

Linnéuniversitetet

Institutionen för teknik

Examensarbete i Energi och miljö

Tryckfallsutredning på Växjö Energi AB

*Utredning av onormalt tryckfall i
fjärrvärmereturledning*



Författare: Robin Moreton &
Olimpia Nasser

Handledare: Michael Strand

Examinator: Michael Strand

Handledare, företag: Peter
Johansson, Växjö Energi AB

Datum: 2020-05-31

Kurs kod: 2BT01E, 15 hp

Ämne: Examensarbete i
bioenergiteknik

Nivå: Högskoleingenjör

*Institutionen för byggd miljö
och energiteknik*

Sammanfattning

Växjö Energi AB äger ett kraftvärmeverk som bedriver fjärrvärmeproduktion i Växjö vilket levererar både elektricitet och värme till kunderna. Vid en rutinkontroll där det gjordes en datorsimulering av tryckförhållanden i Växjö stads fjärrvärmenät uppmärksammades ett onormalt högt tryckfall i returledningen. Tryckfallet kunde härledas till en huvudventil på returledningen av fjärrvärmevattnet med namnet P01 FQ01A01.

Arbetet har gått ut på att undersöka vad som kan tänkas vara orsaken till det onormalt höga tryckfallet i huvudventilen samt bidra med åtgärdsförslag samt kostnadsanalyser. Utförandet av arbetet har tagit plats på Växjö Energi AB:s anläggning och på Linnéuniversitetet i Växjö.

De tekniska konsekvenserna som tryckfallet medför är att fjärrvärmepumparna på anläggningen måste jobba hårdare för att leverera samma flöde till nätet vilket innebär större risk för begränsning av pumpkapaciteten. Ur en ekonomisk aspekt medför den högre pumpeffekten en högre elkostnad. Totalt bidrar tryckfallet med en ökad elkostnad på 7,7 % jämfört med bästa scenariot då det endast uppstår ett rekommenderat tryckfall enligt specifikationerna för ventilen och inget tryckfall över smutsfiltret.

Utifrån den tekniska analysen framgår det att tryckfallet uppstår på grund av en blockering inuti huvudventilen och inte på grund av någon felinställning eller felaktig underhåll av ventilen. Det har identifierats även ett mindre tryckfall som uppstår i smutsfiltret efter ventilen. Det bästa åtgärdsförslaget samt även vilken den bästa tiden för att lösa problemet med tryckfallet är att göra ett driftstopp på kraftvärmeverket under vecka 29 sommaren 2021. Under ett driftstopp kan returledningen för fjärrvärmevattnet ansluten till huvudventilen öppnas upp och blockeringen av ventilen kan undersökas samt avlägsnas. I samband med det kan silen rengöras eller avlägsnas, vilket bör ske under den veckan på året med förväntat högsta utetemperaturerna. År 2019 var vecka 29 den veckan med högsta utetemperaturerna och det lägger grunden till varför åtgärdsarbetet med ventilen rekommenderas att utföras vecka 29 även år 2021, förutsatt att utetemperaturerna kommer vara som högst på året även då. Under de dagarna med högsta lufttemperaturerna är belastningen på fjärrvärmenätet som minst och därmed då även behovet av varmvatten.

Ett driftstopp under en vecka innebär att varmvattnet istället måste levereras från en reservanläggning vilken eldar med bio-olja som är dyrare än konventionellt fast skogsbaserat bränsle. Att elda med bio-olja under den varmaste veckan på året har beräknats vara fem gånger dyrare än att producera fjärrvärme från skogsbaserat bränsle.

Varför reparationsarbetet av ventilen begränsats till en vecka beror på att reservanläggningar endast får användas högst sju dagar under ett år vilket innebär en kortare reparationstid är att föredra.

Arbetet har utgått från att tryckfallet sker i huvudventilen på anläggningen och inte ute på nätet, samt att tryckförändringar avser endast fram- och returledningen på anläggningen och tar inte hänsyn till mellanliggande processer som uppvärmning av vattnet. Åtgärdsförslag och kostnadsanalyser avser endast huvudanläggningen med undantag för reservanläggningar där kostnadsanalyserna rör ersättningsproduktionen av fjärrvärme. Värmeproduktionen ligger i fokus för arbetet och därmed omfattas inte elproduktionen i projektet.

Summary

Växjö Energi AB runs a cogeneration plant that conducts district heating production in Växjö and supplies both electricity and heat to the customers. During a routine check where a computer simulation of pressure conditions was done in Växjö city's district heating network, an abnormally high pressure drop in the pipe with the returning water was noticed. The pressure drop could be linked to a main valve in the return pipe for the district heating water with the name P01 FQ01A01.

The work has focused on investigating what is likely to be the cause of the abnormally high pressure drop in the main valve as well as contributing with suggestions of measures to prevent it and cost analyzes. The work has taken place at Växjö Energi AB's plant and at the Linnaeus University in Växjö.

The technical consequences of the pressure drop are that the district heating water pumps at the plant must work harder to deliver the same flow to the grid, which means a greater risk of limiting the pump capacity. From an economical point of view, the higher energy consumption of the pumps results in a higher electricity cost. In total, the pressure drop contributes to an increased electricity cost of 7,7 % compared to the best scenario where only a recommended pressure drop occurs according to the specifications of the valve and no pressure drop across the dirt filter.

From the technical analysis it was established that the pressure drop occurs due to a blockage inside the main valve and not due to any misalignment or incorrect maintenance of the valve. An additional minor pressure drop has also been identified that occurs in the dirt filter after the valve. The best course of action as well as the best time to solve the problem of the pressure drop is to make a shutdown at the cogeneration plant during week 29 in the summer of 2021. During the shutdown the valve can be opened, the blockage can be removed, and the dirt filter can be cleaned or removed which should be performed during that week of the year with the highest expected outdoor temperatures. In 2019 week 29 had the highest outdoor temperatures and is used as a basis for the proposed week. Under the highest outdoor temperatures, the load on the district heating network is at a minimum and thus the need for hot water.

A shutdown for one week means that the hot water must instead be delivered from a backup plant which uses bio-oil as fuel which is more expensive than conventional solid forest-based fuel. To use bio-oil for combustion during the week of the year with the highest outside temperatures has been calculated to cost five times more than producing district heating from forest-based fuel.

Why the repair work of the valve is limited to one week is because reserve plants can only be used for a maximum of seven days during a year, which means a shorter repair time is preferred.

The work is based on the fact that the pressure drop occurs in the main valve on the plant and not on the grid, and that pressure changes refer only to the supply and return pipes at the plant and do not take into account intermediate processes such as heating the water. Proposed measures and cost analyze refer only to the main plant, with exception for the reserve plants where the cost analyzes cover the replacing production of district heating. Heat production is the focus of the work and thus the electricity production is not included in the project.

Abstract

På kraftvärmeverket där Växjö Energi AB bedriver fjärrvärmeproduktion i Växjö och har vid en rutinkontroll gjort en datorsimulering av tryckförhållandena i fjärrvärmenätet och upptäckt ett onormalt tryckfall lokaliserat till huvudventilen för returvattnet.

Arbetet är en utvärdering av åtgärdsförslag och tekniska- samt ekonomiska analyser i samband med tryckfallet över huvudventilen där det konstateras att tryckfallet orsakas av en blockering i ventilen och inte på grund av andra orsaker som felinställningar eller bristande underhållsarbete. Det konstaterades även ett tryckfall över ett smutsfilter i samband med ventilen.

Tekniska och ekonomiska analyser visar att det onormalt höga tryckfallet medför ett ökat vattenpumparbete och i samband med det även en ökad elkostnad som är 7,7 % högre jämfört med ett idealt tryckfall över ventilen vilket anges av ventilens tillverkare, och utan tryckfall över smutsfiltret.

Kostnadsförslag vid ett driftstopp av huvudanläggningen för att elda på reservanläggningar, som endast kan elda med bio-olja, medan åtgärdsarbetet av ventilen och silen utförs beräknat över sju dagar enbart baserat på bränslekostnaden är fem gånger högre jämfört med priset för konventionellt fast skogsbaserat bränsle.

Förord

Uppdragsgivare är Peter Johansson på Växjö Energi AB som har varit ett stort stöd under arbetet. Vi vill även tacka Per Johansson och Lars Magnusson från Växjö Energi AB som har också varit behjälpliga samt Michael Strand från Linnéuniversitetet som har varit vår handledare och examinator.

Innehållsförteckning

1.0 Bakgrund	1
1.1 Syfte och mål.....	1
1.1.1 Frågeställning	2
1.2 Avgränsningar	2
2.0 Teori	3
2.1 Fjärrvärmegenerationer	3
2.1.1 Första fjärrvärmegenerationen	3
2.1.2 Andra fjärrvärmegenerationen	3
2.1.3 Tredje fjärrvärmegenerationen	3
2.1.4 Nuvarande fjärrvärmesystem	4
2.2 Fjärrvärmeteknik – kraftvärmeverk.....	4
2.2.1 Rökgaskondensering	4
2.2.2 Årlig användning av fjärrvärme	5
2.2.3 Värmeeffekt i fjärrvärmenätet	5
2.4 Driftövervakning	6
2.5 Bränsle.....	6
2.5.1 Skogsbaserat bränsle	6
2.5.2 Bio-olja.....	6
2.6 Tillstånd för miljöfarlig verksamhet	7
2.7 Hydromekanik	7
2.8 Termodynamik	7
2.8.1 Tryck	8
2.8.2 Tryckförluster och flöde.....	10
2.9 Pumpar – hydrauliska maskiner	12
2.10 Ventiler.....	13
2.10.1 Kikventiler.....	14
2.10.2 Kulventiler.....	16
2.11 Silar	17
3.0 Objektbeskrivning	18
3.1 Presentation av Växjö Energi	18
3.1.1 Hållbarhet på Växjö Energi.....	18
3.2 Anläggning Växjö Energi.....	19
3.2.2 Bränsle på Växjö Energi.....	19
3.2.3 Tillstånd för reservanläggningar på Växjö Energi	20
3.3 Studerat system	21
3.4 Ventil P01 FQ01A01.....	26

4.0 Metod	28
5.0 Genomförande	29
5.1 Identifiering av orsaken till tryckfallet	29
5.2 Identifiering av tryckfallets ekonomiska samt tekniska konsekvenser	29
5.3 Identifiering av lösningen till studerade problemet.....	30
5.4 Identifiering av tidsperioden samt kostnader i samband med åtgärdsarbete.....	30
6.0 Resultat, analys och diskussion	31
6.1 Analys av tryckfallet över huvudventilen	31
6.1.1 Orsaken till tryckfallet.....	33
6.2 Analys av tryckfallet över silen.....	33
6.3 Analys av tryckfallets tekniska konsekvenser.....	34
6.4 Analys av årets lägsta fjärrvärmebehov	37
6.5 Kostnadsuppskattning för driftstopp på huvudanläggningen.....	37
6.6 Tryckfallets kostnadsanalys	37
6.7 Felkällor	38
7.0 Slutsatser	40
8.0 Referenser.....	42
9.0 Bilagor	1

1.0 Bakgrund

Fjärrvärme introducerades först kommersiellt i Lockport och New York på 1870- och 1880-talet men det medeltida pionjärsystemet fanns redan i Chaudes-Aigues, Frankrike 1334, där varmt vatten distribuerades från en geotermisk källa till vissa byggnader i byn. [46] De första europeiska kommersiella fjärrvärmesystemen infördes i Tyskland på 1920-talet, i Sovjetunionen och Kina införde fjärrvärme på 1930- och 1950-talet. [1]

Det totala antalet fjärrvärmesystem har uppskattats till 80 000 system varav cirka 6000 system i Europa. [2] De viktigaste användarkategorierna för fjärrvärme är industrier och byggnader som under 2014 köpte 11,5 exa joule värme från fjärrvärmeverksamhet inom energisektorn där Ryssland, Kina och Europeiska unionen svarade för 85 % av dessa värmeleveranser. Andelen användarkategorier var 51 % till byggnader, 45 % till industrier och 4 % till övriga. [1]

Fjärrvärmesystem är vanligast förekommande i Sverige och Ryssland, men förekommer även i andra länder. [3] Populariteten av fjärrvärme som uppvärmningssystem har blivit större i Sverige genom åren och ökat från 12 TWh till 65 TWh per år mellan 1970 och 2012 där nu mer än hälften av alla bostäder och lokaler i Sverige får sin värme från fjärrvärme varav ungefär 90 % av flerfamiljshus är påkopplade till fjärrvärmenäten. [4] I Sverige används fjärrvärme framförallt för bostads- och lokaluppvärmning samt till mindre del för att ta vara på restvärme från industrier. Enligt *Energiläget 2019* förbrukar bostäder och servicesektorn 145 TWh per år, där fjärrvärme utgör ungefär 30 %. [5] Kraftvärmeverk är vanligt förekommande i Sverige, där nyttjandegraden av energi ökar då värmen från elproduktionen förs till fjärrvärmenätet istället för att gå till spillo.

Ur historiskt perspektiv har bränsle till varmvattenproduktion ofta varit olja och kol, men under de senaste två decennierna har det skett en omställning i valet av bränsle som nu istället domineras av restprodukter från skogsbruket och hushållsavfall. Två städer som avviker från normen och fortfarande använder fossilt bränsle som energikälla till fjärrvärme i form av naturgas är städerna Göteborg och Malmö.

Växjö Energi AB bedriver fjärrvärmeproduktionen i Växjö där fjärrvärmenätet utgör 417km, rymmer 10 730m³ och försörjer 8656 undercentraler med värme, se *Bilaga 1*. I nuläget har fjärrvärmeproduktionen i Växjö ett tekniskt problem orsakat av tryckfallet på returledningen för fjärrvärmevattnet som är förknippat med en huvudventil vilket undersöks i detta arbete.

1.1 Syfte och mål

Syftet med studien är att genom mätningdata, beräkningar samt litteraturstudie undersöka felet i returledningens huvudventil P01 FQ01A01 som orsakar tryckfallet i Växjö stads fjärrvärmenät och medföljande ekonomiska samt tekniska konsekvenser.

Målet med undersökningen är att med hjälp av dataanalys komma fram till sambandet mellan tryckfallet och vattenflöden, beräkna hur mycket onödig pumpenergi detta medför, samt hur mycket av anläggningens kapacitet minskas på grund av tryckfallet. Därefter ska studien identifiera den extra kostnaden som orsakas av tryckfallet samt föreslå en åtgärd i förhållande till anläggningens produktionskrav samt beräkna hur mycket ett eventuellt produktionsstopp på huvudanläggningen kostar.

1.1.1 Frågeställning

- Varför uppstår tryckfallet?
- Vilka ekonomiska samt tekniska konsekvenser medför tryckfallet?
- Vad är bästa åtgärdsförslaget och tid på året för att genomföra det?
- Vad kostar åtgärden och vad blir konsekvensen för produktionsplanen?

1.2 Avgränsningar

Studien kommer baseras på beräkningar och mätdata samt litteraturstudier då projektgruppen inte utför några fysiska mätningar eller underhållsarbete. Beslutet grundar sig i att projektgruppen inte har de nödvändiga förutsättningar som krävs för att genomföra mätningarna.

Ytterligare avgränsning är att fokus kommer ligga endast på kostnader samt förslag som berör produktionen på anläggningen och ej själva fjärrvärmenätet utanför det studerade systemets gräns (se avsnitt 3.3) då det som tidigare nämnt utgås från att tryckfallet sker på huvudanläggningen och inte ute på fjärrvärmenätet. Analysen kring tryckproblematiken avgränsas endast till fram- och returledningen och bortser ifrån tryckförändringar som sker under uppvärmningsprocessen av returvattnet. Arbetet lägger fokus på värmeproduktionen och därmed ingår inte elproduktionen som en del av projektet.

Kostnadsförslag för produktionen på anläggningen omfattar inte eventuella inköp i åtgärdssyftet eller arbets- och materialkostnader utan kommer avgränsas till kostnader för bland annat minskad kapacitet i systemet och överflödigt pumpenergi.

2.0 Teori

2.1 Fjärrvärmegenerationer

Nedan presenteras olika fjärrvärmegenerationer samt deras utveckling genom åren.

2.1.1 Första fjärrvärmegenerationen

Den första generationen av fjärrvärmesystem använde ånga som värmebärare. Dessa system introducerades först i USA på 1880-talet. Nästan alla fjärrvärmesystem etablerade fram till 1930, både i USA och Europa, använde denna teknik. Typiska komponenter för första generationens fjärrvärmesystem var ångrör i betongkanaler, ångfallor och kompensatorer. Idag betraktas ångsystem som en föråldrad teknik eftersom höga ångtemperaturer genererar höga värmeförluster och kan orsaka allvarliga olyckor i samband med ångexplosioner bland annat. Kondensatreturrören utsattes ofta för korrosion, vilket bidrog till mindre kondensatåterföring och därmed lägre energieffektivitet. Ånga används fortfarande som huvudvärmebäraren i de gamla fjärrvärmesystemen i New York (Manhattan) och Paris, medan utbytesprogram har genomförts i Salzburg, Hamburg och München. Den drivande kraften i samhället för införandet av dessa system var att ersätta enskilda pannor i hyreshus för att minska risken för pannexplosioner och höja komforten. Huvuddelen av värmen levererades genom ångkondensation i radiatorer hos konsumenterna. [6]

2.1.2 Andra fjärrvärmegenerationen

Den andra generationen av fjärrvärmesystem använde trycksatt varmt vatten som värmebärare, med tillförselstemperaturer oftast över 100°C. Dessa system kom fram på 1930-talet och var dominerade bland alla nya system fram till 1970-talet. Typiska komponenter för andra generationens fjärrvärmesystem var vattenledningar i betongkanaler, stora tubvärmväxlare samt stora och tunga ventiler. Stora fjärrvärmesystem av den typen som befann sig i Sovjetunionen använde denna teknik, men kvaliteten var dålig och saknade värmebehovskontroll. Utanför Sovjetunionen var kvaliteten bättre och delar av denna teknik kan fortfarande hittas i nuvarande vattenbaserade fjärrvärmesystemen. Den främsta orsaken till övergången mot andra generationens fjärrvärmesystem var att uppnå bränslebesparingar och bättre komfort genom utvidgning av kraftvärmeverk i stadsområden. [6]

2.1.3 Tredje fjärrvärmegenerationen

Den tredje generationen av fjärrvärmesystem introducerades på 1970-talet och utgjorde en stor del av all expansion av fjärrvärmenät på 1980-talet och framåt. Tryckvatten är fortfarande värmebäraren, men tillförselstemperaturerna är ofta lägre, det vill säga, under 100°C. Tredje generationens fjärrvärmesystem kallas ibland för *skandinavisk fjärrvärmteknologi*, eftersom många tillverkare av fjärrvärmekomponenter är skandinaviska. Typiska komponenter är prefabricerade förisolerade rör direkt begrävda i marken och kompakta transformatorstationer med hjälp av värmväxlare av rostfritt stål och tunt material. Denna teknik används i Central- och Östeuropa samt inom områden av förre detta Sovjetunionen. Expansion av befintliga nät och byggnation av helt nya system i Kina, Korea, Europa, USA och Kanada använder tredje generationens teknologi. Den främsta anledningen till övergången mot tredje generationens fjärrvärmesystem var försörjningstryggheten i efterdyningarna av de två oljekriserna som ledde till fokus på

energieffektivitet relaterat till kraftvärme och ersättning av fossil olja med olika lokala och/eller billigare bränslen som kol, biomassa och avfall. [6]

