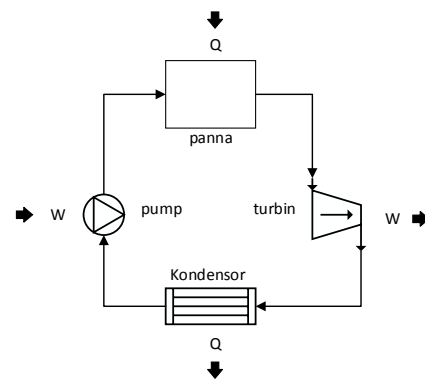


# Ångdrift av värmepump på Sysavs avfallsförbränningsanläggning

Sysav ansvarar för den regionala återvinningen och avfallshanteringen i södra Skåne. Som en del av återvinningen produceras el och värme genom att avfall förbränns i en förbränningsanläggning. Sysavs förbränningsanläggning i Malmö har fyra linjer varav två endast producerar värme och två är så kallade kraftvärmeverk där det sker en samproduktion av el och värme. På kraftvärmeverkslinjerna finns eldrivna värmepumpar som utvinnet värme i rökgaserna, som bildas vid förbränning, och producerar fjärrvärme för uppvärmning av bostäder. För elförsörjning av dessa värmepumpar används internt producerad el. Även då elen är internt producerad måste en viss energiskatt betalas för denna elkonsumtion vilket gör att driftkostnaden för elmotorerna som driver värmepumparna blir hög. Den höga driftkostnaden gör att det skulle vara önskvärt att minska elkonsumtionen genom förslagsvis byte av drivmedel för värmepumparna. I ett kraftvärmeverk utnyttjas en ångcykel för produktion av el och värme vilket gör att mycket ånga finns att tillgå i anläggningen. Utifrån dessa aspekter är det detta arbetets huvudsakliga uppgift att utreda om det är möjligt att ersätta eldriften på en av värmepumparna med ångdrift. Frågorna som ska besvaras är om det är tekniskt och praktiskt möjligt, hur det påverkar kraftvärmeverkslinjen och om bytet av drivteknik blir lönsamt.

## Teori

Tekniken som används då energi utvinns vid en förbränningsanläggning är utnyttjandet av en ångcykel. Den vanligaste modellen för att beskriva processen i detta fall, där överhettad ånga används, är med en Rankinecykel. Cykeln består av fyra delar som det cirkulerande mediet passerar i ett slutet kretslopp, se figur 1. Det cirkulerande mediet värms först i en panna till en högtrycksånga och passerar sedan turbinen där trycket sjunker. Lågtrycksångan fortsätter efter turbinen in i en kondensator där den kondenseras och övergår till vatten med lågt tryck. Kondensatet fortsätter sedan till pumpen där trycket återigen höjs för att sedan ledas tillbaka till pannan och cykeln börjar om.



Figur 1. Rankinescyklens fyra steg.

Principen för en värmepump är att flytta värme från ett område med lägre temperatur till ett område med högre temperatur. Processen sker i 4 steg och är mycket lik principen för en ångcykel fast här sker processen omvänt och det cirkulerande mediet är ett köldmedium. I det första steget går köldmediet genom en strypventil där trycket och temperaturen sjunker. I det andra steget möter köldmediet, som nu har relativt låg temperatur, processvätskan vilket gör att processvätskan kyls och köldmediet förångas. Efter detta komprimeras det nu förångade köldmediet till ett högt tryck vilket höjer temperaturen. I det sista steget kondenseras ångan till vätska vilket sker vid hög temperatur. Eftersom värme inte naturligt flyttas från kallare temperatur till varmare måste arbete tillföras vilket sker genom kompressorn. Energi tillförs också genom värme vid förångningsprocessen.

För att kunna driva värmepumpens kompressor med ånga krävs en ångturbin. Med en ångturbin omvandlas termisk energi och rörelseenergi i trycksatt vattenånga till en mekanisk rotationsrörelse. Omvandlingen sker genom att ångan expanderar över turbinblad som sitter fast på ett eller flera hjul vilket får hjulen att rotera och driva en axel. Axeln kan kopplas till en generator för att generera el, eller som i detta fall till en kompressor. I detta arbete avses en mottrycksturbin användas vilket innebär att trycket på turbinens utloppsånga är högre än atmosfärstrycket. Detta innebär i sin tur att

en kondensator behövs för att kondensera utloppsången. En kondensator är en typ av värmeväxlare där ett köldmedium möter ånga vilket får ångan att kondensera.

