



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för energi och teknik

Fristående värmesystem till Akademiska sjukhuset i Uppsala

– En analys av energi, effekt, flöde, kostnader och säkerhet

Low Temperature District Heating System at the Uppsala University Hospita

– An Analysis of Energy, Power, Flow, Costs and Safety

Oliver Christiansson, Marcus Segelsjö Duvernoy, David Gelin, Joakim Nyberg, Jonatan Hultin Rosenberg, Simon Thörn, Anton Öberg

Kandidatuppsats i teknik

Civilingenjörsprogrammet i energisystem

Examensarbete 2019:12
ISSN 1654-9392
Uppsala 2019

Fristående värmesystem till Akademiska sjukhuset i Uppsala – En analys av energi, effekt, flöde, kostnader och säkerhet

Low Temperature District Heating System at the Uppsala University Hospital -
An Analysis of Energy, Power, Flow, Costs and Safety

Oliver Christiansson, Marcus Segelsjö Duvernoy, David Gelin, Joakim Nyberg, Jonatan Hultin Rosenberg, Simon Thörn, Anton Öberg

Handledare: Sven Smårs, institutionen för energi och teknik, SLU
Examinator: David Ljungberg, institutionen för energi och teknik, SLU

Omfattning: 15 hp
Nivå, fördjupning och ämne: Grundnivå, G2E, teknik
Kurstitel: Självständigt arbete i energisystem
Kurskod: EX0759
Program/utbildning: Civilingenjörsprogrammet i energisystem 300 hp
Kursansvarig institution: energi och teknik

Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2019
Serietitel: Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)
Delnummer i serien: 2019:12
ISSN: 1654-9392
Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: Energieffektivisering, VSO₁, fjärrvärme, uppvärmning, lågtempererat värmesystem

Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för energi och teknik

Abstract

Region Uppsala plans to build a new heating system called VS01 for the Uppsala University Hospital. VS01 will be a low temperature district heating system and connects all buildings in the hospital area. By building VS01, the existing 23 district heat subscriptions, one for every building, can be assembled into one. Today, one of Vattenfall's main pipe extends through the hospital buildings. The high pressure and temperature entail a high safety risk for people in the vicinity if a leak should occur.

By building VS01 Region Uppsala would be able to lower the temperature and pressure in the pipes, and by that lower safety risks. The energy consumption will stay the same. The power peak will be lower, however, no money will be saved from that aspect. The flux of district heat water from Vattenfall will be lower. By assembling all subscriptions into one, approximately 640 000 SEK per year can be saved due to volume discounts.

Investment costs is generally not taken in consideration for this project, but the estimated cost for two new heat exchangers for VS01 is at least 510 000 SEK.

Innehåll

| | | |
|----------|----------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | Inledning | 1 |
| 1.1 | Problemformulering | 1 |
| 1.2 | Syfte | 1 |
| 1.3 | Frågeställning | 2 |
| 1.4 | Avgränsningar | 2 |
| 1.5 | Metod | 2 |
| 2 | Teori | 3 |
| 2.1 | Energi, flöde och effekt | 3 |
| 2.2 | Förluster | 3 |
| 2.3 | Skällning | 4 |
| 3 | Bakgrund | 5 |
| 3.1 | Nuvarande fjärrvärmesystemet på Akademiska sjukhuset | 5 |
| 3.2 | VS01 | 5 |
| 3.3 | Vattenfalls taxamodell | 5 |
| 3.4 | Legionella | 6 |
| 3.5 | Säkerhet | 6 |
| 4 | Resultat | 7 |
| 4.1 | Effektsignaturer och baslast | 7 |
| 4.2 | Jämförelse av effekttoppar | 8 |
| 4.3 | Returtemperatur idag | 8 |
| 4.4 | Flöde i VS01 | 9 |
| 4.5 | Rördimensionering | 10 |
| 4.6 | Förluster i VS01 | 10 |
| 4.7 | Flöde från Vattenfall | 10 |
| 4.8 | Säkerhet | 11 |
| | 4.8.1 Spridning av vatten | 11 |
| | 4.8.2 Skällning vid läckage | 12 |
| 4.9 | Optimering av effektabonnemanget | 12 |
| 4.10 | Kostnad idag jämfört med VS01 | 13 |
| 4.11 | Nya undercentraler | 13 |
| 5 | Diskussion | 14 |
| 6 | Slutsatser | 16 |
| 7 | Referenser | 17 |

1 Inledning

1.1 Problemformulering

Akademiska sjukhuset i Uppsala är ett av landets största sjukhus. Det drivs av Region Uppsala och hade 2017 cirka 8300 anställda, 940 vårdplatser och över 500 000 årliga besök. En väl fungerande värmereglering är väsentlig i sjukhusmiljöer, främst på grund av försvagade patienter samt känslig utrustning.

Årligen förbrukar sjukhuset cirka 30 GWh fjärrvärmevärme, vilket leder till höga värmekostnader. Idag nyttjar Vattenfall, Regions Uppsalas fjärrvärmeleverantör, en stamledning genom sjukhusets byggnader. I stamledningen går fjärrvärme med 80-120 °C och cirka 12 bar. Ett läckage skulle kunna resultera i att stora mängder fjärrvärme läcker ut i en sjukhusbyggnad. Det heta vattnet riskerar att orsaka stora skador på personer och utrustning. För att minska värmekostnaderna och öka säkerheten vill Region Uppsala bygga om sjukhusets värmesystem. Planen är att sammanlänka de idag 23 undercentralerna (en för varje byggnad) till ett stort system, kallat VS01. Det ska göras genom att bygga ett sekundärnät som binder ihop byggnaderna i sjukhuskomplexet. Detta nät ska ha två anslutningspunkter mot Vattenfalls fjärrvärmenät. Sekundärnätet ska vara ett lågtempererat värmesystem med en framledningstemperatur på 70 °C, returledningstemperatur på 30 °C (70/30 system) och ett tryck på 3 bar.