2.1.4 Nuvarande fjärrvärmesystem

Nuvarande fjärrvärmesystem tillämpar både andra och tredje generationens teknik med en stor variation av temperaturnivåerna. Den totala längden för distributionsledningar kan uppskattas till cirka 600 000 km i världen och cirka 200 000 km i Europeiska unionen (EU). Olika tillämpade temperaturnivåer, isolerings standarder och linjära värmeförluster leder till värmeförluster som varierar mellan 5 och 35 %. [2]

2.2 Fjärrvärmeteknik – kraftvärmeverk

Fjärrvärmeteknik kan delas upp i tre huvuddelar: produktion, distribution och abonnenter. Kraftvärmeverk tillhör produktionsdelen och är processens viktigaste del där det sker energitransformation från de heta rökgaserna till hett vatten eller ånga samt mekanisk energi genom det vattenburna mediet. Vatten är lätt tillgängligt i nordiska länder och har bra värmekapacitet, lagom viskositet, vilket gör mediet lätt pumpbart och är fritt från gifter. Vattnets egenskaper som temperatur och volymflöde är avgörande för att optimera produktiviteten. Faktorer som är betydelsefulla för kraftvärmeverkets verkningsgrad är typ av bränsle och själva förbränningstekniken. [7] Varmvatten distribueras i rörledningar till en värmeväxlare, så kallad abonnentcentral som varje fastighet med fjärrvärme är utrustad med, där det varma vattnets energi överförs i en värmeväxlare till värme i fastigheters element. [8] Rörledningar mellan hetvattencentral och abonnentcentral kallas för *primärsida* medan systemet efter värmeväxlaren kallas för *sekundärsida*. [3] Fjärrvärmenätet består av diverse komponenter som pumpar, olika rörtyper, kulvertar, övergångar, styrsystem för driften och integrationsverk. [7]

Kraftvärmeverk är en energiteknik som kombinerar produktion av el och värme, vilket gör att produktionen har en sammanlagt hög verkningsgrad. Kraftvärme grundar sig i att det finns ett fjärrvärmenät eller annan anläggning som tar emot restvärme efter elproduktionen. I kraftvärmeproduktionen kondenseras ånga i en värmekondensorer vid samma temperatur som den utgående temperaturen i fjärrvärmenätet. [9] Ett fjärrvärmenät är en av de viktigaste infrastrukturerna i städer som tillhör länder med kallare väderförhållanden. Medborgarna använder vanligtvis fjärrvärmestjänster för varmvattenförsörjning året runt och även för fastighetsuppvärmning under vintern. [10] Framledningstemperaturen brukar variera mellan 75–120 °C medan returvattentemperaturen kan variera mellan 40–60 °C. [11]

2.2.1 Rök-gaskondensering

Energieffektiviteten i fjärrvärmesystemen kan förbättras genom att kombinera och integrera olika komponenter, en av komponenterna som ökar energieffektiviteten i fjärrvärmeproduktionen är en rök-gaskondensator. [12] Rök-gaskondensering innebär utnyttjande av värmen som genereras vid kondensation av rök-gasångor vilken höjer verkningsgraden för fuktigt skogsbaserat bränsle. [13]

I en rök-gaskondensator kondenseras vattenånga som finns i rök-gaser för ytterligare energiutvinning. Vattenånga i rök-gaser har sitt ursprung från både fukten som finns i bränslet men också från vatten som bildas under förbränningsprocesser på grund av vätet i bränslet

vilket vid förbränningen oxideras till vattenmolekyler. Därmed lämpar sig denna teknik för fuktiga och/eller väterika bränslen som till exempel naturgas och fuktiga bibränslen. Före rökgaskondensorn brukar rökgastemperaturen vara mellan 100°C till 200°C och innehåller varierande halter vattenånga. Energieffektivisering genom rökgaskondensering innebär utvinning av både energi i vattenångan och genom temperatursänkning. Den sammanlagda verkningsgraden för processen ökar ju högre fukt- och vätehalterna är i bränslet som det eldas med. För att kunna nyttja rökgaskondensering finns det krav på en värmesänka, vilket kan vara returvatten från fjärrvärmenätet med tillräckligt låg temperatur för att rökgaser ska kunna kondensera, normalt ska värmesänkans temperatur inte överstiga 50°C till 55°C. Förstahandssyftet med rökgaskondensator är värmeutvinning men i vissa fall kan rökgaskondensering också användas för att rena rökgaser, detta gäller huvudsakligen anläggningar som förbränner bibränslen och sopor. [14]

2.2.2 Årlig användning av fjärrvärme

I ett kallt land som Sverige används fjärrvärme främst för fastighetsuppvärmning men också till beredning av varmvatten. Huvuddelen av detta värmebehov grundar sig i värmeförluster genom väggar och uppvärmning av ventilationsluft. Dessa värmeförluster beror på temperaturskillnaden mellan inomhus- och utomhustemperaturen, vilket innebär att utomhustemperaturen har starkt inflytande på värmebelastningen i fjärrvärmenätet. [15] Under kalla vinterdagar är uppvärmningsbehovet stort och därmed behövs det mer fjärrvärme medan under en varm sommardag kan fjärrvärmebehovet vara nästan obefintlig. [16]

2.2.3 Värmeeffekt i fjärrvärmenätet

Värmeeffekt innebär den mängd värme (Joule) per tidsenhet (sekunder) som förs över från ett avgivande till ett mottagande system. [17] I fjärrvärmen beskriver effektdifferensen mellan fram- och returledningen den värmeeffekt som överförs i en fjärrvärmeledning, vilket uttrycks av ekvation (1):

$$Q_{tillförd} = \dot{m} \cdot c_{p_{vatten}} \cdot (T_{fram} - T_{retur}) \quad (1)$$

Där:

$Q_{tillförd}$ = Tillförd värmeeffekt [Watt]

\dot{m} = Massflöde vatten [m^3/s]

$c_{p_{vatten}}$ = Specifik värmekapacitet för vatten [J/(kg·Kelvin)]

T_{fram} = Temperatur för varmvattnet i framled [Kelvin]

T_{retur} = Temperatur för vattnet i returled [Kelvin]

Enligt ekvation (1) kan reglering av fjärrvärme ske genom att ändra värde på massflöde eller temperaturdifferensen mellan fram- och returledningen, det vill säga, värmeeffekten kan höjas genom att öka massflödet i fjärrvärme distributionssystemet samt temperaturdifferensen. Eftersom returtemperaturen är svår att kontrollera då den beror på dynamik samt

abonnenternas olika värden på temperaturnivåer styrs värmeeffekten genom optimering av framledningstemperaturen och vattenflödet. [18]

2.4 Driftövervakning

Inom fjärrvärmeteknik förknippas all centraliserad övervakning, lägesredovisning, reglering och styrning med driftövervakning som höjer driftsäkerheten. Standard för dagens övervakningssystem inom fjärrvärme och kraftverk är datoriserade övervakningar av produktionscentralerna. [19]

2.5 Bränsle

Fram till 1970-talet var bränsletillförseln i fjärrvärme nästan helt baserad på uppvärmning av olja men oron över beroendet av importerade fossila bränslen efter oljekriserna 1973–74 och 1979–80 inledde en omfattande utfasning av petroleumbaserade bränslen. I början av 1980-talet omfattade istället kol och torv betydande andelar av bränsletillförseln. Oljekriserna tillsammans med ökande fokus på miljöfrågor och klimatförändringar bidrog till att i slutet av 1980-talets bränsletillförsel inom fjärrvärme dominerades av olika former av träbiomassa och kommunalt avfall. [20]

2.5.1 Skogsbaserat bränsle

Den stora andelen biomassa i fjärrvärmeproduktionen kan förklaras av den omfattande skogsindustrin i Sverige. Skogsbruk, pappers- och massabruk samt sågverk producerar stora volymer träavfall vilket leder till att tillgängligheten av skogsbaserad biomassa är hög och därmed finns det samarbeten mellan skogsbruk och fjärrvärmeproduktion. [21]

2.5.2 Bio-olja

Bio-olja klassas som förnyelsebara bränslen och delas in i två kategorier: vegetabiliska och animaliska. Flera svenska fjärrvärmeproducenter använder sig av den vegetabiliska bio-oljan, medan animalisk olja är inte lika populär och används endast i fåtal anläggningar, vilket kan förklaras av bland annat krav på tillstånd från Jordbruksverket. Vegetabilisk bio-olja är det vanligast förekommande alternativet till fossil eldningsolja inom den svenska fjärrvärmeproduktionen. [22]

2.5.2.1 Rapsmetylester (RME)

Fettsyrametylestrar (FAME) tillverkas av olika slags vegetabiliska oljor. I Sverige är raps den vanligaste råvaran för framställning av FAME. Det mest förekommande bränslet i Sverige som tillför fettmetylestrar är rapsmetylester (RME) och utgör i princip all FAME som används i Sverige. [23] Tillverkning av RME sker genom transesterifiering där en blandning bestående av 90 % rapsolja och 10 % metanol reagerar under högt tryck och hög temperatur där processens produkter huvudsakligen består av glycerol och RME. Till skillnad från fossil diesel är RME mindre brand-, miljö- och hälsofarlig. [24]

2.6 Tillstånd för miljöfarlig verksamhet

Miljöfarliga verksamheter regleras enligt lagen i miljöbalken och därmed krävs det tillstånd för att bedriva ett sådan verksamhet. All användning av mark, anläggningar och byggnader som kan orsaka störningar för miljön eller människors hälsa omfattas av miljöfarlig verksamhet. Det finns tre typer av anläggningar som omfattas av miljöfarliga verksamheter: A-, B- och C-anläggningar, där energianläggningar ingår i kategori B, vilket innebär att de tillståndsprövas av Länsstyrelsens miljöprövnings delegation. [25]

2.7 Hydromekanik

I ett fjärrvärmenät kan vatten vara det använda mediet som värms upp och sedan transporteras från värmeverket ut via nätet till de behövande fastigheterna och anläggningarna. Under transporten från värmeverket och ut till användarna uppstår dock värme och tryckförluster i nätet vilka beror på flera faktorer som kan behandlas och förklaras inom hydromekaniken och termodynamiken.

Hydromekaniken omfattar läran om fluider (ett samlingsnamn för vätskor och gaser), deras beteende, samt egenskaper i olika förhållanden vilka kan delas upp i två områden där det ena är *hydrostatik* som studerar hur fluider beter sig i stillestånd, och *hydrodynamik* som studerar samma egenskaper hos fluider men då i rörelse.

Beroende på vilken fluid som studeras och under vilka omständigheter så kommer dess egenskaper och förutsättningar variera därefter. [26] [27]

2.8 Termodynamik

Termodynamiken är en del av fysiken som behandlar lagar och samband mellan olika storheter som arbete, värme, tryck, temperatur och volym med mera. Enligt termodynamikens första huvudsats kan energi inte förintas eller skapas utan endast omvandlas till andra energiformer. När det kommer till termodynamiska system finns det flera olika processer som anger förhållandena i ett slutet system som i detta här fallet ett fjärrvärmenät, vilka är: [27] [28] [29]

- *Isokor process* – en tillståndsändring under vilken volymen är konstant genom hela processen.
- *Isobar process* – tillståndsändring under vilken trycket är konstant under hela processen.
- *Isoterm process* – arbetsmediet har en bibehållen temperatur under tillståndsändringen.
- *Adiabat process* – process under vilken det inte sker något värmeutbyte.
- *Polytrop process* – process som sker under visst begränsat värmeutbyte med omgivningen.

Flera tillståndsförändringar uppstår i ett fjärrvärmenät vilka är, temperaturförändring, värmeutbyte och tryckfall, då volymen är konstant kan processen beskrivas som en isokor process med vatten som värmebärare. [27]

2.8.1 Tryck

För att hålla ett konstant flöde i hela fjärrvärmesystemet krävs ett visst tryck genererat av pumpar placerade både i anläggningen och ute i fjärrvärmenätet som samspelar för att bibehålla ett jämnt tryck. En grundläggande ekvation kan ställas upp där tryck p menar kraft F per ytenhet av den yta A på vilken kraften verkar vilket ger ekvation (2):

$$p = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Där:

p = Trycket [Pascal]

F = Kraften [Newton]

A = Arean [m^2]

Enheten för tryck är i Pascal (Pa) vilket är detsamma som N/m^2 enligt ekvation (2) vilket när det appliceras på en del av en inkompressibel fluid kommer trycket att fördela sig med lika stort värde till samtliga punkter i fluiden. Utöver tryck genererat av pumpar har även tyngdkraften inverkan på trycket i en vätska, så kallat vätsketryck eller hydrostatiskt tryck, vilket ökar linjärt med djupet under vätskeytan enligt ekvation (3):

$$p = p_0 + \rho \cdot g \cdot y \quad (3)$$

Där:

p = Totala trycket [Pa]

p_0 = Trycket på den fria vätskeytan [Pa]

ρ = Densiteten för fluiden [kg/m^3]

g = Tyngdaccelerationen [m/s^2]

y = Vätskepelarens höjd [m]

Trycket på den fria vätskeytan benämns p_0 och kan likställas med atmosfärstrycket p_{atm} (101 325 Pa) medan p då utgör det totala trycket. Tryckskillnaden kommer att generera ett volymflöde (\dot{m}) med flödes hastighet (c) som kommer att variera i samband med förutsättningarna för ledningen vattnet strömmar genom då det kan vara höjdskillnader, dimensionsskillnader och andra hinder som böjar till exempel. [27]

En kontinuitetsekvation kan ställas upp för inlopps- och utloppshastigheterna i ett rör med olika dimensioner enligt följande ekvation (4):

$$\rho_1 \cdot c_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot c_2 \cdot A_2 \quad (4)$$

Där:

ρ = Densiteten för fluiden [kg/ m³]

c = Flödeshastigheten [m/s]

A = Tvärsnittsarean på ledningen vattnet flödar igenom [m²]

En annan användbar ekvation vid beräkningar på rör med olika flöden och även tryckskillnader är Bernoullis ekvation (5) där höjdskillnaderna i fallet för ventiler är försumbara ($h_1=h_2$) och densiteten ρ är densamma genom hela processen:

$$\frac{c_1^2}{2} \cdot \rho + \rho \cdot g \cdot h_1 + p_1 = \frac{c_2^2}{2} \cdot \rho + \rho \cdot g \cdot h_2 + p_2 \quad (5)$$

Där:

c = Flödeshastigheten [m/s]

ρ = Densiteten för fluiden [kg/ m³]

g = Tyngdaccelerationen [m/s²]

h = Geodetisk höjd [m]

p = Statiskt tryck [Pa]

Ekvation (4) visar hur tvärsnittsarean, flödeshastigheten och densiteten för en flödande fluid i en ledning vid två olika punkter samspelar. Ekvation (5) visar sambandet mellan flödeshastighet och tryck i två punkter. För att kunna beräkna trycket vid en punkt i en ledning med strömmande fluid kan ekvation (6) för totaltryck användas enligt följande:

$$p_a + \frac{c^2}{2} \cdot \rho = p_t \quad (6)$$

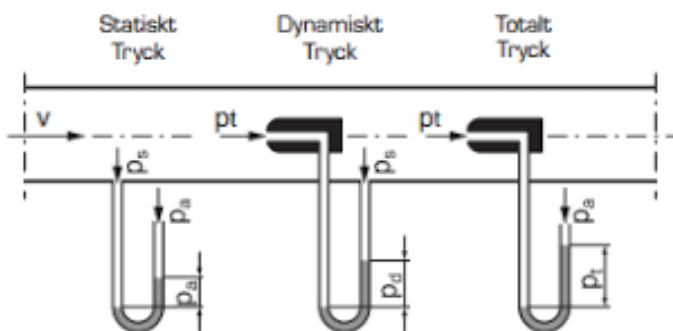
Där:

p_a = Statiska trycket [Pa]

$p_d = \frac{c^2}{2} \cdot \rho$ = Hastighetstrycket [Pa]

p_t = Totala trycket [Pa]

I *Figur 1* visas principen för mätningen av de olika trycken i en ledning med strömmande vatten. [27]



Figur 1 Principer för mätning av statiskt, dynamiskt och totalt tryck. Återgiven med tillstånd av Ola Skoglund Fläkt Woods AB. Tillstånd för bild enligt bilaga 8. [30]

Genom placering av två tryckmätare i form av manometrar, som fungerar enligt principen i *Figur 1*, innan- och efter exempelvis en ventil, kan tryckskillnaden avläsas vid olika flöden och konstatera om det uppstår ett tryckfall. [31]

2.8.2 Tryckförluster och flöde

I en sluten rörledning med varierande tvärsnittsarea där den strömmande fluiden fyller hela strömningsarean och ingen fri rörarea finns tillgänglig kan det uppstå tryckförluster orsakade av friktion, flöde genom komponenter, nivåskillnader och skillnader i rördimensioner. [32] Tryckförluster mellan två punkter i en ledning kan härledas från ekvation (4) och utgörs av Δp_{f12} enligt ekvation (6) förutsatt att höjdskillnaden ($h_1=h_2$) är försumbar:

$$\frac{c^2}{2} \cdot \rho + p_1 = \frac{c^2}{2} \cdot \rho + p_2 + \Delta p_{f12} \quad (5)$$

Där:

c = Flödes hastigheten [m/s]

ρ = Densiteten för fluiden [kg/m^3]

p = Statiskt tryck [Pa]

Δp_{f12} = Tryckförlusten [Pa]

Tryckförlusten Δp_{f12} är summan av alla hastighets-, tryck- och lägesenergi omvandlade till tryck som uppstår i en viss sträcka av en ledning och kommer i det här arbetet huvudsakligen att röra engångsmotståndet som utgörs av returventilen.

Tryckförlusten vid ett engångsmotstånd orsakas av platsbundna förändringar i tvärsnittsarean på ett rör i form av komponenter såsom exempelvis munstycken, silar, ventiler och böjar. [27] Flödet igenom komponenter kan se ut på olika sätt beroende på hur komponenten är utformad och de fysikaliska egenskaperna för fluiden som strömmar genom den.