### **Sysavs kraftvärmeverkslinje**

I stora drag ser ångcykeln på Sysavs kraftvärmeverk ut som Rankinecykeln är beskriven ovan. Avfall förbränns i en panna som värmer upp en ånga som sedan får expandera över en turbin och därmed genereras el. Utloppsången från turbinen kondenserar i en fjärrvärmekondensator där värmen som är kvar i ångan efter turbinen blir till fjärrvärme. När avfallet förbränns i pannan bildas också rökgaser som måste renas innan de kan släppas ut genom anläggningens skorsten. Reningsprocessen består av ett elektriskt filter, tre skrubbrar och en katalysator. För att minimera värmeförlusterna utvinns även värmen i rökgaserna genom att uppvärmt skrubbevatten används som värme i två värmepumpars förångare. I värmepumparna blir rökgasvärmen till fjärrvärme genom att returnerat fjärrvärmevatten värms upp. När fjärrvärmevattnet kommer i retur till anläggningen har det en temperatur på ungefär 40-60 grader. Vattnet passerar en del olika processenheter för uppvärmning och når sin slutliga framledningstemperatur i fjärrvärmekondensorn. Framledningstemperaturen är vanligen 90°C.

### **Förutsättningar**

Den värmepump som avses i detta arbete är en kompressionsvärmepump med eleffekten 1.8 MW. Köldmediet i värmepumpen är R134a och kompressorns varvtal är 16 000 rpm. Den elmotor som idag driver kompressorn har ett varvtal på 3000 rpm och för att matcha elmotorns varvtal med kompressorns varvtal sitter en inbyggd växellåda i värmepumpens kompressor. På varje kraftvärmeverkslinje finns två stycken sådana här värmepumpar som vanligen är i drift växelvis. Under vissa förhållande, exempelvis höga elpriser, är ingen av värmepumparna i drift och vid andra förhållande, exempelvis stort värmebehov, är båda värmepumparna i drift. Båda värmepumparnas sammanlagda drifttid står för 44% av den interna elförbrukningen på den avsedda kraftvärmeverkslinjen.

Utrymmet som finns runt värmepumpen är en begränsande faktor. Därför krävs en noggrann undersökning om den eventuellt nya lösningens dimensioner, var placeringar ska ske och hur rördragning ska se ut.

### **Lösningförslag**

Under arbetets gång har flera olika lösningalternativ undersökts vilket slutligen resulterat i fyra olika tänkbara alternativ.

1. Ersätta elmotorn med en enstegsångturbin och låta utloppsången från turbinen kondensera i den befintliga fjärrvärmekondensorn.
2. Ersätta elmotorn med en flerstegsångturbin och låta utloppsången från turbinen kondensera i den befintliga fjärrvärmekondensorn.
3. Ersätta elmotorn med en enstegsångturbin och installera en ny kondensator i vilken utloppsången från turbinen skall kondensera.
4. Ersätta elmotorn med en flerstegsångtubin och installera en ny kondensator i vilken utloppsången från turbinen skall kondensera.

Turbinmodellerna som avses är en enstegsturbin och en flerstegsturbin. Enstegsturbinen har ett mottryck på 2 bar och flerstegsturbinen ett mottryck på 0,8 bar. Enstegsturbinen har en sämre verkningsgrad och för att driva värmepumpens kompressor krävs ett ångflöde på 20 ton per timme. Flerstegsturbinens verkningsgrad är bättre och kräver endast ett ångflöde på 10 ton per timme men är dyrare än enstegsturbinen. Varvtalet för enstegsturbinen är 6000 rpm för flerstegsturbinen är varvtalet 16 000 rpm.

Olika förslag på kondensormodeller för kondensering av utloppsången i alternativ 3 och 4 är framtagna. Mängden kylvatten som krävs för kondensering av ångan i alternativ 3 är 78 kg per

sekund och för alternativ 4 krävs 38 kg per sekund. Antingen kan en tub- eller plattvärmväxlare väljas. Tubvärmväxlare är robustare och kanske att rekommendera men tar upp betydligt större utrymme jämfört med en plattvärmväxlare.