Genom byggnationen av VS01 hoppas Region Uppsala spara pengar och förbättra säkerheten på sjukhuset. I det här projektet undersöks vilka följder byggnationen av VS01 genererar. Region Uppsala vill veta vad som sker med energiförbrukningen, effekttopparna, flödet, kostnaden och säkerheten i VS01. Energiförbrukningen och effekttopparna utgör tillsammans värmekostnaden och är dessutom intressanta ur ett miljömässigt perspektiv. Flödet ligger till grund för förlusterna i nätet, både sjukhusets och Vattenfalls. Kostnaden innefattas av värmekostnaden samt en uppskattning av vad nya värmeväxlare kostar.

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att undersöka följderna från byggnationen av det nya värmesystemet VS01 sett till följande kategorier:

- Energiförbrukning
- Effekt
- Flöde
- Kostnad
- Säkerhet

1.3 Frågeställning

- Hur förändras energiförbrukningen, effekttopparna, flödet, kostnaden och säkerheten i VS01 jämfört med nuvarande system?

1.4 Avgränsningar

Projektet utgår från sjukhusets perspektiv. Primärt kommer deras intressen att vara relevanta. Det undersöks vilka förändringar som sker i sjukhusets värmesystem. Hur Vattenfalls fjärrvärmenät påverkas till följd av VS01 behandlas inte i rapporten, med undantag för flödet från Vattenfall till sjukhuset. Eftersom fjärrvärme är ett samarbete mellan flera parter kan dock parternas aktioner påverka varandra.

Inga ombyggnationer i de enskilda byggnadernas värmesystem tas med i detta projekt. Samtliga byggnader antas därför ha samma värmesystem som tidigare.

Kostnader för byggnationer av VS01 kommer inte behandlas i rapporten. Däremot görs en uppskattning av priset för nya värmeväxlare i VS01.

1.5 Metod

Data som använts i projektet är utomhustemperatur, energi, effekt och flöde, inhämtad från Region Uppsalas kundsida hos Vattenfall och avser år 2018. År 2018 användes som en följd av rekommendationer från Region Uppsala. Data från tidigare år har ej använts. Effekt och utomhustemperatur är dygnsmedel om inget annat anges, eftersom det är dygnsmedel som används i Vattenfalls taxering. Data för kallaste dagen varje år är hämtad från SMHI.

2 Teori

2.1 Energi, flöde och effekt

Den värmeeffekt som fås ut från vattnet ges av

$$P = Qc_p\rho\Delta T \quad (1)$$

där P är effekten, Q är volymflödet av vatten, c_p är vattnets värmekapacitet, ρ är vattnets densitet och ΔT är temperaturskillnaden mellan framledning och returledning.

Rördimensioneringen i sekundärnätet bestäms av effekten samt flödes hastigheten, enligt följande ekvation

$$R = \sqrt{\frac{Q}{\pi V}} = \sqrt{\frac{P}{c_p\rho\Delta T\pi V}} \quad (2)$$

där V är flödes hastigheten.

De nya flödena i VS01 kan beräknas enligt ekvation

$$Q = \frac{P}{\Delta T\rho c_p} \quad (3)$$

Den teoretiska ΔT i VS01 kan beräknas enligt följande ekvation

$$\Delta T = \frac{P}{Qc_p\rho} \quad (4)$$

där P är uttagen effekt.

Ekvation (4) kan sedan användas för att beräkna returtemperaturen på primärsidan

$$T_{\text{retur}} = T_{\text{fram}} - \Delta T \quad (5)$$

där T_{retur} är returtemperaturen och T_{fram} är framledningstemperaturen.

2.2 Förluster

Genom att beräkna Reynolds tal bestäms om det är laminärt eller turbulent flöde.

$$Re = \frac{DV}{\nu} \quad (6)$$

där D är rörets innerdiameter och ν är vattnets kinematiska viskositet.

Strömningsförlusterna beräknas i följande ekvation

$$h_l = f \frac{LV^2}{D2g} \quad (7)$$

där f är friktionskoefficienten beroende av Reynolds tal, L den totala längden av VS01 och g är tyngdaccelerationen. Svaret fås i höjdmeter.

Förlusterna från krökarna beräknas i följande ekvation

$$h_l = c \frac{V^2}{2g} \quad (8)$$

där c är en förlustkoefficient beroende på krökens radie.

Friktionsförlusterna beräknas enligt följande ekvation

$$W = \rho g Q \sum h_l \quad (9)$$

Värmeförlusterna i sekundärnätet beräknas enligt följande ekvation

$$E = \frac{2\pi L T_r}{\frac{\ln(\frac{r_o}{r_i})}{\lambda_s} + \frac{\ln(\frac{r_s}{r_o})}{\lambda_i}} \quad (10)$$

där T_r är temperaturskillnaden mellan vätskan i röret och omgivningen, r_o är ytterradien på röret, r_i innerradien på röret, r_s ytterradien på isoleringen, λ är rörmaterialets värmeledningsförmåga och λ_i isoleringens värmeledningsförmåga.

2.3 Skällning

Beräkning av skällning vid läckage fås från en sammansatt funktion vars interna funktion består av

$$ierfc(y) = \int_y^\infty \left(\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_p^\infty e^{-t^2} dt \right) dp \quad (11)$$

Från detta erhålls

$$\Delta T_{\text{hudtemperatur}}(t, x) = \frac{2q\sqrt{t}}{\sqrt{\lambda\rho c_p}} ierfc\left(\frac{x}{\sqrt{4\alpha}}\right) \quad (12)$$

Där $\Delta T_{\text{hudtemperatur}}$ är temperaturökningen för huden på visst djup x efter tiden t , q är värmeflödet, p trycket och α är värmeöverföringskoefficienten.

