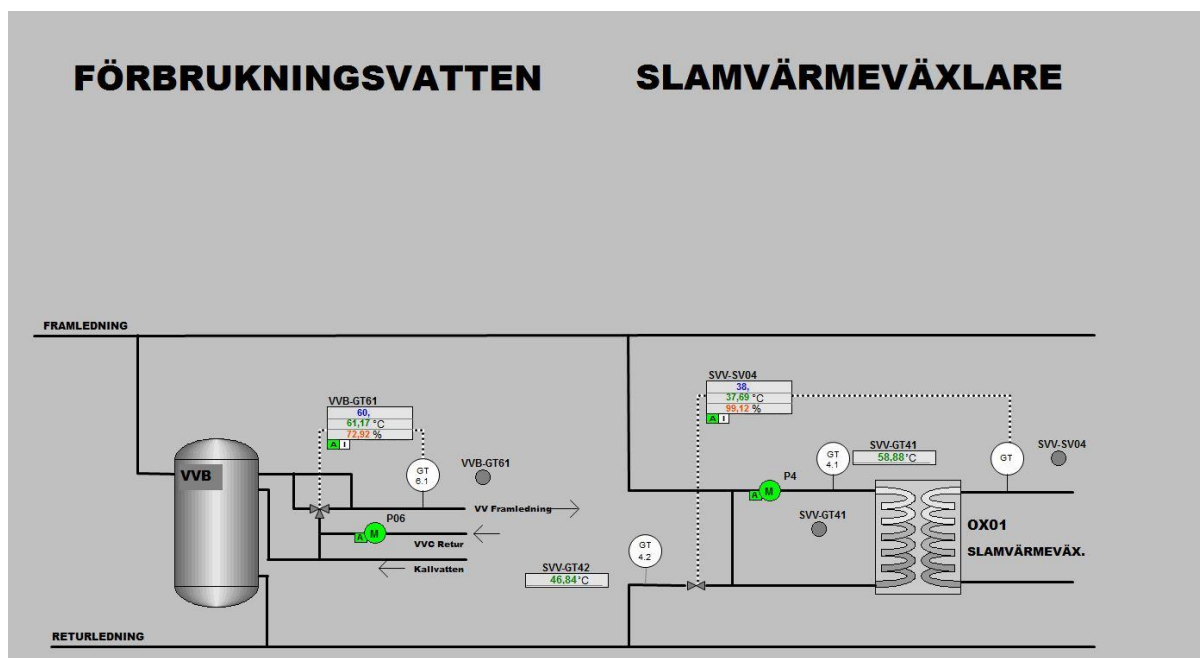
Returvattnet går tillbaka mot en ventil som leder till gasmotorns kylslinga där returvattnet kan kyla gasmotorn. När gasmotorn har varit inaktiv och inte behöver kylas kommer returvattnet åka direkt till gas- och oljepannan. Returledningen och framledningen visas i figur 4.



Figur 4. Värmeslingans retur och framledning. Visar returen till gasmotorn, kylslinga till gasmotorn samt gaspanna och oljepannan. Elden inuti gaspannan indikerar drift. Figuren är tagen 2024-06-07.

För att gaspannan ska operera behöver returvattnet värmas till gaspannans optimala arbetstemperatur på 65 grader (Schneider, 2014). När gasmotorn inte värmer upp vattnet kommer returvattnet gå direkt in till gaspannan och vilket kan innebära att vattnet har för låg temperatur för att gaspannan ska starta. I det fallet kopplas en pump in för att pumpa varmvatten från framledningen till returvattnet för att värma upp vattnet in till gaspannan för att gaspannan ska starta och fungera optimalt. **Detta kan leda till att gaspannan får svårigheter att starta när temperaturen på returvattnet är för lågt.** När vattnet misslyckas med att komma upp i 65 – 70 grader stöttas värmeproduktionen av oljepannan. Delar av värmeslingan ses nedan i Figur 4.

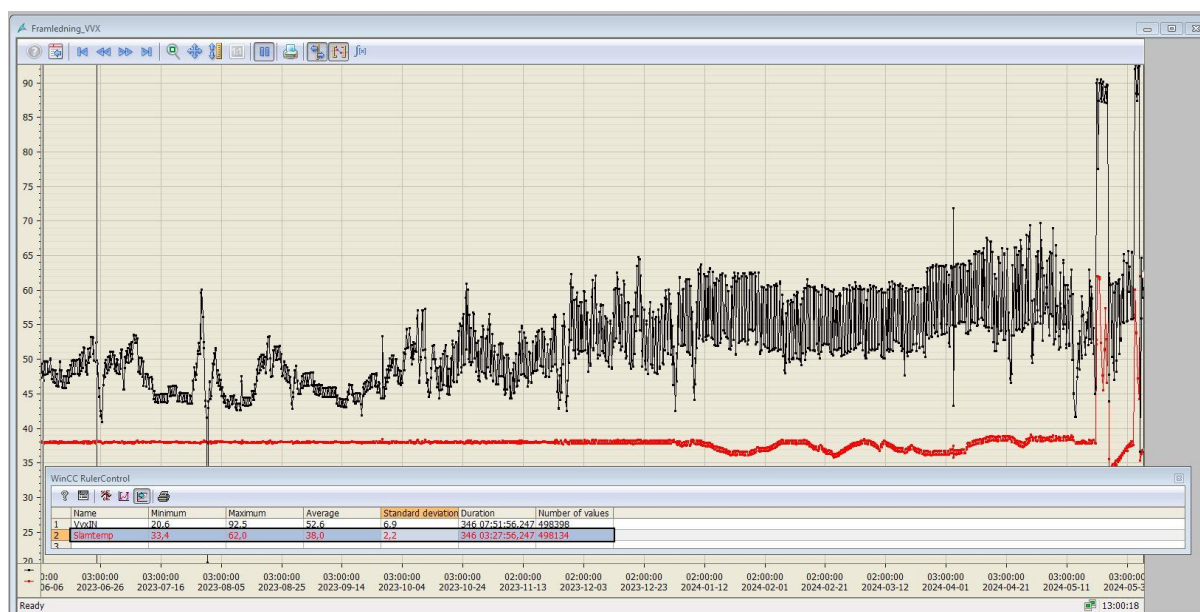
Figur 5 illustrerar vägen från framledningen till slamvärmväxlaren och varmvattenberedare. Utöver detta går framledningsvattnet även till ventilationen och det använda vattnet går tillbaka som returvatten. Flödets storlek i värmeslingan är okänd.



Figur 5. Värmeslingan från framledning, varmvattenberedare, slamvärmewäxlare samt vägen tillbaka till returvattnet. Bild är tagen 2024-06-07.

3.3.1 Rötkammaren

Enligt utredning från Schneider Electric (2014) behöver temperaturen på vattnet i värmewäxlarens varma sida vara på 75–80 grader Celsius för att rötkammaren ska hålla den ideala temperaturen. Efter en undersökning på senaste årens resultat, kan man konstatera att den ideala temperaturen i rötkammaren kan hållas vid 50–60 grader på det ingående vattnet i värmewäxlaren, vilket kan ses i figur 6. Dessutom bör man undersöka vidare hur mycket av värmen som förloras mellan gaspannan och rötkammaren.

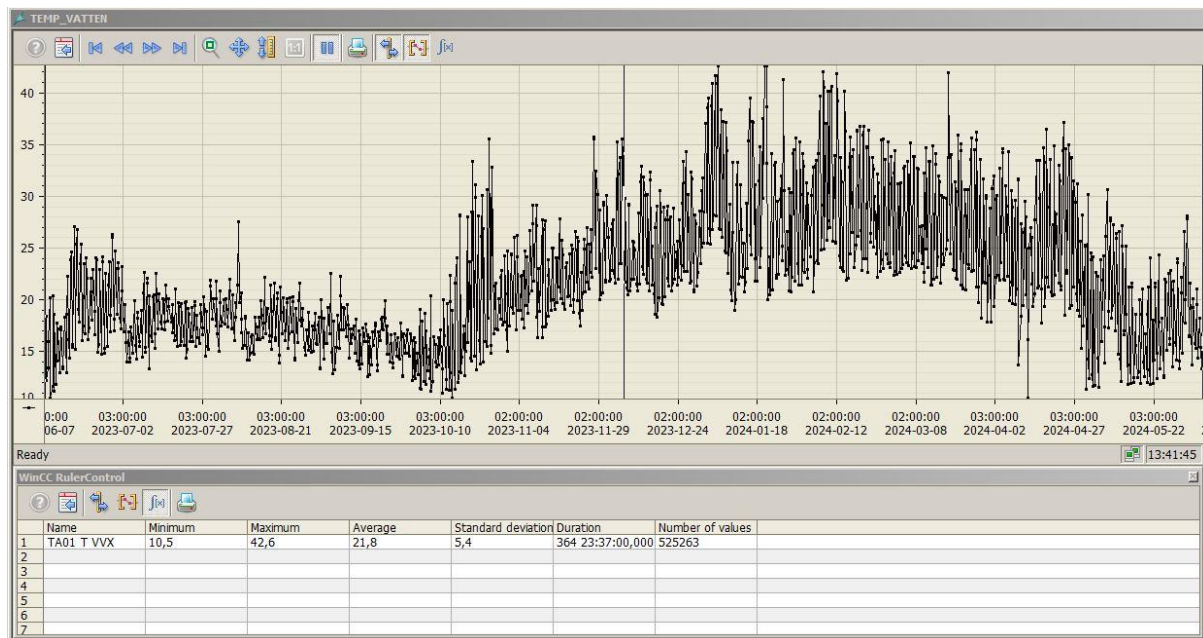


Figur 6. Den svarta mätningen visar temperaturen på det varma vattnet i värmewäxlaren. Den röda mätningen visar temperaturen på slammet, som idealt bör ligga vid 37 grader Celsius. Mätning från 2023-06-06 till ett år framåt.