Vatten är en fluid med många egenskaper och räknas som en inkompressibel vätska tack vare sitt höga E-värde (elasticitetsmodul). Andra egenskaper för vatten är att det har låg viskositet (mått på hur trögflytande ett ämne är), hög värmekonduktivitet (mått på att materials förmåga att leda värme), och hög specifik värmekapacitet (mått på ett ämnes förmåga att lagra värme) vilket gör det optimalt som medium för värmetransport i ett fjärrvärmenät. Vattnet i ett fjärrvärmesystem är i konstant rörelse och därmed kommer beräkningarna baseras på dynamiska förhållanden enbart. [27]

I Tabell 1 nedan visas olika fysikaliska egenskaper för vatten i jämförelse med andra fluider. [33]

Tabell 1. Olika ämnen och deras fysikaliska egenskaper

Ämne	Densitet [kg/m ³ vid 0 °C]	Specifik värmekapacitet [kJ/(kg·K)]	Smältpunkt [°C]	Kokpunkt [°C]	Värmeledningsförmåga [W/(m·K)]
Ammoniak	0,77	2,05	- 78	- 33	0,022
Vatten	998	4,18	0	100	0,6
Luft	1,293	1,01	- 213	- 193	0,026
Metanol	971	2,5	- 94	65	0,212
Glykol	1109	2,43	- 12	199	-

Som tidigare nämnt kan flödet genom komponenter variera på grund av flera orsaker vilket kommer att resultera i antingen en *laminärt*- eller *turbulent* strömning där den största avgörande faktorn för vilket flöde som kommer uppstå är Reynoldstalet (Re). [27] Reynoldstalet är en dimensionslös storhet som beskriver förhållandet mellan tröghets- och viskösa krafter, också kallad inre friktion, i en vätska. Det används för att kategorisera fluidsyste­men där viskositetens effekt är väsentlig för att kontrollera flödeskarakt­eristiken hos en vätska. [34] [35] En annan mindre men fortfarande bidragande faktor som har inverkan på flödeskarakt­eristiken är flödes­hastigheten. [27]

Strömningens utseende kan beskrivas av strömlinjer och partikelbanor enligt följande. Ett genomskinligt rör helt fyllt med strömmande vatten där en färglösning sprutas in i ena änden av vattenstrålen och genom röret kan en rak linje av färg urskiljas vilket visar att partiklarna rör sig i parallella banor och strömningen är därmed laminär. Om färglösningen istället blandar sig helt med vattenströmmen och ingen tydlig linje av färg kan urskiljas rör sig partiklarna i oordnade banor och strömningen är turbulent. [27]

Vid laminär strömning som generellt sker vid låga Reynolds tal under 2 300 och låga hastigheter glider vattnets olika skikt med lätthet på varandra med olika hastigheter som inte blandar sig. Laminär strömning kan dock även ske vid högre Re och hastigheter varvid en så kallad kritisk zon kan sättas mellan $2000 < Re < 4000$ under gynnsamma förhållanden, men vanligtvis sker det under 2300. [27]

Vid strömning med vatten som är en newtonsk vätska och har låg dynamisk, likväl som statisk, viskositet vilken minskar med ökande temperatur kommer flödet ske mer obehindrat i samband med den minskade viskositeten. Storleken på förlusterna vid engångsmotstånd påverkas av motståndets flödesarea och ytans ”strävhet” inuti röret samt Reynolds tal där förlusterna ökar i samband med ökande strävhet och turbulent strömning. [36]

Vid beräkning och dimensionering av ventiler, böjar och andra komponenter i ett pumpsystem som exempelvis ett fjärrvärmenät är flödeskoefficienten (Kv) en viktig specifikation som anger hur en komponent med ett flöde genom sig påverkar systemet vid olika flöden. Kv värdet anger hur stort flöde en komponent kan hantera vid ett känt tryckfall. Flödet genom en reglerventil anges i kubikmeter per timme vid temperaturer mellan 5°C - 40°C och ett tryckfall på 1 bar. [37] Formeln för Kv-värdet ges av ekvation (7):

$$Kv = \dot{V} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_0}{\Delta p}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} \quad (7)$$

Där:

\dot{V} = flödet [m³/h]

Δp_0 = referens differenstryck = 1 bar

Δp = verkande differens tryck = $p_{in} - p_{ut}$ [bar]

ρ_0 = densitet för referens vätska [vatten = 1000 kg/m³]

ρ = densitet verkande vätska

När det kommer till dimensionering av ett pumpsystem krävs hög noggrannhet för att ge ett så effektivt system som möjligt. Felberäkningar kan i värsta fall leda till ett underdimensionerat system och därmed en förlust i den totala kapaciteten vilket medför att överdimensionering av systemet är det föredragna för att utesluta den risken, även om det medför högre kostnader. [38]

2.9 Pumpar – hydrauliska maskiner

Pumpar är maskiner vars syfte är ökning av en fluids tryck-, läges-, och/eller rörelseenergi där dessa energisamband hos pumpar beskrivs i Bernoullis ekvation. Pumpar används inom områden där både flöde samt effekt varierar inom stora intervaller. Det finns pumpar med olika kapaciteter, doseringspumpar kan ha liten kapacitet motsvarande några cm³/s medan ackumuleringspumpars kapacitet kan gå upp till flera tiotal m³/s. Förutom kapaciteten varierar också den specifika energiomvandlingen som ofta uttrycks i meter vattenpelare (mVp) och kan anta värden från mindre än 1 mVp till flera tusentals mVp. Den specifika energiomvandlingen kallas också för uppfodringshöjd. [27]

Pumpar i fjärrvärmenäten används framför allt för cirkulation av värmebärande media i nätet, för tryckhållning samt påfyllning och laddning av vatten till ackumulatortankar.

Cirkulationspumpar är den typen av pumpar som kan vara placerade både i kraftvärmeanläggningar men också på andra ställen i nätet vilket är vanligt förekommande i framförallt stora fjärrvärmesystem för att bibehålla trycket. I det fallet kallas cirkulationspumpar för *tryckhöjningspumpar*.

Verkningsgraden för pumpar varierar beroende på varvtalet men är vanligtvis lika med ungefär 80 %. Pumpens inre förluster omvandlas till värme som tillförs vattnet, medan de yttre omvandlingsförlusterna uppstår där elenergi övergår till mekaniskt pumparbete. Fjärrvärmevatten är kemiskt behandlat för att minska korrosionsrisk och ska även bibehålla önskade tryck och temperaturer. Därmed väljs typ av pump i fjärrvärmenät främst beroende på typ av applikationer snarare än beroende på vätskan i sig. För funktioner relaterade till uppfodringshöjder och flöden väljs oftast ett-stegs centrifugalpumpar. Dubbelsidiga sugande pumpar lämpar sig för stora fjärrvärmeflöden och kan ha horisontell eller vertikal axel. Drivmaskiner för pumpar i fjärrvärmenät är oftast elmotorer dock förekommer det också ångturbiner eller dieselmotorer som kan drivas vid elavbrott. I moderna fjärrvärmenät regleras

pumparna efter flöde- och belastningsbehoven, vilket görs enklast genom strypning. Förutom flöden regleras också pumpens varvtal för att minska elförbrukning samt pumpförslitning, vilket beror starkt på varvtalet. [39]

2.10 Ventiler

Ventiler är komponenter som kan användas för att reglera flödet och trycket av en flödande fluid i ett slutet eller öppet system där regleringen kan skötas antingen manuellt eller automatiskt. Vid valet av ventil är tätnings- och flödesegenskaperna de mest väsentliga och bland ventiler finns det två huvudsakliga typer, manuella och automatiska. Manuella ventiler används främst för att kontrollera och starta eller stoppa ett flöde, samt för att avleda ett flöde, medan automatiska ventiler utöver det även är avsedda för att förhindra bakåtflyt i en ledning och lätta trycket vid höga belastningar. [37]

Automatiska ventiler kan delas in i två grupper som är backventiler och tryckavlastningsventiler där backventiler har i uppgift att skydda mekanisk utrustning i ett ledningssystem genom att hindra fluiden från att flöda bakåt i systemet och är särskilt viktiga i fall med pumpar och kompressorer. [37]

Tryckavlastningsventiler är designade för att skydda trycksatta system från haveri orsakade av ovanligt låga eller höga trycknivåer genom att antingen släppa ut fluiden vid överflödigt tryck eller släppa in mer fluid vid för låga nivåer. Viktigt är att tryckavlastningsventiler är självaktiverade för att bibehålla en hög pålitlighet och i samband med det att de även stänger sig själva när det normala trycket är återställt. [37]

Manuella ventiler kan delas in i fyra grupper efter vilken mekanism som används för att stänga ventilen. De fyra grupperna är:

- *Nedåttängande ventiler* – Ett stoppliknande förslutningsorgan förflyttas till och från sätet i riktning mot sätesaxeln i form av en propp.
- *Glid ventiler* – Ett portliknande förslutningsorgan förflyttas fram och tillbaka tvärs över flödets riktning.
- *Roterande ventiler* – Ett plugg eller diskliknande förslutningsorgan roteras inom flödespassagen runt en axel i linje med flödets riktning.
- *Flexibla kropp ventiler* – Förslutningsorganet deformerar ventilkroppen elastiskt vid påfrestning.

Varje grupp innehåller ett antal säregna ventiltyper vilka använder samma metod för att reglera flödet men varierar i formen och utseendet på förslutningsorganet, exempelvis är kulventiler och fjärilsventiler båda roterande ventiler men av olika sorter. Utöver de olika utformningarna förekommer även ventilerna i olika variationer efter önskad funktion. Konstruktionsmaterialet för en ventil bestäms av arbetstrycket och arbetstemperaturen i samband med den lämpliga ventilstandarden och egenskaperna för fluiden som korrosivitet och erosions egenskaper. [37]

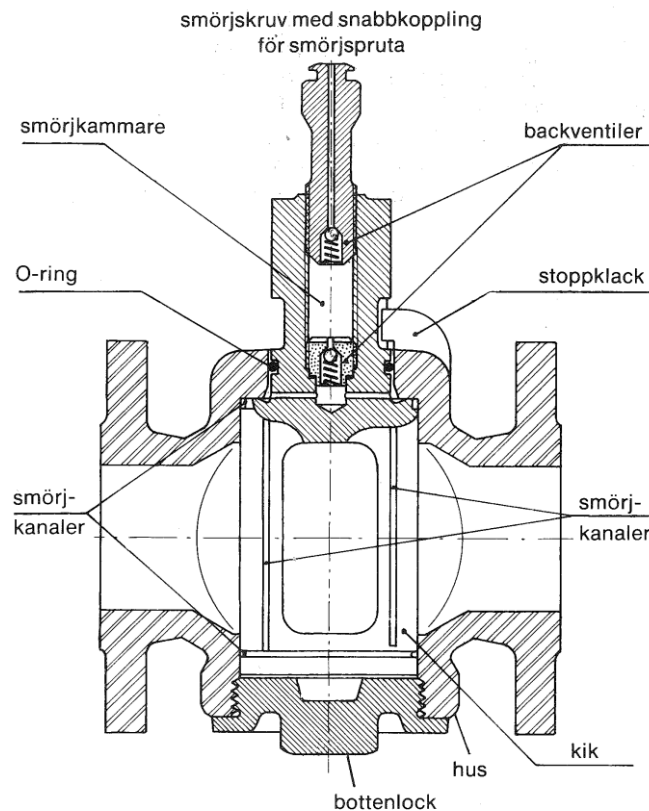
Valet av ventil bör bestämmas efter det önskade arbetsområdet eftersom olika ventiler medför olika flödeskaraktär. Ventiler avsedda för att huvudsakligen starta eller stoppa ett flöde har normalt lågt flödesmotstånd med rak flödespassage som till exempel glid- och roterande ventiler. Ska ventilen istället kontrollera flödes hastigheten är nedåttängande ventiler att föredra tack vare det proportionella förhållandet mellan storleken på sätesöppningen och

förslutningsorgansets rörelse. Även flexibla kropp- och roterande ventiler erbjuder god reglerkontroll men endast över ett begränsat ventilöppningsområde. För att avleda ett flöde krävs ventiler med tre eller fler portar beroende på användningsområdet och där är roterande kulventiler och nedåtstängande proppventiler enklare att anpassa, ett annat alternativ är att kombinera andra sorters ventiler för samma effekt. [37]

Utöver vilket syfte en ventil används i är en annan viktig egenskap hos ventilen att hålla tätt och motstå läckage. Packningsmaterialet spelar en avgörande roll i hur tät en ventil är och väljs efter fluidens kompatibilitet samt temperaturmotstånd där typiska packningsmaterial är PTFE (polytetrafluoretylen), ren grafit, glimmer med gummi eller grafitbindemedel, och keramiskt fiberpapper. Packningar med PTFE och keramiskt fiberpapper är hårdare material som kräver högre tryck för att pluggen ska sitta tätare mot sätet än vad mjukare och mer genomträngliga material gör. [37]

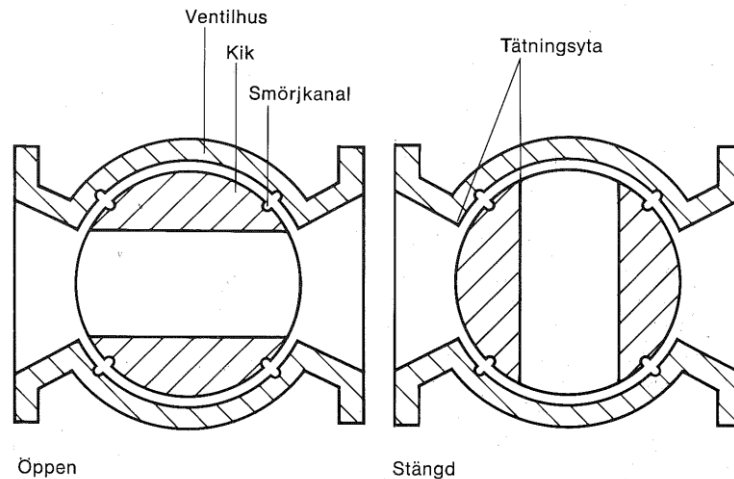
2.10.1 Kikventiler

Kikventiler är lämpligt anpassade till att stoppa eller starta ett flöde och tillhör typen roterande ventiler som roteras i steg av 90° för att öppna eller stänga en eller flera flödespassager i ventilkroppen. Formen på själva pluggen till kikventilen kan se ut på olika sätt där den antingen är cylindrisk eller har en avsmalnande rektangulär form vilket medför att porten till flödespassagen kommer se annorlunda ut därefter. Pluggar med cylindrisk form har generellt en rektangulär port enligt *Figur 2* och pluggar med avsmalnande form har en mer triangel liknande port.



Figur 2. Genomsnitt av en kikventil med cylindrisk plugg. Hämtad från Växjö Energi:s dokumentationsarkiv.

Ventiler av dessa slag tillåter en smalare konstruktion med lägre vikt men med tryckfall som konsekvens, det finns även kikventiler med cirkulärt borrade portar vilka normalt används om ledningen måste skrapas inifrån eller om fluidens beteende kräver de förutsättningarna. Användningsområdet för kikventiler begränsas till viss del av tätningen mellan pluggen och ventilkroppen. [37]



Figur 3. Genomsnitt ovanifrån av en kikventil med öppen och stängd port. Hämtad från Växjö Energi:s dokumentationsarkiv.

Figur 3 visar hur kiken (pluggen) förflyttar sig i ventilhuset och roteras i steg av 90° för att stängas eller öppnas. Efter en fullt genomförd rotation i ett steg av 90° ska ett av de två lägena vara uppfyllt och det ska inte finnas rum för felinställning där ventilen är delvis stängd eller öppen, förutsatt att ventilen inte har några okända defekter eller har underhållits felaktigt. [37]

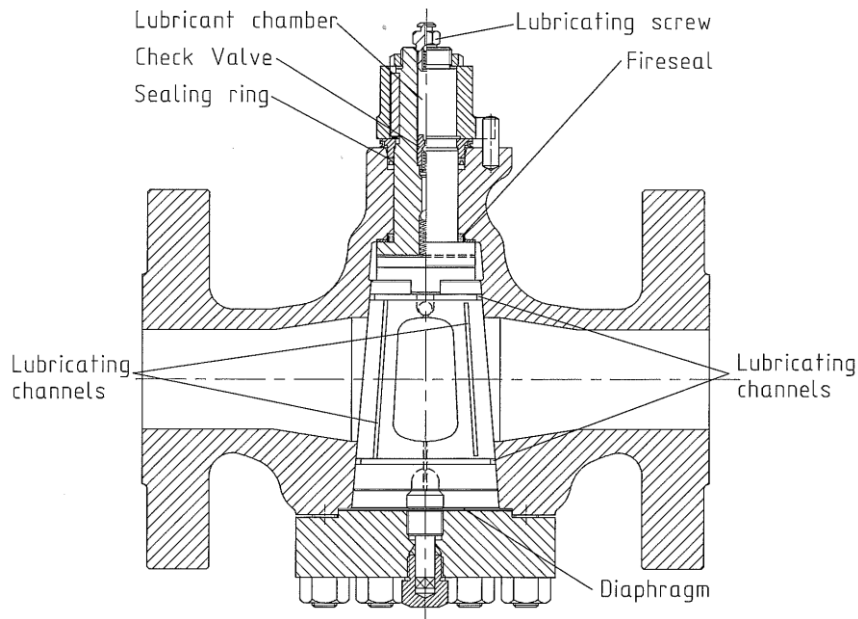
2.10.1.1 Cylindriska kikventiler

Användningsområdet för cylindriska kikventiler beror till viss del på hur tätningen mellan pluggen och ventilkroppen är konstruerad. De fyra vanligaste tätningsmetoderna som används är; en tätningsförening i form av smörjmedel, expansion av pluggen, O-ringar vilka är ringformade packningar gjorda av ett elastiskt material, och genom att kila fast en okonventionell plugg i sätet.

En kikventil tätad med smörjmedel är särskilt passande för fluider med slipande effekt tack vare att ytorna mellan pluggen och ventilkroppen är skyddade då ventilen är helt öppen. Underhåll av en ventil med smörjmedel är väsentligt för att bibehålla en god funktionalitet och kan göras manuellt eller genom installation av automatisk anordning. Sköts inte underhållsarbetet ordentligt kan pluggen fastna och bli orörlig som ett resultat av kristallisationer mellan sätesytorna och pluggen varvid ventilen måste rengöras eller repareras. [37]

2.10.1.2 Avsmalnande kikventiler

När det kommer till användningsområdet för avsmalnande kikventiler gäller samma sak som för cylindriska att beroende på val av packningsmaterial och hur tätningen är utformad kommer det medföra specifika egenskaper. Karakteristiskt för avsmalnande kikventiler är att den kil-liknande formen kan tillåta att pluggen pressas hårdare mot sätet och därmed bidrar till en tätare passform, se Figur 4, detta kan dock medföra att pluggen fastnar.

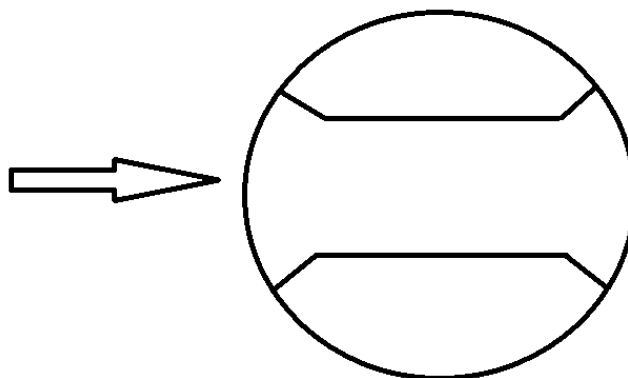


Figur 4. Genomskäring av en avsmalnande kikventil. Hämtad från Växjö Energi:s dokumentationsarkiv.

Vid fall där pluggen på grund av längre period varit i samma läge eller undermålig smörjning fastnat i sin position kan trycksatt insprutning av smörjmedel möjligen lyfta pluggen ur sätet tillräckligt mycket för att tillåta den att röra sig igen vilket är en fördel med avsmalnande ventiler gentemot cylindriska. [37]

2.10.2 Kulventiler

Kulventiler tillhör gruppen kikventiler och har som namnet antyder kulformade stängningsorgan med cirkulära portar vilka passar uniformt med ventilkroppen och ger en jämnt fördelad sittspänning i hela sätet. Flödeskaraktistiken som erhålles från en kulventil med cirkulär port är optimal för att starta eller stoppa ett flöde då diameter på rören till ledningen kan anpassas till pluggens port. För att göra kulventiler mer kostnadseffektiva har de flesta av dem en venturi-formad flödespassage med ungefär tre fjärdedelar av den ursprungliga port-diametern, se *Figur 5*.



Figur 5. Genomskäring av en kulventil med venturi-formad flödespassage och pil som visar flödets riktning.