3 Bakgrund

3.1 Nuvarande fjärrvärmesystemet på Akademiska sjukhuset

Dagens värmesystem på Akademiska sjukhuset består av 23 undercentraler, där alla matas från Vattenfalls stamnät med temperaturer upp till 120 °C och tryck av 12 bar. Detta innebär att det går ledningar med höga temperaturer och högt tryck genom kulvertarna på sjukhuset. Dagens matning av Vattenfalls ledningar in på sjukhusområdet sker via två anslutningspunkter, en på södra och en på norra sidan. Dessa anslutningspunkter matar värme in på en stamringledning som sedan förgrenar sig till varje byggnads undercentral där värme växlas över. När det varma framledningsvattnet passerar varje byggnads undercentral så kyls det av samtidigt som trycket sjunker. Det nedkylda vattnet förs sedan tillbaka via returledningarna som är förlagda tillsammans med framledningarna. Returvattnet matas sedan tillbaka till Vattenfall för att värmas upp på nytt. Rören är stålrör av typ DN100 (100 mm i diameter), med en äldre isolering av okänt slag.

3.2 VS01

Tanken med VS01 är att bygga ett sekundärt fjärrvärmenät på sjukhusets egna område och genom detta sänka trycket till 3 bar och temperaturen till 70/30 °C. Med ett sekundärt system tillkommer många fördelar, till exempel skulle säkerheten förbättras betydligt till följd av den sänkta temperaturen och det lägre trycket. Möjligheterna att utnyttja spillvärme samt installation av en värmepump förbättras även avsevärt. VS01 är tänkt att utgå från nuvarande ledningar i nätet. Det finns möjlighet att byta till en bättre isolering, men med samma rör. Eftersom ingen ombyggnation i husens enskilda värmesystem tas med i detta projekt kommer därför husen antas ha samma värmeegenskaper som tidigare. Energi- och effektförbrukningen i de enskilda husen antas därför vara samma även med VS01. Totala energiförbrukningen blir därför samma som i tidigare system. Totala effektförbrukningen kan däremot komma att ändras när det byggs ihop till ett stort system. VS01 har approximerats till att vara 2500 m och ha fyra stycken 90 graders krökar.

Vid byggandet av VS01 kommer det behövas nya undercentraler där Vattenfalls ledningar växlar över fjärrvärmen till VS01. Region Uppsala vill installera två undercentraler som var för sig ska klara 150% av dagens dimensionerade effekt på cirka 11 MW. Detta för att ha redundans i systemet samt klara framtida effektbehov. I de nya undercentralerna kommer värmeväxlare separera medierna hydrauliskt. Det betyder även att det kommer krävas nya cirkulationspumpar i VS01 för att sköta tryckhållningen till byggnadernas nya undercentraler.

3.3 Vattenfalls taxamodell

Priset på fjärrvärme bestäms enligt Vattenfalls taxalista vilken har olika priser beroende på säsong. Det finns tre olika säsonger; vinter (januari-mars, december), vår/höst (april, oktober-november) och sommar (maj-september). Energipriset för fjärrvärme år 2019 är 543 kr/MWh under vintern, 374 kr/MWh under vår/höst och 238 kr/MWh under sommaren. Utöver detta har Region Uppsala gjort valet att använda sig av koldioxidneutral värme, detta tillför en extra kostnad på 20 kr/MWh. Genom att utnyttja en större mängd energi under ett år får man en volymrabatt enligt tabell

(1). Akademiska sjukhuset har för närvarande 23 olika fjärrvärmeabonnemang, detta innebär att mängdrabatterna varierar för de olika abonnemangen (Vattenfall, u.d.).

Tabell 1: Vattenfalls volymrabatter för fjärrvärme år 2019 (Vattenfall, u.d.)

| Årsvolym [MWh] | Volymrabatt [kr/MWh] |
|-------------------|-------------------------|
| 0-249 | 0 |
| 250-1249 | 5 |
| 1250-2449 | 10 |
| 2500-4999 | 20 |
| 5000-7499 | 25 |
| ≥ 7500 | 30 |

Vattenfall tar även ut en avgift för den effekt som abonneras. Priset för detta är 904 kr/kW och år. Priset bestäms inför varje årsskifte. Vattenfalls rekommenderade effekt baseras på tidigare års effektsignatur och förväntad energiförbrukning vid $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ utomhustemperatur. Det är möjligt för Region Uppsala att bestämma hur hög effekt som ska abonneras. Skulle den bestämda abonnerade effekten överstigas tillkommer en straffavgift på 1808 kr/kW samt att den abonnerade effekten för resterande delen av året kommer att höjas till den uttagna effekten, upp till Vattenfalls rekommenderade effekt. Om Vattenfalls rekommenderade effekt används och överstigs kommer ingen straffavgift tas ut, och den abonnerade effekten kommer vara densamma. (Vattenfall, u.d.).

Vattenfall tar även ut en kostnad för flödet, kostnaden för detta är dock så liten att den kan försummas. Samtliga ovan nämnda priser gäller för år 2019.