Figur 6 visar att det är under vintermånaderna som temperaturen på rötslammet har problem med att upprätthålla 37 grader, när temperaturen på vattnet varierar mellan 47 och 65 grader. En värmepump kan hjälpa till att stabilisera vattnets värme och därmed temperaturen för rötslammet under vintermånaderna. Medeltemperaturen för vattnet ligger på 54 grader Celsius med högsta uppmätta temperatur på 71 grader och minsta uppmätta temperatur på 42,5 grader Celsius.

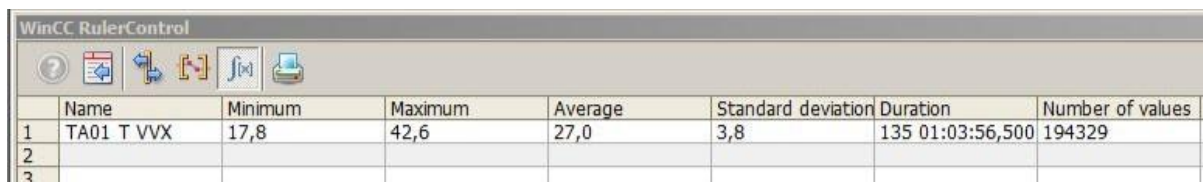
3.2.3 Luftventilation

Värmeslingan går även in i en luftvärmexväxlare som hjälper ventilationen att upprätthålla 15 grader. När utomhustemperaturen är 15 grader eller högre behöver luften inte värmas; i det scenariot stängs värmeslingan av och vattnet går inte igenom värmexväxlaren. Vattnets temperatur till ventilationens värmexväxlare ses i figur 7 nedan.



Figur 7. Vattnets värme på inlopp till ventilationens värmexväxlare, uppmätt från 6:e juni 2023 till 6:e juni 2024.

Man kan se att värmexväxlaren är igång hela dygnet från oktober månad till maj, under resterande månader går den ibland igång på natten. Medeltemperaturen över året är 21,8 grader, men medeltemperaturen under drift är 27 grader, vilket visas i tabellen under grafen i figur 8 nedan.

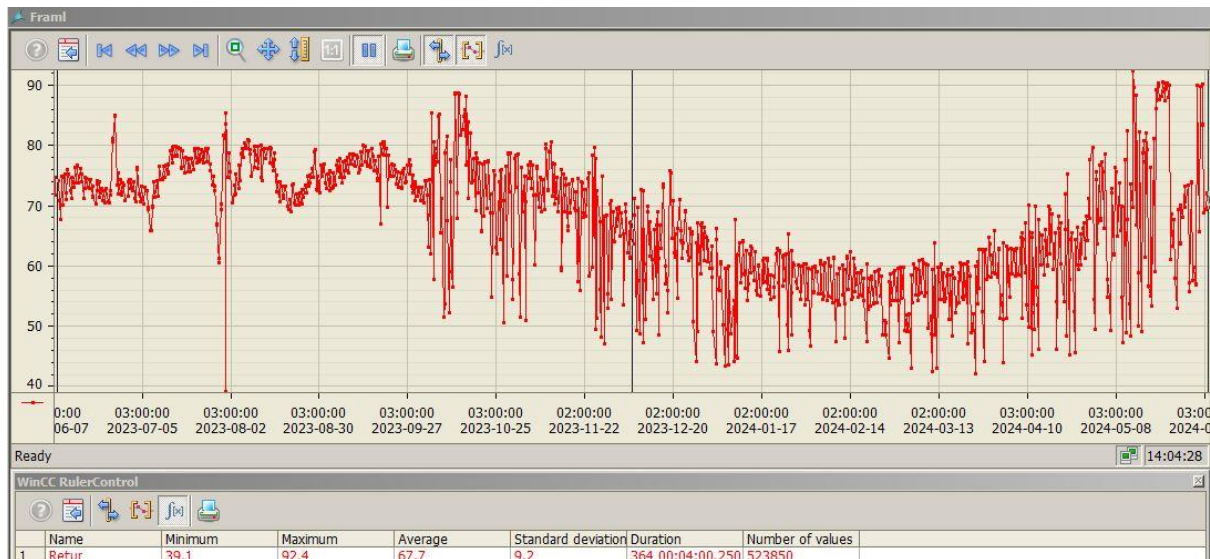


Figur 8. Beräknat medelvärde från november till mitten av april.

3.2.4 Returvattnets temperatur

Till sist går vattnet till gaspannan och eventuellt oljepannan för att återigen värmas upp. Returens temperatur beror på om vattnet värms i gasmotorns kylslinga; gasmotor har en egen värmexväxlare

inkopplad och om temperaturen i gasmotorns kylslinga är högre än 65 grader i tas nytt returvatten in som koler gasmotor. Vattnet värms sedan upp cirka 10 grader (oftast till 70–80 grader) innan det går vidare mot gas- och oljepannan. Där blandas vattnet från gasmotorns kylslinga med returvattnet vilket gör att vattnet blir svalare innan det når gas- och oljepanna eftersom returvattnet har ett högre flöde än flödet i gasmotorns kylslinga. Temperaturen på returen går att se i figur 9 nedan, innan vattnet cirkulerar på nytt i värmeslingan. När gaspannan har svårt att starta på grund av att returvattnet är för kallt, aktiveras en ventil som släpper in varmare framledningsvatten i returvattnet för att höja dess temperatur och underlätta startprocessen.



Figur 9. Returens temperatur, uppvärmd av gasmotor och av framledning, uppmätt från 6:e juni 2023 till 6:e juni 2024.

Den uppmätta medeltemperaturen är 67,7 grader, och med en maxtemperatur på 92,4 grader Celsius. Det är tydligt att vattnet med temperaturen 92,4 grader aldrig når rötkammaren, utan temperaturen minskar och anpassas till rötkammaren för att slammet ska nå 37 grader Celsius. Under vintermånaderna är returen betydligt kallare än på sommaren.

3.4 Sammanfattning av Lotsbroverkets interna process

- Efterfrågan på slammet är eventuellt på väg bort.
- Utloppsvattnet från Lotsbroverket har potential att återanvändas.
- Det krävs ca 65 grader i rötkammaren för att värma upp slammet till 37 grader vilket är den mest värmekrävande processen i värmeslingan.
- Värme försvinner från framledningsvattnet när rötkammaren endast tar in den värme som behövs för att värma slammet. Som mest har en temperaturminskning med 25 grader uppmätts, värme som inte tas tillvara på.

4. Lotsbroverkets energiförbrukning

Nedan analyseras värmebehovet i Lotsbroverkets process och de nuvarande energisystemen som förser verket med energi. För att Lotsbroverkets verksamhet ska kunna utvecklas och bli mer energieffektiv måste energiförbrukningen analyseras. Energibehovet består av ett elbehov och ett värmebehov för verksamheten, där det är värmebehovet som denna rapport har fokuserat på. Nedan presenteras behoven för de olika delarna i processen, samt hur det påverkar val av energisystem.