### Påverkan på kraftvärmeverkslinjen

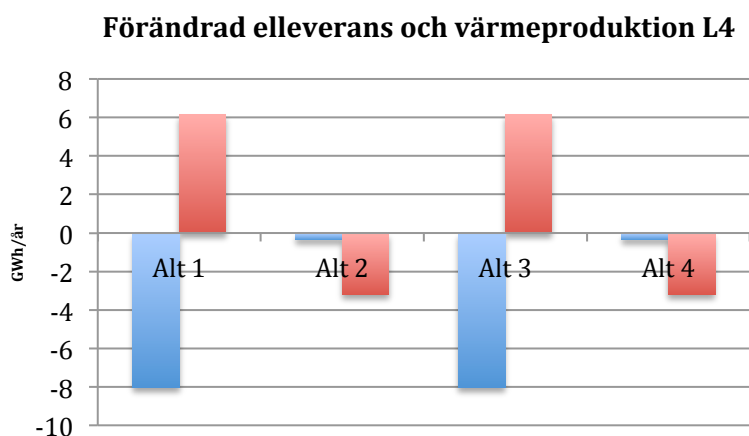
När elmotorn som idag driver värmepumpen som avses startas så går varvtalet nästan omedelbart upp till det önskade. Uppstarten från kallt läge av en ångturbin tar längre tid och måste först drivas igång långsamt för att sedan följa speciella upprullnings- och pålastningskurvor. Förutom att det tar tid så kan den långsamma uppstarten skapa problem på kompressorn. När ångturbinen är under uppstart och varvtalet inte är det önskade utsätts kompressorns lager för starka krafter som leder till att temperaturen på oljan som finns i kompressorns lager ökar. En för hög oljetemperatur kan innebära att kompressorns lager skadas. För att undvika detta bör ett temperaturregleringssystem för oljan installeras. Att turbinen och därmed kompressorn snurrar på låga varvtal kan innebära ytterligare en risk då oljefilmen i kompressorns lager kan vara svår att upprätthålla. Förmodligen klarar kompressorn dessa låga varvtal under uppstarten men som åtgärd kan speciella oljefilmspannar installeras som ser till att hålla oljefilmen på plats.

Uppstart av ångturbinen kan alltså innebära vissa risker. Därför är det önskvärt att minimera antalet uppstarter av turbinen. Ett förslag på hur detta skulle kunna göras är att den ha den ångdrivna värmepumpen i drift kontinuerligt under de månader då värmebehovet är tillräckligt högt för att minst en av värmepumparna ska behöva vara i drift alla månadens timmar. Genom analys av drifttimmarna för båda värmepumparna sker detta under månaderna oktober till april. Kraftvärmeverkslinjens eldrivna värmepump kan då vara i drift under månaderna med lägre värmebehov, maj till september, och under de tider då båda värmepumparna behövs i drift.

Växellådan som är inbyggd i värmepumpens kompressor växlar från 3000 rpm till 16 000 rpm. Eftersom ingen av turbinmodellernas varvtal matchar växellådans måste ytterligare en växellåda installeras för alla fyra lösningsalternativ. Dubbla växellådor medför en del nackdelar som att verkningsgraden blir lägre till följd av förluster i växlingen och att lösningen tar mer plats. Flerstegsturbinens varvtal matchar däremot kompressorns varvtal. I nuläget har en lösning på att ta bort den befintliga växellådan utan att behöva byta ut hela kompressorn funnits men det bör undersökas noggrannare. Om en lösning på det problemet hittas så skulle ingen växellåda mellan turbinen och kompressorn behövas vilket skulle spara både energi och plats.

### Förändrad elleverans och värmeproduktion

För ångdrift av en av linjens värmepumpar krävs ett relativt stort ångflöde, 20 respektive 10 ton per timme. Att ett delflöde från huvudångledningens leds bort innan ångflödet passerar turbinen för generering av el på linjen innebär att linjen kommer producera mindre el. En mindre del av den producerade elen kommer däremot behövas för intern elförsörjning eftersom elmotorn är utbytt. Mellanskillnaden av dessa två faktorer blir lösningsalternativens förändring av elleveransen och



Figur 2. Förändrad elleverans (blåa staplar) och värmeproduktion (röda staplar).