3.4 Legionella

En stor utmaning som uppkommer då framledningstemperaturen sänks är sjukdomen Legionella. Bakterien Legionella Pneumophila, som orsakar sjukdomen, tillväxer främst i temperaturintervallet $20\text{--}45\text{ }^{\circ}\text{C}$ och kan växa i exempelvis vattenledningar, duschar och klimatanläggningar där det finns stillastående vatten. Legionellabakterier har visats överleva i förhållanden upp till $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ vilket gör att en sänkning av framledningstemperaturen är begränsad för att hålla en hög kvalitet på tappvarmvattnet. Då Legionella ofta drabbar äldre, svaga och sjuka människor är det särskilt viktigt att i största möjliga mån försvåra bakterietillväxten i sjukhusmiljöer. För att förebygga uppkomsten av Legionella är det därför viktigt att undvika stillastående vatten i systemen och hålla en tillräckligt hög temperatur på vattnet som missgynnar Legionellabakterier (Folkhälsomyndigheten, 2018).

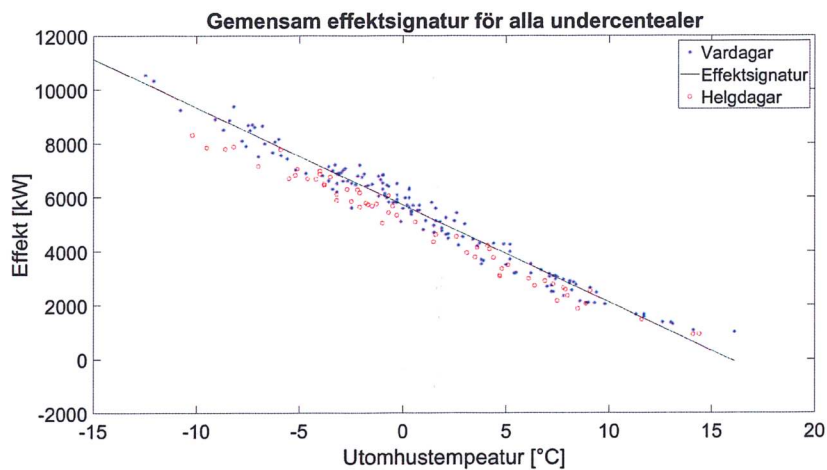
3.5 Säkerhet

Ett system som VS01 kan med dess lägre temperatur reducera risker vid olyckor gällande brännskador. Hur rådande temperatur kan orsaka kroppsskador går att beräkna med vattnets temperatur och genomtränglighetsförmåga i kontakt med hud (Geerts & Heitink, 2016).

4 Resultat

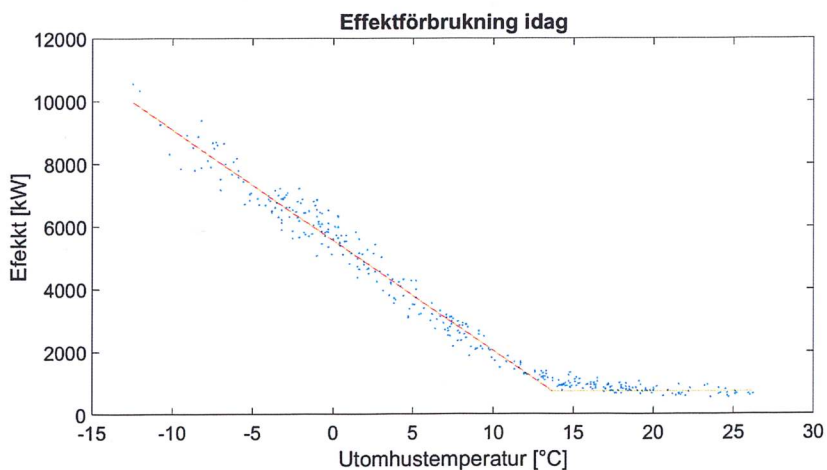
4.1 Effektsignaturer och baslast

För VS01 beräknades den nya effektsignaturen enligt Vattenfalls taxamodell (Vattenfall, u.d) till 11 100 kW, vid -15 °C. Det är samma som idag. I figur (1) ses effektsignaturen för samtliga byggnader summerade till ett stort system (VS01). Helgdagarna som kan ses i figur (1) är exkluderade i beräkningen av regressionslinjen.



Figur 1: Effektsignatur beräknad för vardagar (måndag till fredag) under perioden Januari till April och September till December 2018 där effektsignaturen är beräknad för alla sjukhusets byggnader ihopslaget

För att beräkna baslasten för VS01 summerades effekterna för de 23 undercentralerna, se figur (2). Baslasten är den effekt som förbrukas även då byggnaden ej behöver värmas upp, den utgörs framförallt av effekt till varmvatten. Med detta diagram beräknades baslasten till 830 kW.



Figur 2: Total effektutag av fjärrvärmeavtten för alla sjukhusets byggnader beroende på utomhustemperaturen 2018

4.2 Jämförelse av effekttoppar

Jämförs den förväntade effekttoppen för VS01 mot dagens summerade effekttoppar ses att VS01 har en effekttopp som är 275,6 kW lägre. VS01 kommer således ta ut mindre maximal effekt än idag.

4.3 Returtemperatur idag

Med data över Vattenfalls framledningstemperatur kunde en teoretisk temperatur av fjärrvärmen som skickas tillbaka till Vattenfall, från alla summerade undercentraler, i dagsläget beräknas. Detta gjordes genom en linjär anpassning av Vattenfalls data. Framledningstemperaturen från Vattenfall sjunker normalt inte under 80 °C. Dagens returtemperatur kan sedan jämföras mot de konstant 30 °C som VS01 dimensioneras för.

$$T_{\text{fram}} = -0,93T_{\text{ute}} + 84,74 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