4.1 Befintliga energisystem

Dagens energisystem på Lotsbroverket är uppdelade efter att möta ett elbehov och ett värmebehov:

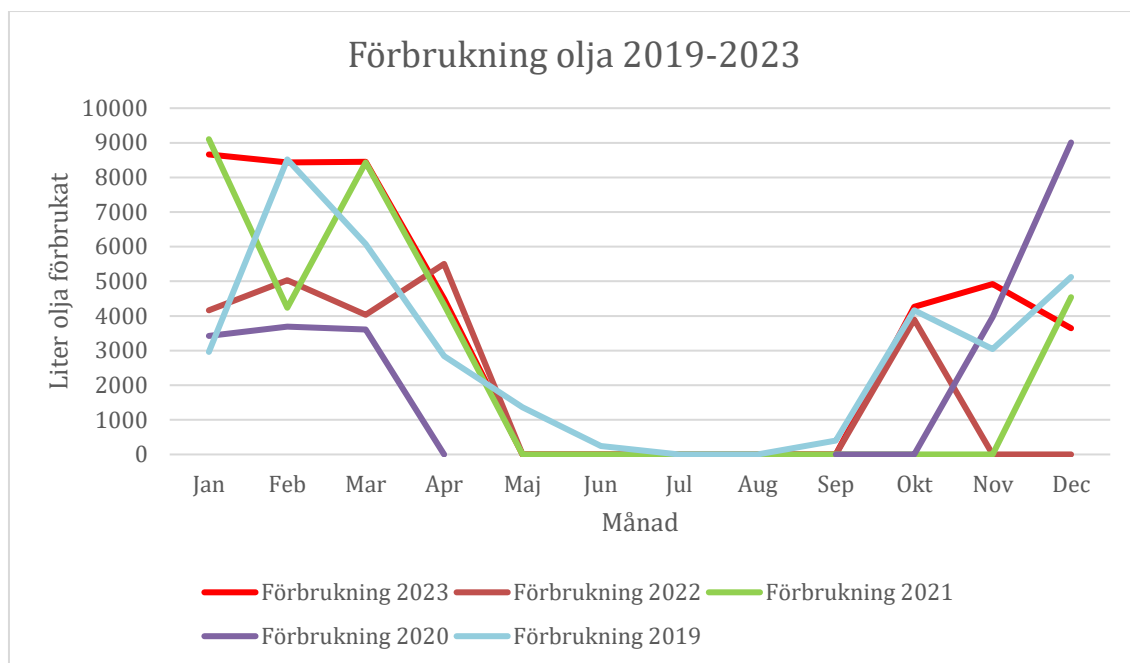
För att generera värme och el från den producerade biogasen har Lotsbroverket en gasmotor, men som ska bytas ut i närtid. Den ger idag en elektrisk effekt på 57 kW och en värmeeffekt på 60 kW. Den kräver ett inflöde av biogas med effekten 178 kW. Den ska ersättas med en ny gasmotor som har vid 100% drift en elektrisk effekt på 106 kW och en värmeeffekt på 142 kW, samtidigt som gasmotorn kräver 290 kW i biogas för drift. Den nya gasmotorn kan gå på lasterna 100%, 75% samt 50%.

För att producera värme från biogasen används också en gaspanna. Gaspannan har en maxeffekt på 225 kW värme och startar vid $35m^2$ gas i tanken, och stannar vid $18m^2$. Gaspannan och gasmotorn släpper ut gas om det bildas mer gas än vad som kan användas, vilket kallas fackling. Under 2023 facklades det $137\,747\,m^3$ gas.

På taket har Lotsbroverket solceller som producerar el till verket. Elproduktionen från solceller och den befintliga gasmotorn uppgår till 450MWh per år. (Bengt Dahlgren, 2022). Utöver den producerade elen täcks det resterande elbehovet av inköpt el från Mariehamn Energi, där majoriteten av elmixen kommer från förnybar energi. Snittpriset ligger runt 150–170 €/MWh. För att värma vatten till tappvatten och duschar används en varmvattenberedare; den kräver väldigt lite framledningsvatten och påverkar inte värmebehovet nämnvärt.

4.1.1 Oljepannan

Oljepannan har en maxeffekt på 500 kW och är en stor trygghet för värmebehovet på Lotsbroverket. När gaspanna misslyckas att komma upp i temperatur eller har för lite biogas så startar oljepannan. Detta sker framförallt under vintertid och förbrukning av antal liter olja de senaste åren går att se nedan i figur 10. Förhoppningen från Lotsbroverket idag är att oljepannan inte ska behöva starta, men det fungerar inte på vintern då gaspannan inte klarar av att värma upp vattnet till dess arbetstemperatur på 65 grader Celsius.



Figur 10. Lotsbroverkets oljeförbrukning i liter över åren 2019–2023.

Tabell över energibehovet från olja under åren 2019–2023. Nyttjad energi räknar med verkningsgraden på 0,9 (Schneider, 2014).

Tabell 1. Oljepannans producerade energi genom åren. Beräkningar kan ses i Bilaga 2. Värden för beräkningar är hämtade från Çengel et al. (2021)

År	Liter Olja (L)	Energi (MJ)	Effekt (MWh)	Nyttjad energi	CO2 utsläppt (kg)
2023	42 866	1 629 979,7	452,7	407,5	114 880,9
2022	22 624	860 277,6	238,9	215,1	60 632,3
2021	30 628	1 164 629,7	323,5	291,2	82 083,0
2020	23 693	900 926,3	250,3	225,2	63 497,2
2019	34 720	1 320 228,0	366,7	330,1	93 049,6

Värmepumpen behöver tillföra en effekt som motsvarar oljepannans energiförbrukning. Resultatet visar att en värmepump behöver klara av att tillföra Lotsbroverket med minst 452 MWh på ett år, gärna med lite marginal. Eftersom energibehovet varierar mycket under året behöver en värmepump även klara av de högsta månadsbelastningarna. I figur 10 är det tydligt att det krävs ca 9000 liter olja som mest för att tillgodose energibehovet. Uppskattas en förbrukning på 10 000 liter olja fås den maxeffekt som krävs för att klara av de högsta månadstopparna med marginal.

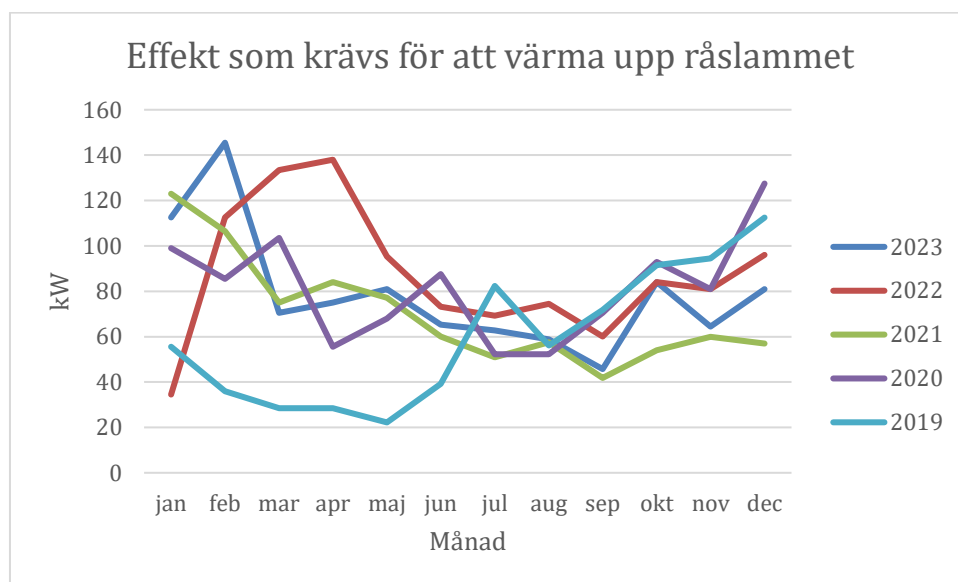
Tabell 2. Effekten som krävs för att klara månaderna med högst tryck

Olja (l)	Olja (m)	Energi (MJ)	Effekt (kWh)	Effekt (kW)	Med verkningsgrad (kW)
10 000	8450	380 250	105 625	146,7	132,0

En värmepump behöver klara av en större värmeeffekt än 132 kW för de allra högsta topparna. En värmepump med marginal mot 132 kW ger också utrymme för Lotsbroverket att utöka sin verksamhet, ifall de i framtiden ska ansvara för fler kommuner på Åland.

4.2 Råslammets energibehov

Det går även att se hur mycket energi det krävs för att värma upp råslammet. I årsrapporterna har det rapporterats antal kubikmeter (m^3) råslam som går in i rötammaren; med ett antagande att råslammet har ungefär samma specifika värmekapacitet som vatten går det att beräkna hur mycket energi det krävs för att värma slammet till 37 grader. Vid antagandet att slammet har samma temperatur som inloppsvattnet kommer slammets temperatur vara som lägst cirka 6 grader. Det ska nämnas att slammet värms upp innan av processerna det genomgår innan det kommer till rötammaren, men för enkelhetens skull antas detta ”worst case” – scenario. Temperaturen på inloppsvattnet är högre under sommarhalvåret, där antas en temperatur på 10 grader som ”worst case”. [Värmeeffekt] för åren 2019 – 2023 kan ses i figur 11.



Figur 11. Effekt som krävs för att värma upp råslammet. Från maj till september antas temperatur 10 grader på slammet. Från oktober till april antas 6 grader. Effekten som anges är den som krävs för att värma upp det totala flödet av rötslam under en månad.

I figur 11 ser man att värmeeffekten som krävs för att värma upp råslammet har maximalt varit 145 kW under en månad. Däremot tillkommer värmeförluster och andra delar i värmeslingan som kräver energi.

4.3 Sammanfattning Lotsbroverkets energibehov:

- Oljepannan har som mest behövt tillförse värmeslingan med en värmeeffekt på 132 kW, vilket är den effekt som värmepumpen måste klara av, men borde klara av mer för att ha marginal.
- Den nya gasmotorn kommer minska oljepannans belastning, från 132 kW till 50 kW om den körs på full effekt.
- Råslammets värmebehov kan täckas med en värmepump med god marginal.
- Som mest har Lotsbroverket släppt ut 114 880 kg CO₂ under ett år från olja, vilket motsvarar den årliga elförbrukningen av 114 villahushåll, eller 46 tur & -returresor mellan Stockholm och New York.