Tryckfallet över den minskade flödespassagen är så pass minimalt att det rättfärdigar den minskade flödespassagen där undantag för en fullstor passage är för ledningar med speciella krav. Det viktigaste packningsmaterialet som används till sätet i en kulventil är PTFE vilket är generellt kemiskt inert och tack vare dess andra egenskaper som lågt friktionstal, hög temperaturlåghet och goda tätningsförmåga med mera. Andra packningsmaterial som förekommer beroende på användningsområdet är nylon, gummi elastomerer, metall och keramiska. [40] [37]

2.11 Silar

En sil är en hålmönstrad anordning med nätelement som används för att filtrera bort partiklar från ett önskat medium. Silar används inom ledningssystem för att skydda utrustning längre fram i systemet såsom pumpar och kompressorer från bråte och partiklar vilket kan skada dem och orsaka onödiga kostnader i form av underhållsarbete och driftstopp. Det finns huvudsakligen två typer av silar vilka är permanenta eller tillfälliga. Dem har olika utformningar med parametrar som öppen area för silen och filtreringsförmåga med mera vilka anger silens egenskaper. Den öppna flödesarean för silen har en avgörande faktor på hur länge silen kan användas utan behov av rengöring, och i samband med det, utan att den skapar ett tryckfall. [41]

3.0 Objektbeskrivning

Vid en rutinkontroll där det gjordes en datorsimulering av tryckförhållanden i Växjö stads fjärrvärmenät uppmärksammades ett onormalt högt tryckfall i returledningen för fjärrvärmevattnet. Tryckfallet kunde härledas till en huvudventil med namn P01 FQ01A01 i returledningen vilken hädanefter kommer hänvisas till som returventilen i arbetet. Genom den här returledningen med huvudventilen transporteras allt fjärrvärmevatten från hela nätet tillbaka till anläggningen vilket innebär att det inte finns någon annan väg för vattnet ute i nätet att ta sig tillbaka till anläggningen någon annan väg en genom ventilen i fråga. För att säkerställa att tryckfallet är verkligt och inte ett beräkningsfel i simuleringsprogrammet genomfördes det en akustisk undersökning där ljudskillnaden mellan returventilen och motsvarande ventil P01 FQ08A03 i framledningen jämfördes. Det konstaterades att ljudet skiljer sig åt ventilerna emellan. Resultatet av datorsimulering tillsammans med akustisk undersökning indikerade att tryckfallet beror på returventilen. Det onormala tryckfallet tvingar fjärrvärmepumparna att arbeta onödigt hårt vilket medför en högre energikonsumtion. Dessutom begränsas den tekniska förmågan som produktionen kan uppnå vilket påverkar anläggningens maximala kapacitet och därmed tillgängligheten under framförallt högsäsongen vid kalla vinterdagar. Tryckfallet över returventilen och dess konsekvenser har undersökts i detta arbete, se *Bilaga 2* och *Bilaga 3*.

3.1 Presentation av Växjö Energi

Växjö Energi grundades 1887 och var det första kommunala elektricitetskraftverket i Sverige. Producerad elektricitet användes till gatubelysning och allmän distribution. På den tiden användes elektricitet framförallt inom industrier och var inte tillgängligt för allmänna den inomhusanvändningen. [42]

I början av 1970-talet byggdes det många bostäder i samband med det statliga miljonprogrammet. På den tiden försörjde Växjö Energi fjärrvärmenätet med värme genom att elda olja i ett tjugotal containercentraler. 1974 byggdes kraftvärmeverket Sandvik 1 klart som producerade både elektricitet och värme. Växjö Energi var första kraftvärmeverket i Sverige som år 1980 byggde om dess oljeeldande fjärrvärmepanna till en biobränslepanna och därmed minskade stadens utsläpp från fossila bränslen. I nuläget försörjer Växjö Energi den lokala befolkningen med el men också varmvatten och värme till fjärrvärmesystemet där runt 7800 villor och 1500 näringsfastigheter är anslutna. [42]

3.1.1 Hållbarhet på Växjö Energi

Års- och hållbarhetsredovisning 2018 sammanställer företagets allt som kommer från själva produktionen men också inköpt el, transporter och resor bland annat. Klimatbokslutet för 2017 visar att Växjö Energi påverkar klimatet på ett positivt sätt, vilket betyder att utsläppen hade varit högre utan företagets verksamhet. Under 2017 bidrog Växjö Energi till en reduktion av koldioxidutsläppen med 243 000 ton, vilket är en förbättring lika med 73 000 ton koldioxid i jämförelse med år 2014. [43] Sen december 2019 är Växjö Energi en helt fossilbränslefri verksamhet, vilket innebär att produktion av fjärrvärme, fjärrkyla och el sker av biobränsle från skogen, det vill säga grenar, toppar och andra rester från småländska skogar. Att företaget är 100 % fossilt bränslefritt innebär att hela verksamheten är oberoende av fossila bränslen i alla produktionsanläggningar men även alla fordon och maskiner. [44]

3.2 Anläggning Växjö Energi

Produktionen sker på fossilt bränslefria huvud- samt reservanläggningar med varierande effekt och bränsle. Huvudanläggningar tillhör industriområdet Sandviksverket och består av två kraftvärmeverk; Sandvik 2 och Sandvik 3 samt en hetvattenpanna Sandvik 1. Råvaran som det eldas med i samtliga huvudanläggningar består huvudsakligen av träflis, bark, spån och avverkningsrester i form av grenar och toppar. Sandvik 2 är utrustad med en bubblande fluidiserad bädd (BFB) och rökgaskondensor medan Sandvik 3 har en cirkulerande fluidiserad bädd (CFB). *Tabell 2* är en sammanställning av information om huvudanläggningarna. [45]

Tabell 2 Huvudanläggningar på Växjö Energi. [45]

	Värmeeffekt [MW]	Eleffekt [MWh]	Bränsle
Sandvik 1	25	-	skogsbaserat biobränsle
Sandvik 2	65 + 25 från rökgaskondensering	35	skogsbaserat biobränsle
Sandvik 3	65	39	skogsbaserat biobränsle

Förutom huvudanläggningar finns det tre reservanläggningar som är placerade på olika platser i fjärrvärmenätet, en av dem (HH11) finns på industriområdet Sandviksverket där samtliga huvudanläggningar finns, en i bostadskvarteret Täljstenen och en i stadsdelen Teleborg. Reservpanncentraler är hetvattenpannor som normalt inte är i drift och används endast vid ovanligt låga utomhustemperaturer samt, då det uppstår fel i huvudanläggningar eller i de mellanliggande ledningarna samt vid driftavbrott, provkörning och planerade reparationer. Råvaran som eldas med i samtliga reservanläggningar är bio-olja vid namn RME (rapsmetylolja), se *Tabell 3*. [45]

Tabell 3 Reservanläggningar på Växjö Energi. [45]

	Värmeeffekt [MW]	Bränsle
HH11	45	Ecobränsle RME100
Täljstenen	40	Ecobränsle RME100
Teleborg	45	Ecobränsle RME100

3.2.2 Bränsle på Växjö Energi

Växjö Energi använder fast skogsbränsle i sina huvudanläggningar som består av avverkningsrester från hyggen som bark, grenar och toppar samt flis. [45] Företagets bränslekostnad är 200 kr/MWh och verkningsgraden är 90 %. [46]

Ecobränsle RME100 är ett förnybart alternativ till fossilt bränsle i konventionella fordon, det omfattar huvudsakligen tunga fordon samt inom entreprenad- och lantbruksdrift. Ecobränsle RME100 används även som eldningsolja i oljebrännare istället för fossil olja och är lämplig för konventionella oljepannor i effektområdet 50 kW till 60 MW. [24] [47] RME100 används på Växjö Energi:s reservanläggningar. Enligt producenters data bidrar bränslet till 70 % mindre klimatutsläpp, innehåller inga giftiga ämnen och bryts enkelt ner i naturen. [24] Enligt

produktdatabladet (se *Bilaga 6*) är bränslets effektiva värmevärde 37,2 MJ/kg. Enligt *Bilaga 7* är den genomsnittliga kostnaden för Ecobränsle RME100 1000 kr/MWh exklusive skatt, vilket motsvarar 9 163 kr/m³.

3.2.3 Tillstånd för reservanläggningar på Växjö Energi

Bilaga 4 och *Bilaga 5* är dokumenten som tillhör Växjö Energi:s *Egenkontrollprogram* där det beskrivs hur Växjö Energi AB ska kontrollera reservanläggningarna Teleborg och Täljstenen med hänvisning till tillstånd från Länsstyrelsen Kronoberg. Drifftider av båda reservanläggningarna dokumenteras och med drifftid menas tiden en oljebrännare är i drift och produktionen är igång, det vill säga uppvärmningstiden samt avkyllning av brännaren räknas inte som drifftid.

3.2.3.1 Tillstånd för drift av Täljstenen reservpanncentralen

Enligt *Bilaga 4* har Länsstyrelsen i Kronoberg den 28-05-2008 beslutat om att ge tillstånd med tillståndsnummer 551-9282-07 till Växjö Energi:s reservpanncentral Täljstenen. Tillståndet omfattar installation och drift av en oljeeldande panna med en sammanlagd total tillförd effekt på högst 49 MW. Enligt *Bilaga 4* skall tillsynsmyndigheten informeras vid uppstart och drift av pannan samt alla drifftimmar ska dokumenteras. Tillståndet begränsar reservpanncentralens drifftid till sex dygn per år där undantaget för att överstiga drifftiden beviljas ifall stora haverier förekommer och Växjö stads värmeförsörjning måste försäkras genom att använda reservanläggningen Täljstenen.

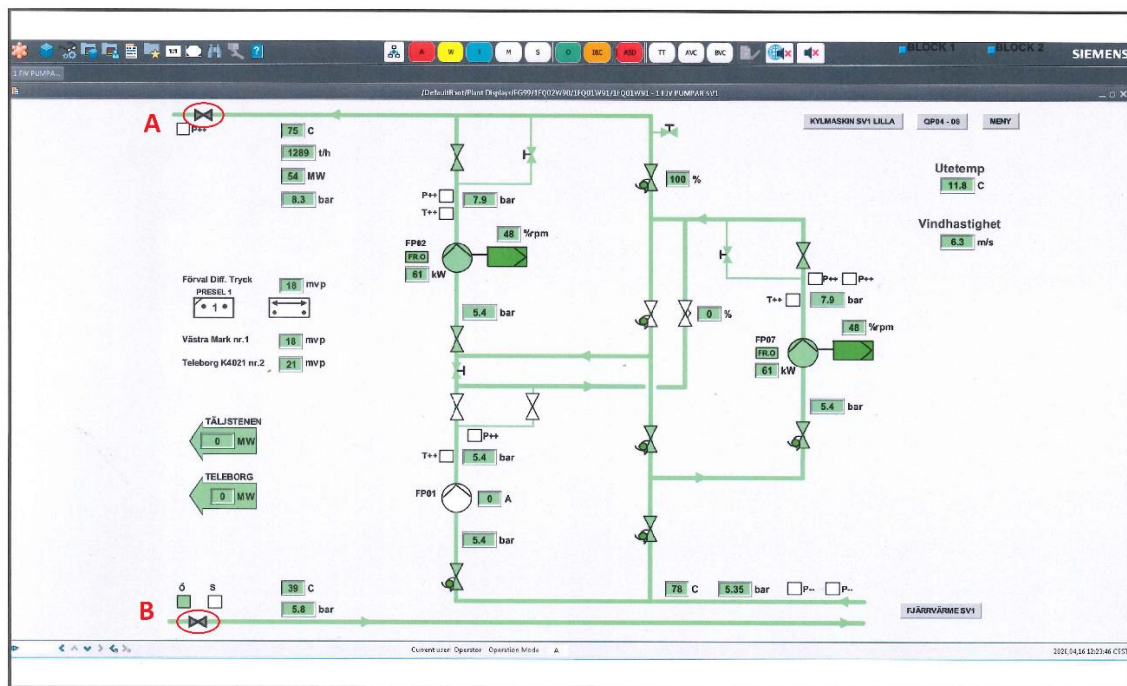
3.2.3.2 Tillstånd för drift av Teleborg reservpanncentralen

Enligt *Bilaga 5* har Länsstyrelsen i Kronoberg den 20-11-2003 beslutat om att ge tillstånd med tillståndsnummer 551-5201-03 till Växjö Energi:s reservpanncentral Teleborg. Tillståndet omfattar installation och drift av en oljeeldande panna med en sammanlagd total tillförd effekt på högst 49 MW. Enligt *Bilaga 5* skall tillsynsmyndigheten informeras vid uppstart och drift av pannan samt alla drifftimmar ska dokumenteras. Tillståndet begränsar reservpanncentralens drifftid till ett dygn per år där undantaget för att överstiga drifftiden beviljas ifall stora haverier förekommer och Växjö stads värmeförsörjning måste försäkras genom att använda reservanläggningen Teleborg.

3.3 Studerat system

Figur 6 är en skärmbild tagen från Växjö Energi:s övervakningssystem den 16-04-2020. Skärmbilden är en illustration av fram- och returledningen som befinner sig på Sandviksverket samt tillhörande data som tryck och temperatur. I figuren betecknas framledning med *A* medan returledningen betecknas med *B*. Det uppvärmda vattnet på Sandviksverket lämnar anläggningen genom ledning *A* och förs vidare till abonnenternas värmesystem för att sedan komma tillbaka till huvudanläggningen för åter uppvärmning genom returledning *B*. Returventilen där det uppstår onormalt stort tryckfall tillhör ledningen *B* och är markerad med röd färg. Motsvarande huvudventil P01 FQ08A03 där inget onormalt tryckfall inträffar finns på framledningen *A* och är också markerad med röd färg. Enligt Figur 1 ger momentandata från styrsystemet information om framledning *A* innan ventilen P01 FQ08A03 rörande vattentemperatur, vattenflöde, värmeeffekt och tryck. FP01, FP02 och FP07 är tre fjärrvärmepumpar som befinner sig på huvudanläggningen vilka höjer trycket mellan retur- och framledningen. Övervakningssystemet visar trycket både innan och efter pumpar samt varvtalen för FP02, FP07 och konsumerad ström för FP01. Temperatur och trycket för returledningen *B* visas för den delen av ledningen som finns efter returventilen, i Figur 6 motsvarar dessa värden 39°C och 5,8 bar. Mellan huvudventilen och tryckmätaren på returledningen *B* finns det även ett smutsfilter i form av en sil placerad, se Figur 7. Momentandatan sparas i styrsystemets arkiv var tionde minut under årets alla dagar.

Screenshot



Figur 6 Bild från Växjö Energi:s styrsystem

Pumpar FP01, FP02 och FP07 på Växjö Energi:s kraftvärmeverk är exempel på tryckhöjningspumpar som visas i Figur 7, 8 och 9. [48] Pumparna FP02 och FP07 har båda en maxeffekt på 567kW (se Bilaga 11) medan pumpen FP01 har en maxeffekt på 500kW (se Bilaga 16) och styrs genom strypventilen efter pumpen (se Figur 6). Vanligtvis är den på vid höga fjärrvärmevattenflöden för att avlasta de två andra pumparna. Effekten på FP02 och FP07 styrs via styrsystemet och anpassas beroende på tryck och flöde.



Figur 7 Tryckhöjningspump FP01.

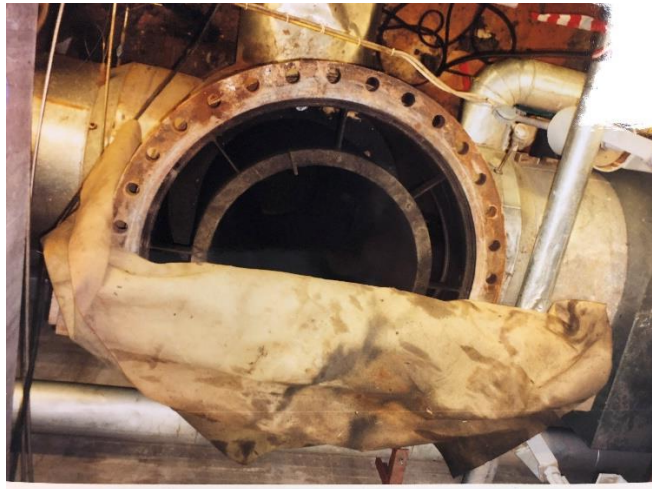


Figur 8 Tryckhöjningspump FP02.



Figur 9 Tryckhöjningspump FP07.

Vid en anslutningspunkt till huvudledningen för returvattnet i fjärrvärmenätet sitter ett smutsfilter i form av en sil monterad efter returventilen, se *Figur 10*. Silen har ingen lättillgänglig öppningslucka som tillåter rengöring eller inspektion.



Figur 10 Bilden av smutsfiltret, returledning.

Figur 11 och 12 visar att pumparnas effekt varierar vid höga fjärrvärmevattenflöden beroende på hur många av dem som är igång. Figur 11 visar även ett tillfälle från år 2018 där flödesvärdet var 3625 ton/h och endast pumparna FP02 och FP07 var igång. Vid det tillfället hade pumparna nästan uppnått maxkapacitet av sina varvtal, det vill säga 99 %.



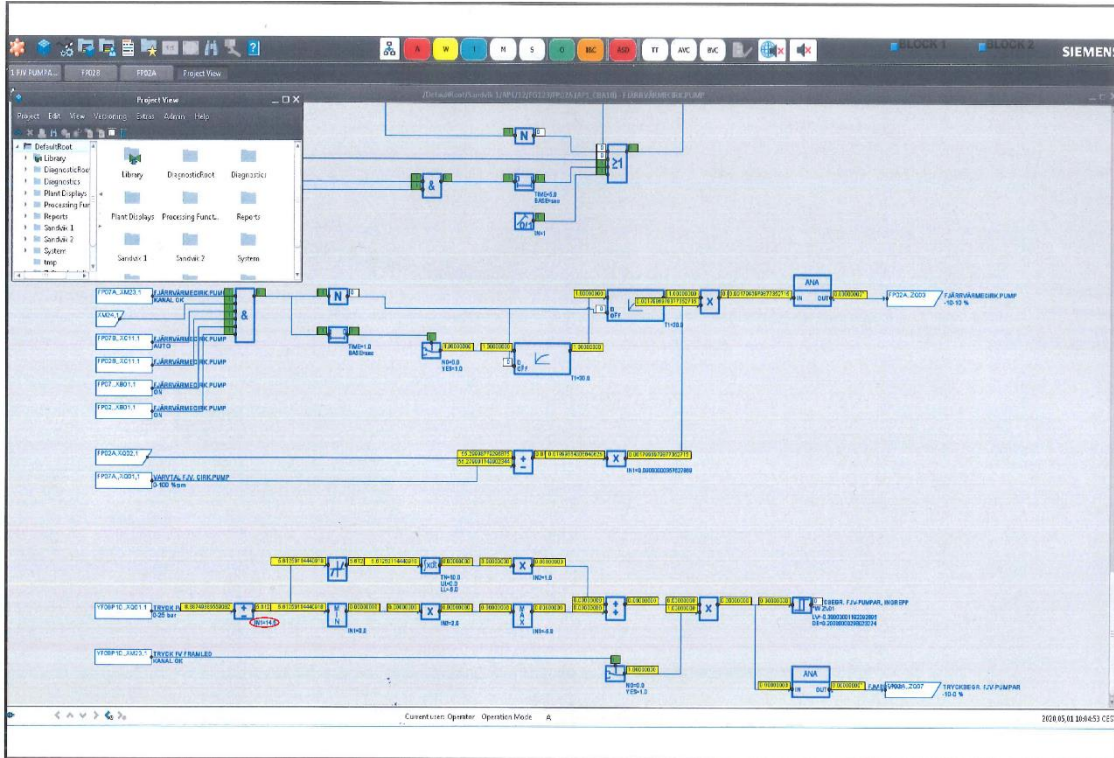
Figur 11 Momentanbild som visar pumpeffekt vid höga flöden där bara FP02 och FP07 är igång.