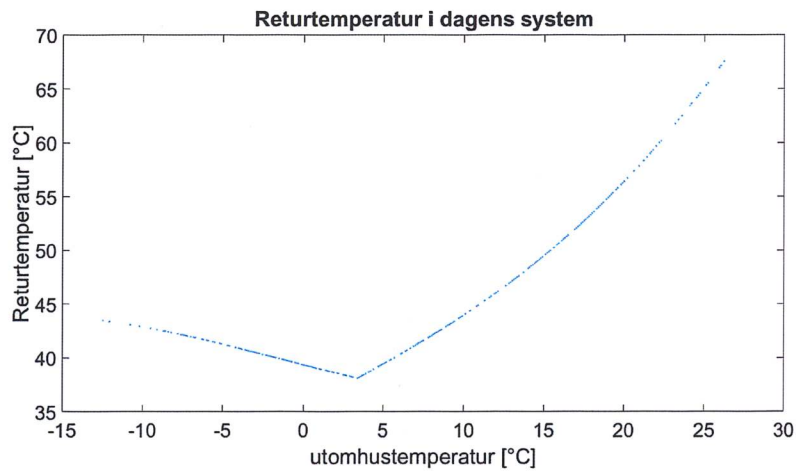
Där T_{fram} är framledningstemperaturen från vattenfall i °C T_{ute} är utomhustemperaturen i °C.

Ekvationen gäller vid utomhustemperaturer under 3 °C medan framledningstemperaturen är konstant 80 °C för utetemperaturer över 3 °C.

Temperaturdifferensen ΔT mellan framledning och returledning beräknades med hjälp av ekvation (4) och därefter gjordes en linjär anpassning med ΔT som funktion av utetemperaturen, vilket gav ett tredjegradspolynom.

$$\Delta T = -0,000374T_{\text{ute}}^3 - 0,0027T_{\text{ute}}^2 - 0,67T_{\text{ute}} + 44,52 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Returtemperaturen kunde därefter beräknas enligt ekvation (5). Returtemperaturen som funktion av utetemperaturen visas nedan i figur (3). Returtemperaturen är tydligt högre än de 30 °C som VS01 dimensioneras för.

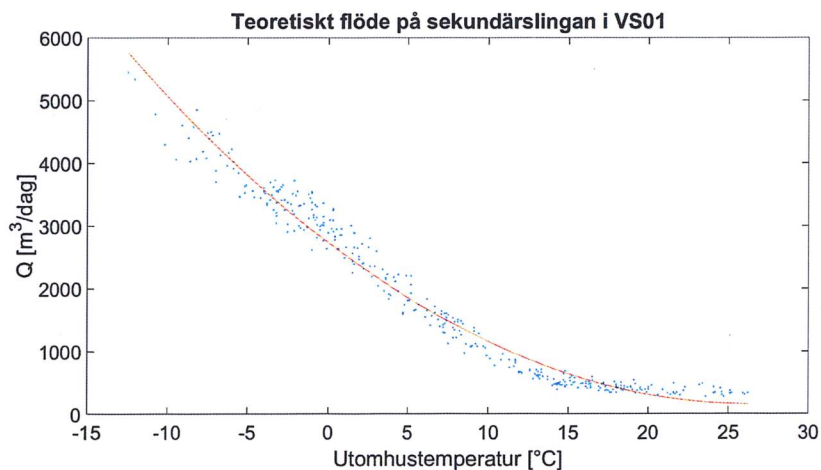


Figur 3: Medelreturtemperatur från sjukhuset för alla undercentraler på primärsidan för nuvarande värmesystem beroende på utomhustemperaturen.

4.4 Flöde i VS01

Flödet i VS01 ligger till grund för vilka förluster som erhålls. VS01 ska vara ett 70/30 system, vilket ger ett ΔT på 40 °C. Från ΔT samt den sammanlagda effekten för alla byggnader beräknades det teoretiska flödet i VS01 med hjälp av ekvation (3). Flödet i VS01 visas nedan i figur (4). Ett andragradspolynom togs fram för flödet och kan beskrivas enligt följande.

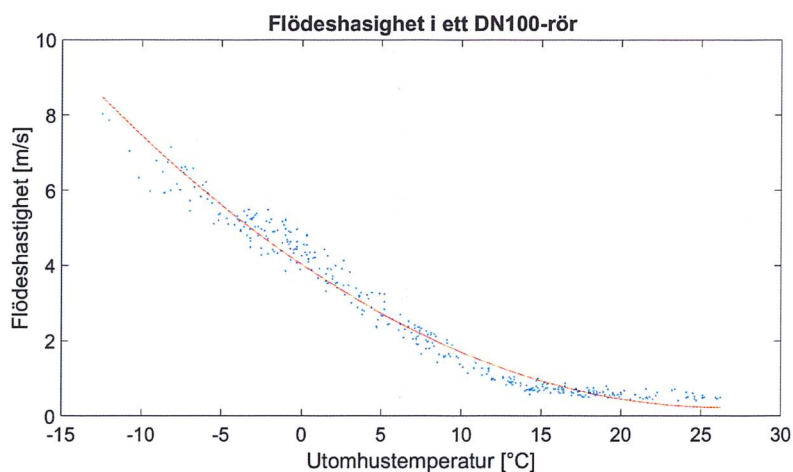
$$Q = 3,16T_{ute}^2 - 150T_{ute} + 2,32 \cdot 10^3 \text{ [m}^3\text{/dygn]}$$



Figur 4: Teoretiskt beräknat flöde av fjärrvärmevatten i VS01 beroende på utomhustemperatur och data från Vattenfall

4.5 Rördimensionering

För att minimera förluster och ljud som uppstår har 3 m/s bestämts som optimalt maximal flödes-hastighet. Med hjälp av ekvation (2) beräknades rördiametern som krävdes för att flödena ej skulle överstiga 3 m/s till 168 mm i VS01. Region Uppsala har i dagsläget inga planer på att byta ut befintliga ledningar då detta skulle leda till höga investeringskostnader. Då kommer önskat höga flöden att erhållas. I figur (5) ses grafen över vilka flöden som skulle erhållas om dagens DN100 rör behålls.