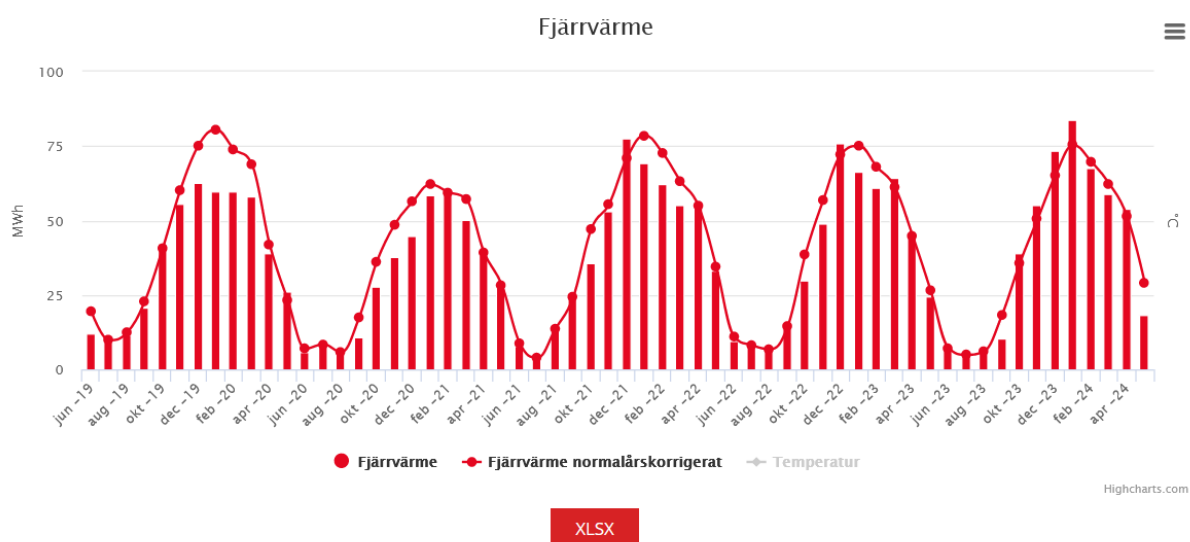
- Stor andel gas som facklas; ytterligare gasmotor kan säkerställa att det blir mindre spill och samtidigt skapa mer grön el, som vid överskott kan säljas till elnätet.

5. Energibehov för hamnen i Mariehamn

I detta avsnitt presenteras hamnen i Mariehamns energibehov från fjärrvärmenätet och hur en installation av en värmepump på Lotsbroverket hade kunnat hjälpa Hamnens energibehov.

I ett första skede fanns en tanke om att kylslangen hos värmeväxlaren kunde användas till hamnens kylsystem, och på så sätt utnyttja både den varma och kalla sidan av värmepumpen. Efter undersökning saknades data på hamnens kylsystem, samt att en värmepump som behöver fokusera på både att värma och kyla har svårare att nå högre värmekapacitet. Utöver det har hamnen nära till sjövattnet som har ungefär samma temperatur som den kalla sidan vid värmeväxlaren. De har möjlighet att skapa en egen kylslanga med sjövattnet.

Under kalla månader ligger energitopparna kring 80 MWh (Jansson, 2024), vilket är en effekt på ca 111 kW. Detta blir medeleffekten under en månad med höga energibehov. För en ny värmepump vill hamnen att en värmepump ska klara en årsförbrukning på 600 MWh (Jansson, 2024).



Figur 12. Fjärrvärmebehov för hamnen från juni 2019 – april 2024. Tullpackhuset ej medräknat.

Hamnen har idag ett radiatorsystem som kräver 55 grader och det är temperaturen som värmeslingan måste se till att upprätthålla. Detta är i närheten med Lotsbroverkets krav på 65 grader Celsius och det finns därför möjlighet för synergisk användning av en värmepump. Nedan i tabell 3 ses hamnen och tullpackshusets fjärrvärmeförbrukning under 2023. Tullpackshusets fjärrvärmeförbrukning är relativt liten och det bör vara möjligt att hitta en värmepump som tillhandahåller värme till både hamnterminalen och tullpackhuset.

Tabell 3. Hamnterminalen och tullpackhuset fjärrvärmeförbrukning under 2023

Fjärrvärmeförbrukning		jan-23	feb-23	mars-23	apr-23	maj-23	juni-23	juli-23	aug-23	sep-23	okt-23	nov-23	dec-23	total
Hamnterminalen 711	MWh	66,33	60,81	64,32	45,02	24,39	6,94	4,86	5,51	10,21	38,83	55,15	73,41	455,78
Tullpackhuset 2266	MWh	6,64	6,851	7,623	4,944	2,919	1,015	0,65	0,743	1,588	5,193	6,408	8,251	52,825

5.1 Sammanfattning hamnens energibehov

- Behöver en temperatur i värmeslinga på 55 grader till radiatorsystemet, vilket överensstämmer ungefär med Lotsbroverkets krav.
- Högsta energitopparna månadsvis är 111 kW och årsvis 600 MWh.
- En värmepump bör ha marginal till 111 kW för att klara av hamnterminalen och tullpackshusets värmebehov.

6. Implementering av värmepump

Värmepumpen har många implementeringsmöjligheter. I det här avsnittet presenteras de olika implementeringsmöjligheterna.

Från tidigare rapporter och utredningar fanns det förslag att dela upp värmepumpen till endast rötkammaren och även oxideringsprocessen, men denna rapport har inte vidareutvecklat det spåret eftersom det krävs lägre framledningstemperatur till rötkammaren än vad som tidigare har trots.

Omkopplingen bör ske vid sista steget vid dispersionstanken. En del av vattnet från utlopp går idag till dispersionstanken, här finns det möjlighet att installera ett nytt rör till värmepumpen. Värme överförs sedan till värmepumpen som är kopplat till returslingan. Det bör kopplas in med vattnet som går in efter gasmotorns kylslinga för att hitta den högsta temperaturen innan gaspannan och på så sätt behöva värma upp vattnet minimalt. Detta leder till det mest kostnadseffektiva användandet av en värmepump och värmeväxlare samtidigt som slitaget minskar. Dessutom skapar det en jämnare temperatur in till gaspannan. Exakt placering får tas upp med installatör.

En värmepumps installation kommer göra oljepannan överflödig, vad blir dess framtida användningsområde? Dess ålder och slitage gör den inte attraktiv för vidareförsäljning utan kan komma att skrotas. Däremot finns det möjlighet att bygga om oljepannan till en biogas-dieselmotor som hade kunnat ta vara på överflödig biogas. En sådan ombyggnad är möjlig men tas inte upp i denna rapport. Lotsbroverket har även möjlighet att ha kvar oljepannan, som en sista utväg ifall framtida gasmotor och värmepump får problem.

Utifrån kontakt med säljare på värmepumpsföretag har tre förslag för värmepumpar tagits fram:

Huber

Systemet från Huber är anpassad efter avloppsvatten och dess maskiner har ett automatiskt reningssystem som underlättar. Det som är bra är den automatiska reningen av avloppsvatten. Modellen som har tagits fram för denna rapport är Huber WasteWater Rowin (Huber Technology, 2024), via expertis från Hubers Karl Malm.

Veissmann

Veissmann jobbar med industriella och andra värmepumpar för företag. Modellen som har tagits fram för den här rapporten är Viessmann's Vitocal 350 – G PRO (Veissmann, 2024), som kompletteras med värmeväxlaren Vitotrans EC-Pro GW210 via expertis från Veissmanns Robert Wentjärvi.

IVT värmepumpar

IVT värmepumpar levererar värmepumpar till hushåll och flera fastigheter, men fungerar i teorin att installera i Lotsbroverket. Eftersom förslaget är att koppla in det renade utloppsvattnet i värmepumpen gör det att smuts och stopp i värmeväxlaren inte är lika avgörande jämfört med en inkoppling av värmeväxlaren i ett tidigare skede av avloppsslingan. Funktionen blir således exakt som en bergvärme eller sjövattnvärmepump. Modellen som har tagit fram i den här rapporten är IVT GEO 264. (IVT 264, 2024)

7. Scenarioanalys för värmepumpen

Nedan presenteras resultat och analys av de olika scenarion för värmepumpen. Den finansiella analysen är beroende av uppskattningar och förenklingar, som påverkar resultatet. Vid uppskattningen av antal liter förbrukad olja har en överskattning gjorts, för att försäkra sig om att den nya värmepumpen klarar av behovet. Oljepriset har tagits från Lotsbroverkets faktura. När det gäller elpriset har ett snittpris antagits. Eftersom snittpriset är volatilt och brukar kosta mer under vintermånaderna när behovet är stort kan ett snittpris generera en elkostnad som är mindre än i verkligheten; man bör ha i åtanke att återbetalningstiden kan bli längre.