Figur 12 visar ett tillfälle från år 2019 där flödesvärdet var 3299 ton/h och alla tre pumpar var igång, det vill säga FP01, FP02 och FP07. Vid det tillfället när pumpen FP01 var igång har FP02 och FP07 uppnått 88 % respektive 84 % av sina maxvarvtal.



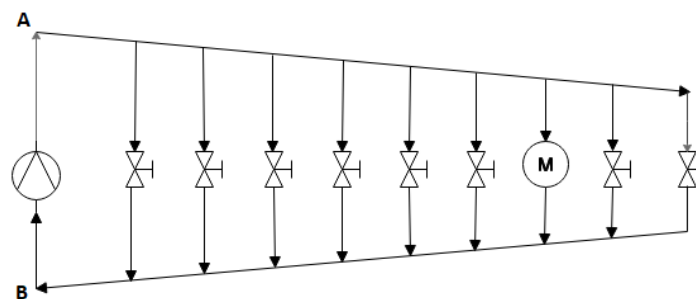
Figur 12 Momentanbild som visar pumpeffekt vid höga flöden där alla tre pumpar är igång.

Figur 13 är en skärmbild av logiskschemat som styr det studerade systemet. Bland alla samband i schemat finns det ett rött markerat tryckvärde på 14,5 bar som är systemets begränsningstryck. Tryckets maxvärde är 15 bar vilket om det uppnås kommer att utlösa ett larm som leder till driftstopp på huvudanläggningen.



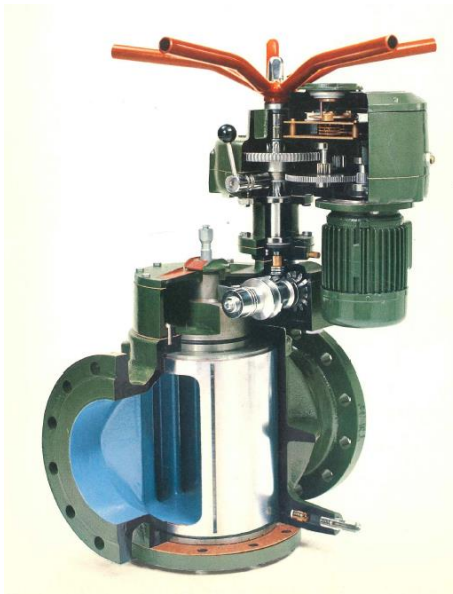
Figur 13 Skärmbild av logiskschemat som styr det studerade systemet.

Figur 14 är en schematisk illustration av fjärrvärmesystemet mellan anläggningens tryckhöjningspumpar FP01, FP02 och FP07 (enligt Figur 6) och abonnentcentraler längst fjärrvärmenätet. Minskande avstånd mellan fram- (A) och returledningen (B) symboliserar ökande tryckminskning vid växande avstånd mellan anläggningen och kundcentraler. För att försäkra ett välfungerande fjärrvärmesystem till kunder som befinner sig längst bort från fjärrvärmeproduktionen upprätthåller styrsystemet konstant tryckskillnad av 18 mVp (symbol M) vid Västra mark nr 1 (se Figur 6).



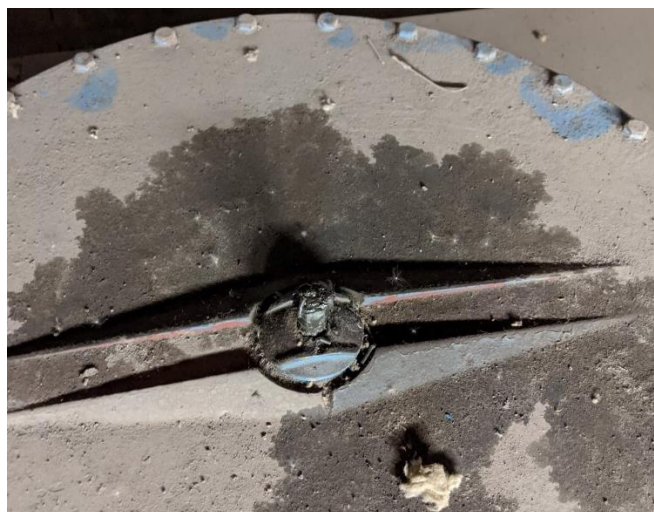
Figur 14 Grafisk förklaring av fjärrvärmesystem med avseende på tryckskillnad.

3.4 Ventil P01 FQ01A01



Figur 15 Bild på cylindrisk kikventil. Hämtad från Växjö Energi:s dokumentationsarkiv.

Returventilen som arbetet inriktar sig på är en trycksmord cylindrisk kikventil med diameter på 800 millimeter (DN800) och rektangulärt formad flödespassage enligt *Figur 15*. Den trycksmorda kikventilen är en optimal flödesreglerare för vatten, luft, olja och andra fluider, vilka har tätningar gjorda av PTFE och smörjs med fett vilket agerar som tätningsmedel. Detta innebär att vid normala driftförhållanden kan det tillföras tätningsmedel under högt tryck med en fettspruta varvid fettet pressas ut i ett system av kanaler så att alla ytor täcks av ett tunt lager fett. Det är viktigt är att samma tätningsmedel används vid smörjning och därför anges tätningsmedlets nummer på smörjskruven vilken sitter överst på pluggen till ventilen, se *Figur 16*. Fettet har god häftningsförmåga och bidrar förutom med effektiv tätning även med ett bra skydd mot korrosion och minskar vridmomentet. Tätningen mot den omgivningen består av en underhållsfri O-ring som förhindrar att den flödande fluiden tränger ut även om ventilen är osmord. Om en ventil lämnas osmord under en längre period kan den bli otät vilket åtgärdas genom att smörja om den, varvid den återfår sin tätningsförmåga. [49]



Figur 16 Bild som visar att ventilen är helöppen.

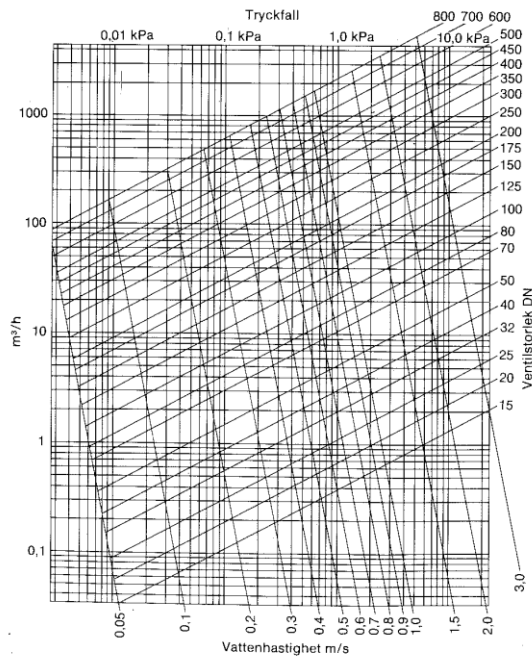
Ventilen öppnar och stänger vid en rotation på 90° av pluggen och är då helt öppen eller helt stängd. *Figur 16* visar att om skårorna på topplocket av returventilen överensstämmer med skårorna på skivan i anslutning till smörjskruven ska ventilen vara helt öppen. Det bekräftar antagandet att tryckfallet inte beror på att det är något fel på returventilen, eller att den exempelvis är delvis stängd, utan att någonting annat hindrar flödet och orsakar tryckfallet. [49] Det ideala tryckfallet för ventilen anges av Kv-värdet för diameter DN=800 enligt *Figur 17* och lägger grunden för hur den ideala tryckfallsmodellen ska se ut.

K_v -värde

DN	Kv-värde
15	12,6
20	23,1
25	47,6
32	74
40	115
50	171
65	406
80	510
100	648
125	1040
150	1360
175	2220
200	3000
250	4950
300	7600
350	11200
400	15200
450	19200
500	24800
600	37600
700	51200
800	62500

K_v = Vattenflöde m³/h vid tryckfallet 100 kPa och temperaturen 20°C

Tryckfallsdiagram



Gäller för vatten 20°C.
Vid 80°C minskar motståndet med ca 25%.

Figur 17 Tryckfalls diagram med angiven diameter (DN) på ventil och flödeskoefficient (Kv) för kikventiler. Hämtad från Växjö Energi:s dokumentationsarkiv.

4.0 Metod

Projektet är en fallstudie för en kikventil i returledningen för fjärrvärmevattnet på kraftvärmeverket Växjö Energi AB (VEAB) där ett tryckfall uppstår.

I projektet genomfördes litteraturstudier för information kring fjärrvärmeverk, bränslen, och dess tekniska utrustning. Undersökning av mätdata erhållen från projektansvariga på VEAB samt muntliga källor rörande mätdata och anläggningen har varit en tillgång för beräkningar och resultat.

Kostnadsanalyser har baserats på givna mätdata och information om bränslekostnader vilka har beräknats med hjälp av Excel. Kostnadsanalyserna har delats upp i kostnaden som tryckfallet medför på hela anläggningen och kostnaden för att stoppa anläggningens produktion under en vecka för undersökning och reparation av returventilen.

Teknisk analys av systemet beräknas och jämförs med hjälp av hydro- och termodynamiska formler där verkningsgrader, temperaturer, tryck, flöden och effekter används. Resultaten redovisas med grafer och tabeller.

5.0 Genomförande

Projektet påbörjades genom att identifiera arbetets mål, syfte, bestämma avgränsningar, studera systemet och sätta systemgränser för systemet som projektet fokuserar på. Sedan genomfördes det litteraturstudier kring ämnen som är relevanta för arbetet samt insamling av tekniska data för det studerade systemet bland Växjö Energi:s dokumentation. Under arbetets gång har det genomförts ett regelbundet samarbete mellan projektgruppen och handledare på både Växjö Energi AB samt Linnéuniversitetet. Alla beräkningar gjordes i Excel.

5.1 Identifiering av orsaken till tryckfallet

Konsultföretag kontaktades för att se ifall det finns möjlighet att undersöka ventilens flödespassage under drift. Orsaken till tryckfallet över huvudventilen har fastställts genom att studera dess konstruktion med hjälp av, bland annat, dokumentation från Växjö Energi samt produktdatablad från tillverkaren.

5.2 Identifiering av tryckfallets ekonomiska samt tekniska konsekvenser

För att identifiera tryckfallets storlek gjorde driftpersonalen på Växjö Energi AB manuella tryckmätningar före och efter returventilen samt mellan ventilen och silen vid olika massflöden. All mätdata dokumenterades och var grunden till att fastställa förhållandet mellan tryckfall och fjärrvärmeflöde. Det verkliga uppmätta tryckfallet över returventilen jämfördes därefter med det ideala tryckfallet erhållet från Kv-värdet som anges av ventilens tillverkare.

För att komma fram till hur tryckfallet i returventilen begränsar anläggningens kapacitet och vilka tekniska konsekvenser det medför analyserades huvudanläggningens driftdata från perioden 2011 till 2020. Parametrar som driftdata innehöll är datum och tid, tryck i fram- och returledningen, fjärrvärmeflöde, fjärrvärmeeffekt, utomhustemperatur samt effekt av tryckhöjningspumpar. Driftdata som har uppdaterats var 10:e minut i företagets system under perioden 2011 till 2020 erhöles i form av Excelfiler.

Tekniska konsekvenser analyserades genom att definiera dem högsta uppmätta fjärrvärmeflödena som är systemets begränsande faktor. Ur all driftdata valdes två tillfällen från två olika dagar till en fördjupad analys, ett tillfälle från år 2012 och ett från 2019. För dessa två tillfällen gjordes fallstudier där tre olika fall jämfördes för att dels definiera storleken av de tekniska konsekvenserna, dels för att kunna ta reda på i hur stor utsträckning returventilen respektive silen bidrar till problemet. Fallstudier baserades på att ta fram tre olika tryckdifferenser mellan retur- och framledningen för tillfället år 2012 och 2019 samt deras påverkan på pumpeffekten. Första tryckdifferensen gjordes med hänsyn endast till det verkliga uppmätta tryckfallet på returledningen, andra gjordes med hänsyn till returventilens tryckfall enligt Kv-värdet samt verkliga tryckfallet över silen, och slutligen tredje differensen gjordes med hänsyn till returventilens tryckfall enligt Kv-värdet utan tryckfall över silen. Med hjälp av denna analys fastställdes årliga medelvärdet för den förhöjda pumpenergin som orsakas av tryckfallen samt vad största bidraget till dessa konsekvenser är.

Tryckfallets ekonomiska konsekvenser byggde på de tekniska konsekvenserna vilka orsakas av tryckfallet samt elpriser erhållna från Växjö Energi som företagets elförsörjning till tryckhöjningspumparna baseras på.

5.3 Identifiering av lösningen till studerade problemet

Studier kring orsaken till tryckfallet på returledningen blev utgångspunkten för hur problemet bör lösas och därmed vilka åtgärder som rekommenderas i rapporten.

5.4 Identifiering av tidsperioden samt kostnader i samband med åtgärdsarbete

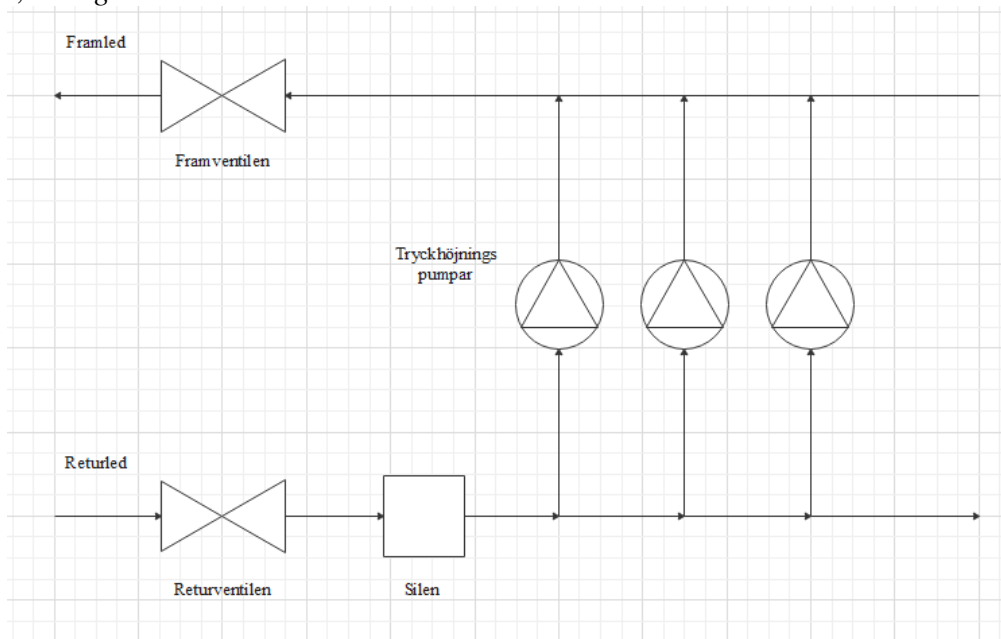
Med hjälp av erhållna driftdata analyserades fjärrvärmeeffekten samt hur beroende den är av temperaturen utomhus. På det sättet kunde årets genomsnittligt lägsta fjärrvärmebehov tas fram vilket blev underlaget för dem tider som rekommenderades för att genomföra åtgärdsarbeten och därmed medföljande produktionskostnader.

Genom att studera hur samtliga produktionsanläggningar är placerade i förhållande till returledningen på huvudanläggningen föreslogs det i rapporten hur Växjö stads fjärrvärmeförsörjning kan upprätthållas under tiden som problemet löses. Denna analys tillsammans med studerade *Egenkontrollprogrammet* som tillhör Växjö Energi AB:s dokumentation kring drifttillstånd kom projektgruppen fram till vad som är den maximala tiden för åtgärdsarbetet.

Produktionskostnader som medföljer åtgärdsarbetet på returledningen beräknades per dag och baseras på erhållna bränslepriser från företaget samt bränslets verkningsgrad på samtliga anläggningar.

6.0 Resultat, analys och diskussion

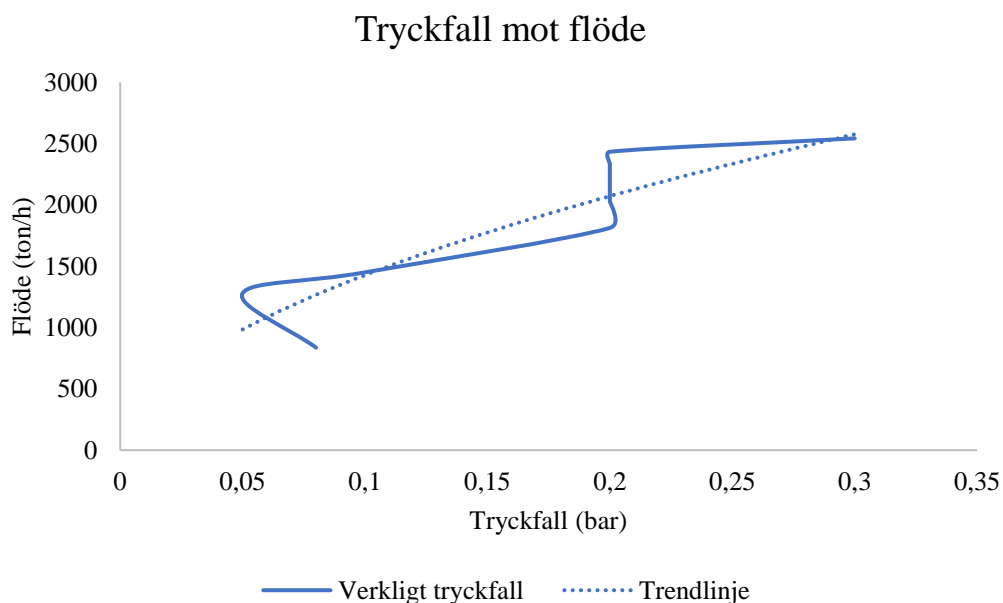
I detta avsnitt presenteras svar på frågeställning från avsnitt 1.1.1. som berör det studerade systemet, se *Figur 18*.



Figur 18 Schema över det studerade systemet.

6.1 Analys av tryckfallet över huvudventilen

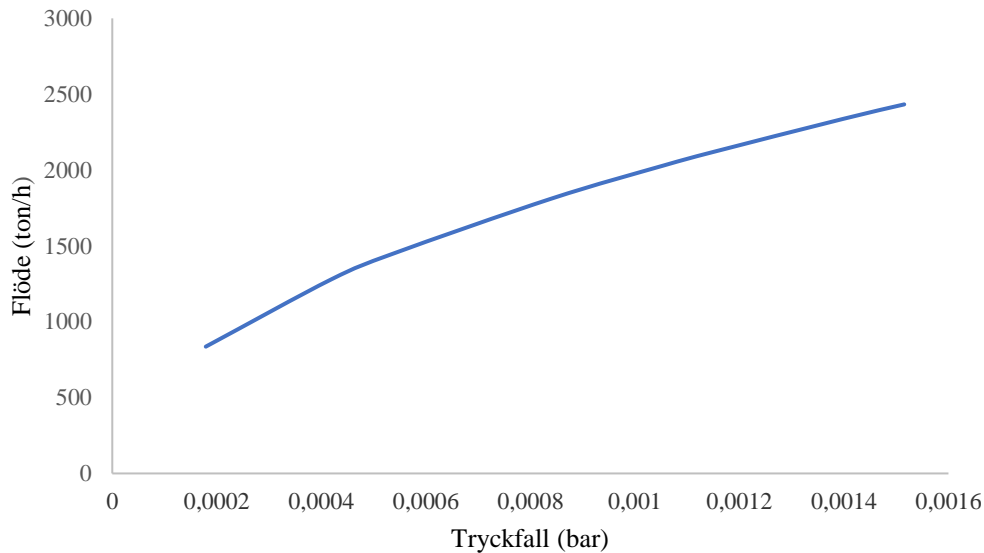
För att identifiera tryckfallets storlek gjordes det manuella tryckmätningar före och efter returventilen vid olika massflöden. *Figur 19* visar sambandet mellan tryckfallet över ventilen och massflödet av fjärrvärmevattnet. Grafens trendlinje visar att tryckfallet beror på flödet och ju större flödet är desto större blir tryckfallet över den studerade huvudventilen.