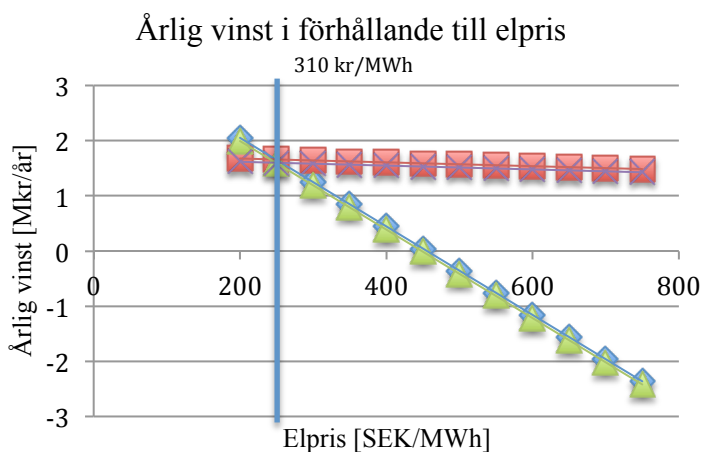
värden på detta kan ses i figur 2. Värmeproduktionen påverkas också av lösningsalternativen vilket också kan ses i figur 2.

Som det kan observeras i diagrammet kommer elleveransen påverkas negativt för alla lösningsalternativ. Påverkan är mycket större för alternativ 1 och 3 eftersom ett större ångflöde krävs för drift av värmepumpen i dessa två fall. Värmeproduktionen ökar för alternativ 1 och 3 vilket beror på att utloppsången från värmepumpens eventuella ångturbin har ett högre tryck än utloppsången från turbinen på kraftvärmeverkslinjen. Ett högre tryck på ångan innebär att den har högre entalpi dvs mer energi finns kvar och mer värme kan därmed produceras.

### Ekonomiska aspekter

Investeringskostnader är högst för lösningsalternativ 4, 14,3 Mkr, och näst högst är kostnaderna för alternativ 2, 12,3 Mkr. Billigaste lösningen är alternativ 1 som kostar 9,4 Mkr och näst minsta investeringskostnader har alternativ 3, 11,2 Mkr. Underhållskostnaderna är grovt uppskattade till att vara ungefär 3% av investeringskostnaderna vilket för alla alternativ är mer än underhållskostnader för den befintliga elmotorn.

Vid beräkning av lönsamhet med dagens elpris, 310 kr per MWh och dagens pris på elskatt, 300 kr per MWh, är samtliga alternativ lönsamma, se figur 3.



Figur 3. Årlig vinst i förhållande till elpris för alternativ 1, blå, alternativ 2, röd, alternativ 3, grön och alternativ 4, kryss.

Ur figur 3 kan det också observeras att alternativ 1 och 3 är väldigt känsliga för variationer i elpriset och redan vid ett elpris på ca 450 kr per MWh så är dessa två alternativ inte lönsamma ersättningar till eldriften av värmepumpen. Att alternativ 1 och 3 är så mycket mer känsliga för elprisvariationer beror på att ångflödet som behövs för dessa alternativ är dubbelt så högt som för alternativ 2 och 4 och därmed påverkas elleveransen mycket mer.

### Slutsats

Utifrån de ekonomiska aspekterna och de risker och komplikationer som föreligger med de olika alternativen är slutsatsen att alternativ 2 är det mest lämpliga för anläggningen på Sysav. Alternativ 1 och 3 anses vara för ekonomiskt riskabla eftersom de är väldigt känsliga för elprisvariationer. Både alternativ 2 och 4 är lönsamma och verkar tekniskt genomförbara. Nackdelarna med alternativ 2 är framförallt att det föreligger en viss risk med att sammankoppla den nya lösningen med den befintliga kondensorn. Den huvudsakliga nackdelen med alternativ 4 är att utrymmeskravet är på gränsen till för stort och därför väljs detta alternativ bort.

Förslaget på lösning är alltså att ersätta den befintliga elmotorn med en flerstegångturbin. Det krävda ångflödet tas från ångledning ut ur pannan och utloppsången leds för kondensation till den befintliga fjärrvärmekondensorn. Med denna installation beräknas besparingen vara ungefär 1,6 miljoner kronor per år.