Hur mycket värmeenergi som kan hämtas från utloppsvattnet beror på temperaturen på utloppsvattnet, som styrs av årstiderna. Under vintern är utloppsvattnet som kallast, och det är även på vintern som energibehovet är som störst, med krav på 132 kW till värmeslingan för Lotsbroverkets verksamhet. Under året har det tidigare krävts 452 MWh som mest. Eftersom det är svårt att mäta vart den egenproducerade elen tar vägen har denna rapport antagit att all elektricitet köps in från Mariehamn energi.

För att räkna ut värmeeffekten vintertid ansätts temperaturen på utloppsvattnet till 6 grader. För att förhindra frysning kan man utvinna värmeenergi från utloppsvattnet så att utloppsvattnets nya temperatur blir 1 grad Celsius. Temperaturskillnad på fem grader Celsius leder till att [Värmeeffekt] ger $\dot{Q} = 1672 \text{ kW}$. Detta är värmeeffekten som kan återvinnas *som mest* ur utloppsvattnet *när utloppsvattnet är som kallast*. Värmeeffekten som behöver tillföras beror på flödet i värmeslingan (framledningsvattnet), som dessvärre är okänt, men flödet bör ligga på några liter per sekund. För att värma värmeslingan från 40 till 60 grader Celsius med flödet 1,5 l/s, se bilaga 1, krävs det 125 kW. Detta visar att det finns mer än tillräcklig med värmeeffekt i utloppsvattnet för att tillgodose både Lotsbroverket och hamnen med värmeeffekt.

Under andra årstider än vintern kommer inloppstemperaturen vara högre och därför möjligt att utvinna ännu mer värmeenergi. Ett problem är att värmeslingan har ett mycket mindre volymflöde än utloppsvattnet. Från åren 2022 – 2024 flödar utloppsvattnet mellan 70–90 liter per sekund (snittet ligger runt 75 l/s), medan värmeslingan bör ligga runt 1,5 liter per sekund. Det kan därför vara svårt att få all energi från utloppsvattnet, eftersom man inte hinner ta upp all energi från det höga flödet. För att lösa det kan man fylla en av de tomma bassängerna där avloppsvattnet får samlas innan det går till värmeväxlaren där energin hämtas, innan det går till havet.

7.1 Scenario 1: Värmepumpen tillförser endast Lotsbroverket med energi

Den nya gasmotorn kommer att tillföra mer värmeeffekt än den gamla gasmotorn, vilket gör att kravet på värmepumpens effekt minskar. Då den nya gasmotorn (vid 100% drift) har en värmeeffekt på 142 kW behöver en ny värmepump stå teoretiskt för 47 kW. Utgår man den gamla gasmotorn behöver en värmepump klara en topp på 132 kW. Men för att klara eventuella stopp i gaspannan, gasmotorn eller att ha möjlighet att minska belastningen på gasmotorn till mindre än 100% drift bör värmepumpen ha en maxeffekt på 150 kW för att säkra driften i Lotsbroverket. En värmepump med marginal mot nuvarande toppar kommer även att säkerställa att Lotsbroverket klarar av ett ökat värmebehov som tillkommer ifall fler kommuner ansluter.

7.1.1 Finansiell analys av scenario 1

Beroende på COP kommer det behövas olika mycket el för värmepumpen vilket leder till olika kostnader. Förutsatt att värmepumpen behöver värma returvattnet ca 25–30 grader är det rimligast att COP ligger runt 3. Olika elkostnader beroende på COP jämfört med oljekostnaderna för en månad med högt energibehov presenteras i tabell 4. Elpriset är satt till 170 €/MWh, vilket är ett snittpris, avrundat uppåt, från Mariehamn energi (Mariehamn Energi, 2024) samt från Lotsbroverkets egna fakturor. Mariehamn energi har flaggat för att de i framtiden ska ta bort marginalregleringen för elen vilket i sin tur leder till ett billigare elpris. Elpriset på 170 €/MWh bör därför ses som pessimistiskt och således bör återbetalningstiderna också ses som pessimistiska. Oljepriset idag för Lotsbroverket är ca 1,4 € /liter olja inklusive moms och exklusive moms är motsvarande siffra 1,103 €/ liter. Priset är taget från Lotsbroverkets faktura för olja i april 2024.

Tabell 4. Elpriser beroende på olika COP. Elkostnaden är 170 €/MWh. Oljepriset är exklusive moms och är 1,103 €/liter. Dessa kostnadsbesparingar avser för månader med höga energitoppar

	Totalt	COP				
		5	4,5	4	3	2,5
Effekt (kW)	132	26,4	29,3	33	44	52,8
Månadseffekt (MWh)		19,008	21,1	23,8	31,7	38,0
Elkostnad värmepump (€)		3231,4	3590,4	4039,2	5385,6	6462,7
Kostnad olja exkl. moms (€)		11 030	11 030	11 030	11 030	11 030
Kostnadsbesparing per månad (€)		7798,6	7439,6	6990,8	5644,4	4567,2

Under årets andra månader är det mindre behov av oljepannan. Motsvarande kostnadsbesparing per år med användandet av en värmepump illustreras också. Tar man exemplet att värmesystemet har en COP på 3 får man följande kostnadsförändringar under årets förbrukning.

Tabell 5. Förbrukade liter olja under åren 2019 – 2023. Oljekostnad exklusive moms har använts

	Oljepanna		Värmepump		Kostnadsförändring (€)
	Energi (MWh)	Kostnad Olja	COP 3	Elkostnad (€)	
2023	452,8	47 281	150,9	14 337,8	-21 624,1
2022	239,0	24 954	79,7	75 67,3	-11 412,9
2021	323,5	33 783	107,8	10 244,4	-15 450,6
2020	250,3	26 133	83,4	7924,8	-11 952,1
2019	366,7	38 296	122,2	11 613,1	-17 514,8

Lotsbroverket sparar, i snitt från de senaste 5 åren, 15 591 € per år i driftskostnader på en värmepump med COP 3 jämfört med oljepanna. Om en värmepump har högre COP blir besparingarna större och eftersom COP ändras under året i takt med temperaturvariationerna i utloppet kan COP 2,5–3 ses som en pessimistisk skattning. Kostnadsbesparingen är också beroende av elpriset.

Huber Wastewater RoWin, 167 kW

Av företaget HUBER har ett prisförslag erhållits för produkten Huber Wastewater RoWin (Huber Technology, 2024). Värmeväxlaren har effekten 169 kW och priset för hela systemet ligger enligt uppgifter från HUBER på 1,2–1,4 miljoner kronor och COP antas ligga mellan 2,5 till 3. Oförutsedda kostnader avser en uppskattning på installationskostnader, byggnadskostnader och annat och uppskattas till 20%. Investeringskalkylen för denna värmepump blir således:

Tabell 6. Enklare investeringskalkyl för värmepumpen Huber Wastewater RoWin

Kostnadspost	Kostnad (kr)	Kostnad (€)
System värmepump & värmeväxlare	1 400 000	125 000
Oförutsedda kostnader (20%)	280 000	25 000
Totalt	1 680 000	150 000

Det ska poängteras att det kan tillkomma fler kostnader vid installation och vid en officiell offert. Eftersom Lotsbroverket behöver en hög temperaturskillnad, från 40 till 60 grader på värmeslingan, har ett COP på 2,5 uppskattats med grund i att liknande värmepumpar från Huber har COP 2,5 för samma villkor. I tabell 7 presenteras lönsamhetskalkylen för Huber Wastewater RoWin.

Tabell 7. Lönsamhetskalkyl för Huber Wastewater RoWin. Ränta avser diskonteringsränta på 5% och återbetalningstiden är framräknad med nuvärdesmetoden

Investering (euro)	150 000
Kostnadsbesparing per år (euro)	11 891
Rak återbetalningstid (år)	12,6
Återbetalningstid med ränta (år)	20,4

För värmepumpen är återbetalningstiden cirka 12,5 år vid betalning av hela beloppet direkt. Vid investering som sker i form av ett lån, kommer återbetalningstiden påverkas av ränta och inflation. Nettonuvärdesmetoden ger då en mer precis bild över återbetalningstiden, vilket ger en återbetalningstid på **20,4 år** med en ränta på 5%.

IVT:S GEO 264

Från företaget IVT värmepumpar har en uppskattning erhållits för 2 GEO 264 bergvärmepumpar som seriekopplas (IVT, 2024). Värmepumparna kan nå 75 kW var och tillsammans når de 150 kW. Däremot ligger COP för denna seriekoppling på 2,3, detta är dock utan en extra värmeväxlare som höjer effektiviteten. Priset för värmepumpar är exklusive moms. Investeringskalkylen för dessa ses nedan:

Tabell 8. Enklare investeringskalkyl för IVT:s värmepump GEO 264.

Kostnadspost	Kostnad (kr)	Kostnad (€)
Värmepump Geo 264	470 000	41 964,3
Installation	200 000	17 857,1
Oförutsedda kostnader (20 %)	174 000	15 535,7
Totalt	844 000	75 357,1

Det ska poängteras att det kan tillkomma fler kostnader vid installation och vid en officiell offert. Detta är endast en enkel uppskattning från kundtjänst på IVT. En annan modell kan fungera bättre och detta kostnadsförslag är utan värmeväxlare och det måste köpas externt ifall man vill förbättra effektiviteten. I Tabell 9 ses lönsamhetskalkylen för IVT:s GEO 264.