Figur 19 Samband mellan tryckfallet över ventilen och massflödet av fjärrvärmevatten.

Det beräknade tryckfallet enligt huvudventilens produktdatablad och dess Kv-värde beror också på fjärrvärmevattens massflöde vilket presenteras i *Figur 20*. Det ideala tryckfallet är lika med det tryckfallet som bör överensstämma med det uppmätta tryckfallet om det inte fanns något onormalt tryckfall i den studerade huvudventilen.

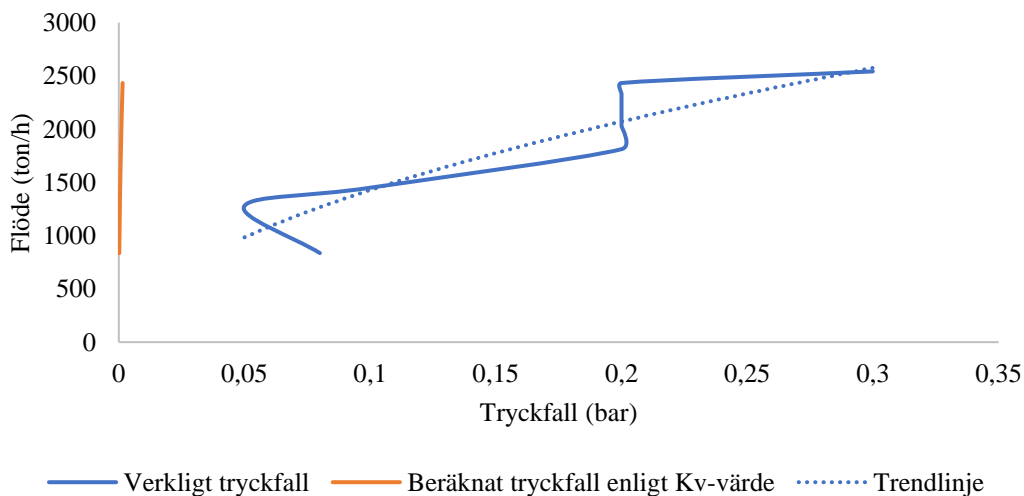
Idealt tryckfall enligt Kv-värdet



Figur 20 Samband mellan ventilens ideala tryckfall enligt Kv-värdet och massflödet av fjärrvärmevatten, enligt data från figur 19.

Genom jämförelse mellan det verkliga och beräknade tryckfallet enligt Kv-värdet visar grafen att det uppmätta tryckfallet är onormalt stort och ökar snabbare med ökande flödesvärden jämfört med det ideala tryckfallet enligt Kv-värdet. Skillnaden mellan tryckfallet enligt Kv-värdet och det verkliga tryckfallet är alltså som störst vid höga flödesvärden, se *Figur 21*, exempelvis är det verkliga tryckfallet ungefär 30 gånger högre vid massflödet 2500 ton/h än det ideala tryckfallet.

Tryckfall mot flöde



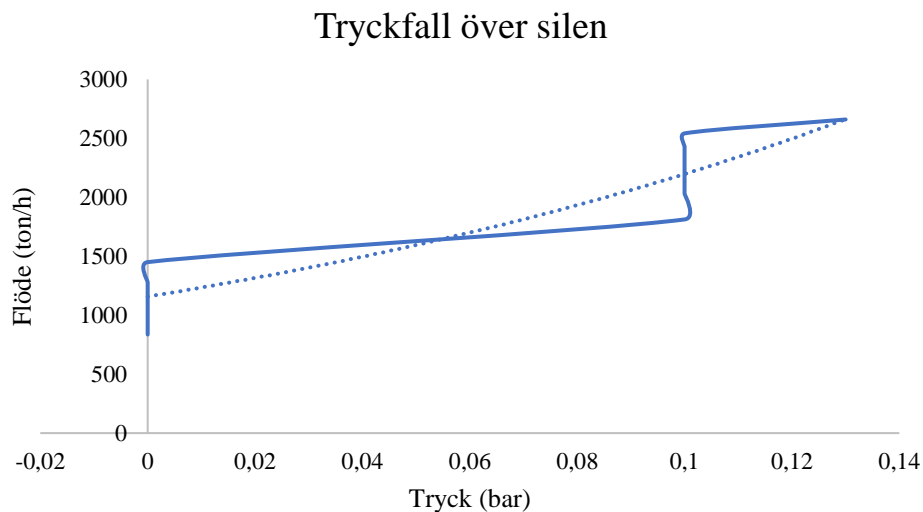
Figur 21 Samband mellan ventilens ideala tryckfall enligt Kv-värdet och verkliga tryckfall och massflödet av fjärrvärmevatten, enligt data från figur 19 och 20.

6.1.1 Orsaken till tryckfallet

Eftersom de kontaktade konsultföretagen inte kunde genomföra någon teknisk undersökning på ventilens flödespassage utan driftstopp baseras resultat på genomförda litteratur- samt dokumentationsstudier. Utifrån huvudventilens homogena konstruktion samt ventilens öppningsposition (se *Figur 16*) som är parallell med vattenflödet kan returventilen inte vara något annat än helöppen. Baserat på det påståendet samt strypning över ventilen som den akustiska undersökningen (*Bilaga 2* och *Bilaga 3*) kom fram till, antas tryckfallet i huvudventilen bero på ett föremål eller liknande som har fastnat i dess flödespassage.

6.2 Analys av tryckfallet över silen

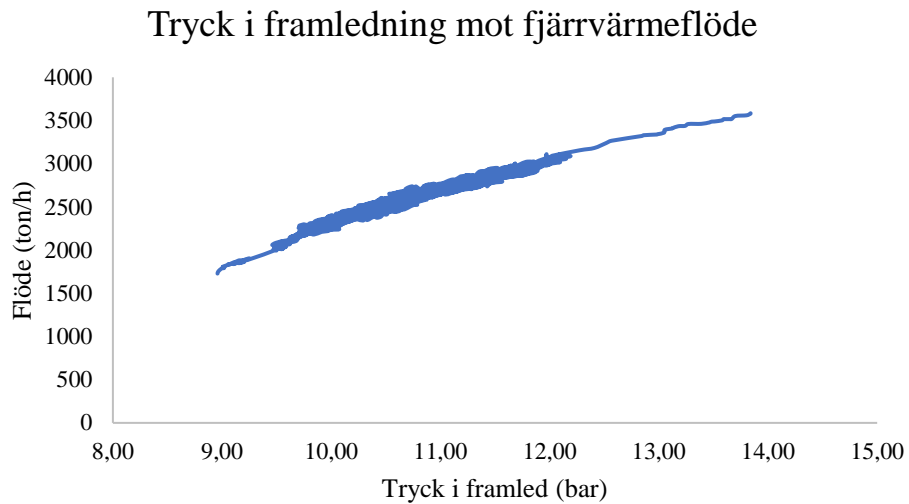
Tryckmätningar tagna före och efter silen visar att det uppstår tryckfall över ventilen som ökar med ett större vattenflöde. Framtagna trendlinjer visar att det uppmätta tryckfallet över silen (se *Figur 22*) tenderar att vara ungefär hälften så stort som det verkliga tryckfallet som uppstår över den studerade huvudventilen.



Figur 22 Samband mellan det uppmätta tryckfallet över silen och massflödet av fjärrvärmevatten.

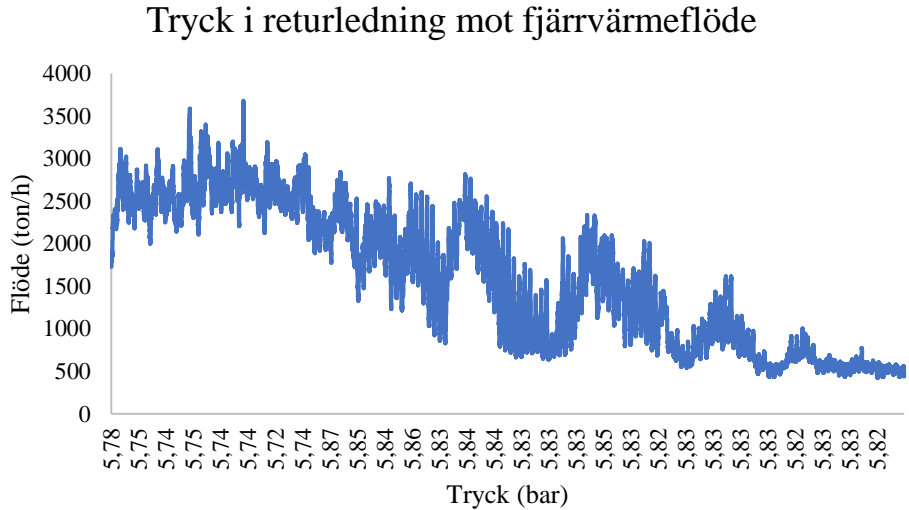
6.3 Analys av tryckfallets tekniska konsekvenser

Figur 23 visar att ju högre fjärrvärmeflödet är, desto högre är trycket i ledningarna. Eftersom fjärrvärmeledningarna är begränsade till det maximala trycket 14,5 bar är trycket en begränsande faktor samt tryckhöjningspumparnas maxkapacitet.



Figur 23 Samband mellan trycket i framledningen och fjärrvärmeflödet.

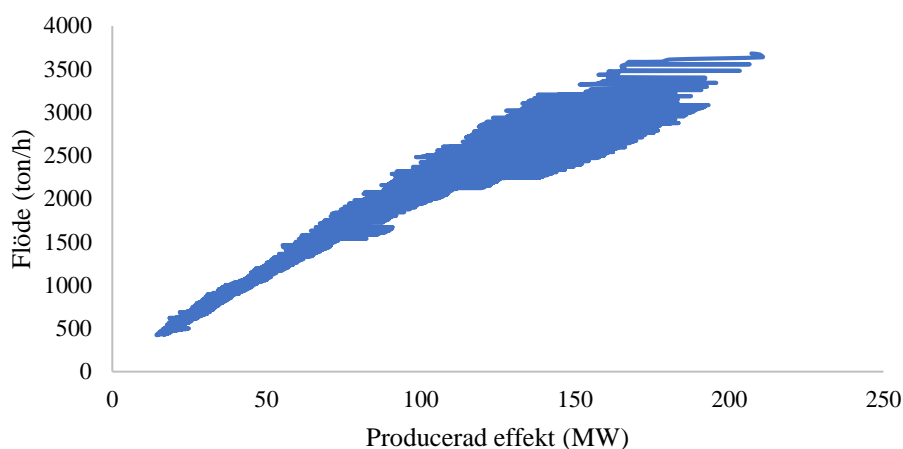
Trycket i returledningen minskar med ökande fjärrvärmeflöde men tryckintervallet i returledningen är betydligt mindre än i framledningen (se Figur 24).



Figur 24 Samband mellan trycket i returledningen och fjärrvärmeflödet.

Analysen av huvudanläggningens driftdata från 2019 visar att ju högre fjärrvärmeflöde desto mer producerad fjärrvärmeeffekt, se *Figur 25*.

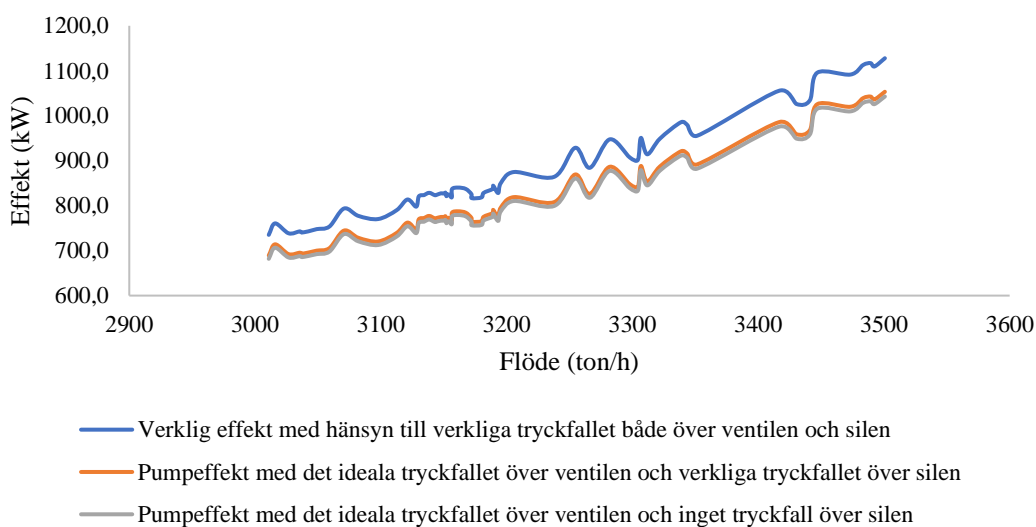
Flöde mot producerad effekt



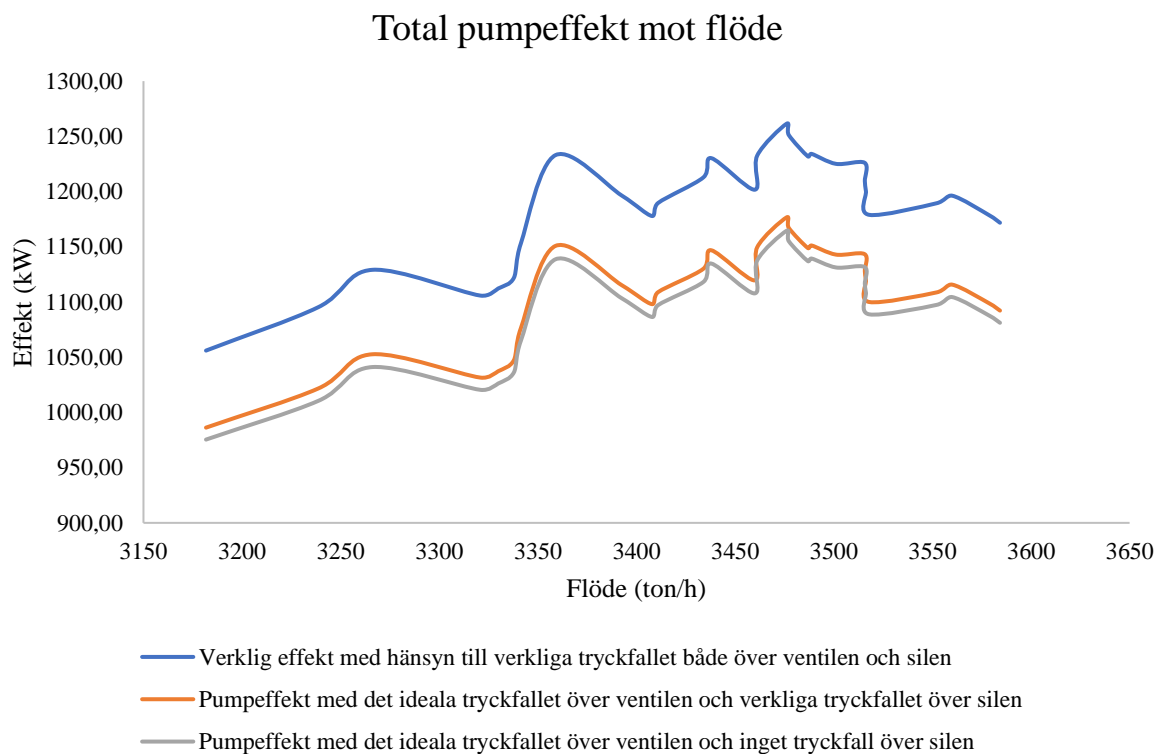
Figur 25 Samband mellan utgående fjärrvärmeflödet och producerade fjärrvärmeeffekt på huvudanläggningen, 2019.

Undersökning av anläggningens kapacitet i projektarbetet korresponderar till tillfällena med de högst uppmätta fjärrvärmeflödena. För att komma fram till hur tryckfallet i returventilen begränsar anläggningens kapacitet och vilka konsekvenser det medför analyserades driftdata från 07-02-2012 samt 15-01-2019. Under dessa två dagar uppmättes de högsta fjärrvärmeflödena under respektive år. Flödesintervallet vid maxkapacitet för 2019 omfattar värden mellan 3182 och 3584 ton/h, medan maxkapacitet under år 2012 korresponderar till flödesvärden mellan 3035 och 3485 ton/h. Analysen för dessa två tillfällen utfördes genom att ta fram ett samband för hur pumpeffekten beror på ökande tryckdifferens mellan retur- och framledningen vilket innebär också det ökande fjärrvärmeflödet (se *Bilaga 12* och *13*). Sambandet mellan tryckdifferensen och totala pumpeffekten studeras för tre olika fall; det verkliga tryckfallet i både ventilen och silen, tryckfallet över ventilen enligt Kv-värdet och verkliga tryckfallet över silen, samt tryckfallet endast över ventilen enligt Kv-värdet utan tryckfallet över silen. (se *Figur 26* och *27*)

Total pumpeffekt mot flöde



Figur 26 Sambandet mellan den totala pumpeffekten för två tryckhöjningspumpar och fjärrvärmeflödet, år 2012.



Figur 27 Sambandet mellan den totala pumpeffekten för tre tryckhöjningspumpar och fjärrvärmeflödet, år 2019.

Figur 26 visar pumpeffekt vid anläggningens maxflöden under år 2012 då endast två pumpar FP02 och FP07 var igång medan Figur 27 visar pumpeffekt vid anläggningens maxflöden för 2019 där alla tre tryckhöjningspumpar var igång.

Resultatet för år 2012 och 2019 visar att tryckfallet över både ventilen och silen bidrar till att tryckdifferensen mellan retur- och framledningen är större än utan, samt att ju större tryckdifferens desto mer pumpenergi krävs för att höja vattnets tryck från retur- till framledningen. I båda graferna tenderar skillnad för pumpeffekt mellan det verkliga och ideala tryckfallet som störst vid högsta tryckhöjningsvärdet, därmed högsta flödet. Denna ökande trend är dock tydligare för år 2012 än för 2019. I genomsnitt är det 7,7 % skillnad i pumpeffekt mellan den ideala och verkliga modellen.

Resultatet för båda studerade tillfällena visar att största bidraget till förhöjda tryckdifferensen mellan retur- och framledningstrycket samt pumpenergin utgörs av tryckfallet över ventilen, medan tryckfallet över silen inte påverkar systemet lika mycket. Dessutom visar båda modellerna att chansen att uppnå maxkapacitet av tryckhöjningspumpar är större med än utan tryckfallen.

6.4 Analys av årets lägsta fjärrvärmebehov

Baserat på medeltemperaturdata mellan 2010 och 2019 (se *Bilaga 9*) tenderar vecka 30 att vara den veckan under hela året med genomsnittligt högst medeltemperatur. Under 2019 var det vecka 29 som hade högst medeltemperatur och därmed minst medelvärmeeffekt vilket motsvarar 18,8 MW, vilket är utgångsvärdet i beräkningarna, se *Bilaga 10*.