Figur 5: Flödes hastigheten i DN100-rör i VS01 beroende på utomhustemperaturen och givet flöde från figur 4

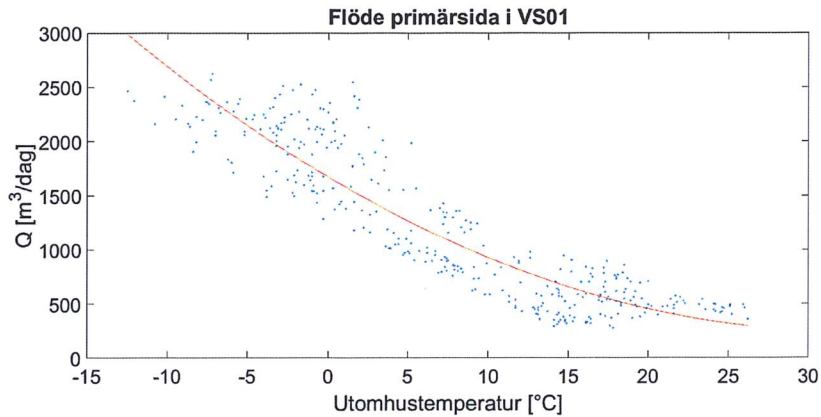
4.6 Förluster i VS01

Till följd av VS01 kommer en del av energiförlusterna i ledningarna som Vattenfall idag står för tas över av Region Uppsala. Ledningarna antas gå i de kulvertar under sjukhuset som används för bland annat patient- och personaltransport mellan sjukhusets byggnader. De förluster som sker i rörledningarna är flödesförluster samt värmeförluster till omgivningen. Flödesförlusterna i ledningarna beräknades med ekvationerna (6), (7), (8) och (9) till 534 MWh/år. Värmeförlusterna i nätet beräknades med ekvation (10) till 116 MWh/år. De totala förlusterna i ledningarna är 650 MWh/år. De förluster som uppkommer läcker ut i form av värme i utrymmen som måste hållas uppvärmda kan detta ses som nyttjad energi.

4.7 Flöde från Vattenfall

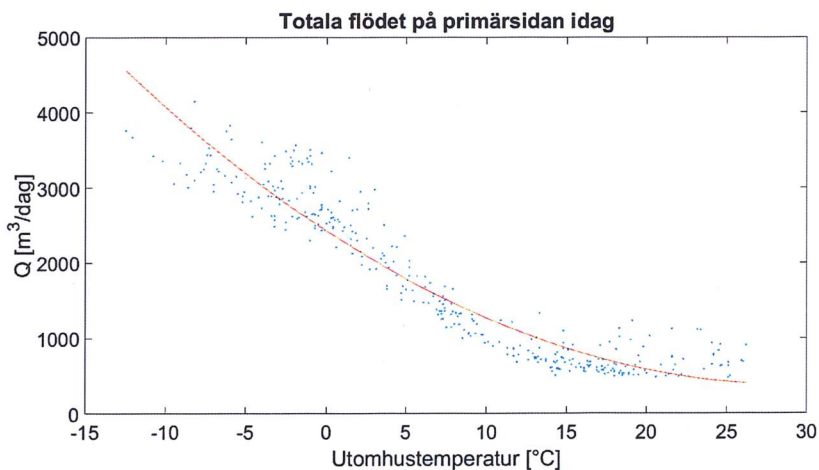
Flödet som tas ut från Vattenfalls nät ligger till grund för vilka förluster Vattenfall får i sitt nät. När temperaturen på sekundärsidan sänks sjunker även returtemperaturen på primärsidan. Detta innebär att flödet inte behöver vara lika stort för att nå samma effekt, givet att framledningstemperaturen är densamma. Om framledningstemperaturen antas vara densamma som i dagsläget kan flödet beräknas med antagandet att returtemperaturen på primärsidan är densamma som returtemperaturen på sekundärsidan alltså 30 °C. Det beräknade flödet som behövs tas ut från Vattenfalls

nät för detta ideala fall visas i figur (6) nedan. I beräkningarna har framledningstemperatur samt (total) effekt använts och returtemperaturen har antagits vara konstant 30 °C.



Figur 6: Flödet på primärsida i idealt fall då returtemperaturen är 30 °C

Detta kan jämföras med dagens totala summerade flöde som tas ut från Vattenfalls nät, vilket visas nedan i figur (7).



Figur 7: Flödet på primärsida idag

4.8 Säkerhet

4.8.1 Spridning av vatten

En övergång från 120 °C till 70 °C innebär att vattnet ej sprids i gasform vilket begränsar dess framkomlighet och utbredning. VS01 kommer i egenskap av att vara ett mindre system också få mindre mängder vattenmassor utsläppta, och på så vis förbättrade utsikter om läckage sker. Det

innebär dock ett större ansvar för Akademiska sjukhuset att snabbt stänga av cirkulationen vid läckage.

4.8.2 Skällning vid läckage

Med hjälp av ekvation (12) beräknades brännskaderisken ifall en fog i ett DN100 rör separeras i två delar. Beräkningen visar brännskaderisken om röret separeras 10 mm och fjärrvärme med framledningstemperatur nämnd ovan läcker direkt på mänsklig hud. Beräkning visar att andra gradens brännskada erhålls inom loppet av en hundraleds sekund. Med beräkning erhålls att kroppstemperaturhöjningen med en framledningstemperatur på 70 °C var 252 % lägre för samma situation.