Tabell 9. Kostnadsbesparingen per år är ett medel av kostnadsbesparingen av COP 2,3 senaste 5 åren. Ränta avser en diskonteringsränta på 5% och återbetalningstiden är framräknad med nuvärdesmetoden

Investering (euro)	75 347
Kostnadsbesparing per år (euro)	9 961
Rak återbetalningstid (år)	7,6
Återbetalningstid med ränta (år)	9,7

Eftersom värmepumpen är kopplad till det renade avloppsvattnet kan en traditionell bergvärmepump eller sjövattnenvärmepump användas.

Viessmann's Vitocal 350 – G PRO, 176 kW

Företaget Veissmanns har bergvärmepumpen Vitocal 350 – G PRO. Värmepumpen har en topp effekt på 176 kW och köldmediet som används är R513A. COP för en framledningstemperatur på 65–70 grader vid inloppstemperatur på 5 grader ligger på 2,5. Investeringskalkyl finns i tabell 10.

Tabell 10. Enklare investeringskalkyl för IVT:s värmepump GEO 264

Kostnadspost	Kostnad (kr)	Kostnad (euro)
System värmepump	1 180 412,8	105 394
Oförutsedda kostnader (20%)	236 082,6	21 078,8
Totalt	1 416 495,4	126 472,8

För att räkna ut återbetalningstiden används samma kostnadsbesparing som tidigare, dvs COP 2,5. Lönsamhetskalkylen finns i tabell 11.

Tabell 11. Kostnadsbesparingen per år är ett medel av kostnadsbesparingen av COP 2,5 senaste 5 åren. Ränta avser en diskonteringsränta på 5% och återbetalningstiden är framräknad med nuvärdesmetoden

Investering (euro)	126 473
Kostnadsbesparing per år (euro)	11 891
Rak återbetalningstid (år)	10,7
Återbetalningstid med ränta (år)	15,6

Dessa värmepumpar ger en indikation, en referenspunkt, hur mycket det bör kosta med en värmepump samt vad återbetalningstiden bör ligga kring. Det är tre förslag på värmepumpar men Lotsbroverket bör kontakta experter för att få den värmepump som är bäst lämpad för Lotsbroverkets konstruktion.

7.2 Scenario 2: Värmepumpen tillförser Lotsbroverket med energi och överskottsenergi går till hamnen.

I detta scenario kommer värmepumpen att tillgodose Lotsbroverket samt hamnen med energi. För hamnen behövs ca 600 MWh årsvis (Jansson, 2024) vilket motsvarar en snitteffekt på 69 kW, men hamnens största värmeeffektbehov månadsvis idag har legat på runt 111 kW. För att tillgodose behovet med marginal mot ännu större toppar görs antagandet att en värmeeffekt på 130 kW behövs. Lotsbroverket behöver en värmepump som klarar toppar kring 132 kW. För att räkna med värmeförluster som ske genom kulvertar anläggningen emellan görs antagandet att en värmepump med ca 300 kW kan förse båda anläggningarna med tillräcklig energi, då finns det även marginal för ökad energianvändning hos båda anläggningarna. Eftersom hamnen behöver vatten på 55–60 grader och Lotsbroverket 65 gradigt vatten finns det synergieffekter av en installation av en värmepump, där bådadas behov kan tillgodoses. För att komma upp i denna effekt går det att seriekoppla flera värmepumpar.

Effekterna av en längre transportsträcka av varmvatten från värmepumpen i Lotsbroverket till hamnen är oklara, och kommer sänka COP något. Det behövs en vidare expertutredning för att få exakt data på kostnader och COP. För enkelhetens skull antas samma COP vid installation av en värmepump.

7.2.1 Finansiell analys: scenario 2

Idag köper hamnen in fjärrvärme från Mariehamn energi till ett pris av 95 €/MWh (Mariehamn energi, 2024). Priset är vinterpriset för fjärrvärme, från november till mars, och eftersom hamnens energiförbrukning är koncentrerad till vintern antas detta pris för hela årsförbrukningen. Hamnens energibehov på 600 MWh motsvarar då $95\text{ €/MWh} \cdot 600\text{ MWh} = 57\,000\text{ €}$ i elkostnader. COP påverkar kostnadsbesparingen vilket kan ses i tabell 12.

Tabell 12. Hamnens kostnadsbesparing beroende på värmepumpens COP

		5	4	3	2,5	2
Årseffekt (MWh)	600	120	150	200	240	300
Elkostnad värmepump (€)		20 400	25 500	34 000	40 800	51 000
Kostnad fjärrvärme (€)		57 000	57 000	57 000	57 000	57 000
Kostnadsbesparing per år (€)		36 600	31 500	23 000	16 200	6000

Två Huber Wastewater RoWin, 334 kW

För att tillgodose både hamnen och Lotsbroverkets behov föreslår Huber att man seriekopplar 2 Huber Wastewater RoWin, för att få effekt på 334 kW.

Tabell 13. Återbetalningstid för investeringen av två Huber Wastewater RoWin. Kostnadsbesparingen visar kostnadsbesparing för hamnen (16 200 €/år) samt Lotsbroverket (11 891 €/år)

	Hamnen	Lotsbroverket
Investering (€)	150 000	150 000
Kostnadsbesparing (€)	16 200	11 819
Rak återbetalningstid (år)	9,3	12,7
Återbetalningstid med ränta (år)	12,8	20,6

Hur mycket som investeras av Lotsbroverket respektive hamnen måste bestämmas. Vid 15 % avskrivning blir det 45 000 € per år för hela investeringen. Om Lotsbroverket och hamnen delar på investeringen blir det en avskrivning på 22 500 € för vardera part. Den årliga kostnadsbesparingen för hamnen (16 200 €) och Lotsbroverket (11 891 €) är dock lägre än deras respektive avskrivningskostnad, vilket resulterar i en nettoförlust i bokföringssyfte varje år under de första 7 åren. Investeringen är därför inte lönsam de första 7 åren i bokföringssyfte. Förslagsvis bör de stå för varsin halva av kostanden som i kalkylen ovan, men egna bestämmelser får råda

Två Veissmanns Vitocal 350 – G PRO, 352 kW

Precis som Huber går det att seriekoppla Veissmanns Vitocal 250 – G PRO. Lönsamhetskalkylen visas i tabell 14.

Tabell 14. Återbetalningstid för investeringen av två Veissmanns Vitocal 350 – G Pro. Kostnadsbesparingen visar kostnadsbesparing för hamnen (16 200 €/år) samt Lotsbroverket (11 891 €/år)

	Hamnen	Lotsbroverket
Investering (€)	126 000	126 000
Kostnadsbesparing (€)	16 200	11 819
Rak återbetalningstid (år)	7,8	10,7
Återbetalningstid med ränta (år)	10,1	15,6

Hur mycket som investeras av Lotsbroverket respektive hamnen måste bestämmas. Vid 15 % avskrivning blir det 37 800 € per år för hela investeringen. Om Lotsbroverket och hamnen delar på investeringen blir det en avskrivning på 18 900 € för vardera part. Den årliga kostnadsbesparingen för hamnen (16 200 €) och Lotsbroverket (11 891 €) är dock lägre än deras respektive avskrivningskostnad, vilket resulterar i en nettoförlust i bokföringssyfte varje år under de första 7 åren. Investeringen är därför inte lönsam de första 7 åren i bokföringssyfte. Förslagsvis bör de stå för varsin halva av kostanden som i kalkylen ovan, men egna bestämmelser får råda.

7.3 Scenario 3: Värmepumpen tillförser endast Lotsbroverket med energi och kyler hamnen med kylslingen.

Ifall värmepumpens kylslinga ska nå hamnen kräver det en utbyggnad av kylslingen från Lotsbroverket till hamnen. För att det ska vara ekonomiskt genomförbart krävs det att hamnen är beredda att betala mycket för kylbehovet, eftersom kostnader för bygglov, värmekulvertar mellan Lotsbroverket och hamnen är stora. Detta scenario blir komplext, inte särskilt kostnadseffektivt och har därför inte utretts djupare. I scenario 2, kan eventuellt även kylslingen användas till hamnen, för att kyla anläggningen under sommaren. Det kan utredas men behöver ytterligare expertis. En värmepump skulle i det fallet värma på vintern, och kyla på sommaren. Problemet är att en sådan värmepump är inte lika effektiv på att värma, vilket kan påverka val av värmepump och således investeringskostnaden.