6.5 Kostnadsuppskattning för driftstopp på huvudanläggningen

Under tiden arbetet på returventilen pågår måste fjärrvärmekunder få sin fjärrvärme från reservanläggningar där bio-olja används. Kostnadsuträkningen utgår ifrån vecka 29 år 2019 och en medelvärmeeffekt lika med 18,8 MW. Kostnad för att elda med skogsbaserat fast bränsle på huvudanläggningen under ett dygn vid dessa förhållande kostar ungefär 100 000 kr, medan motsvarande kostnad för att elda med Ecobränsle RME100 på reservanläggning Teleborg eller Täljstenen är runt 500 000 kr, vilket är ungefär fem gånger dyrare än att producera fjärrvärme på huvudanläggningen med hjälp av det fasta skogsbaserade bränslet. Kostnadsuppskattning baseras på bränslepriser samt verkningsgrader som presenteras i avsnitt 3.2.2 *Bränsle på Växjö Energi*.

6.6 Tryckfallets kostnadsanalys

Nedanstående analys (se *Tabell 4*) är en kostnadsanalys över vilka ekonomiska konsekvenser de verkliga tryckfallen medför. Ekonomiska analysen baseras på den årliga pumpenergidatan för år 2019.

Tabell 4. Kostnadsskillnader för år 2019

	Fall 1: Verkligt tryckfall under dagens förutsättningar för tryckfallet över ventilen och silen	Fall 2: Tryckfall över ventilen enligt Kv- värdet och över silen	Fall 3: Idealt tryckfall över endast ventilen enligt Kv- värdet
Medelpumpeffekt:	1037 MWh	967 MWh	957 MWh
Överskottseffekt:	-	70 MWh	80 MWh
Total elkostnad för pumparna:	408 821 kr	381 430 kr	377 342 kr
Förlust:	-	-27 391 kr	-31 479 kr
Procentuell skillnad:	-	6,7 %	7,7 %

Vad som kan utläsas från *Tabell 4* är en kostnadsskillnad mellan de tre olika fallen för den totala medeleffekten för pumparna under år 2019, se *Bilaga 10* för mer data.

Kostnadsskillnaderna räknades fram med hjälp av den totala pumpmedeleffekten för år 2019 och elpriset för år 2020 på 208 kr/MWh erhållen från handledare Peter Johansson på Växjö Energi, se *Bilaga 14*. Den procentuella skillnaden mellan de tre fallen räknades ut genom att

jämföra uträknade effekter vid olika flöden varvid ett samband kunde erhållas. Därmed innebär det att tryckfallet medför ökad kostnad för det kompensande pumparbetet varje år som motsvarar mellan 6,7 och 7,7 % av årets totala elkostnad för pumparbetet. Procentuella skillnaden mellan pumparbetet för de tre olika fallen under år 2019 skiljer sig inte mycket från dem år 2012 (se *Bilaga 12*) då medelvärdet för procentuella skillnaden på fall 2 var 6,52 % och fall 3 var 7,47 %. Vilket tyder på att det procentuella sambandet går att applicera oavsett år och förlusterna, resultatet kommer då huvudsakligen variera beroende på de totala pumpeffekterna under året och elpriset kommer att följa därefter.

6.7 Felkällor

För att svara på frågor från avsnitt *1.2.1 Frågeställning* gjordes det en del antaganden som kan ha bidragit till att slutresultatet avviker från verkliga värden och har därmed skapat felkällor. Beräkningar av fjärrvärmeeffekt under den varmaste sommarveckan baseras på effektmedelvärden för vecka 29 under år 2019. Detta innebär att den verkliga kostnaden för att genomföra åtgärdsförslaget på huvudventilen kan avvika från den beräknade kostnaden. Det beror dels på grund av att utomhustemperaturen för årets varmaste vecka varierar och därmed kommer fjärrvärmebehovet troligtvis inte att ha samma värde som under vecka 29 år 2019, och dels för att medelvärdet som beräkningarna baseras på är en felkälla i sig.

En ytterligare felkälla i projektarbetet är tryckmätningar som gjordes innan ventilen, mellan ventilen och silen, samt efter silen. Mätningarna gjordes manuellt vid relativt låga fjärrvärmevattenflöden och dessutom gjordes det endast nio mätningar. För att få en mer noggrann kurvmodell med det verkliga tryckfallet bör det genomföras fler mätningar med känsligare manometrar samt mätningar inom större flödesintervall vilket därmed skulle minska felmarginaler för tryckfallsmodellen.

Arbetet är avgränsat till ett antagande att tryckhöjningen mellan retur- och framledningen sker direkt med hjälp av tre tryckhöjningspumpar utan några mellansteg. I verkligheten uppvärms returvattnet först genom förbränningsprocesser innan dess tryck igen höjs till framledningstrycket. Det innebär att arbetet inte tar hänsyn till tryckändringen efter uppvärmningsprocessen och därmed det beräknade tryckhöjningsvärdet som är basen till beräkningar kring tryckhöjningsproblematiken stämmer inte helt med verkligheten. För att göra resultatet mer noggrant bör det göras en simulering kring trycksambandet beroende på flöde och temperatur mellan returledningen, uppvärmningsprocessen samt framledningen.

Orsaken till tryckfallet i rapporten har definierats med hjälp av litteraturstudier samt analyser av ventilens öppningsposition i förhållandet till dess homogena konstruktion. För att bekräfta projektgruppens antagande om vad som orsakar tryckfallet bör ventilen undersökas fysiskt antingen under drift eller driftstopp. Ett förslag kan vara röntgenundersökning eller kameraundersökning. Förutsättningar för att lyckas med en sådan undersökning är tillgång till specialutrustning som klarar av att leverera analyser under drift, vilket projektgruppen inte lyckades att hitta hos de kontaktade företagen.

Eftersom orsaken till tryckfallet är en teori som inte är bekräftad av någon fysisk undersökning baseras beräkningar för tiden som avses för åtgärdsarbetet på antalet tillståndsdagar för reservanläggningar, det vill säga hur många dagar åtgärdsarbetet får sträcka sig över istället för hur många dagar själva arbetet kommer kräva. Om det var mer tydligt vad som orsakar tryckfallet hade arbetets tid kunnat uppskattas med större noggrannhet.

Ett annat förbättringsförslag omfattar kostnadsberäkning för driftstopp som inte tar hänsyn till att rökgaskondensorn på Sandvik 2 höjer det skogsbaserade bränslets verkningsgrad, vilket i verkligheten innebär ännu större skillnad i bränslekostnader mellan skogsbaserat bränsle och RME oljan. Rapporten omfattar inte varken analysen av elproduktionen eller dess samband med värmeproduktionen. Därmed är ekonomiska förluster relaterade till elproduktionen vid driftstopp okända. För att få mer omfattande kostnadsanalys av ett driftstopp bör analysen ta hänsyn till både rökgaskondensorns påverkan på bränslets verkningsgrad samt ekonomiska förluster på elmarknaden.

7.0 Slutsatser

Eftersom orsaken till tryckfallet över returventilen har identifierats som en blockering av okänt föremål i ventilens flödespassage rekommenderas det att stoppa produktionen i huvudanläggningen för att kunna tömma och därefter öppna upp returledningen för att fysiskt rensa ventilens öppning. Ett driftstopp är nödvändigt då det inte finns någon by-passledning som kan avlasta huvudledningen under tiden arbetet pågår. Ett driftstopp på huvudanläggningen innebär att fjärrvärmekunder behöver försörjas med fjärrvärme som produceras på reservanläggningar Teleborg och Täljstenen.

Eftersom Växjö Energi har tillstånd för att elda på reservanläggningarna Teleborg och/eller Täljstenen i sammanlagt sju dagar per år, bör arbetet på returledningen och ventilen inte överstiga en vecka. Det mest optimala är ett så kort driftstopp som möjligt i syfte att försäkra möjligheten till nyttjande av reservanläggningar ifall oväntat haveri uppstår annan tid under året. Utifrån statistikdata mellan 2010 och 2019 rekommenderas vecka 30 för att genomföra åtgärder på returventilen. Kostnadsberäkningar för driftstopp på huvudanläggningen har visat att fjärrvärmeproduktion av RME olja på reservanläggningar kommer att kosta fem gånger mer per dag i jämförelse med produktionen av fasta skogsbränslet på huvudanläggningen. Detta är ytterligare en anledning till att få arbetet på returventilen gjort under så kort tid som möjligt.

Analys av tryckfallets problematik visar att huvudorsaken till tryckfallet är returventilen men också smutsfiltret, dock är det tydligt att smutsfiltret bidrar i betydligt mindre utsträckning till tryckfallet och därmed är mindre belastning för tryckhöjningspumpar samt bär med sig mindre ekonomiska konsekvenser. Trots det bör åtgärdsarbetet avse även smultfilterrensning eftersom på grund av bristande öppningslucka kan det rensas endast under driftstopp när ledningen är tömd. Eftersom ett driftstopp innebär att reservanläggningar måste startas vilket är dyrt, samt att antalet tillståndsdagar för driften av reservanläggningar är begränsade, borde ventilen och smutsfiltret rensas samtidigt.

Tryckfallet har konstaterats öka tillsammans med ökande fjärrvärmeflöde, vilket också innebär ökande fjärrvärmeeffekt, det vill säga att tryckfallets tekniska konsekvenser är som störst när fjärrvärmebehovet i Växjö är som störst – under kalla dagar. Eftersom det har visats att under höga fjärrvärmeflöden arbetar tryckhöjningspumpar ungefär 7,7 % för mycket i jämförelse med den ideala modellen innebär det att pumparnas maxkapacitet uppnås snabbare på grund av tryckfallet i returledningen. För kalla vinterdagar innebär det att fjärrvärmeflödet begränsas av det onödigt höga pumparbetet och därmed begränsar anläggningens kapacitet vilket leder till att reservanläggningar Teleborg och Täljstenen startas för att täcka den kapacitet som huvudanläggningen inte klarar av att leverera. Detta är ekonomiskt ogynnsamt på grund av att RME olja har visat sig vara dyrare än det fasta skogsbaserade bränslet och förbrukar tillståndsdagar för drift av reservanläggningar som borde sparas till tillfällen där haverier på huvudanläggningen uppstår. I följd av detta kan slutsatsen dras att de ekonomiska konsekvenserna av tryckfallet orsakas av det onödigt höga pumparbetet men även av den kostnaden som uppstår när huvudanläggningen begränsas av tryckhöjningspumparna. För en del kalla vinterdagar innebär det att istället för att producera hela den efterfrågade fjärrvärmeeffekten på huvudanläggningen blir Växjö Energi tvungen att elda med dyr RME olja på reservanläggningar vilket kan bära med sig större ekonomiska konsekvenser än bara den förhöjda elenergin som pumparna förbrukar.

Det har konstaterats att driftstopp på huvudanläggningen inte är ekonomiskt och tillståndsmässigt fördelaktigt, därför bör tillfällen då driftstopp behövs minimeras till endast nödvändigheter. I nuläget finns det ingen by-passledning för returledning i studerade systemet, det vill säga att alla reparations- eller underhållsarbeten på ledningen innebär ett ofördelaktigt driftstopp för huvudanläggningen. Eftersom allt returvatten passerar endas via en returledning är hela produktionen beroende av den och därmed rekommenderas det att Växjö Energi ser över det och förebygger denna typ av problematik långsiktigt genom att bygga en by-passledning som kan avlasta retur- eller framledningen när det behövs.

Projektgruppen har inte kunnat identifiera ett tydligt mönster av pumparbetet. Enligt driftdata är FP02 och FP07 alltid igång. Dock är det okänt när alla tre tryckhöjningspumpar är igång och när endast två av dem är, då det är bara ibland vid höga fjärrvärmeflöden har det valts att starta FP01 för att avlasta FP02 och FP07 men inte alltid. Detta kan förklaras av orsak som inte ingår i studerade systemets gränser, som exempelvis läckagen ute på nätet. På grund av att inget tydligt mönster har identifierats uppfattas pumparnas arbetsmönster vara slumpmässigt.

Tryckfallsproblematik för kraftvärmeanläggningar kan leda till ekonomiska och tekniska förluster som bidrar till att fjärrvärmesystemens energieffektivitet drabbas. Genom att konstruera fjärrvärmeanläggningar på ett sätt där de delarna som är avgörande för processens drift kan avlastas för eventuell undersökning eller reparation kan driftstopp som är dyrbara och svåra att planera undvikas. Regelbundna och noggranna kontroller av fjärrvärmenäten som exempelvis simuleringar hjälper att kartlägga tryckfallsproblem och därmed är ett sätt att spara på energi, bränsle, pengar och utrustning.

8.0 Referenser

- [1] S. Werner, "International review of district heating and cooling," *Energy*, vol. 137, pp. 617-631, 2017.
- [2] S. Werner och S. Fredriksen, *Fjärrvärme och Fjärrkyla*, Lund: Studentlitteratur AB, 2014.
- [3] Nationalencyklopedin AB, "Fjärrvärme," [Online]. Available: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/fj%C3%A4rrv%C3%A4rme>. [Använd 08 04 2020].
- [4] E. Ryden, "Fjärrvärme - resurseffektiv uppvärmning," *Energiföretagen*, 20 02 2020. [Online]. Available: <https://www.energiforetagen.se/energifakta/fjarrvarme/>. [Använd 08 04 2020].
- [5] Energimyndigheten, "Energiläget 2019. En översikt.," *Energimyndigheten*, Eskilstuna , 2019.
- [6] H. Lund, S. Werner, R. Wiltshire, S. Svendsen, J. E. Thorsen, F. Hvelplund och B. Vad Mathiesen, "4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems," *Energy*, vol. 68, pp. 1-11, 2015.
- [7] L. Triguero och S. A. Berg, "4.1 Introduktion," i *Energiteknik med Fjärrvärme*, Strängnäs och Stockholm, Lärnö AB , 2016, pp. 211-212.
- [8] E. Rydegran, "Fjärrvärmenätet - distribution," *Energiföretagen*, 02 07 2018. [Online]. Available: <https://www.energiforetagen.se/energifakta/fjarrvarme/fjarrvarmenaten-distribution/>. [Använd 08 04 2020].
- [9] S. A. Berg och L. Triguero, "4.2.1 Kraftvermeverk - konstruktion," i *Energiteknik med Fjärrvärme*, Strängnäs och Stockholm, Lärnö AB , 2016, p. 216.
- [10] M. Valincius, M. Vaisnoras och A. Kaliatka, "Study and demonstration of pressure wave-based leak detection in a district heating network," *Structure and Infrastructure Engineering*, vol. 14, nr 2, pp. 151-162, 2018.
- [11] S. A. Berg och L. Triguero, "4.3 Hetvattendistribution i fjärrvärmenät," i *Energiteknik med Fjärrvärme*, Strängnäs och Stockholm, Lärnö AB, 2016, pp. 234-235.
- [12] A. Zajacs, R. Bogdanovics och A. Borodinecs, "Analysis of low temperature lift heat pump application in a district heating system for flue gas condenser efficiency improvement," *Sustainable Cities and Society*, vol. 57, 2020.
- [13] D. Blumberga, E. Vigants och I. Veidenbergs, "Analysis of Flue Gas Condenser Operation," *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, nr 4, 2011.
- [14] Naturvårdsverket, "Branschfakta: Förbränningsanläggningar för energiproduktion inklusive rökgaskondensering (utan avfallsförbränning)," *Naturvårdsverket*, Stockholm, 2005.
- [15] S. E. Werner, "The Heat Load in District Heating Systems," *Chalmers University of Technology Department of Energy Conversion*, Göteborg, 1984.
- [16] G. Christians, "Prognostisering av Fjärrvärmebehov - En jämförelse av fastigheter med olika stor varmvattenanvändning," *Uppsala Universitet Teknisk- naturvetenskaplig fakultet*, Uppsala, 2017.
- [17] NE Nationalencyklopedin AB, "Värmeeffekt," [Online]. Available: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/v%C3%A4rmeeffekt>. [Använd 23 04 2020].
- [18] S. A. Berg och L. Triguero, "4.3.4 Tryckflödesförluster i fjärrvärmesystem," i *Energiteknik med Fjärrvärme*, Strängnäs och Stockholm, Lärnä AB, 2016, p. 248.

- [19] S. Frederiksen och S. Werner, "6.4 Driftövervakning," i *Fjärrvärme Teori, Teknik och Fuktion*, Lund, Studentlitteratur AB, 2010, pp. 322-323.
- [20] O. Olsson, A. Eriksson, J. Sjöström och E. Anerud, "Keep that fire burning: Fuel supply risk management strategies of Swedish district heating plants and implications for energy security," *Biomass and Bioenergy*, vol. 90, pp. 70-77, 2016.
- [21] S. Werner, "District heating and cooling in Sweden," *Energy*, vol. 126, pp. 419-429, 2017.
- [22] T. Kvarnström, "Fasa ut Sista Oljan Att tänka på när eldningsoljan ska ersättas av förnyelsebara bränslen," *Svensk Fjärrvärme*, Stockholm, 2009.
- [23] Svenska Petroleum & Biodrivmedel Institutet, "Förnybara dieselbränslen," 15 08 2018. [Online]. Available: <https://spbi.se/uppslagsverk/fakta/drivmedel/dieselbransle/biodiesel-fornybara-dieselbranslen/>. [Använd 09 04 2020].
- [24] Energifabriken, "Ecobränsle RME100 - ett svenskt inhemskt bränsle," [Online]. Available: <https://energifabriken.se/rme/>. [Använd 09 04 2020].
- [25] Länsstyrelsen i Kronobergs län, "Miljöfarlig verksamhet," [Online]. Available: <https://www.lansstyrelsen.se/kronoberg/miljo-och-vatten/miljofarlig-verksamhet.html>. [Använd 19 04 2020].
- [26] Nationalencyklopedin AB, "Hydromekanik," [Online]. Available: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/hydromekanik>. [Använd 07 04 2020].
- [27] H. Alvarez, *Energiteknik Del 1*, Lund: Studentlitteratur AB, 2006, p. 674.
- [28] Nationalencyklopedin AB, "Polytrop process," [Online]. Available: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/polytrop-process>. [Använd 08 04 2020].
- [29] Nationalencyklopedin AB, "Termodynamikens första huvudsats," Nationalencyklopedin AB, [Online]. Available: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/termodynamik/termodynamikens-grunder/termodynamikens-f%C3%B6rsta-huvudsats>. [Använd 21 04 2020].
- [30] Fläkt Woods AB, "Resources Fläktwoods," [Online]. Available: <http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=c3abb077-fb1c-41bf-9a78-c1fb1f7da971>. [Använd 15 04 2020].
- [31] Nationalencyklopedin AB, "Manometer," Nationalencyklopedin AB, [Online]. Available: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/manometer>. [Använd 17 04 2020].
- [32] Pipe Flow Software Inc., "pipeflow.com," Pipe Flow Software, [Online]. Available: <https://www.pipeflow.com/pipe-pressure-drop-calculations>. [Använd 13 04 2020].
- [33] P. U. Ekholm, L. Fraenkel och S. Hörbeck, *Fomler & Tabeller i Fysik, Matematik & Kemi*, Göteborg: Konvergenta HB, 2013.
- [34] Nationalencyklopedin AB, "Reynolds tal," Nationalencyklopedin AB, [Online]. Available: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/reynoldstal>. [Använd 21 04 2020].
- [35] B. Rehm, J. Schubert, A. Haghshenas, A. S. Raknejad och J. Hughes, "CHAPTER TWO - Situational Problems in MPD," i *Managed Pressure Drilling*, Gulf Publishing Company, 2009, p. 369.
- [36] Pumpportalen AB, "Vätskors viskositet och dess inverkan på pumpar," Pump Portalen, [Online]. Available: <https://www.pumpportalen.se/pumphandboken/10-2-viskositet/>. [Använd 03 05 2020].