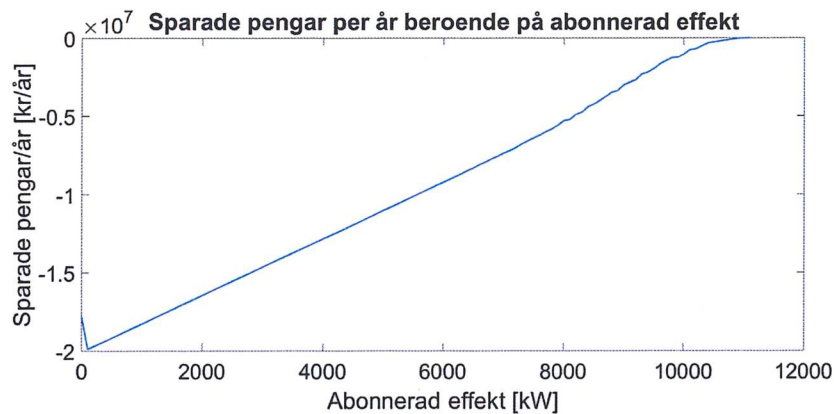
4.9 Optimering av effektabonnemanget

För att utvärdera om det finns någon möjlighet till att abonnera mindre än Vattenfalls rekommenderade effekt har det kallaste dygnet varje år under 2000-talet studerats, i tabell (2).

Tabell 2: Utomhustemperaturen det kallaste dygnet i Uppsala varje år under 2000-talet (SMHI, 2019)

| | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| År | 00 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 |
| °C | -14,1 | -19,5 | -15,2 | -19,9 | -15,1 | -14,7 | -13,9 | -14,4 | -6,7 | -13,1 |
| År | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | |
| °C | -21,2 | -17,4 | -16,2 | -16,7 | -11,1 | -6,9 | -16,9 | -12,0 | -11,9 | |

Värdena i Tabell (2) antas följa en normalfördelning. Sannolikheten att det blir -15 °C eller kallare något dygn under året är 46%. Kostnaden av en egen vald effekt beräknades utifrån denna fördelning med en framslumpad temperatur. För ökad tillförlitlighet användes medelvärdet av 1000 beräknade år. Det jämfördes med kostnaden av att abonnera för Vattenfalls rekommenderade effekt. Den rekommenderade effekten, baslasten och effektförbrukningens temperaturberoende har tagits från totala effektsignaturen för sjukhuskomplexet (se 4.1). I figur (8) nedan ses att över en 1000-årsperiod är det inte rimligt att spara på att inte använda Vattenfalls rekommenderade effekt. Ju närmre rekommenderad effekt som abonneras desto mindre pengar förloras i snitt varje år.



Figur 8: Sparade pengar beroende på abonnerad effekt

4.10 Kostnad idag jämfört med VS01

Med införandet av VS01 beräknas Region Uppsala ha möjligheten att göra årliga besparingar på cirka 640 000 kr. Den abonnerade effekten och energiförbrukningen liknar den utan VS01. Största anledningen till besparingar är att alla abonnemang slås ihop till ett och maximal volymrabatt kan då utnyttjas.

4.11 Nya undercentraler

De värmeväxlare som rekommenderas av tillverkaren Alfa Laval för de nya undercentralerna är packningsförsedda plattvärmväxlare av modellen Alfa Laval T20. Priset för två stycken plattvärmväxlare av rekommenderad typ, med 10 MW effekt, ligger i storleksordningen 510 000 kr. Priset för två värmväxlare som klarar 16,5 MW kan förväntas vara mer än 510 000 kr. Pumpar av typen centrifugalpump rekommenderas att användas till tryckhållningen på VS01. Dessa bör vara frekvensstyrda samt regleras mot ett tryck som är tillräckligt högt för att förse samtliga undercentraler med värme. För redundans bör två pumpar finnas i vardera undercentral (Alfa Laval, 2019).

5 Diskussion

Energibehovet kommer vara oförändrat mellan dagens system och VS01, eftersom den totala energimängden för att hålla byggnaderna uppvärmda är oförändrad idag jämfört med VS01. Däremot kan ett jämnare effektuttag leda till att fläktsystem och pumpar går jämnare vilket leder till minskade energikostnader. Storleken av dessa energibesparingar är dock inget detta projekt berör.

Att abonnera mindre effekt än Vattenfalls rekommenderade genererar endast förluster sett över en längre tidsperiod. Därför föreslås att abonnera Vattenfalls rekommenderade effekt. Den beräknade abonnerade effekten i VS01 är samma som dagens abonnerade effekt för alla ihopslagna undercentraler, trots att effekttoppen för VS01 är lägre. Det beror på att Vattenfalls rekommenderade effekt grundas på en linjär regression av hela årets effektförbrukning och inte vilken högsta effekt som tas ut. Utjämnade effekttoppar påverkar inte effektsignaturen tillräckligt för att sänka effektabonnemanget. För att sänka effektabonnemanget måste andra åtgärder tilltas, som till exempel effektvakt eller ackumulatortank.

Flödet i VS01 kommer öka jämfört med dagens system. Detta eftersom sjukhuset vill sänka temperaturerna i ledningarna för att öka säkerheten. Detta leder i sin tur till ökade flöden för att nå samma energimängd. Vad det gäller flödeshastigheten i ledningen är dessa dock väldigt mycket högre (se figur (5)) än de 3 m/s som tidigare var satt. Detta är dock inget större problem då denna hastighet endast är från växlaren till första byggnaden i VS01, sedan avtar hastigheten. Beroende på längd mellan dessa två punkter kan ett större rör vara nödvändigt att installeras för att minska ljud och förluster. Ett annat alternativ är att tillfälligt höja temperaturen i VS01 vid höga effektbehov. Förutsatt att framledningstemperaturen på primärsidan i det nya systemet är densamma som i nuvarande system, krävs ett mindre flöde från Vattenfall jämfört med idag. Det flöde som har beräknats och redovisas i rapporten är dock under antagandet att returtemperaturen på primärsidan blir 30 °C (samma som returtemperaturen i sekundärnätet), vilket är ett idealfall.