7.4 Billigare alternativ för värmepumpen

Alternativen ovan är uppbyggda på att värmepumpen ska klara av driften i Lotsbroverket ifall den nya gasmotorn och gaspannan stannar. Detta ger trygghet till Lotsbroverkets drift, men gör att

investeringen blir dyrare eftersom kapaciteten på värmepumpen behöver öka. Lotsbroverket har även möjlighet att operera gasmotorn på 100% drift och vid antagande att gasmotorn opererar utan stora fel eller många avbrott kan en mindre värmepump klara av behovet för Lotsbroverket. En värmepump behöver i det fallet klara 47 kW. I det fallet räcker det till exempel med en Huber RoWin för både Lotsbroverket och hamnen, vilket hade varit ekonomiskt fördelaktigt. För att avgöra storleken på värmepumpen som ska installeras behöver Lotsbroverket undersöka hur väl gasmotorn fungerar, framförallt under vintertid. I det fallet att Lotsbroverket bestämmer sig för att köra gasmotorn på 100-75 % drift (vilket förkortar livstiden för gasmotorn) kan en billigare och mindre värmepump installeras. Lönsamhetskalkyl för investering av en Huber RoWin ses i tabell 15.

Tabell 15. Återbetalningstid för investeringen av en Huber Wastewater RoWin. Kostnadsbesparingen visar kostnadsbesparing för hamnen (16 200 €/år) samt Lotsbroverket (11 891 €/år)

	Hamnen	Lotsbroverket
Investering (€)	75 000	75 000
Kostnadsbesparing (€)	16 200	11 819
Återbetalning (år)	4,6	6,3
Återbetalning med ränta (år)	6	8

Detta gör även att investeringen blir lönsam i bokföringssyfte, med 15% avskrivning. Problemet med att låta gasmotorn köra på 100% drift är att den slits snabbare, samt att Lotsbroverket blir mer beroende av gasmotorn; ett driftstopp kan stoppa hela Lotsbroverkets verksamhet.

7.5 Sammanfattning scenarioanalys

- Om värmepumpen införskaffas endast för Lotsbroverket finns återbetalningstider mellan 7–20 år.
- Om värmepumpen införs för både Lotsbroverket och hamnen kommer återbetalningstiden på ca 10–13 år för hamnen och 15–20 år för Lotsbroverket.
- Den finansiella analysen är förenklad, den verkliga återbetalningstiden kan först ges efter komplett offert. Dessutom påverkas det av elpriset och COP.
- Analysen är grundad på att Lotsbroverket köper in all elektricitet från Mariehamn Energi. Ifall Lotsbroverkets nya gasmotor och solceller står för stor del av den elen som behövs till värmepumpen, kommer återbetalningstiden bli mycket kortare.
- Elpriset är volatilt, vilket påverkar återbetalningstiden beroende på pris vid månader med högt tryck. Oftast är elpriset dyrare under vintermånaderna, vilket kan förlänga återbetalningstiden.
- Ifall man kan höja COP med installation av en extra värmeväxlare kan det vara ekonomiskt hållbart då COP har stor påverkan på återbetalningstiden.
- Den nya gasmotorn kan generera mer värme, vilket innebär att det borde fungera med en mindre värmepump för Lotsbroverket och hamnen ifall den körs på 100% drift.

8. Möjligheter och utmaningar med värmeåtervinning

8.1 Generella möjligheter

Det har gjorts undersökningar på att hämta värme från inloppsvattnet, men den energin kan behövas för reningsprocessen för slammet, vilket kan påverka centrifugeringens effektivitet. Därför har den här rapporten fokuserat på utloppsvattnet och använda värmen som finns där.

I dagsläget förs diskussioner ifall Lotsbroverket ska expandera och även ta hand om avloppsvatten för fler kommuner på Åland. Ifall Lotsbroverket installerar en värmepump med tillräcklig kapacitet finns därför möjligheter att hela Åland minskar sitt klimatavtryck i form av en värmepump som tar hand om hela Ålands avloppsvatten. För att klara av att ge värme till fjärrvärmenätverket föreslog Bengt Ohlsons rapport (2021) att installera en värmepump med kapacitet på 700–1000 kW, vilket är klart mycket större än vad Lotsbroverket och även hamnen behöver för sina värmebehov (utan mest för att klara temperaturkravet till fjärrvärmenätet). Kostnaderna för en värmepump för Lotsbroverket och eventuellt hamnen blir således mycket mindre, vilket gör att återbetalningstiden minskar. En värmepump har oftast livslängd 15–25 år och därför är målet att avbetalningstiden ska vara under den livstiden.

En annan faktor som påverkar livslängden på värmepumpen är hur aktiv den är. Eftersom behovet av en värmepump är som störst under vinterhalvåret finns det möjlighet att stänga av värmepumpen under sommarmånaderna för att minska slitaget. Under dessa månader klarar gaspannan och gasmotorn av att hålla en jämn temperatur för röt-kammaren och på så vis skapa en jämnare och mer effektiv biogasproduktion. Förhoppningsvis kan det leda till att värmepumpen förlänger sin livslängd.

8.2 Generella utmaningar

En av utmaningarna med värmepumpen kommer att vara att installera den på bästa sätt i Lotsbroverket. Andra risker med installation av värmepumpen är att installation blir misslyckad, förlängd eller sker till en högre kostnad än vad som planerats. Dessutom påverkas återbetalningstiden av fluktuationer i elpriset. I rapporten antas det också att värmepumpen inte har några driftstörningar eller något reparationsbehov, vilket kan uppkomma. En annan utmaning som Lotsbroverket står inför är att minska elkostnader och optimera gasproduktionen för att minimera fackling av gas.

8.3 Minskad miljöpåverkan:

En värmepump har värde i att den är miljövänlig, och hjälper till Lotsbroverket att sänka deras utsläpp.

För att göra en rättvis bild av en värmepumps miljöpåverkan kan man analysera olika Scopes. Scope 1, 2 och 3 representerar olika systemgränser där värmepumpen har en miljöpåverkan. Scope 1 utgör den minst omfattande systemgränsen och representerar en direkt påverkan på miljön, till exempel direkt förbränning av olja, vilket är 0 för en värmepump. Scope 2 innefattar indirekt påverkan på miljön, vilket lättast exemplifieras i den inköpta elen, är elen grön eller produceras CO₂ vid produktion av elen? Det sista scopet, scope 3, innefattar all miljöpåverkan en produkt eller ett företag har, ”från vaggan till graven”. Detta delas in i ”uppströms” och ”nedströms” och innefattar till exempel miljöpåverkan vid produktion av en produkt. Scope 3 är omfattande och tidskrävande, därför har en förenklad jämförelse mellan oljepanna och värmepumpen gjorts mellan scope 1 och scope 2.

En minskad effekt i scope 1 & 2 är åtråvärd, och man vill ha så låg miljöpåverkan i scope 1 som möjligt. Här kan man tydligt se att värmepumpen har en mindre miljöpåverkan än oljepannan. För att minska sin klimatpåverkan är det därför extra viktigt att elen som köps in är grön; Mariehamn energi tillhandahåller till största del en grön elmix vilket gör värmepumpen till ett bra klimatalternativ som energikälla. Dessutom producerar Lotsbroverket mycket grön el på egen hand, via gasmotorn och solcellerna.

Tabell 16. Oljepannan och värmepumpens miljöpåverkan för scope 1 & scope 2. Exemplet har hämtats utifrån Lotsbroverkets energibehov

	Oljepanna	Värmepump
Scope 1	114 890 kg CO ₂	0 kg CO ₂
Scope 2	Ca 0 MWh	450 MWh

Köldmedier

Köldmediet i värmepumpen är avgörande för dess miljöpåverkan (Bengt Ohlson, 2021). Däremot är det inte alltid självklart vilket köldmedie som passar till en specifik installation, vilket är något som behöver bestämmas med installatören. Från Bengt Ohlsons rapport (2021) jämförs tre vanliga köldmedel som har anpassats efter fastigheten, sammanfattningen ses nedan.

R513A

- + Relativt låg GWP (global warming potential)
- + Klass A1 "ej brandfarligt"
- + Billigare och effektivare än föregångaren R134a
- Högre GWP jämfört med HFO och Ammoniak

Användningsområden: Komfort, värmepumpar, kökskyla

R717 (Ammoniak)

- + Lågt GWP
- + Hög energieffektivitet med låg kokpunkt
- + Hanterbar brandfarlighet
- + Distinkt lukt som känns även vid små läckage
- + Relativt billig
- Riskanalys krävs
- Klass B2L "Lätt brandfarliga köldmedier" (brandfarligt vid vissa koncentrationer)
- Giftigt och frätande
- Utrymmeskrävande maskiner
- Ventilationskrav
- Fläktluftkylare

Användningsområden: industriell kylning

R123ze (HFO)

- + Lågt GWP
- + Liknar R134a
- + Hanterbar brandfarlighet

- Riskanalys
- Klass A2L, ”Lätt brandfarliga köldmedier”
- Utrymmeskrävande maskiner
- Dyrt kilopris (men sjunkande)
- Ventilationskrav
- Fläktluftkylare
- Relativt nytt på marknaden
- Kan brytas ned till andra växthusgaser och farliga ämnen enligt ny forskning

Användningsområden: Komfort, värmepumpar

Lotsbroverket bör tillsammans med installatör hitta det bästa köldmediet för värmepumpen. Däremot är ett köldmedel med så lågt GWP som möjligt åtråvärt, då det stålsätter sig mot framtida krav och lagar på GWP och köldmedier. Det finns därför en möjlighet för Lotsbroverket att ligga före utvecklingen här och på så sätt inte drabbas av konsekvenser av nya regler och lagar.