- [37] Z. P. Smith och R. , Valve Selection Handbook : Engineering Fundamentals for Selecting the Right Valve Design for Every Industrial Flow Application, Elsevier Science & Technology, 2003.
- [38] Pumpportalen, ”Flödeskoefficient Kv,” Pump Portalen , [Online]. Available: <https://www.pumpportalen.se/pumpinformation/relationen-mellan-koefficient-kv-och-k/>. [Använd 24 04 2020].
- [39] S. Frederiksen och S. Werner, ”Pumpar,” i *Fjärrvärme Teori, Teknik och Funktion*, Lund, Studentlitteratur AB, 1993, pp. 216-221.
- [40] Nordic Plastics Group, ”PTFE - Polytetrafluoreten,” Nordic Plastics Group AB, [Online]. Available: <https://www.npgroup.se/plaster/ptfe/>. [Använd 10 05 2020].
- [41] K. Sotoodeh, ”Handling the pressure drops in strainers,” *Marine Systems & Ocean Technology Vol. 14*, p. 6, 27 9 2019.
- [42] Växjö Energi AB, ”Länge Leve Vardagen,” [Online]. Available: <https://www.veab.se/om-oss/foretaget/historia2/>. [Använd 07 04 2020].
- [43] Växjö Energi AB, ”Mot en fossilfri vardag. Års- och hållbarhetsredovisning 2018,” Växjö Energi AB, Växjö, 2018.
- [44] Växjö Energi AB, ”Nu är vi helt 100.,” 2019. [Online]. Available: <https://www.veab.se/om-oss/miljo/fossilfri-verksamhet/>. [Använd 07 04 2020].
- [45] Växjö Energi AB, ”Växjö Energi - Med fokus på en hållbar framtid,” Växjö Energi AB, Växjö, 2020.
- [46] Växjö Energi, ”Henrik Larsson,” Växjö, 2020.
- [47] Energifabriken, [Online]. Available: <https://energifabriken.se/bioolja/>. [Använd 09 04 2020].
- [48] S. Fredriksen och S. Werner, ”4.12 Pumpar,” i *Fjärrvärme Teori Teknik och Funktion*, Lund, Studentlitteratur AB, 2010, pp. 216-220.
- [49] Stiftelsen Institutet För Företagsutveckling, ”Fjärrvärme,” SIFU Utbildningsföretaget, Göteborg, 1983.

9.0 Bilagor

Bilaga 1. Mailunderlaget för information rörande fjärrvärmenätet

Nedanstående information berör fjärrvärmenätet i Växjö:

- antal påkopplade undercentraler: 8656 st.
- längd: 417 km
- total volym av värmebärande vätska: 10 730 kbm

Pelle Johansson

Utvecklingsingenjör drift och underhåll



Projektbeskrivning för examensarbete

Utredning av onormalt tryckfall i fjärrvärmereturledning

Bakgrund

Vid en rutinkontroll där det gjordes en datorsimulering av tryckförhållanden i Växjö stads fjärrvärmenät uppmärksammades ett onormalt högt tryckfall i returledningen. Tryckfallet kunde härledas till ventil P01 FQ01A01. För att säkerställa att tryckfallet är verkligt och inte bara är ett beräkningsfel i simuleringsprogrammet så genomfördes en akustisk undersökning där ljudskillnaden mellan fjärrvärmeventil P01 FQ01A01 och motsvarande ventil P01 FQ08A03 i framledningen jämfördes. Det konstaterades att ljudet skiljer sig åt ventilerna emellan. Resultatet av datorsimulering tillsammans med akustisk undersökning indikerade att tryckfallet beror på fjärrvärmeventil P01 FQ01A01.

Det onormala tryckfallet tvingar fjärrvärmepumparna att arbeta onödigt hårt vilket medföljer högre energikonsumtion. Dessutom begränsas den tekniska förmåga som produktionen kan uppnå vilket påverkar anläggningens tillgänglighet. Det gäller framförallt högsäsongen under kalla vinterdagar.

Problemformulering

- Varför uppstår tryckfallet?
- Vad är bästa åtgärdsförslag och bästa tid för att genomföra det?
- Vad kostar åtgärden och vad blir konsekvensen för produktionsplanen?
- Vilka ekonomiska samt tekniska konsekvenser medför tryckfallet?

Bilaga 3. Akustisk kontroll

Johansson Peter

till mig ▾

17:38 (för 0 minuter sedan)



Konsultföretaget har utfört en akustisk kontroll genom att undersöka ljudskillnaden mellan fjärrvärmeventil P01 FQ01A01 i returledningen och fjärrvärmeventil P01 FQ08A03 i framledningen. Ventilerna har samma tillverkare, samma dimension, är lika gamla och vid kontrollen var fjärrvärmefflödet genom ventilerna lika stort.

Det som har konstaterats är att ljudet skiljer sig åt ventilerna emellan. När man lyssnade på och direkt i anslutning till ventilen på framledningen, P01 FQ08A03 så hördes ett normalt flödesljud. Vid motsvarande kontroll en meter (i flödesriktningen) före returventil P01 FQ01A01 lät det också som ett normalt flödesljud. Fast när det lyssnades direkt på ventil P01 FQ01A01 så uppfattas ett betydligt skarpare "S-ljud" där S:et står för stryp-ljud.

Peter Johansson

Driftchef



Bilaga 4. Egenkontrollprogram RPC Täljstenen, Växjö Energi AB



3 (8)

Titel	Skapat av (Förnamn, Efternamn)	Senast rev.	Version:
Egenkontrollprogram RPC Täljstenen	Camilla Kunstelj	2020-04-15	4
Dokumenttyp	Dokumentägare (Förnamn, Efternamn)	Nästa rev.	Dok ID:
Instruktioner och rutiner	Joakim Mårtensson	2021-04-15	INS - 1399

2.2 Beskrivning av verksamheten

Produktion

RPC Täljstenen ägs och drivs av Växjö Energi AB och omfattas därför organisations- och ansvarsfördelningsmässigt av moderbolaget.

RPC Täljstenen är en reservpanncentral för fjärrvärmeproduktion. Anläggningen är ansluten till Växjö Energi AB:s fjärrvärmenät. Anläggningen består av en tunnojleddad (RME) hetvattenpanna med kapaciteten 40 MW.

Anläggningen har en beräknad drifttid på några dygn om året.

2.3 Gällande tillstånd

Följande tillstånd berör och gäller för anläggningen:

Datum	Dnr / tillståndsnummer	Beslutsmyndighet	Beslutet avser
2008-05-28	551-9282-07	Länsstyrelsen	Fortsatt verksamhet vid reservpanncentralen på fastigheten Täljstenen 2 i Araby, Växjö stad. Tillståndet omfattar drift av oljeleddad panna med en total tillförd effekt om högst 49 MW
2015-12-21	566-5601-2015	Länsstyrelsen	Transport av farligt avfall. Max 100 kg eller 100 liter/år. Giltigt till den 21 december 2020

2.4 Drift av panna

Eftersom Täljstenen är en reservpanncentral ska tillsynsmyndigheten meddelas vid uppstart och drift av panna. Alla drifttimmar ska noga journalföras och följas i PIMS.

I tillståndet begränsas drifttiden till några dygn. Under denna begränsade drifttid får RPC Täljstenen köras exempelvis då extra kapacitet behövs på nätet då det är extremt kallt, vid reparationer, planerade driftavbrott, provkörning och liknande.

Bolaget gör tolkningen att begreppet "några dygn" ej får vara mer än 6 dygn.

Skulle ett nödläge eller storhaveri föreligga, kan RPC Täljstenen användas fler dygn för att säkra värmeförsörjningen i Växjö kommun.

Definition av drifttid

Drifttid räknas från det då oljebrännaren är i drift samt att anläggningen producerar/levererar det den ska, det vill säga det som inte räknas som start- och stopptid och då effekt på utgående fjärrvärme överskrider tröskleffekten. Denna gräns utgör 5 % av maximal effekt.

Instruktioner och rutiner

Bilaga 5. Egenkontrollprogram RPC Teleborg, Växjö Energi AB



3 (8)

Titel	Skapat av (Förnamn, Efternamn)	Senast rev.	Version
Egenkontrollprogram RPC Teleborg	Camilla Kunstelj	2020-04-15	3
Dokumenttyp	Dokumentägare (Förnamn, Efternamn)	Nästa rev.	Dok ID:
Instruktioner och rutiner	Joakim Mårtensson	2021-04-15	INS - 1403

2.2 Beskrivning av verksamheten

Produktion

RPC Teleborg ägs och drivs av Växjö Energi AB och omfattas därför organisations- och ansvarsfördelningsmässigt av moderbolaget.

RPC Teleborg är en reservpanncentral för fjärrvärmeproduktion. Anläggningen är ansluten till Växjö Energi AB:s fjärrvärmenät. Anläggningen består av två tunnojeeldade hetvattenpannor med kapaciteten 22,5 MW vardera. Anläggningen har en beräknad drifttid på ca 1 dygn om året.

2.3 Gällande tillstånd

Följande tillstånd berör och gäller för anläggningen:

Datum	Dnr / tillståndsnummer	Beslutsmyndighet	Beslutet avser
2003-11-20	551-5201-03	Länsstyrelsen	Fortsatt och utökad verksamhet vid reservpanncentralen på fastigheten Fyrkantens 2, Teleborg, Växjö kommun. Tillståndet omfattar installation och drift av oljeeldade pannor med en sammanlagd total tillförd effekt om högst 49 MW

2.4 Drift av panna

Eftersom Teleborg är en reservpanncentral ska tillsynsmyndigheten meddelas vid uppstart och drift av panna. Alla drifttimmar ska noga journalföras och följas i PIMS.

I tillståndet begränsas drifttiden till 1 dygn om året. Under denna begränsade drifttid får RPC Teleborg köras exempelvis då extra kapacitet behövs på nätet då det är extremt kallt, vid reparationer, planerade driftavbrott, provkörning och liknande.

Skulle ett nödläge eller storhaveri föreligga, kan RPC Teleborg användas fler dygn för att säkra värmeförsörjningen i Växjö kommun.

Definition av drift

Drifttid räknas från det då någon oljebrännare är i drift samt att anläggningen producerar/levererar det den ska, det vill säga det som inte räknas som start- och stopptid och då effekt på utgående fjärrvärme överskrider tröskleffekten. Denna gräns utgör 5 % av maximal effekt.

Instruktioner och rutiner

Bilaga 6. Produktdatablad för Ecobränsle RME100.

PRODUCT CERTIFICATE
Rapeseed Methyl Esters (RME)
 Based on rapeseed oil only
 Meets the requirements in EN 14214:2008



Property	Limit		Unit	Result
	Min	Max		
Ester content	96,5		%	>99
Density at 15 °C	860	900	kg/m ³	883
Sulphur content		10	mg/kg	<2
Ash content		0,02	% m/m	<0,01
Carbon residue		0,3	% m/m	0,13
Flash point	101		°C	160
Viscosity at 40 °C	3,5	5		4
Water content		500	mg/kg	<250
Total contamination		24	mg/kg	<6
CFPP	-20	-20	°C	-25 *
Cloud point		-3	°C	-8 *
Oxidation stability at 101 °C	8		hours	>10
Other parameters				
Net heat of combustion			MJ/kg	37,2

* For winter quality RME

Bilaga 7. Bränsleinformation för Ecobränsle RME100

Här nedan ser ni den prisformel som anger det aktuella priset för RME.

$$((\text{RSO notering} * (1 + \text{raffpås} \text{lag}) * \text{valutakurs (euro)} + \text{Produktionskostnad}) * \text{Densitet}) + \text{Skatt} + (\text{Marginal} + \text{Frakt} + \text{Vinteradditiv}) = \text{Pris/m}^3$$

RSO, AAK's RSO-notering (ej publik), i euro/ton

Raffpås lag = 2,5%

Valutakurs, euro/sek

Produktionskostnad = xxxxx kr/ton

Densitet = 0,883 m³/ton

Skatt = 4 247 kr/m³

Marginal+frakt+vinteradditiv = xxxx kr/m³

Snittpriset över året exklusive skatt är ca 1000 kr/MWh = 9163 kr/m³

Omräkningstalet mellan m³ och MWh är alltså 9,163.

Hör av er om ni behöver mer infol

Med vänlig hälsning,

Peter

Peter Philipsson

Sektionschef KVDY

VEAB
VÄXJÖ ENERGI

Bilaga 8. Tillstånd för användandet av bild från Fläkt Woods AB

Från: Robin Moreton

Skickat: den 15 april 2020 19:44

Till: Ola Skoglund (FläktGroup)

Ämne: Re: Tillstånd för användandet av bild i examensarbete

Tack så mycket, det ska jag.

Mvh

Robin Moreton

On 14 Apr 2020 08:30, "Ola Skoglund (FläktGroup)" <ola.skoglund@flaktgroup.com> wrote:

Hejsan Robin,

Tack för att du frågar och det är okej för oss bara du hänvisar till källan. Lycka till med examensarbetet!

Hälsningar

Ola

Ola Skoglund (*M. BSc.*)

Global Director Marketing & Communications

FläktGroup

Bilaga 11. Produktinformation för tryckhöjningspumpar FP02 och FP07.

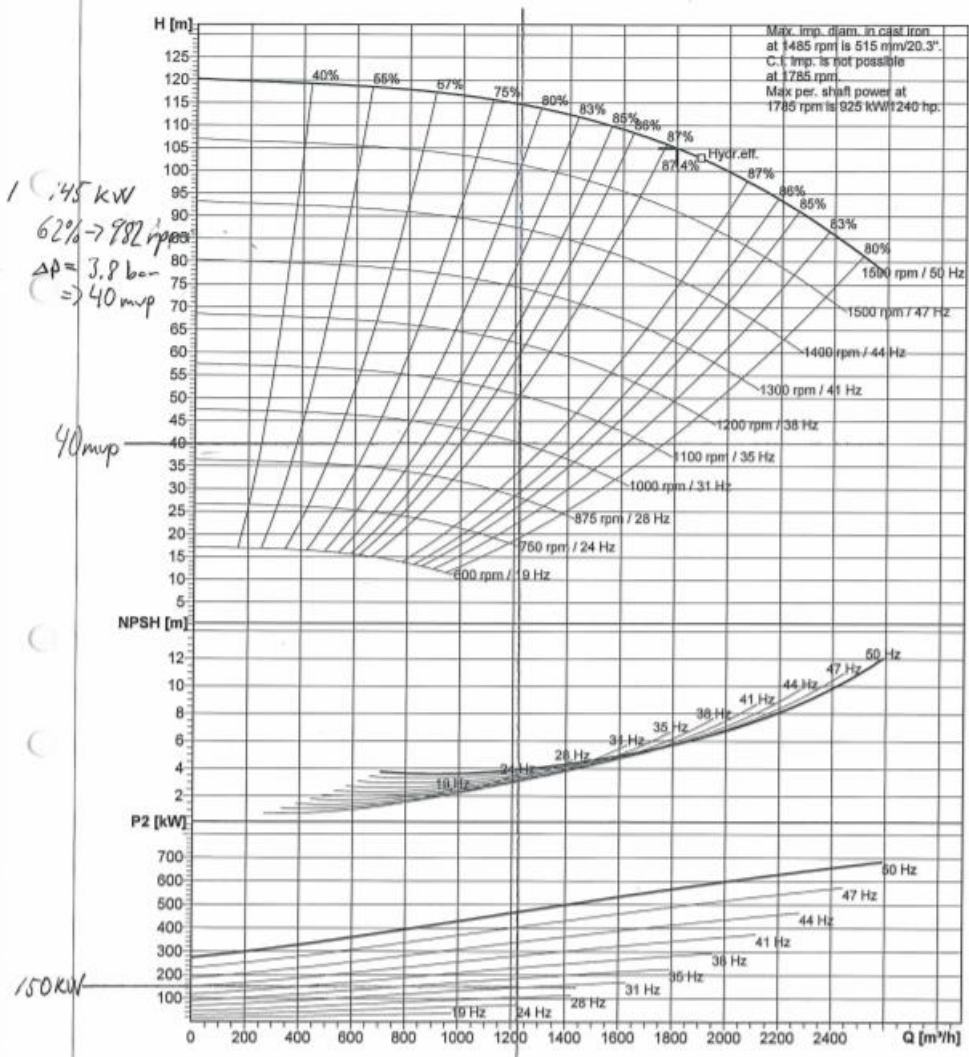
FP02 + FP07



Pump performance curves
Z22-400/300-55 F805

Curve number
60016491-1P
Reference curve
6491-1P

Density 0,96 kg/dm ³	Viscosity 1,562 mm ² /s	Testnorm ISO 9906 Gr 2	Discharge DN300	Frequency 50 Hz
Flow 1800 m ³ /h	Head 105 m	Rated power 567 kW	Rated speed 1590 rpm	Date 2007-02-23
			Hydraulic efficiency 87,2 %	NPSH 5,7 m



Impeller size 550 mm	N° of vanes 16	Impeller Fan pump impeller	Z2H-805	Solid size 30 x 35 mm	Revision 2003-09-23
-------------------------	-------------------	-------------------------------	---------	--------------------------	------------------------

ABS reserves the right to change any data and dimensions without prior notice and can not be held responsible for the use of information contained in this software. ABSEL PRO 1.7.1 / 2005-03-17

Bilaga 14. Elpris för tryckhöjningspumpar FP01, FP02 och FP07 enligt mailunderlaget från handledaren Peter Johansson, Växjö Energi AB.

Johansson Peter

till Robin, mig ▾

11 maj 2020 18:39 (för 2 dagar sedan)



Hej!

Ursäkta, jag glömde ju skicka detta till er... Nedan är Henriks utredning. I fallet med fjärrvärmepumparna har jag dubbelkollat och elen till dessa är befriad från energiskatt eftersom fjärrvärmepumparna räknas som nödvändiga för kraftvärmeproduktion. För år 2020 är det därför 208 kr/MWh ni ska räkna med.

Mvh
Peter

Bilaga 15. Mätdata för tryckfallet över returventilen och silen.

	A	B	C	D	E	F	G	H
2								
3		YF08F20	manometer	manometer	manometer		Differenstryck	Differenstryck
4		Flöde (t/h)	tryck före ventil	tryck mellan sil & ventil	tryck efter sil		FQ01A01	sil
5		836	5,78	5,7	5,7		0,08	0
6		1280	5,8	5,75	5,75		0,05	0
7		1450	5,8	5,7	5,7		0,1	0
8		1812	5,9	5,7	5,6		0,2	0,1
9		2030	5,9	5,7	5,6		0,2	0,1
10		2118	5,9	5,7	5,6		0,2	0,1
11		2336	5,9	5,7	5,6		0,2	0,1
12		2433	5,9	5,7	5,6		0,2	0,1
13		2542	6	5,7	5,6		0,3	0,1
14		2660	5,95	5,78	5,65		0,17	0,13
15							0	0
16							0	0
17							0	0
18							0	0
19							0	0
20							0	0
21							0	0
22							0	0
23							0	0
24							0	0
25							0	0
26							0	0
27							0	0
28							0	0
29							0	0
30							0	0

Bilaga 16. Egenskaper för pump FP01