De beräknade förlusterna i ledningarna bygger på approximationer och är därför missvisande. Anledningen till att flödesförlusterna blir väldigt stora är att beräkningar har gjorts förutsatt att flödeshastigheten är maximal i hela VS01. Detta är inte fallet utan hastigheten kommer minska då energi överförs till byggnaderna och därmed leda till mindre förluster. De förluster som uppkommer läcker ut i form av värme i kulvertar under sjukhuset. Kulvertarna behöver även de hålla en viss temperatur och förlusterna har därför valts att ses som nyttjad energi.

Anledningen till besparingen är att de 23 abonnemangen slås ihop till ett gemensamt vilket ger maximal volymrabatt. Då energibehovet samt den abonnerade effekten kommer vara liknande som innan VS01 sker inga större besparingar ur denna aspekt. Värt att diskutera är huruvida Region Uppsala skulle ha möjligheten att förhandla sig till en ännu större volymrabatt, då Akademiska sjukhuset förbrukar fyra gånger så mycket energi som krävs för att erhålla maximal volymrabatt. En förhandling utan åtgärder i dagens system rekommenderas att göras.

Att transportera fjärrvärme i närheten av människor kommer alltid att innebära en risk då läckage med högt tryck och temperatur riskerar att orsaka brännskador. Även om det blir en markant förbättring vid en sänkt temperatur kommer risker i samband med brott fortsatt existera. Så länge

rörledningarna finns i närheten av människor handlar det fortfarande om hundradels sekunder innan personer i kontakt med vattnet får skador. Skillnaden i konsekvenser kan främst ses genom vilket avstånd en person har till ett läckage. VS01 är motiverbart bättre eftersom ett lägre tempererat vatten inte kommer att vara hälsovådligt lika länge när det sprids och på så vis också vara lättare att hantera om läcka skulle uppstå. Vattnet som läcker ut kommer inte vara i gasform i VS01 vilket betyder att området där människor kan skadas blir betydligt mindre än idag.

Ett alternativ till att överdimensionera de nya undercentralerna enligt Region Uppsalas önskan är att installera värmeväxlare som endast täcker dagens effektbehov men är förberedda med tillräckligt långt stativ för att i framtiden kompletteras med fler plattor. På så sätt ökas den värmeöverförande effekten över värmeväxlaren. Det pris som erhöles från Alfa Laval gällde endast värmeväxlarenheterna. Övriga kostnader för att bygga kompletta undercentraler med distributionspumpar samt styr- och reglerutrustning låg utanför detta projekts omfattning. Lämpligen skulle en av de nya undercentralerna byggas och placeras vid den norra anslutningspunkten samt en vid den södra för ökad redundans om någon driftstörning skulle inträffa på fjärrvärmenätet.

Införandet av VS01 ger bättre möjlighet att nyttja spillvärme. Det finns planer på att bygga en värmepump för att kunna växla över värme från kylsystemet till VS01. Det finns även en möjlighet att i framtiden köpa returvärme från Vattenfall då VS01 är lågtempererat och endast behöver fjärrvärme med över 70 °C. På så sätt kan mer av energin i fjärrvärmevattnet utnyttjas, vilket gynnar hela fjärrvärmesystemet.

6 Slutsatser

Följande slutsatser kan dras utifrån projektet:

- Energiförbrukningen kommer att vara samma som tidigare.
- Effekttopparna kommer vara lägre, men det kommer inte påverka Vattenfalls rekommenderade effekt och således kommer inga pengar sparas på det. Det rekommenderas att abonnera Vattenfalls rekommenderade effekt.
- Flödet kommer öka på sekundärsidan men minska från Vattenfall.
- Besparing på cirka 640 000 kr/år görs. Det kommer ske till följd av ökad volymrabatt. Det rekommenderas att förhandla om maximal volymrabatt redan nu, och sedan förhandla om en högre maximal volymrabatt vid införande av VS01.
- Säkerheten förbättras med en lägre temperatur i ledningarna.
- Nya värmeväxlare till ett uppskattat pris av minst 510 000 kr måste köpas.

7 Referenser

Folkhälsomyndigheten, 2018. Folkhälsomyndigheten. [Online] Tillgänglig: <https://www.folkhalsomyndigheten.se/smittskydd-beredskap/smittsamma-sjukdomar/legionellainfektion-och-pontiacfeber/> [Använd 15 maj 2019].

Geerts, R. & Heitink, J., 2016. Risk Assessment Of Steam Pipelines In Industrial Areas, Enschede: AIDIC.

Husic, N., 2019. Teknisk säljare på Alfa Laval [Intervju] (8 maj 2019).

SMHI, 2019. SMHI. [Online] Tillgänglig: <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur/uppsalas-temperaturserie-1.2855> [Använd 17 April 2019].

Vattenfall, u.d. Vattenfall. [Online] Tillgänglig: <https://www.vattenfall.se/globalassets/fjarrvarme/orter-foretag/orter-foretag-2019/PrislistaforetagUppsala-2019.pdf> [Använd 18 April 2019].

SLU
Institutionen för energi och teknik
Box 7032
750 07 UPPSALA
Tel. 018-67 10 00
pdf.fil: www.slu.se/energiogteknik

SLU
Department of Energy and Technology
P. O. Box 7032
SE-750 07 UPPSALA
SWEDEN
Phone +46 18 671000