8.4 Fler utvecklingsområden för Lotsbroverket

Lotsbroverket har flertalet områden som kan fortsätta undersökas för att bli mer energieffektiva samt hitta fler lösningar som stärker den sociala ingenjörskapen:

- Utveckla försäljningen av slammet: i dagsläget finns endast en kund, som eventuellt är på väg bort. I framtiden bör nya kunder och användningsområden för slammet undersökas. Slammet används framförallt till odling av parkmark och andra kommunala områden samt vägbygge, eftersom det inte är tillåtet som gödningsmedel för livsmedel. Slammet innehåller även lite plast, vilket inte är optimalt.
- Återanvändning av vattnet: det renade utloppsvattnet går idag ut i Östersjön, men det finns möjligheter för återanvändning. I större fastighetskomplex återanvänds avloppsvattnet tillbaka till fastigheterna. Vattnet från Lotsbroverket är rent, men inte drickbart, men har fortfarande många användningsområden.
- Stor del av den använda elen idag köps in. Lotsbroverket är nöjda med gasmotorn och solcellerna och tillsammans producerar de 440 MWh. Den elen de behöver utöver det köper de in. Det finns dock potential för litet vindkraftverk eller utvecklande av biogas, gasmotor och gaspanna för öka den egenproducerade elen. En utredning inom detta område kan hjälpa Lotsbroverket att producera egen, grön el och samtidigt minska kostnaderna för den inköpta elen. I april 2024 låg fakturan från Mariehamns Energi på 17 324 euro, vilket ger en referenspunkt i dagens elkostnader. Det bör därför ligga i Lotsbroverkets intresse att producera mer el.
- Olika tekniker har ökat slammet, vilket skulle kunna ge möjlighet för utvecklad röt-kammare, gaspanna och gasmotor. Denna rapport utgår från de senaste årens slam.
- Gaskvaliteten i röt-kammaren ger stillastående enheter (Fyrvall & Al Hussein, 2014). En bättre kvalitet ger högre gasproduktion.
- Minska facklingen av gasen genom att optimera användandet av biogas eller sälja vidare biogasen till andra aktörer. Eventuellt att installera en ”överskottsmätare” som säljer vidare överbilnen el till elnätet om det är lönsam mängd biogas som kan säljas vidare.

9. Slutsats & Åtgärdsförslag

Genom att byta till en värmepump minskar Lotsbroverket sin klimatpåverkan och även sina elkostnader. Rapporten har visat att återbetalningstiden ligger mellan 7–20 år för en värmepump, och beror på om den investeras för endast Lotsbroverket eller tillsammans med hamnen. Den ekonomiska investeringen är inte lönsam i bokföringssyfte de första 7 åren, men investeringen underlättar för Lotsbroverket att uppnå EU:s klimatmål och på så sätt undviker framtida böter och kostnader som kommer i samband med hårdare lagkrav. Värmepumpens storlek och således investeringskostnad beror på hur mycket säkerhet Lotsbroverket vill ha för driften i verksamheten.

Som åtgärdsförslag ges rekommendationen att investera i Huber RoWin värmeväxlare, eftersom den har ett automatiskt rengöringssystem vilket förhindrar eventuella stopp i värmeväxlaren ifall utloppsvattnet medför smuts. Veissmanns industripumpar är också intressanta, men det är just reningssystemet som kan förhindra eventuella stopp. Vid installation av en Huber RoWin värmeväxlare kan Lotsbroverket se hur väl den integreras med den nya gasmotorn, ifall gasmotorn klarar av att köra på 100% drift under månadsstopparna kan även hamnen kopplas in i värmepumpens värmeslinga, eftersom det finns tillräckligt med effekt för båda verksamheterna.

Därför blir åtgärdsförslaget

1. Installera en Huber RoWin
2. Se hur stor del av värmebehovet som kan tas av den nya gasmotorn utan att den slits för mycket
3. Koppla in hamnen i värmeslingan ifall det finns effekt över eller investera i en till värmepump för att möta hamnens behov.

Referenser

Çengel, Y., Cimbala, J. och Ghajar, A. (2021). Fundamentals of thermal-fluid sciences. 6: e upplagan. McGraw-Hill.

Drivkraft Sverige (2024). Fakta & Statistik. <https://drivkraftsverige.se/fakta-statistik/> (Hämtad 2024-07-4).

Europaparlamentet (2023). Minska EU:s utsläpp: nationella mål för 2030. <https://www.europarl.europa.eu/topics/sv/article/20180208STO97442/minska-eu-s-vaxthusgasutslapp-nationella-mal-for-2030> (Hämtad 2024-06-12).

Huber Technology (2024). Huber Rowin technology. https://www.hubersverige.se/fileadmin/huber-se/documents/pdf/pro_rowin_se.pdf (Hämtad 2024-07-20).

IVT värmepumpar (2024). Översikt IVT GEO. <https://www.ivt.se/fastighetsprojekt/produkter/ivt-geo/oversikt/> (Hämtad 2024-07-22).

Mariehamn energi (2024). Ändrade priser för elnät och fjärrvärme från årsskiftet men elpriset behålls oförändrat. <https://energi.ax/2023/11/30/andrade-priser-for-elnat-och-fjarrvarme-fran-arsskiftet-men-elpriset-behalls-oforandrat/> (Hämtad 2024-07-15).

Svenska FN-förbundet (2023). Globala målen för hållbar utveckling <https://fn.se/globala-malen-for-hallbar-utveckling/> (Hämtad 2024-07-24).

Veissmann (2024). VITOCAL 350-G PRO. <https://www.viessmann.co.uk/en/products/heat-pump/vitocal-350g-pro.html> (Hämtad 2024-07-15).

Bilagor

Bilaga 1: Beräkning av värmeslingans flödeshastighet:

För att validera att värmeslingan kräver den energi som oljepannan har försett den med, görs en uppskattning på hur mycket energi det krävs för att värma upp vattnet i värmeslingan. För att göra den beräkningen krävs en uppskattning på volymflödet i värmeslingan som är okänd.

- Uppskattar att temperaturen till gaspannan har en temperatur på 70 grader
- Uppskattar att returvattnet har en temperatur på 40 grader
- Den överförda värmeeffekten är effekten från gamla gaspannan (dvs 57kW) plus 132kW som är den värmeeffekt som maximalt har krävts från oljepannan:

$$m = \frac{Q}{c_p * \Delta T} = \frac{189000 \text{ J/s}}{\frac{4180 \text{ J}}{\text{l}} \text{ } ^\circ\text{C} * 30^\circ\text{C}} = 1,507 \text{ l/s}$$

Uppskattning två ges av:

- Returvattnet ligger på 20 grader
- Vattnet till gaspannan har en temperatur på 70 grader

$$m = \frac{Q}{c_p * \Delta T} = \frac{189000 \text{ J/s}}{\frac{4180 \text{ J}}{\text{l}} \text{ } ^\circ\text{C} * 50^\circ\text{C}} = 0,9043 \text{ l/s}$$

Bilaga 2: Beräkning av oljeförbrukningens effekt:

För att räkna ut effekten från oljeförbrukningen har följande värden använts:

Eftersom $m = \varphi * l$ kan man få antal kg olja. Sedan multipliceras energiinnehållet för att få fram den energin som massan på oljan innehåller. Vidare skrivs energin om till MWh genom att dividera med 3600. Till sist multipliceras verkningsgraden på 0,9. Stegen ses i den fullständiga tabellen nedan.

År	Densitet Olja (φ)	Liter Olja (L)	Massa Olja (m)	Energiinnehåll olja (MJ/kg)	Energi (M - Joule)	Effekt (MWh)	Verkningsgrad
2023	845	42 866	36 221,77	45	1 629 979,65	452,77	407,49
2022	845	22 624	19 117,28	45	860 277,60	238,97	215,07
2021	845	30 628	25 880,66	45	1 164 629,70	323,51	291,16
2020	845	23 693	20 020,59	45	900 926,33	250,26	225,23
2019	845	34 720	29 338,40	45	1 320 228,00	366,73	330,06

De värden som skiljer sig åt är energiinnehållet för förbränningsolja. Olika källor ger olika värden och det är väldigt specifikt beroende på vilken olja det är. Eftersom informationen från Lotsbroverkets faktura är ”motorbrännolja” och inte mer specifikt är det svårt att hitta ett exakt värde.

Däremot kan man validera att resultatet är någorlunda säkert, genom att multiplicera med andra värden. Till exempel är standardvärdet vid beräkningar för förbränningsolja ca 10 000 kWh/m³ (Drivkraft Sverige, 2019). Med det värdet erhålls en effekt på 429 MWh för 2023. Värdena jag har erhållit ligger därmed lite över standardvärdet för olja, men ändå i närheten. Det säkerställer att mitt värde på 45 MJ/kg är rimligt och trovärdigt för förbränningsolja.